

VETROVNOST V SLOVENIJI

JOŽE RAKOVEC
MARK ŽAGAR
RENATO BERTALANIČ
JURE CEDILNIK
GREGOR GREGORIČ
GREGOR SKOK
NEDJELJKA ŽAGAR



JOŽE RAKOVEC
MARK ŽAGAR
RENATO BERTALANIČ
JURE CEDILNIK
GREGOR GREGORIČ
GREGOR SKOK
NEDJELJKA ŽAGAR

VETROVNOST V SLOVENIJI



Jože Rakovec, Mark Žagar, Renato Bertalanič, Jure Cedilnik, Gregor Gregorič, Gregor Skok, Nedjeljka Žagar

VETROVNOST V SLOVENIJI

<i>Recenzenti</i>	prof. dr. Lučka Kajfež Bogataj, izr. prof. dr. Sašo Medved, Franko Nemas, univ. dipl. inž.
<i>Uredil</i>	Jože Rakovec
<i>Kartografija</i>	Boštjan Muri in Mojca Dolinar
<i>Jezikovni pregled</i>	Helena Dobrovoljc
<i>Jezikovni pregled angleškega povzetka</i>	Murray Bales
<i>Oblikovanje ovitka</i>	Brane Vidmar
<i>Prelom</i>	Gregor Skok in Jože Rakovec
<i>Izdajatelj</i>	Fakulteta za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo
<i>Zanjo</i>	Andrej Likar
<i>Založnik</i>	Založba ZRC, ZRC SAZU
<i>Za založnika</i>	Oto Luthar
<i>Glavni urednik</i>	Vojislav Likar
<i>Viri podatkov</i>	ARSO, Urad za meteorologijo; Evropski center za srednjeročno napoved vremena (ECMWF)
<i>Tisk</i>	Collegium Graphicum d. o. o., Ljubljana
<i>Naklada</i>	350

Na ovitku: Od burje deformiran borovec na Goliču (foto: *Martin Gustinčič*)

Izid monografije je podprla Javna Agencija za knjigo RS. Monografija je zasnovana na podlagi raziskave, ki jo je financirala Agencija RS za okolje in ki je potekala v okviru Fakultete za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani.

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

551.55(497.4)

VETROVNOST v Sloveniji / Jože Rakovec ... [et al.] ; [uredil Jože Rakovec ; kartografija Boštjan Muri in Mojca Dolinar]. - Ljubljana : Založba ZRC, ZRC SAZU, 2009

ISBN 978-961-254-160-6

1. Rakovec, Jože, 1946-
248250112

Digitalna različica (pdf) je pod pogoji licence CC BY-NC-ND 4.0 prosto dostopna:

<https://doi.org/10.3986/9789612541606>

VETROVNOST V SLOVENIJI

JOŽE RAKOVEC
MARK ŽAGAR
RENATO BERTALANIČ
JURE CEDILNIK
GREGOR GREGORIČ
GREGOR SKOK
NEDJELJKA ŽAGAR

LJUBLJANA 2009

Kazalo

Predgovor	7
1 TEORETIČNE OSNOVE	11
1.1 Uvod	11
1.2 Vertikalni profil vetra pri tleh	12
1.3 Energija in moč vetra	17
1.4 Osnove za modeliranje polja vetra	20
2 ZNAČILNOSTI VETROV NAD SLOVENIJO	25
2.1 Splošni vetrovi	25
2.2 Regionalni vetrovi	26
2.3 Lokalni vetrovi	28
2.4 Meritve vetra v Sloveniji	29
2.5 Na meteoroloških postajah izmerjena vetrovnost pri tleh	32
3 MODELIRANJE POLJA VETRA NAD SLOVENIJO	75
3.1 Računska ocena polja vetra nad Slovenijo	75
3.1.1 Uvod	75
3.1.2 Reanalize ERA-40, model ALADIN, dinamična adaptacija in masnokonsistentni model	76
3.2 Kakovost modelskih vetrovnih polj	79
4 KARTE HITROSTI VETRA IN GOSTOTE MOČI VETRNE ENERGIJE NAD SLOVENIJO	87
4.1 Karte hitrosti vetra nad Slovenijo 10 m in 50 m nad tlemi po modelih DADA in Aiolos	87
4.2 Karte gostote moči vetra nad Slovenijo 50 m nad tlemi po modelih DADA in Aiolos	117
4.3 Najmočnejši vetrovi	132
5 PRIMERJAVA Z DRUGIMI ŠTUDIAMI	135
5.1 Ocene po atlasih vetra in po nekaterih drugih študijah	135
5.1.1 European Wind Atlas in Wind Atlas for Central European Countries	135
5.1.2 Rezultati po projektu Alpine Windharvest	138
5.1.3 Rezultati po študiji Veter na Primorskem	139
5.1.4 Analiza v članku N. Žagar in sodelavcev	140
5.2 Primerjava z rezultati meritev v okviru projekta Wep1	141

6	UGOTOVITVE IN SKLEPI	145
6.1	Vetrovi v Sloveniji	145
6.2	Meritve vetra	147
6.3	Modeliranje vetrovnosti	147
6.4	Rezultati	148
7	VIRI IN LITERATURA	151
8	POVZETEK	155
9	WIND CONDITIONS IN SLOVENIA (Extended Abstract)	161

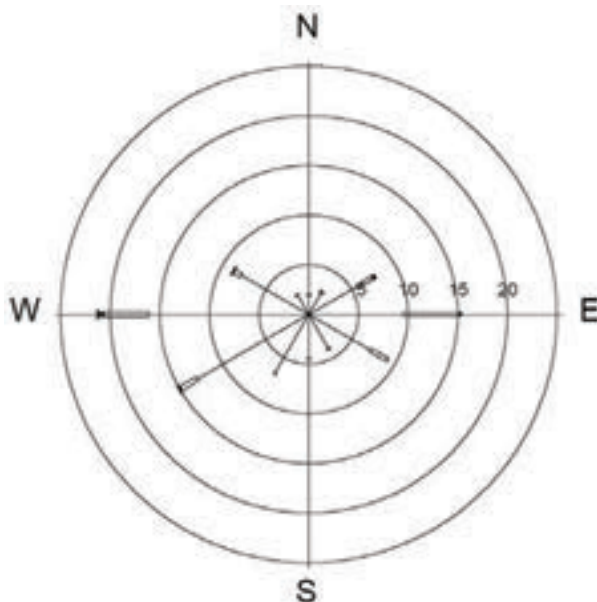
PREDGOVOR

Slovenija na splošno ne spada med močno prevetrene dežele. Po nižinah imamo pri nas močnejše vetrove relativno pogosto samo na Primorskem, kjer je značilen močan in sunkovit veter burja, ki 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 veter karavanški fen, ki pa se pojavlja le poredko – nekako manj kot enkrat letno. Tudi ta veter je lahko izjemno močan in hkrati sunkovit. Močnejši vetrovi pa so pogosti v visokogorju, predvsem ob spremembah vremena. Najpogosteje pihajo iz jugozahodnih ali severovzhodnih smeri, vendar pa se zaradi orografije in drugih ovir (rastje, naselja ...) lokalno lahko te splošne smeri precej spremenijo. Drugod po Sloveniji močnejši vetrovi spremljajo nevihte, sicer pa prevladujejo lokalni vetrovi, ki se razvijejo zaradi razgibane orografije in temperaturnih razlik (glej npr. ARSO, 2008).

Pričujoča publikacija daje klimatski pregled vetrovnosti v Sloveniji tako glede hitrosti vetra (smeri in velikosti hitrosti), kot tudi glede potenciala vetrne energije. Ker je hitrost vetra vektor, ima torej smer in velikost. Smer pove, od kod veter piha, velikost pa pove, kako hitro. Zato bi morali pravzaprav vsakič zapisati veter kot vektor $\vec{v} = (u, v, w)$ ali pa posebej poudariti *smer* (npr. po smereh neba ali v stopinjah) in *velikost hitrosti v* (izražamo jo npr. v m/s, včasih – v letalstvu ali pomorstvu – tudi v vozlih, v vsakdanjem življenju smo zaradi prometa navajeni na km/h, jadralci in deskarji pogosto govorijo o boforih). Toda pojem *hitrost* – brez poudarka, da gre za velikost hitrosti – v vsakdanjem življenju pomeni prav to – velikost hitrosti v . Zato bomo tudi v tej publikaciji za velikost hitrosti večinoma uporabljali kar termin *hitrost* in občasno posebej poudarili, da gre za velikost hitrosti (ali za smer). S simboli pa bomo dosledno pisali \vec{v} za vektor hitrosti in v za velikost hitrosti.

Glede morebitne izrabe vetrne energije je pomembna moč vetra, ki je sorazmerna tretji potenci hitrosti v^3 . Seveda vse moči vetra ni mogoče zajeti – moderne vetrnice za izrabo vetrne energije imajo izkoristek nekako do 40 %, teoretično najvišji možni izkoristek pa je 59,3 % (Betz, 1926, glej npr. Poje in Cividini, 1988). Zakaj, razložimo v prvem poglavju o teoretičnih osnovah.

Vetrovnost v Sloveniji pri nas do sedaj ni bila zelo veliko proučevana, posebej ne kot prostorska spremenljivka – še največkrat je bil veter opisovan glede na izmerjene smeri in hitrosti po posameznih postajah. Podatki se objavljajo npr. v meteoroloških letopisih, pregledne in nazorne pa so t. i.



Slika P.1 Vetrovna roža za Letališče Cerklje – za vsako posamezno smer, iz katere piha veter, je podana pogostnost vetra iz te smeri (z dolžino daljice v %) glede na razrede hitrosti.
Figure P.1 Wind rose for Cerklje Aiport – for each directions the frequency of wind from that direction (with the the length of the line in %) is given according to velocity classes.

vetrovne rože. Za ponazoritev je tu prikazana vetrovna roža za Cerklje na Dolenjskem za obdobje 1997–2006.

Podatkov o vetru nimamo toliko, da bi lahko kar neposredno iz njih določili povprečno vetrovnost za vsak predel Slovenije npr. v horizontalni prostorski ločljivosti 1 km: v tej ali oni zatišni dolini, na vsakem prevetrenem vrhu ali grebenu. Za tak namen je zato treba uporabiti primeren model. Tak model mora upoštevati, da je glavna zaloga gibalne količine zračnih mas »tam zgoraj« visoko v ozračju, npr. na 500 mbar ploskvi, tj. na nadmorski višini okrog 5500 m (ali pa še više), kjer je vetrovnost tudi precej enakomerno in homogeno porazdeljena po vsej Sloveniji. To dejstvo bo tudi glavno vodilo pri našem modeliranju vetrovnosti v Sloveniji: izhajali bomo iz krajevno precej enakomerne porazdelitve vetrovnosti v višinah in iz te določali vetrove pri tleh, ki so zaradi reliefa počasnejši, odklonjeni od smeri v višinah, zaustavljani pred hribi, pospeševani prek grebenov, kanalizirani po dolinah itd.

V prvem poglavju podajamo nekaj teoretičnih osnov v zvezi z vetrom in močjo vetra. V drugem poglavju so podane opisne lastnosti vetra nad Slovenijo, osnovne značilnosti mreže postaj v Sloveniji, kjer so bili izmerjeni večletni nizi vetra in podatki za nekatere izmed njih. V tretjem poglavju je predstavljena metodologija modeliranja vetra, v četrtem poglavju pa so v obliki georeferenciranih kart predstavljeni rezultati modeliranja povprečne hitrosti in gostote moči za celo leto in po mesecih. V petem poglavju pa

PREDGOVOR

so rezultati še kritično primerjani z rezultati nekaterih drugih študij in projektov in z meritvami – na najbolj prevetrenih grebenih hribov žal zelo skopimi.

Agencija Republike Slovenije za okolje – ARSO je pri tem delu pomemben partner Katedre za meteorologijo na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani. ARSO je sodelovala tako s svojimi strokovnjaki kot s podatki, poleg tega je s sofinanciranjem raziskave sončne in vetrne energije (št. pog. 2523-04-300351) to delo tudi denarno podprla, za kar se ji avtorji seveda zahvaljujemo. Zahvaljujemo se tudi Agenciji RS za raziskovalno dejavnost za subvencioniranje izdaje te monografske publikacije.

Upamo, da bodo karte in podatki o povprečni hitrosti in gostoti moči vetra v Sloveniji v tej knjigi koristili marsikomu, ki ga zanima klimatologija vetrovnosti ali pa morda načrtuje izrabo te vrste energije. Kogar pa zanima sončna energija, ga vabimo, da poseže po drugi knjigi, ki je izšla pri isti založbi in prinaša veliko informacij o osončenosti in sončnem obsevu pri nas.

Avtorji

Ljubljana, junij 2009

1 TEORETIČNE OSNOVE

1.1 Uvod

Zračne gmote se premikajo – veter piha –, kadar nanje deluje neka sila, ki zrak požene v gibanje. Za horizontalno gibanje zraka je edini vzrok sila zaradi krajevnih razlik zračnega tlaka (po vertikali pa je pomembna tudi teža). Specifična *gradientna sila* (to je sila na masno enoto) v horizontalni smeri je odvisna od horizontalnega dela gradienta zračnega tlaka $\nabla_h p$, sorazmernostni faktor pa je še gostota zraka ρ :

$$\vec{f}_{\text{gr}} = -\frac{1}{\rho} \nabla_h p.$$

Za enakomerne vetrove se mora med silami vzpostaviti kako ravnovesje. Povsod, razen ob ekvatorju, sta v višinah, kadar je zračni tok raven, v *geostrofskem ravnovesju* gradientna sila in *sistemska Coriolisova sila* zaradi vrtenja Zemlje (ob ukrivljenih trajektorijah se jima pridruži še radialni pospešek oz. sistemska »centrifugalna« sila). Coriolisova sistemska sila je odvisna od hitrosti:

$$\vec{f}_{\text{Cor}} = -f \vec{k} \times \vec{v};$$

tu je f Coriolisov parameter $f = 2\Omega \sin \varphi$, ki je posledica vrtenja Zemlje s kotno hitrostjo Ω , in se spreminja z geografsko širino φ ; zaradi sinusne odvisnosti od geografske širine te sistemske sile ob ekvatorju ni, v večjih geografskih širinah pa je vse bolj pomembna.

Geostrofski veter piha vzporedno z izobarami, in sicer na severni polobli tako, da je nizek zračni tlak na levi gledajoč v smer vetra (na južni polobli je obratno):

$$\vec{v}_g = -\frac{1}{f\rho} \vec{k} \times \nabla_h p,$$

katere velikost je:

$$v_g = \frac{1}{f\rho} |\nabla_h p|.$$

Značilna hitrost ne previsoko v ozračju – torej na višini, kjer je gostota zraka $\rho = 1 \text{ kgm}^{-3}$, je pri tlačnih razlikah 1 mbar na 100 km v naših geografskih širinah 10 m/s. Seveda so tlačne razlike lahko tudi precej večje, in zato so predvsem v višinah, kjer je tudi gostota zraka majhna, hitrosti lahko tudi zelo velike – v *jet-streamih*, to je močnih strženih vetra, tudi prek 600 km/h.

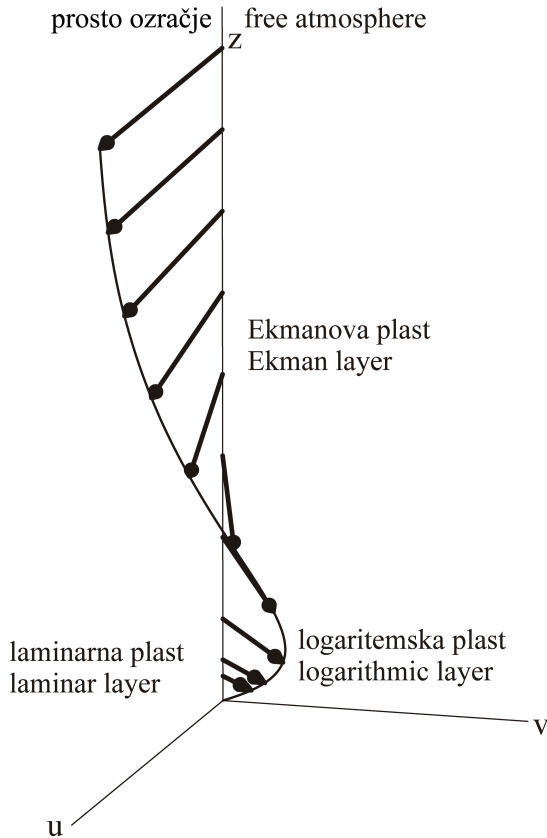
Kadar se zrak giblje po ukrivljeni poti, na hitrost vpliva tudi že omenjeni radialni pospešek (oz. sistemska »centrifugalna« sila). Temu ravnovesju sil in posledično vetru rečemo *gradientno* ravnovesje in *gradientni veter*, ki pa glede velikosti hitrosti v višinah ponavadi pomeni spremembo le za kakih 10 % glede na geostrofski veter.

Velik pa je lahko vpliv (turbulentnega) trenja, ki je najmočnejše pri tleh nad bolj ali manj hrapavo podlago. Trenje zmanjšuje hitrost vetra – tik ob tleh celo na nič, poleg tega pa vpliva tudi na smer: čim močnejše je trenje, tem bolj je veter odklonjen od smeri izobar proti nizkemu tlaku: pri tleh nad morji za kakih 15° , nad bolj hrapavim kopnim pa tudi za 30° ali celo več. Veter s svojo hitrostjo prek trenja »pritiska« ob ovire na tleh, tla pa veter zavirajo. Počasneje gibajoče se plasti zaustavljajo hitreje, hitreje pa vlečejo počasnejše za seboj. Na ta način se gibalna količina z višin prenaša navzdol in jo zrak prav pri tleh prek trenja predaja trdnemu delu Zemlje. Vetrovi so torej močni v višinah, pri tleh pa hitrost zaradi trenja pojema in se po smeri spreminja. Pravimo, da je veter v »prostem ozračju« nemoten, da nanj tla ne vplivajo, čim bliže pa smo tlem, tem močnejši je vpliv trenja ob tla. Zato se torej veter pri tleh sorazmerno močno spreminja z višino: pravimo, da ima tam veter močan »vertikalni profil«. (Več o dinamiki vetrov in o vetrovnem profilu, ki je opisan v naslednjem podpoglavju, npr. v knjigi Rakovec in Vrhovec, 2007.)

1.2 Vertikalni profil vetra pri tleh

V ozračju imajo nekatere spremenljivke zelo pravilen *vertikalni profil*. Tako npr. zračni tlak ali pa gostota zraka padata z višino skoraj povsem eksponentno. Že temperatura pa je drugačna: v povprečju je z višino vse hladneje, se pa kar pogosto zgodi, da so v ozračju tudi plasti, ko z višino temperatura narašča (takim plastem rečemo plasti temperaturne inverzije). V primerjavi z vertikalnimi spremembami temperature, tlaka in gostote pa je spreminjanje vetra z višino nad tlemi še bolj zapleteno. Bolj natančen opis vetra mora vključevati tudi vpliv turbulence, to je neurejenega mešanja delov zraka, ki se pojavlja predvsem na območjih z različnimi hitrostmi. Glede na različno obravnavo turbulentnega trenja v spodnjih plasteh ozračja v stacionarnih razmerah nad homogenim terenom ponavadi ločimo štiri značilne plasti:

- 1) laminarna plast (debela nekaj milimetrov),
- 2) logaritemska plast (prizemna turbulentna plast, debela do 100 ali 150 metrov),



Slika 1.1 Vertikalni profil vetra v planetarni mejni plasti: prav pri tleh je tanka, nekaj milimetrov debela *laminarna plast*, nad njo je nad ravno in horizontalno homogeno pokrajino približno 100 do 150 m debela *logaritemska plast*, v kateri hitrost vetra z višino narašča, po smeri pa se ne spreminja, nad njo do višine kakih 1500 m pa *Ekmanova plast*, v kateri se veter še krepi in po smeri obrača proti tistemu v *prostem ozračju* – na sliki v smeri komponente vetra u .

Figure 1.1 Vertical wind profile in PBL: a thin laminar layer just over the ground, above it over homogeneous terrain is some 100 to 150 m thick logarithmic layer in which the wind velocity increases, but its direction does not change, above that up to some 1500 m is the Ekman layer in which both velocity and direction approach the wind in free atmosphere.

- 3) Ekmanova plast (planetarna mejna plast, do višine kakih 1500 m nad tlemi)

in nad njimi,

- 4) prosto ozračje – nad temi plastmi, kjer trenje ne vpliva več bistveno na veter.

Za računanje vertikalne porazdelitve hitrosti, gostote energije in moči vetra v ozračju blizu tal so zanimiva le dogajanja v logaritemski in Ekmanovi

plastí. V obeh plasteh je spreminjanje hitrosti vetra odvisno od značilnosti reliefa in podlage, vendar sta v obeh plasteh način in učinkovitost prenašanja gibalne količine navzdol odvisna tudi od stanja v ozračju. Pri tem ima bistven vpliv hidrostatična stabilnost v spodnjih plasteh ozračja (odvisna od poteka temperature z višino), pomembna pa je tudi velikost hitrosti vetra in njeno spreminjanje z višino.

Razmeroma preprosti opisi vertikalnega profila vetra veljajo za ozračje, ki je hidrostatično nevtrarno. Tedaj je zapis spreminjanja velikosti hitrosti stacionarnega vetra v v vertikalni smeri nad ravnino opisano z *logaritemskim profilom vetra*:

$$v(z) = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z - \delta}{z_0},$$

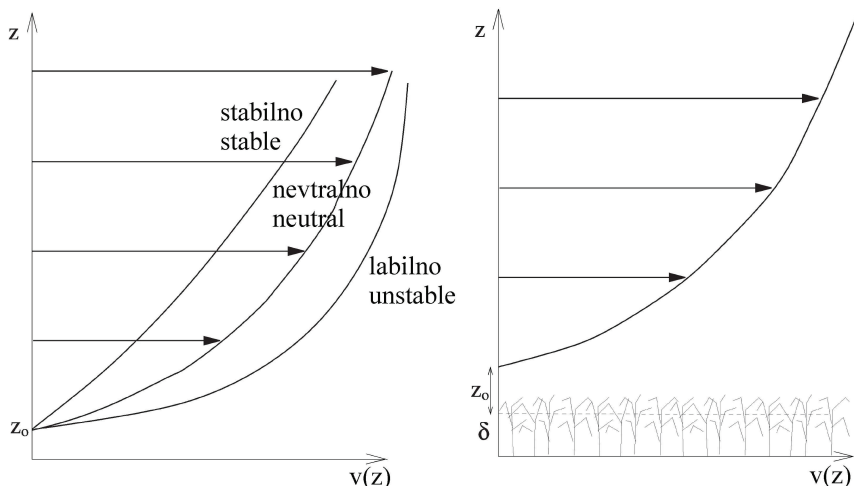
kjer je k von Kármánova konstanta (okrog 0,4), z_0 parameter hrapavosti, odvisen od hrapavosti podlage (nad peskom $z_0 \approx 1$ mm, nad pokošeno travo od 6 do 40 mm, nad visoko travo od 40 do 100 mm), δ pa višina znotraj vegetacije, kjer zrak miruje. Parameter hrapavosti in višina mirovanja sta odvisna od narave površja, sta pa seveda sezonsko spremenljiva. Faktor u_* je torna hitrost, ki opisuje bolj ali manj turbulentno naravo vetra in je definirana s korelacijo med fluktuacijami horizontalne hitrosti v'_h in fluktuacijami vertikalne hitrosti w' : $u_*^2 = -(\overline{v'_h w'})$ (negativni znak zato, ker je korelacija sama po sebi negativna). Ker jo je kar težko določiti, se uporablja (zelo približno!) tudi bolj preprosta ocena: če nimamo drugih informacij, lahko za približno oceno privzamemo, da je nad homogenim terenom u_* približno enaka 1/10 hitrosti vetra na 10 metrih nad tlemi. Logaritemski profil vetra ponavadi dobro velja nekaj deset metrov nad tlemi, v tej plasti se smer vetra skoraj nič ne spreminja z višino. V nekaterih obdelavah vetra namesto logaritemskega profila pri tleh uporabljajo potenčni profil: $v(z) = v(z_1)(\frac{z}{z_1})^a$, kjer indeks 1 označuje hitrost na referenčni višini z_1 . Eksponent a se ponavadi postavi na okrog 1/7, je pa odvisen od hrapavosti tal.

Nad logaritemsko plastjo se smer vetra začne spreminjati, tako da je na vrhu Ekmanove plasti tako po smeri kot po velikosti hitrost enaka geostrofski. Z višino se komponenti vetra $\vec{v}_h = (u, v)$ u in v spreminjata. Orientirajmo os x in s tem komponento hitrosti u v smer hitrosti (geostrofskega) vetra v višinah. Tedaj velja:

$$u(z) = v_g \left[1 - e^{-z/H_E} \cos(z/H_E) \right] \quad \text{in}$$

$$v(z) = v_g e^{-z/H} \sin(z/H_E),$$

kjer je v_g velikost hitrosti geostrofskega vetra, H_E pa višina Ekmanove plasti. Na to, kolikšna je ta višina, vpliva tudi jakost turbulence, ki jo podaja turbulenčna difuzivnost K_m . Za hidrostatično nevtrarno ozračje



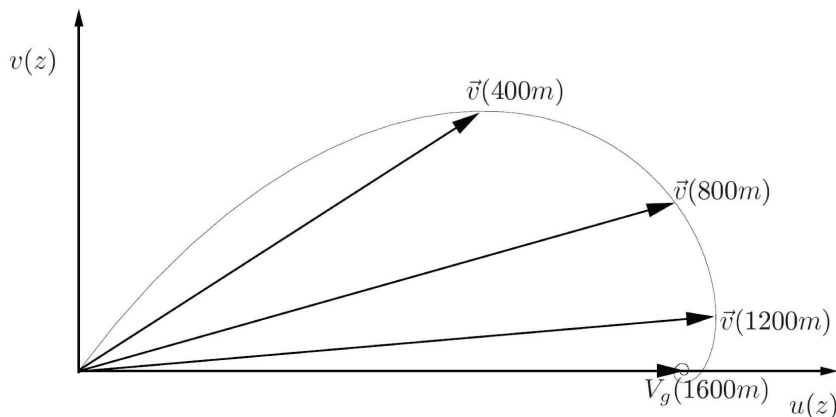
Slika 1.2 Logaritemsko naraščanje povprečne hitrosti vetra z višino – levo: za stabilno, nevtravno in labilno atmosfero. Desna slika kaže, da je nad strnjeno rastlinsko odejo nivo, kjer je povprečna hitrost nič, za δ dvignjen (po Rakovec in Vrhovec, 2007).

Figure 1.2 Logarithmic wind profile close to the ground (left panel) for stable, neutral and unstable atmosphere. The right panel shows that over a canopy the zero velocity level for δ is elevated (from Rakovec and Vrhovec, 2007).

lahko izrazimo višino H_E v odvisnosti od te difuzivnosti, in sicer kot $H_E = \sqrt{\frac{2K_m}{f}}$, kjer je f spet Coriolisov parameter; v povprečju bi bila pri nas nad ravnim in homogenim terenom ta višina okrog 1600 m (a kaj, ko je v hriboviti Sloveniji homogen teren le izjema).

Obnavna vetra v spodnjih plasteh ozračja je razmeroma preprosta le nad ravninami, kjer lahko predpostavimo, da se hitrost vetra spreminja le v vertikalni smeri. Če je relief razgiban, potem se vetrovno in temperaturno polje zelo spreminjata tudi v horizontalni smeri. To na eni strani povečuje mešanje (razen mešanja v vertikalni smeri se pojavlja mešanje tudi v horizontalni smeri), na drugi strani pa ovire povzročajo tudi povečano mešanje v vertikalni smeri in prenašanje mešajočih vrtincev v zavetrje ovir. V razgibanem reliefu je veter praviloma šibkejši kot nad ravninami. K zapletenosti vetrovnega polja v razgibanem reliefu prispeva svoje tudi nehomogeno temperaturno polje. Stabilne plasti, ki se pojavljajo v konkavnih oblikah reliefa, bistveno spremenijo razporeditev turbulenčne difuzivnosti. Svoje prispevajo tudi diabatni učinki, z neenakomernim segrevanjem in ohlajanjem različno orientiranih in nagnjenih ploskev površja reliefa. Tu igrata glavno vlogo direktno sončno obsevanje in lastno sevanje zemeljskega površja, ki s svojim bolj ali manj izrazitim dnevnim hodom povzročata nastanek lokalnih (pobočnih, dolinskih) vetrov.

V razgibanem reliefu na razporeditev hitrosti vetra poleg trenja bistveno vpliva tudi preusmerjanje zraka prek ovir in okoli njih. Masni tok vetra se mora namreč ohraniti. Ovire: gore, grebeni, doline – v odvisnosti od stabilnosti ozračja – poskrbijo, da se zračni tok odkloni: če je ozračje



Slīka 1.3 Ekmanova spirala je krivulja, ki povezuje vrhove projekcij vektorjev hitrosti vetra na razliĝnih višinah v planetarni mejni plasti, ki konvergira v vrh vektorja geostrofske hitrosti. (Na tej sliki so narisani vektorji hitrosti vetra 400, 800 in 1200 m nad tlemi – pri tleh je hitrost enaka 0, na višini 1600 m pa privzet geostrofski veter. Obliko spirale določa še vrednost $H_E = \sqrt{\frac{2K_m}{f}}$; tu je izbrana vrednost 510 m.) Koordinatni sistem je izbran tako, da je smer komponente vetra u vzporedna smeri geostrofskega vetra (iz Rakovec in Vrhovec, 2007).

Figure 1.3 Ekman wind profile – the curve connecting the projections of tips of wind vectors at different heights in PBL that converges into the tip of the vector of geostrophic wind. (Plotted are wind vectors at 400, 800 and 1200 m above ground – on the ground the velocity is 0, at a height of 1600 m is geostrophic wind is assumed. The shape of a spiral is determined by $H_E = \sqrt{\frac{2K_m}{f}}$; here chosen as 510 m.) The coordinate system is oriented so that u component of the wind is parallel to geostrophic wind (from Rakovec and Vrhovec, 2007).

bolj labilno, teĝe veĝ toka prek ovir, ĝe je ozraĝje bolj stabilno, pa se veĝ zraka zliva skozi odprtine v reliefu in okoli ovir. Ob dviganju pri ovirah prihaja tudi do termodinamiĝnih procesov, vkljuĝno z nastankom oblakov in padavin. Ker so ovire tridimenzionalne, ima obtekanje in pretakanje prek ovir pomemben vpliv na tridimenzionalno strukturo notranjega trenja in turbulence. Zaradi mogoĝih pozitivnih ali negativnih povratnih povezav so vetrovne razmere v razliĝno stabilnih tokovih, ki se pretakajo prek gorskih ovir, lahko zelo raznolike. Za obravnavo vetrov v razgibanem reliefu pogosto zadošĝa obravnavo vetra s pomoĝjo hidrostaticnega pribliŝka, vĝasih pa ta obravnavna ni zadostna. V takem primeru je treba uporabiti primeren meteoroloŝki model – eden takih je npr. kinematiĝni masno konsistentni model (po Sasakiju, 1958), ali pa kak model za dinamiĝno adaptacijo polja vetra (npr. Źagar in Rakovec, 1999) – o obojih veĝ v pod poglavju 1.4.

Pri obravnavi hitrosti vetra v razgibanem reliefu se takoj zastavi vprašanje, v kakšni prostorski skali (loĝljivosti) Źelimo poznati polje vetra. Zavedati se moramo namreĝ, da je vetrovno polje v osnovi kaotiĝno in da nanj vplivajo ovire vseh velikosti: od posameznih gorskih skupin (velikost okoli 10^5 m) do posameznih dreves ali vej (velikost 10 do 1 m). Ovire,

ki prek trenja in turbulence vplivajo na vetrovno polje, imajo kar za šest velikostnih redov različne dimenzije, zato je dobiti opis, ki bi veljal za vse skale naenkrat, brezupno. Četudi se odločimo, da bi veter preučevali v ločljivosti, ki je nekje na sredini (npr. 10^3 m), se moramo zavedati, da ovire manjših dimenzij bistveno vplivajo na veter. To tudi pomeni, da analiza in predstavitev vetra v izbrani, npr. kilometerski skali ne pove nič o tem, kakšne so vetrovne razmere v manjši, npr. 10-metrski skali.

Časovni interval, v katerem želimo poznati vetrovno polje, je pomemben, saj se smer in hitrost vetra tudi časovno izrazito spreminjata. Tako kot se dogajajo spremembe vetra v različnih prostorskih ločljivostih, se v ozračju sočasno dogajajo tudi različno dolgoživi procesi. Nekateri so periodični (npr. dnevni hodi), drugi so vezani na večje prostorske skale (npr. prehodi sinoptičnih vremenskih tvorb), tretji so razmeroma stacionarni (zavetrni vrtinci, hidravlični skoki), četrti pa so povsem slučajni. Časovni interval vzorčenja (urnik meritev ali analiz) lahko bistveno prispeva k oceni vetrovnosti.

1.3 Energija in moč vetra

Kinetična energija vetra v nekem časovnem obdobju oz. moč vetra v izbranem trenutku ali pa povprečna moč prek nekega časovnega intervala sta odvisni od druge oz. tretje potence hitrosti vetra. Kinetična energija gibajočega se zraka je sorazmerna njegovi masi in kvadratu njegove hitrosti:

$$W_k = \frac{mv^2}{2},$$

kjer je W_k kinetična energija vetra, m masa gibajočega se zraka in v hitrost zraka. Na enoto prostornine v ozračju je ta energija sorazmerna gostoti zraka in kvadratu njegove hitrosti:

$$\frac{W_k}{V} = \frac{\rho v^2}{2},$$

kjer sta V prostornina gibajočega se zraka in ρ njegova gostota. Največja moč, ki jo lahko prestreže vetrnica, ki pri vrtenju zajema ploskev S , je odvisna od prostornine zraka, ki v časovnem intervalu, enoti dt , steče skozi ta presek. Ta prostornina je tem večja, čim večja je hitrost vetra:

$$\frac{dV}{dt} = vS.$$

Od tod dobimo za moč vetra, ki s hitrostjo v teče skozi ploskev S :

$$P = \frac{S\rho v^3}{2},$$

oziroma za ploskovno gostoto moči naslednji izraz:

$$\frac{P}{S} = \frac{\rho v^3}{2},$$

kjer sta P moč vetra in P/S ploskovna gostota moči vetra. Za povprečno ploskovno gostoto moči (izražamo jo v W/m^2) nadomestimo tretjo potenco hitrosti v zgornji enačbi s povprečno tretjo potenco hitrosti \bar{v}^3 :

$$\frac{\bar{P}}{S} = \frac{\bar{\rho v^3}}{2}.$$

Kako pa povprečimo spremenljivo vrednost ali njeno drugo ali tretjo potenco? Ena možnost je, da vse vrednosti, ki so bile izmerjene v enakomernih časovnih intervalih, ali pa njene potence seštevamo in jih potem delimo s številom izmerkov. Lahko pa izračunamo frekvenčno porazdelitev pojavljanja posameznih razredov hitrosti $\mathcal{P}(v)$ in iz te določimo prvi, drugi ali tretji moment po tej porazdelitvi:

$$\bar{v} = \int_0^{\infty} v \mathcal{P}(v) dv, \quad \bar{v^2} = \int_0^{\infty} v^2 \mathcal{P}(v) dv, \quad \bar{v^3} = \int_0^{\infty} v^3 \mathcal{P}(v) dv.$$

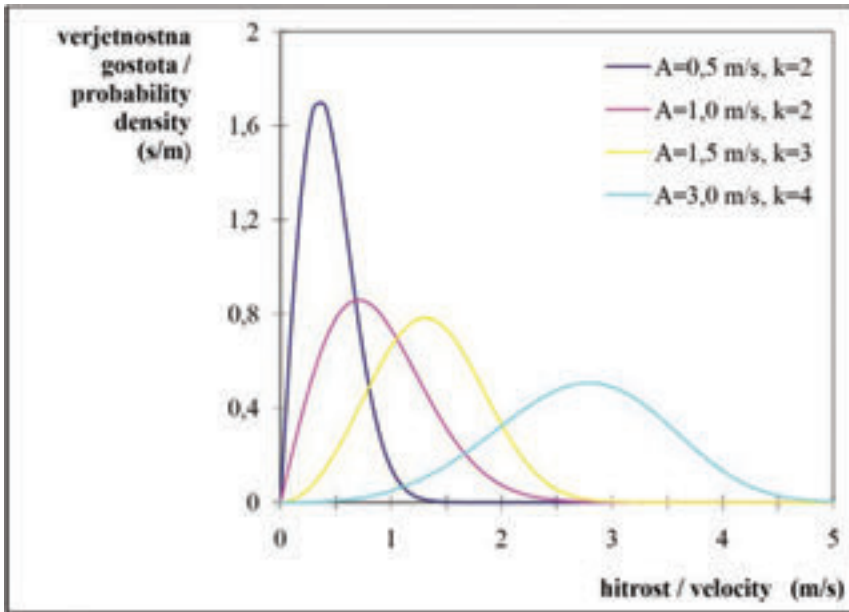
Porazdelitev pojavljanja različnih hitrosti vetra pri tleh v naravi je blizu Weibullovi porazdelitvi (Weibull, 1951):

$$\mathcal{P}(v) = \frac{k}{A} \left(\frac{v}{A} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{A}\right)^k}.$$

Parameter A definira skalo, parameter k pa obliko porazdelitve – nekaj primerov kaže slika 1.4. Ko poznamo Weibullova parametra A in k , lahko določimo povprečno hitrost \bar{v} , povprečno ploskovno gostoto kinetične energije $\frac{\bar{W}_k}{S}$ in povprečno ploskovno gostoto moči $\frac{\bar{P}}{S}$ s pomočjo prvega, drugega in tretjega momenta porazdelitve (Γ je funkcija gama):

$$\begin{aligned} \bar{v} &= A \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right), \\ \frac{\bar{W}_k}{S} &= \frac{1}{2} \rho A^2 \Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right), \\ \frac{\bar{P}}{S} &= \frac{1}{2} \rho A^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right). \end{aligned}$$

Vse moči pa seveda ni mogoče izrabiti. Omejena je z Betzovo vrednostjo 0,593 (Betz, 1926, glej tudi npr. Poje, 1988). Razlog je ta, da se za vetrnico veter ne sme toliko zaustavljati, da bi se tam zrak kopičil. Če bi se zgodilo to, bi namreč povečan tlak v zavetrju vetrnice veter zaustavil. Tudi pri



Slika 1.4 Oblika Weibullove porazdelitve po hitrosti v (v m/s) za različne vrednosti parametrov A in k .

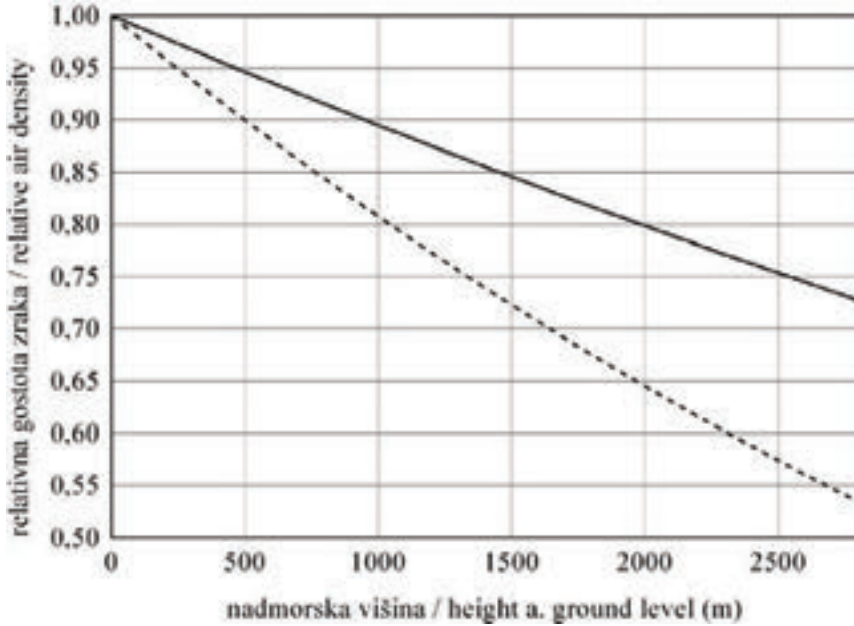
Figure 1.4 Different dependences of the Weibull distribution on velocity v (in m/s) for different values of parameters A and k .

idealni vetrnici torej lahko zajamemo le malce manj kot 60 % energije vetra. Pri realnih vetrnicah je ta vrednost še manjša (med 17 % in 60 %).

Drugo ali tretjo potenco hitrosti vetra ($v^2/2$, ali $v^3/2$) moramo pomnožiti z gostoto zraka ρ , če želimo izračunati gostoto kinetične energije vetra ali pa gostoto moči vetra. Z višino nad tlemi pa spreminja – zmanjšuje – tudi gostota zraka. Njena vrednost je na nadmorski višini 2000 m le še okrog 75 % vrednosti ob morskem nivoju. Gostota se z višino hitreje zmanjšuje v mrzlem (in zato gostejšem) zraku in počasneje v vročem (in zato redkejšem) zraku. Zato potek gostote z višino $\rho(z)$ opišemo tako, da vključimo tudi vpliv temperature. V povprečju v prostem ozračju temperatura z višino linearno pada (v troposferi, do 10 km visoko) z vertikalnim temperaturnim gradientom $-6,5$ K/km. Pri poteku temperature so v konkretnih dneh lahko precejšnja odstopanja od povprečja, saj pogosto izmerimo v posameznih plasteh ozračja tudi npr. naraščanje temperature z višino (temperaturna inverzija). Za izotermno plast ozračja s temperaturo T_1 velja, da se njena gostota spreminja kot:

$$\rho(z) = \rho_1 e^{-\frac{g(z-z_1)}{RT_1}},$$

kjer je z_1 nadmorska višina spodnje meje plasti, ρ_1 pa gostota zraka na tej višini, T_1 (konstantna) temperatura zraka v tej plasti, R pa specifična plinska konstanta za zrak (287 J/kgK).



Slika 1.5 Razmerje med gostoto zraka ρ na določeni nadmorski višini in gostoto na nadmorski višini 0 m v odvisnosti od nadmorske višine. Polna črta velja za temperaturo zraka na gladini morja $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, črtkana pa za $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figure 1.5 Air density ρ , relative to the density at sea level, as a function of height. Full line for air temperature at sea level $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, and dashed for $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Za plasti, kjer se temperatura spreminja linearno z višino (spremembo temperature z višino označuje $\frac{\partial T}{\partial z}$), velja za gostoto nekoliko drugačna enačba:

$$\rho(z) = \rho_1 \left[1 + \frac{\partial T}{\partial z} \frac{(z - z_1)}{T_1} \right]^{-1 + \frac{g}{R \frac{\partial T}{\partial z}}}$$

Večinoma želimo izračunati gostoto energije ali moči za plasti ozračja, ki so blizu tal. Kot se vidi na sliki 1.5, znaša največja razlika gostote zraka zaradi sprememb temperature celo na višini Triglava le kakih 15%. Pri manjših nadmorskih višinah so te razlike še manjše. Zaradi tega je pri naši natančnosti popolnoma dovolj, da moč vetra računamo za cel mesec z isto vrednostjo gostote zraka (seveda odvisno od nadmorske višine).

1.4 Osnove za modeliranje polja vetra

Dinamični meteorološki modeli, ki se v današnjem času v meteoroloških službah uporabljajo za kratkoročno napovedovanje vremena, lahko služijo tudi za klimatološke študije, kakršna je ocena potenciala vetra. Razlika

je v bistvu le v dolžini izračuna: pri napovedovanju vremena se numerični izračuni vršijo za obdobje nekaj dni, za potrebe klimatoloških študij dlje – več let ali desetletij. Osnovni vir podatkov pri tem pristopu so dolgodobni podatki o vetru v ozračju nad Evropo v grobi prostorski ločljivosti. Taki podatki so bili izračunani v t. i. reanalizah vremena, ki sta jih neodvisno opravili tako ameriška NOAA kot tudi Evropski center za srednjeročno prognozo vremena – ECMWF. Renalize tega centra zajemajo 40 let in prostorska ločljivost nad Evropo je okrog 120 km (ECMWF, 2008). Ker je taka ločljivost za naš namen seveda pregraba, te podatke uporabimo kot robne pogoje za novo modelsko računanje z modelom Aladin (ALADIN, npr. 2007) nad omejenim območjem, ki zajema Slovenijo – z ločljivostjo 30 km. Tudi to je še pregraba, zato v te rezultate vgnezdimo še eno računanje z Aladinom – tokrat z ločljivostjo okrog 10 km.

Ker težimo k horizontalni ločljivosti reda velikosti enega kilometra, na teh rezultatih uporabimo ali še t. i. masno konsistentni model ali pa t. i. dinamično adaptacijo vetrovnega polja.

Masno konsistentni modeli so kinematični modeli, ki s pomočjo variacijskega pristopa (Sasaki, 1971) prilagajajo 3D polje vetra reliefnim oblikam (npr. »novim« hribom in dolinam, ki se »pojavijo«, ko v obravnavo vpeljemo boljšo prostorsko ločljivost). To naredijo na način, da se izračunano polje vetra čim bolj prilaga izmerjenim vrednostim (ali pa kakim drugim »znanim« vrednostim, v našem primeru rezultatom, ki jih dobimo z modelom Aladin), **obenem** pa to polje zadosti tudi kakemu fizikalno utemeljenemu pogoju – v primeru vetra je to pogoj o tridimenzionalno brezdivergentnem toku zraka. Pri nas imam že kar dolgo tradicijo uporabe masno konsistentnih modelov (npr. Rakovec, 1986, Vrhovec, 1991, Rakovec in Pristov, 1994, Rakovec in Gregorič, 2000). Eden od masno konsistentnih modelov je tudi AIOLOS (Lalas, 1996), ki ga uporabljamo tokrat. Bil je razvit iz znanega, pogosto uporabljenega modela NOABL. Uporaba je priporočljiva na območjih, kjer piha zmeren ali močan veter in kjer je relief zmerno zapleten – torej tam, kjer predstavlja topografsko siljenje toka zraka edini res pomemben odklon od konstantne splošne smeri toka zraka. Za ta model veljajo približno enake omejitve kot za dinamično adaptacijo: omejena je možnost simuliranja termično pogojenih vetrov in pospeševanja in sunkovitosti burje. V model vstavimo polje numeričnih vrednosti višine reliefa v pravilni mreži in (opcijsko) pokrovnost tal. S pokrovnostjo tal je definiran tudi parameter hrapavosti z_0 , stabilnostni parameter α ter debelina planetarne mejne plasti H_E (oz. višina mešanja). Začetno polje vetra je lahko zelo poenostavljeno: nad višino H_E povsod enak veter, pod to višino pa je treba polje hitrost parametrizirati z uporabo profila vetra $v(z)$.

Tako lahko na rezultatih z ločljivostjo nekaj km uporabimo še masno konsistentni model (Lalas, 1996, po ideji Sasaki, 1971) za prilagoditev vetra digitalnemu modelu reliefa s prostorsko resolucijo 1 km. Kot rečeno: ideja takih modelov je, da z variacijskih pristopom iščemo 3D polje vetra $\vec{v}(x, y, z)$, ki naj se čim bolj približa merjenim ali kako drugače opredeljenim vrednostim $\vec{v}_0(x, y, z)$ in hkrati čim bolj zadosti pogoju o nestisljivem

gibanju zraka prek reliefnih ovir z zahtevo, da mora biti divergenca blizu nič: $\nabla \cdot \vec{v} = 0$. To dosežemo tako, da v vsem prostoru ozračja V nad celotnim območjem modeliranja minimiziramo funkcional J , ki vsebuje tako razlike $\vec{v}(x, y, z) - \vec{v}_0(x, y, z)$ kot tudi divergenco hitrosti $\nabla \cdot \vec{v}$:

$$\min J = \min \int_V \left\{ \alpha [\vec{v}(x, y, z) - \vec{v}_0(x, y, z)] + \lambda \nabla \cdot \vec{v} \right\} dV.$$

Koeficiente α lahko izberemo različne – tudi za vsako komponento vetra posebej, ponavadi pa se izbere eno vrednost za obe horizontalni komponenti in drugo za vertikalno komponento. Iz pogojev za minimum funkcionala J dobimo enačbo Poissonovega tipa za λ , ki jo ob robnih pogojih, da veter ne more pihati »v hrib« ali »v tla«, lahko rešimo numerično, npr. z iterativnim postopkom relaksacije; npr. v modelu Aiolos/NOABL je uporabljena metoda simultane prerelaksacije (SOR).

Dinamična adaptacija (Žagar in Rakovec, 1999) pa je računski simulacija z meteorološkim modelom, ki se vrši le v krajšem časovnem intervalu ob izbranem terminu, odpovemo pa se lahko modelski simulaciji nekaterih procesov v ozračju, ki na prilagoditev polja vetra ne vplivajo v dovolj veliki meri (npr. padavinskim procesom). Kljub večjemu številu računskih točk (zaradi večje prostorske ločljivosti) se tovrstna simulacija lahko izvede relativno hitro. V našem primeru je bila uporabljena razdalja med računskimi točkami 2,5 km (lahko pa bi šli tudi do ločljivosti 1 km), računsko območje pa je pokrilo Slovenijo in njeno bližnjo okolico. Tak model v primeru, da pri računanju »izključimo« termične vplive, torej ne more simulirati npr. pobočnih ali obalnih termičnih vetrov. Prav tako ne more zadovoljivo simulirati sunkovitosti in pospeševanja burje po pobočjih navzdol – torej bo ob burji morda lahko dal približno zadovoljive rezultate na grebenih alpsko-dinarske gorske pregrade, nikakor pa ne npr. v Vipavski dolini.

Ker je spodnja plast zraka v modelih, kljub temu da imajo modeli prav tam največjo vertikalno ločljivost, vseeno premalo natančno simulirana, da bi kar z interpolacijo med modelskimi nivoji dobili podroben vertikalni profil vetra skozi npr. spodnjih 50 ali 60 m nad tlemi, je še vedno potrebna kaka parametrizacija za določitev tega profila. Ker to predpostavlja neki profil v analitični obliki (npr. logaritemski ali potenčni profil), je treba na neki način določiti vsaj vrednost torne hitrosti u_* in parametra hrapavosti z_0 . Izbrana parametrizacija, ki sledi t. i. Rossbyjevi podobnosti (npr. Tennekes, 1973) iz geostrofske hitrosti v_g v višinah približno ocenjuje torno hitrost:

$$u_* = \frac{1}{2} \frac{v_g}{\ln \frac{v_g}{f z_0}},$$

kjer je v_g geostrofska hitrost vetra, f pa Coriolisov parameter. (Če bi uporabili kar preprosto enačbo, ki predvideva logaritemski profil vetra prav do višine H_E – do vrha plasti mešanja, bi dobili $u_* = kv_g / \ln \frac{H_E}{z_0}$, kar pa bi bilo manj zanesljivo.) Parameter hrapavosti z_0 pa ocenimo npr. za karte

rabe tal, vegetacijske karte, iz orografije v dobri prostorski ločljivosti ali pa s kombinacijo takih podatkov.

Hitrost zvezno prehaja (npr. Hess, 1973) od bolj ali manj geostrofskega vetra \vec{v}_g v prostem ozračju npr. na vrhu Ekmanove plasti H_E (oz. na »višini mešanja«), kjer nanj vplivata relief in trenje, prek Ekmanovega profila in prek logaritemskega profila v vse šibkejši veter pri tleh in do povprečne hitrosti nič na višini parametra hrupavosti z_0 . Veter je pri tleh odklonjen v levo (na severni polobli, na južni pa v desno) glede na geostrofsko hitrost v višinah. Ta zvezni prehod lahko opišemo z bolj ali manj zapletenimi funkcijskimi zvezami, tako za kot odklona pri tleh β , kot za velikost hitrosti $v(z)$ na višini z nad tlemi – npr. z uporabo polinoma 3. stopnje in z bolj ali manj empirično določenimi konstantami $A = 4,5$ in $B = 1,8$, $C = 3$ in $D = 4$:

$$\beta = \operatorname{arctg} \left(\frac{A}{\frac{\ln u_*}{f z_0} - B} \right)$$

$$v(z) = u_* \ln \frac{z}{z_0} + \left(v_g - \frac{u_*}{k} \ln \frac{H_E}{z_0} \right) \left[C \left(\frac{z}{H_E} \right)^3 - D \left(\frac{z}{H_E} \right)^2 \right].$$

2 ZNAČILNOSTI VETROV NAD SLOVENIJO

2.1 Splošni vetrovi

Vetrovne razmere v Sloveniji določata predvsem njena geografska lega v zmernih geografskih širinah severne poloble, lega na jugovzhodni strani Alp, ob robu Panonske nižine in bližina Sredozemskega morja. Nad zmernimi geografskimi širinami in nad Evropo v višinah na splošno prevladujejo valujoči zahodni vetrovi. Od splošne zahodne smeri se tok odklanja proti severu in jugu, občasno pa se odcepijo veliki zaključeni zračni vrtinci. Ti so pogostejši v spodnjih plasteh atmosfere in jih poznamo kot ciklone in anticiklone. Hitrosti vetra so večje, kadar je nad Evropo dolina v valu, in manjše, kadar je nad njo greben vala. V središčnem delu grebena oziroma anticiklona so vetrovi šibki, najmočnejši pa so v območjih največjega gradienta geopotenciala, kjer se pojavljajo tudi vremenske fronte. Cona najmočnejšega vetra – vetrovni stržen na višinah nad 5000 metri – valovi skupaj s celotnim tokom. Obsežni grebeni in z njimi povezani subtropski anticikloni so razmeroma stacionarne tvorbe z dolgo življenjsko dobo, lahko celo nekaj tednov. Nad južni del srednje Evrope se razširijo iznad Sredozemlja, severne Afrike ali subtropskega Atlantika (azorski anticiklon). Ko so nad južno Evropo subtropski anticikloni, so vetrovi šibki. Na severnem, vzhodnem in zahodnem robu subtropskih anticiklonov so vetrovi močnejši kot v središčih teh tvorb.

Vsi močnejši vetrovi so v Sloveniji povezani s cikloni oziroma z dolinami v valujočem zahodnem toku, najmočnejši pa so povezani s prehodi front in sredozemskimi cikloni. Obdobja intenzivnih vremenskih procesov in močnih vetrov so časovno razmeroma kratka, okoli ene tretjine časa. Obdobja anticiklonalnega vremena so dolgotrajnejša od obdobja ciklonalnega vremena, njihove razporeditve in trajanja so odvisna od značilnosti (predvsem valovne dolžine in amplitude) valovanja višinskih tokov. Zelo pogosto je poletno trajno anticiklonalno vreme, podobno je tudi konec zime in v začetku pomladi. Glede na razmere drugod po Evropi (Troen, Petersen 1989) so vetrovi v Sloveniji večinoma šibki, kadar pa so močni, so časovno in prostorsko omejeni.

Na vetrovne razmere v Sloveniji bistveno vplivajo Alpe. Glede na Alpe je Slovenija v njihovem zavetrju, kadar piha zahodni, severozahodni ali severni vetrovi. V takšnih situacijah (ki so zelo pogoste) so spodnje plasti ozračja nad Slovenijo (do višine okoli 3000 m) v zavetrnem zatišju in vetrovi

so tedaj nad Slovenijo precej šibkejši kot na drugi strani Alp, na primer na Bavarskem. Kadar piha južni, jugovzhodni ali vzhodni vetrovi, Slovenija ni v zavetrju Alp. Res pa je, da so splošni vetrovi iz vzhodnih kvadrantov redkejši od vetrov iz zahodnih.

Ob prodoru front do Alp se ob njih predvsem v hladnejši polovici leta pogosto formira sredozemski ciklon. To je območje nizkega zračnega tlaka, ki z izrazitim gradientom zračnega tlaka povzroči močne vetrove. Dokler se sredozemski ciklon zadržuje ob zahodnih Alpah in nad severno Italijo, pri nas prevladujejo jugozahodni vetrovi. Ko se ciklon prek nas pomakne nad Balkan, se pojavijo močni vetrovi iz vzhodnih smeri. Sredozemski ciklon je hkrati območje intenzivnih padavin.

2.2 Regionalni vetrovi

Regionalni vetrovi v Sloveniji (območje njihovega pojavljanja je veliko okoli 100 km) so odraz splošnih vetrov in učinkovanja alpske in dinarske gorske pregrade. Pri tleh so opaženi trije izrazitejši vetrovni režimi: jugo, burja in karavanški fen.

Jugo se pojavlja kot močan veter iz jugozahodne do jugovzhodne smeri pred preходом hladne fronte sredozemskega ciklona. Zaradi velikega gradienta v vzhodno-zahodni smeri se topel in vlažen zrak iznad Jadrana hitro pomika proti severu. Hitrosti tega vetra pri tleh so do 15 m/s (54 km/h), izjemoma do 25 m/s (90 km/h). Ko jugo piha nad morjem, poganja proti Tržaškemu zalivu močan vetrni morski tok in valove. Jugo se kot veter pojavlja skoraj izključno v obalnem pasu in ne seže v notranjost dlje kot do kraškega roba. Veter je posebno izrazit ob strmih klifnatih obalah, saj se tam še dodatno kanalizira.

Ko nad morjem in ob obali piha jugo, je tudi v notranjosti Slovenije vetrovno, vendar je prizemni veter nad kopnim zaradi večje hrapavosti šibkejši. Največje hitrosti doseže na grebenih, ki ležijo pravokotno na južno in jugozahodno smer. V primeru stabilne stratifikacije ozračja se jugozahodni veter še posebej okrepi na sedlih in drugih vrzelih v teh grebenih. Ob tem v notranjosti Slovenije ob gorskih pregradah prihaja do prisilnega dviganja zraka, s tem povezanih padavin (tudi neviht), pozimi pa se ob tem pojavlja tudi žled. Ob jugu se pozimi pogosto pojavljajo tudi odjuge, veter se pri pretakanju prek gorskih pregrad fenizira (osuši in segreje). Trajanje juga je omejeno s premikanjem sredozemskega ciklona in večinoma ni daljše od dveh dni. Na leto je takšnih situacij okoli 20. Ko nad Sredozemljem in Slovenijo piha jug do jugozahodnik, se na severni strani Alp (Bavarska, Salzburška) pojavi izraziti, topli, južni fen.

Burja je najizrazitejši in najmočnejši veter na Slovenskem. Po prehodu hladne fronte sredozemskega ciklona se okoli vzhodnega roba Alp nad osrednjo Slovenijo zgrne hladen zrak. Ta se po dvigu prek dinarskih gorskih planot (Trnovski gozd, Nanos, Javorniki, Snežnik, Kras) po njihovih zahodnih in južnih pobočjih pospešujoče se spušča proti Sredozemlju. Burja se začne nenadoma s prvimi sunki (Petkovšek 1987, Pristov 1989, Petkovšek

1991) in nasploh je burja sunkovit veter. Njena hitrost se v kratkem času lahko poveča ali zmanjša za desetkrat. Burja je veter iz severovzhodne (vzhodne, severne) smeri in je v zahodnem delu Slovenije (Primorska, Obala in Notranjska) reden pojav (nekaj deset dni na leto); občasno je burja zelo močna. Burja je tako pogost veter, da se kaže tudi v klimatskih prikazih, učinke burje lahko ugotavljamo tudi na podlagi trajnih deformacij drevja. Že normalne burje (povprečne hitrosti do 10 m/s (36 km/h), sunki nekajkrat močnejši) ovirajo promet (zapiranje cestnih odsekov za tovornjake, upočasnjena vožnja).

Izjemno močna burja se pojavlja redko (enkrat do dvakrat na leto, skupno okoli 100 ur, Petkovšek in Paradiž 1976), in to tedaj, ko je med zrakom nad kontinentom in zrakom nad Sredozemljem velika temperaturna razlika (10 K in več), hkrati pa burjo vzdržuje tudi močan gradient zračnega tlaka (Petkovšek in Paradiž 1976). Takrat hitrosti burje v sunkih presežejo 40 m/s (150 km/h). Takšna burja na Vipavskem lomi drevje, odkriva strehe in onemogoča promet. Močna burja je regionalen pojav, ki pa je najbolj izrazit na pobočjih in tik pod njimi ter tam, kjer se vetrovi stekajo in pospešujejo. Znana območja močne burje so vzdolž roba Trnovskega gozda in Nanosa (posebno izrazito še na sedlih Predmeja, Col in Razdrto), v Vipavski dolini (na njenih severnih pobočjih in pod njimi), izrazito najmočnejša od Rebernic do Vipave; na Krasu (od Razdrtega proti Vremščiči in naprej proti Sežani) in na Kraškem robu (Črni kal). Po notranjskih planotah in dolinah (Bloke, Postojna, Ilirskobistriška dolina, Javorniki, Brkini) ob takšnem vremenu piha močan severovzhodnik, ki pa ni tako sunkovit kot burja na Primorskem. Burja piha tudi na Goriškem in v Slovenskem primorju, vendar je tam manj močna. Burja ponavadi piha v stabilnem ozračju (hladen zrak se vriva pod toplega), tako da so lokalno hitrosti burje lahko močno povečane zaradi stekanja vetrov med reliefnimi oblikami, hkrati pa so znane zatišne zavetrne lege, kjer so večinoma postavljena naselja.

Ob burji ponavadi tudi v notranjosti Slovenije pihajo severni do vzhodni vetrovi. Ti so tedaj posebej izraziti nad ravninskim svetom vzhodne Slovenije, okrepljeni pa so tudi nad nedinarskimi grebeni, ki ležijo pravokotno na smer vetra. Zaradi stekanja stabilnih zračnih mas prihaja do lokalnih okrepitev tega vetra.

Pogostost burje je podobna pogostosti juga, saj sta oba regionalna vetrova povezana z istim sinoptičnim procesom – s sredozemskim ciklonom.

Karavanski fen je v primerjavi z burjo precej redkejši pojav, zgodi se morda enkrat ali dvakrat na leto, večinoma v hladni polovici leta, izrazito vetrovno neurje te vrste pa le vsakih nekaj let. Za nastanek karavanskega fena se mora sredozemski ciklon umakniti nad vzhodno Evropo in ne nad Balkan, kakor je običajno pri burji. Močen severni veter zajame južna pobočja Karavank in Kamniško-Savinjskih Alp ter doline pod njimi. Veter je enakomeren, razmeroma topel in suh. Tako kot burja je tudi karavanski fen padajoč veter. Največje hitrosti se pojavijo v dolinah, ki so pravokotne na greben Karavank, saj tam prihaja tudi do stekanja (Mošenik in Tržiška Bistrica, Kokra, Kamniška Bistrica). Karavanski fen seže tudi v Julijske

Alpe in Ljubljansko kotlino. Za grebeni in na južnih pobočjih se ob severno-fenski vetrovni situaciji pogosto pojavljajo izraziti vetrovni vrtinci (rotorji), zaradi katerih se v gorah hitrosti vetra še dodatno stopnjujejo. Ker ta veter ni tako pogost kot burja, je škoda, ki jo povzroči na zgradbah in v gozdu precejšnja, saj infrastruktura, objekti in narava niso prilagojeni na velike hitrosti vetra, kot je to na Primorskem, kjer je burja rednejši pojav.

2.3 Lokalni vetrovi

Lokalni vplivi na vetrovne razmere so mnogoteri. Na eni strani gre za lokalne modifikacije splošnih in regionalnih vetrov (lokalna zatišja, stekanja, lokalne spremembe razgibanosti, poraščenosti, pozidanosti in hrapavosti terena), na drugi strani pa se pojavljajo vetrovi, ki so povzročeni zaradi lokalnih dejavnikov. Lokalno povzročeni vetrovi se lahko uveljavijo le tedaj, kadar so splošni in regionalni vetrovi šibki, saj drugače splošnejši vetrovi zabrišejo lokalne razlike, ki poganjajo lokalne vetrove. V veliki meri so lokalni vetrovi posledica razlik v segrevanju in ohlajanju posameznih delov zemeljskega površja, posebej pa obravnavamo vetrove ob konvektivnih padavinah.

Termično pogojeni lokalni vetrovi imajo izrazit dnevni hod in se pojavljajo ob jasnem vremenu. Ob obali tako piha podnevi veter z morja nad kopno (maestral), ponoči pa veter s kopnega nad morje (burin). Oba vetrova sta razmeroma hladna (bolje rečeno sveža). Posebej burin predstavlja hidrostatično stabilen tok in se kot tak steka po dolinah. V gorskem svetu se v dnevnem ciklu ob jasnem vremenu menjavajo pobočni vetrovi čez dan navzgor in ponoči navzdol po pobočjih. Tudi tu so nočni pobočni vetrovi izrazitejši, saj so hladni in spet prihaja do stekanja. Posebno izraziti so ti vetrovi na iztokih z visoko ležečih planot. Nočni pobočni vetrovi so izrazitejši v zimskem času (ko so dolge jasne noči), dnevni vzgorniki pa poleti, ko je sonce najmočnejše. Plast pobočnih vetrov je debela le nekaj deset metrov. Zaradi pobočnih vetrov se v dolinah pod gorami vzpostavijo dolinski vetrovi. Podnevi veter piha po dolini navzgor, ponoči pa navzdol. Čim daljša je dolina in čim več gorskega sveta je nad njo, močnejši bodo dolinski vetrovi. Dolinski vetrovi se okrepijo v zožitvah in ob ovinkih doline. Intenziteta dolinskih vetrov je odvisna od intenzitete pobočnih vetrov v dnevnem in letnem ciklu. Dnevni pobočni in dolinski vetrovi so v vlažnem in nestabilnem ozračju povezani tudi s konvektivno pogojenimi lokalnimi vetrovi.

Konvektivno pogojeni lokalni vetrovi so posledica stekanja, dviganja in raztekanja zraka ob oblakih vertikalnega razvoja, plohah in nevihtah. Čim bolj je nevihta intenzivna, močnejši so ti vetrovi. Včasih so povezani s pobočnimi in dolinskimi vetrovi, saj se konvektivni oblaki pogosteje razvijejo nad prisojnimi pobočji. V nevihtnem oblaku se zrak dviga, to pa zahteva stekanje vetrov proti bazi oblaka v nižjih plasteh ozračja. Ob nastanku in padanju padavin v konvektivnem oblaku se zrak tam ohladi in zaradi negativnega vzgona pada proti tlom, kjer se nato spremeni v hladen

nevihtni piš in se razteče pod bazo oblaka. Pri dolgotrajnejših nevihtah sta coni stekanja in nevihtnega piša med seboj ločeni, saj drugače nevihta zaduši sama sebe.

Nevihtni piši se pojavljajo ob nevihtah pravzaprav po vsem območju Slovenije. Nevihte so v Sloveniji pogoste predvsem v spomladanskem in zgodnjepoletnem času. Zelo močne nevihte (supercelične) so redke, a z njimi so združeni najmočnejši nevihtni viharji (piši). Hitrosti vetra lahko dosežejo 100 km/h, veter pa piha na razmeroma majhnem območju vzdolž poti nevihte in malo časa. Ob izrazitih nevihtah se pri nas pojavi redko (npr. Trontelj in Zupančič, 1987) tudi vrtinčast vihar (ob tornadu oz. trombi), v katerem so hitrosti še dva- do trikrat večje, temu primerno je večja tudi škoda. Nevihtni piši lomijo veje in debla in ruvajo drevesa, lomijo poljščine (koruza, hmelj) in odkrivajo strehe.

2.4 Meritve vetra v Sloveniji

V petnajstletnem obdobju od začetka 1990 do konca 2004 je v Sloveniji delovalo 43 meteoroloških postaj z registriranimi (večinoma elektronskimi) anemometri. 10 postaj je delovalo le nekaj časa v tem intervalu. V letu 2004 je delovalo 32 takšnih postaj. Med postajami, ki delujejo do leta 2004, je 14 takšnih, ki imajo 10- ali večletni niz meritev, naslednjih 12 je takšnih, ki delujejo še danes, in imajo 5- do 10-letni kontinuirani niz. Skupaj je postaj z nizi, daljšimi od 5 let, le 26. Večina postaj ima podatke arhivirane v polurnih intervalih (povprečna vektorska hitrost), na večini postaj je hitrost vetra merjena 10 metrov nad tlemi. (Med delujočimi postajami sta izjemi Ljubljana 22 m in Kredarica 6 m). Na postaji Lesce je veter merjen z dvema anemometroma. Večina meteoroloških postaj z meritvami vetra je v kotlinah in dolinah in nekatere v ravninah. Med postajami z več kot desetletnim nizom (preglednica 2.1) makrolokacijsko izstopata postaji Kredarica (gorska postaja) in Postojna (postaja na sedlu). Med postajami s 5- do 10-letnim nizom (preglednica 2.2) pa sta dve postaji vrh gore (Rogla, Lisca), ena na visoki gorski planoti (Rudno polje), ena pa je gorska pobočna postaja (Krvavec). Dve postaji od teh sta v hribovitem reliefu (Vnajnarje in Iskrba). Tako kot pri drugih meteoroloških meritvah lahko tudi pri meritvah vetra ugotovimo, da so meritve po višinah reliefa Slovenije porazdeljene neenakomerno, saj je izrazito premalo meritev v višjih delih reliefa glede na njegovo zastopanost v celotni površini Slovenije. Razen tega so glede na nadmorsko višino postaje z meritvami vetra v reliefu Slovenije postavljene neenakomerno. Če združimo vse postaje z vsaj petletnim nizom meritev vetra, vidimo, da je delež postaj v intervalu višine do 200 metrov izrazito nesorazmeren, saj je v tem intervalu kar 4-krat več postaj, kot je delež površine Slovenije z nadmorsko višino pod 200 m. Le v intervalu od 200 do 400 metrov sta deleža približno usklajena, v intervalu od 400 do 600 metrov je delež površine dvakraten v primerjavi z deležem postaj, še neugodnejše je razmerje pri deležu postaj v intervalu med 600 in 800 metri. V intervalu med 800 in 1000 metri sta v zadnjih letih deleža

Preglednica 2.1. Seznam postaj z 10- in večletnim nizom, ki vključuje še leto 2004.
Table 2.1 List of stations with measurements for at least 10 years, including 2004.

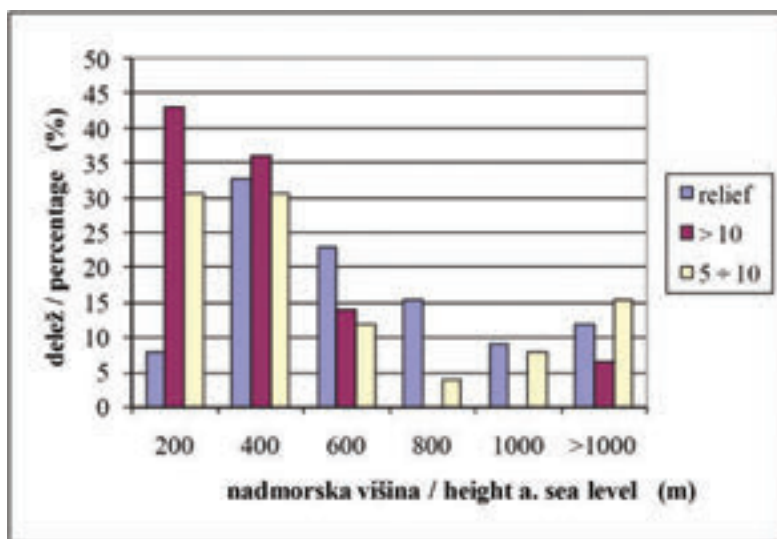
	Postaja	Oznaka	Začetek delovanja	Nadmorska višina	Reliefna značilnost po European wind atlasu
1	Bilje	M03	26. 11. 1991	58	3
2	Brnik	M07	21. 12. 1993	364	3
3	Dolenje	H02	27. 1. 1993	90	4
4	Koper	H01	3. 12. 1991	5	3
5	Kredarica	M10	21. 9. 1994	2514	5
6	Krško	A98	20. 12. 1994	150	3
7	Ljubljana	M05	17. 6. 1993	299	3
8	Malkovec	K01	26. 5. 1994	360	3
9	Maribor - Tabor	M02	4. 9. 1991	270	3
10	Murska Sobota	M09	9. 7. 1993	185	1
11	Novo mesto	M06	18. 1. 1993	220	3
12	Portorož - letališče	M08	25. 3. 1993	2	3
13	Postojna	M12	17. 2. 1994	553	4
14	Šmartno pri Sl. Grad.	M11	26. 5. 1994	445	3

površine in postaj uravnotežena, nad 1000 metri nadmorske višine pa so le še štiri postaje. Na splošno lahko rečemo, da je Slovenija z meritvami vetra razmeroma enakomerno pokrita do nadmorske višine okoli 500 metrov (to ustreza približno povprečni višini reliefa Slovenije, ki je 557 m), nad to višino pa je pokritost z merjenji razmeroma slaba, saj je nad 500 metri le ena tretjina vseh postaj z meritvami vetra (9 od 26, z nizi daljšimi od 5 let).

Glede razporeditve postaj z meritvami vetra po Sloveniji so postaje z nizi, daljšimi od 5 let, regionalno neenakomerno porazdeljene (slika 2.2, črni kvadrati). Izrazito so nepokrite regije zahodno od Ljubljane (Cekljansko-Idrijsko območje) zahodna Dolenjska in vzhodna Notranjska, Bela Krajina in Savinjska. Tudi v regijah z razmeroma dobro pokritostjo (npr. Podravje, Pomurje) je treba opozoriti, da so tam vse postaje v ravnini (ni postaj v Halozah, Slovenskih goricah in na Goričkem). Gorski svet severozahodne Slovenije je razmeroma dobro pokrit s postajami, a je treba upoštevati, da sta dve od tamkajšnjih postaj izrazito dolinski (Rateče in Bovec). Brez meritev vetra so južne Julijske Alpe in predalpsko hribovje. Povsem nepokrit je gorski svet Dinarskega gorstva (Banjšice, Trnovski gozd, Nanos, Javniki, Bloke, Snežnik, Kras), kjer so bile le občasno izvajane posamezne meritve. Prav tako ni nobenih meritev v Karavankah, v Savinjskih Alpah, na Gorjancih in vzdolž Kozjaka (na levem bregu Drave). S postajami za merjenje vetra je za slovenske razmere izjemno gosto pokrito spodnje Posavje in obalni pas. V Sloveniji je tudi sedem postaj, ki so bile vzpostavljene v zadnjih letih in imajo nize, krajše od pet let (slika 2.2, beli krogi). S temi postajami so bile deloma zapolnjene vrzeli v merilni mreži v Savinjski regiji (Celje) in v JV Sloveniji (Kočevje, Bela krajina).

Preglednica 2.2. Seznam postaj s 5- do 10-letnim nizom, ki vključuje še leto 2004.
Table 2.2 List of stations with measurements for 5 to 10 years, including 2004.

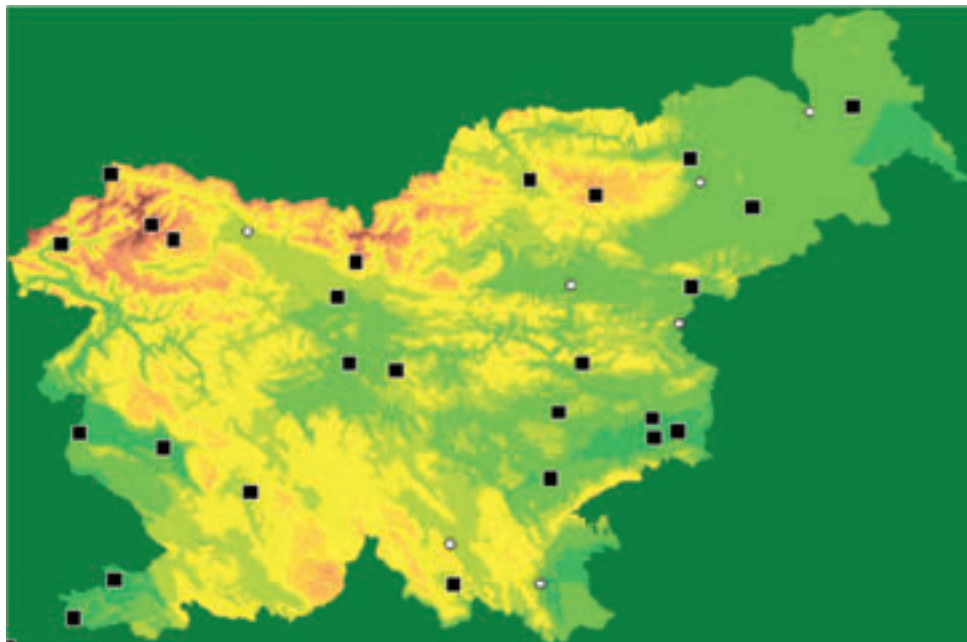
	Postaja	Oznaka	Začetek delovanja	Nadmorska višina	Reliefna značilnost po European wind atlasu
1	Bovec	M30	18. 12. 1998	441	5
2	Brežice	D98	3. 4. 1995	155	3
3	Cerklje	C98	1. 1. 1997	154	3
4	Iskrba	M16	10. 5. 1995	540	3
5	Krvavec	M22	21. 8. 1997	540	5
6	Lisca	M18	6. 11. 1996	943	5
7	Pokljuka	M13	12. 10. 1995	1347	5
8	Ptuj	M15	30. 11. 1995	223	2
9	Rateče	M31	27. 12. 1999	864	5
10	Rogaška Slatina	M20	4. 7. 1997	250	3
11	Rogla	M14	31. 3. 1995	1492	5
12	Vnajnarje	A95	28. 11. 1997	630	3



Slika 2.1 Delež reliefa Slovenije in delež postaj z meritvami vetra (več kot 10 let in več kot 5 let) po intervalih nadmorske višine.

Figure 2.1 The proportion of a relief and of stations (with measurements for 5 to 10 years) according to intervals of height a.s.l.

Zelo blizu že obstoječim postajam z daljšimi nizi pa so bile postavljene postaje na letališčih Maribor (Maribor) in Podčetrtek (Rogaška Slatina – obe postaji sta spet dolinski). Kljub postavitvi sedmih novih postaj gorski svet Slovenije še naprej ostaja brez kakovostnih meritev vetra, regionalno pa v negativnem smislu še vedno izstopa območje Dinarskega gorstva, kjer je še vedno edina postaja v Postojni.



Slika 2.2 Relief Slovenije in razporeditev merilnih postaj z vetrom. Črni kvadrati: postaje z vsaj petletnimi nizi meritve, ki delujejo leta 2004; beli krogi: novejšje postaje z manj kot petletnimi nizi meritev, ki delujejo leta 2004.

Figure 2.2 Relief of Slovenia with positions of stations measuring wind. Black squares: at least five years of measurements, including 2004; white circles: newer stations measuring for less than 5 years, but including 2004.

2.5 Na meteoroloških postajah izmerjena vetrovnost pri tleh

V tem podglavju podajamo podatke o vetru, kot so bili izmerjeni na trinajstih meteoroloških postajah v Sloveniji: v Ajdovščini, na Brniku, v Celju, na Kredarici, na Lisci, v Ljubljani, Mariboru – na letališču, Murski Soboti, Novem mestu, Portorožu – na letališču, v Ratečah, na Rogli in v Šmartnem pri Slovenj Gradcu. Na prvih dveh straneh s podatki so za vsako merilno postajo predstavljeni: topografski opis lokacije in njene okolice, za posamezna leta povprečna hitrost po mesecih in za vse leto, povprečna hitrost vetra po urah v dnevu za posamezne mesece in za leto, vetrna roža, to je pogostnost vetra iz posameznih smeri po razredih hitrosti, ter graf relativne frekvence hitrosti vetra ne glede na smer. Na tretji strani pa je za vsako od merilnih postaj podan t. i. klimatski odtis vetra.

Preglednice in vetrovne rože na drugih straneh skoraj ne potrebujejo razlage: samo za vetrovne rože povejmo, da so pogostnosti vetrov iz posameznih smeri narisane po razredih hitrosti vetra: pod 1 m/s, od 1 do 2 m/s, od 2 do 3 m/s itd. Pač pa je potrebna razlaga klimatskega odtisa vetra (diagramov na tretjih straneh podatkov za vsako merilno

postajo). Namen takega klimatskega odtisa vetra je enotno, kompaktno in informativno grafično predstaviti podatke o vetru za vsako merilno mesto – po metodologiji, ki je bila uveljavljena v Evropskem atlasu vetra (Troen in Petersen, 1989). V prvi vrstici je ime postaje in obdobje, na katerega se podatki nanašajo. Obdobje je največ 10-letno. V drugi vrstici je zapisana višina anemometra (nad p. = nad površino), povprečna hitrost (pov.), standardni odklon izmerjenih hitrosti (st. odklon) in povprečna tretja potencia (kub) izmerjenih hitrosti. Grafična predstavitev zajema 5 grafov

- Povprečno leto: Na grafu levo zgoraj je s polno črto prikazana hitrost vetra, s črtkano črto pa kub hitrosti v odvisnosti od meseca v letu. Na ordinati so enote m/s za hitrost in m^3/s^3 za kub hitrosti. Prave vrednosti za hitrost in kub hitrosti dobimo, če vrednosti, odčitane z grafa, pomnožimo s faktorjem na desnem robu grafa.

- Povprečni dnevi: Graf desno zgoraj predstavlja povprečni dnevni hod hitrosti (polna črta) in kuba hitrosti (črtkana črta) za meseca januar in julij. Na absciso so nanesene ure v dnevu. Na ordinati so enote m/s za hitrost in m^3/s^3 za kub hitrosti, vrednosti so enake kot pri grafu levo.

- Vetrovna roža: V sredini grafične predstavitve levo je narisana vetrovna roža. Pogostost vetra v % iz vsakega od 12 sektorjev je narisana s krepko črto. Prispevki posameznih sektorjev k celotni povprečni hitrosti so narisani z zunanjo ožjo črto. Prispevki posameznih sektorjev k celotnemu povprečnemu kubu hitrosti so narisani z notranjo ožjo črto. Vetrovna roža je normalizirana tako, da se največji krak dotika zunanjega kroga. Notranji pikčasti krog predstavlja vrednost, ki je enaka polovici vrednosti zunanjega kroga. Vrednosti večjega kroga za posamezne količine so podane v okvirčku, ki se dotika zunanjega kroga in pomenijo %. Notranji krog predstavlja polovično vrednost zunanjega.

- Spekter hitrosti vetra: Na grafu v sredini desno je vrisan prispevek vsake periode k celotni varianci hitrosti vetra. Na abscisi je čas v logaritemski skali. Krivulja je izračunana na naslednji način: od časovne vrste za veter najprej odštejemo mesečna povprečja od vsakega podatka, uro za uro. Na teh podatkih naredimo Fourierjevo transformacijo odmikov, rezultat kvadriramo in povprečimo po časovnih intervalih, ki so enaki širini koraka krivulje. Polna navpična črta na levi kaže prispevek k standardnemu odmiku hitrosti za cel niz podatkov za časovne periode, katerih večkratnik je eno leto. To nam da standardni odklon hitrosti za povprečno leto. Črtkana navpična črta kaže isto reč za tretjo potenco (kub) hitrosti. Izražene vrednosti so v % celotnega standardnega odklona podatkov. Navpični črti na desni predstavljata podoben prispevek k standardnemu odmiku hitrosti in tretje potence hitrosti za periode, katerih večkratnik je en dan (1, 2, 3, 4, 6, 8, 12 in 24 ur v primeru enournih podatkov). V okvirčku desno pod grafom so zapisani relativni standardni odkloni za hitrost in za tretjo potenco hitrosti za povprečen januarski dan (prvi dve številki) in povprečen julijski dan (zadnji dve številki). Številke levo zgoraj v grafu podajajo prispevek naključnih variacij v spektru za periode, daljše od enega leta, periode med enim dnevom in letom in za periode, manjše od enega dneva. Podane so v % skupne variacije.

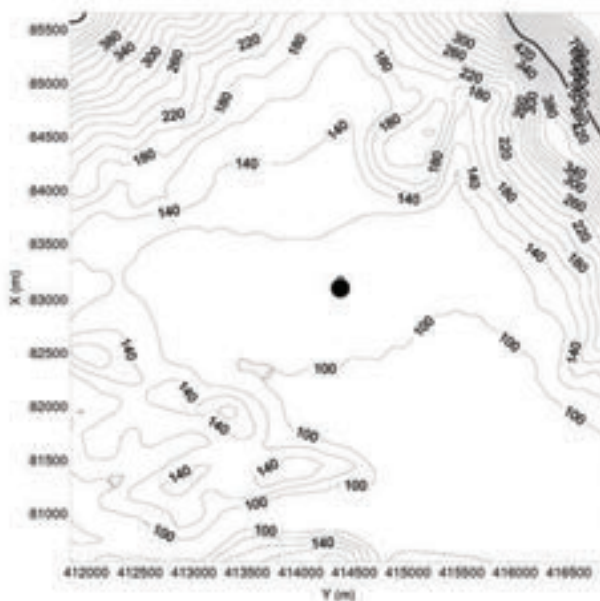
- Časovni potek: V spodnjem grafu so po mesecih predstavljena relativna odstopanja od povprečnega meseca. Iz podatkov izračunamo za vsak mesec povprečno hitrost in povprečen kub hitrosti, ki jima odštejemo večletno povprečje za ta mesec (prikazano v grafu levo zgoraj). Relativno odstopanje hitrosti je prikazano s polno, hitro se spreminjajočo črto in s pikčasto črto za kub hitrosti. Bolj gladka polna črta predstavlja relativne letne odmike hitrosti od povprečja, krožci pa za kub hitrosti. Navpična skala je linearna za vrednosti od -1 do +1, za večje vrednosti pa je manj natančna. Spodnja številka na desni strani ob grafu predstavlja koren povprečja kvadratov letnih odstopanj v % za hitrost vetra in zgornja številka za kub hitrosti.

AJDOVŠČINA

φ	λ	Y	X	nadmorska višina
45.88719°	13.89676°	414.385 m	83.115 m	111 m

Anemometer je bil postavljen na majhnem letališču, 1300 m vzhodno od centra Ajdovščine. 2 km proti severovzhodu se prične zelo strme pobočje Trnovskega gozda, ki ima greben v smeri severozahod-jugozahod. Instrument je stal 1 m nad streho 6 m visoke stavbe, s tlorisom 39 m x 14 m.

Na sliki spodaj je prikazana okolica merilnega mesta, ki je v velikosti 5 km x 5 km, nivojnice so na razdaljah 20 m.



	povprečna hitrosti po mesecih in za leto za posamezna leta												
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
1978	—	—	—	—	—	—	—	3.0	0.6	6.2	3.4	3.3	3.8
1979	2.7	5.5	2.3	2.6	2.8	2.2	3.5	2.9	3.7	4.5	4.1	2.5	3.2
1980	4.4	3.3	2.9	2.7	3.3	1.9	2.2	2.5	2.6	3.1	5.4	3.6	3.1
1981	3.1	4.3	1.7	3.1	2.1	2.8	2.0	3.0	2.8	1.9	1.6	2.7	2.6
1982	3.9	3.6	4.1	4.8	2.9	2.2	2.6	2.2	2.7	3.6	4.0	3.6	3.3
1983	1.5	2.7	2.9	1.7	1.8	2.3	2.1	2.5	2.6	3.1	4.2	4.5	2.7
1984	2.4	5.1	4.1	4.1	3.1	2.3	2.4	2.6	1.7	2.8	3.8	3.9	3.2
1985	5.5	3.5	4.0	2.7	2.7	2.4	2.6	2.9	2.7	3.6	5.7	2.4	3.4
1986	3.1	9.1	4.5	2.8	2.5	3.4	3.6	3.1	3.9	6.1	3.1	1.9	3.7
1987	5.7	3.7	3.4	2.3	2.1	1.9	2.8	2.6	2.9	4.0	3.5	3.3	3.2
poz.	3.6	4.5	3.3	3.0	2.6	2.4	2.7	2.7	2.8	3.5	3.9	3.2	3.2

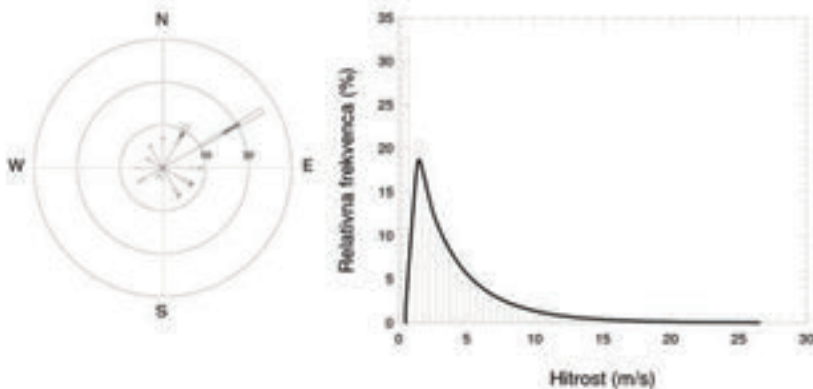
Slika 2.3a Karakteristike merilnega mesta v Ajdovščini in povprečne hitrosti po mesecih in za leto.

Figure 2.3a Measuring site characteristics in Ajdovščina and monthly and yearly averages of wind velocity.

ZNAČILNOSTI VETROV NAD SLOVENIJO

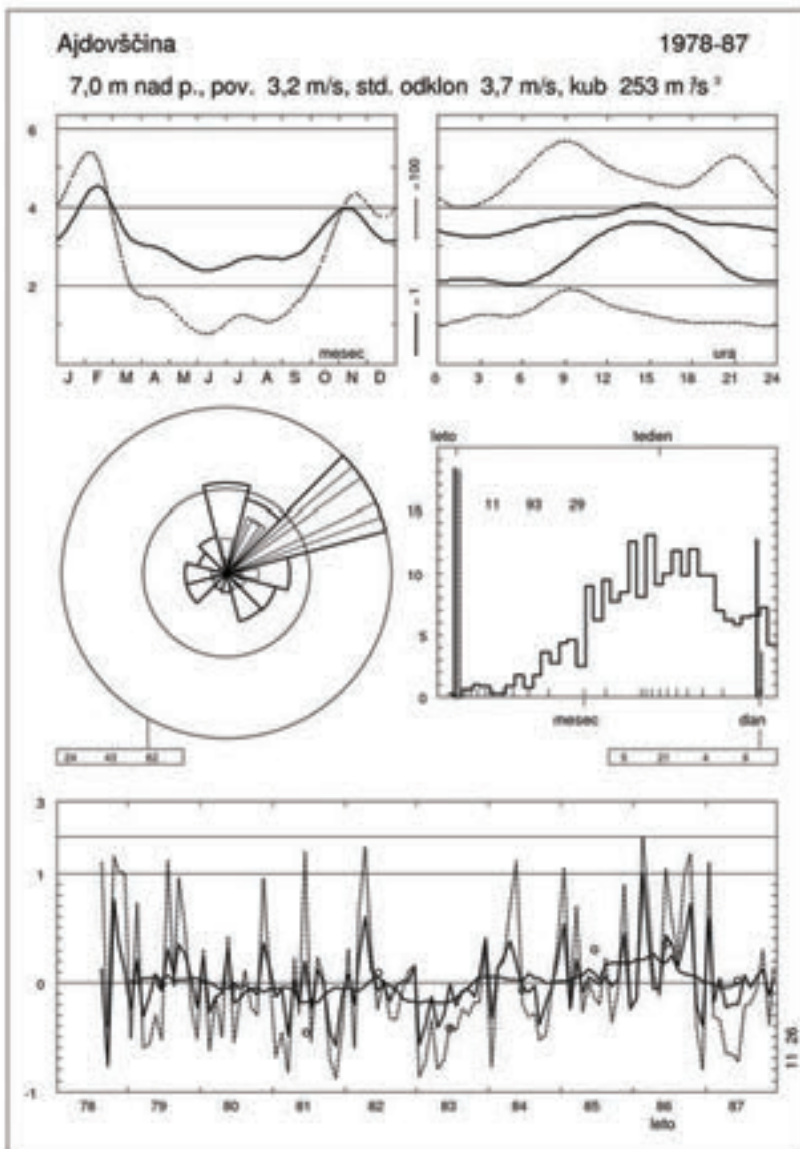
povprečna hitrost vetra po urah v dnevu za posamezne mesece in za leto													
ura	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
0-1	3.4	4.5	2.9	2.4	2.6	2.2	2.1	2.2	2.3	3.4	3.7	3.0	2.8
1-2	3.3	4.5	3.0	2.3	1.9	2.2	2.1	2.1	2.3	3.5	3.6	3.0	2.8
2-3	3.2	4.4	3.0	2.3	2.0	2.1	2.2	2.1	2.3	3.4	3.7	3.0	2.8
3-4	3.2	4.4	3.0	2.3	2.0	1.9	2.1	2.0	2.3	3.4	3.7	3.1	2.8
4-5	3.3	4.4	3.0	2.2	2.1	1.9	2.1	2.1	2.2	3.4	3.8	3.0	2.8
5-6	3.5	4.4	2.9	2.3	2.1	1.9	2.1	2.3	2.3	3.3	3.8	3.1	2.8
6-7	3.5	4.4	2.9	2.3	2.1	1.9	2.0	2.2	2.3	3.2	3.7	3.1	2.8
7-8	3.4	4.4	3.0	2.5	2.1	1.9	2.0	2.3	2.4	3.3	3.9	3.1	2.8
8-9	3.4	4.5	3.0	2.6	2.3	2.0	2.2	2.4	2.5	3.5	3.8	3.1	2.9
9-10	3.7	4.8	3.3	3.0	2.6	2.3	2.6	2.8	3.0	3.7	4.0	3.4	3.3
10-11	3.6	4.6	3.3	3.0	2.6	2.5	2.8	3.1	3.2	3.7	4.1	3.3	3.3
11-12	3.8	4.6	3.5	3.3	2.9	2.6	3.2	3.2	3.3	3.8	4.2	3.3	3.5
12-13	3.8	4.7	3.9	3.7	3.2	2.8	3.4	3.5	3.6	4.0	4.2	3.4	3.7
13-14	3.9	4.9	4.1	3.9	3.5	3.0	3.5	3.6	3.9	4.2	4.3	3.4	3.8
14-15	4.0	4.8	4.2	4.1	3.6	3.2	3.6	3.6	3.9	4.2	4.3	3.3	3.9
15-16	4.1	4.9	4.3	4.3	3.7	3.2	3.6	3.5	3.8	4.1	4.4	3.4	3.9
16-17	4.0	4.8	4.1	4.2	3.6	3.3	3.5	3.5	3.5	3.9	4.3	3.3	3.8
17-18	3.9	4.7	4.0	4.0	3.5	3.1	3.3	3.4	3.3	3.7	4.1	3.3	3.7
18-19	3.7	4.5	3.6	3.7	3.2	2.7	3.2	3.2	2.9	3.4	4.0	3.1	3.4
19-20	3.7	4.2	3.2	3.1	2.6	2.4	2.7	2.8	2.7	3.2	4.0	3.2	3.1
20-21	3.6	4.2	3.0	2.8	2.5	2.3	2.6	2.6	2.3	3.1	3.7	3.2	3.0
21-22	3.5	4.4	3.0	2.6	2.1	2.0	2.3	2.2	2.1	3.2	3.7	3.2	2.9
22-23	3.4	4.4	2.9	2.5	2.0	1.9	2.1	2.2	2.2	3.1	3.6	3.0	2.8
23-24	3.4	4.4	2.9	2.4	2.0	2.1	2.1	2.1	2.3	3.3	3.8	3.0	2.8
avg.	3.6	4.5	3.3	3.0	2.6	2.4	2.7	2.7	2.8	3.5	3.9	3.2	3.2

vetrarna roža - pogostost vetra iz posameznih smeri po razredih hitrosti																	
sektor	frqs.	<1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	17	>17	Δ	k
°	%															m/s	
0	7.3	472	271	110	52	23	17	11	7	8	11	12	5	1	1	1.4	0.74
30	11.5	300	177	81	66	47	43	42	31	38	58	48	30	21	17	4.2	0.98
60	26.8	226	113	61	73	66	67	59	47	52	88	65	37	28	18	6.2	1.32
90	9.6	387	166	86	100	72	52	35	22	20	28	16	10	3	2	2.9	0.98
120	7.8	363	237	110	113	78	49	24	9	6	7	2	1	0	0	2.3	1.10
150	7.6	370	276	120	101	56	41	23	5	4	3	0	0	0	0	1.9	1.08
180	2.8	417	270	120	99	53	29	10	1	1	0	0	0	0	0	1.8	1.18
210	2.6	404	277	137	104	53	21	3	1	0	0	0	0	0	0	1.8	1.28
240	6.6	248	288	203	154	75	26	4	1	0	0	0	0	0	0	2.4	1.64
270	6.7	248	283	235	159	58	14	3	1	0	0	0	0	0	0	2.4	1.76
300	4.5	311	266	193	164	52	12	2	0	0	0	0	0	0	0	2.2	1.62
330	6.2	558	293	84	45	14	4	2	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.17
skupaj	100.0	327	289	110	94	57	41	29	20	22	35	26	15	10	7	2.9	0.88



Slika 2.3b Dnevna in urna povprečna hitrosti vetra v Ajdovščini in vetrna roža.
 Figure 2.3b Measuring site characteristics in Ajdovščina and monthly and yearly averages of wind velocity.

Diagrami karakteristik vetra v Ajdovščini (za podrobnejše razlage glej pojasnila v začetku tega poglavja)	
Kraj, višina anemometrija nad terenom, povprečna hitrost in njen standardni odklon, povprečna tretja poterna hitrost. povprečno leto	obdobje, povprečni davci
rola vetra	spekter hitrosti vetra
čimrni potek	



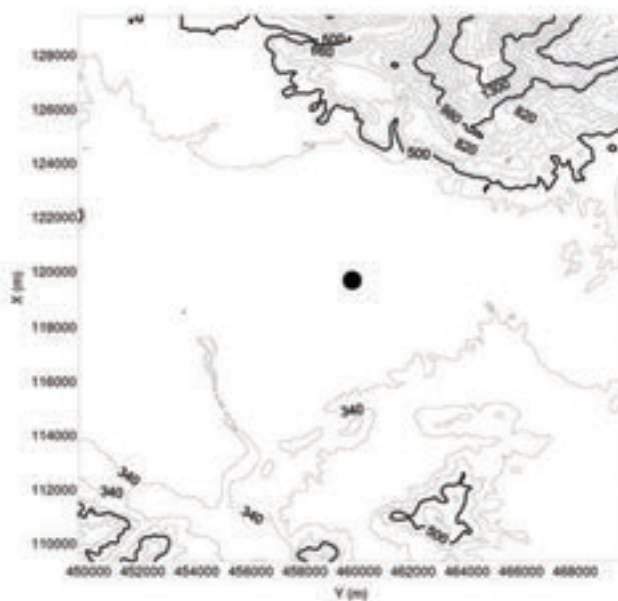
Slika 2.3c Po metodologiji WASP obdelani podatki o vetru v Ajdovščini.
Figure 2.3c Wind data for Ajdovščina in WASP form.

BRNIK

φ	λ	Y	X	nadmorska višina
46.21766°	14.47752°	459.695 m	119.380 m	364 m

Anemometer stoji na letališču na vzhodnem delu pristajalne steze, v bližini »točke dotika« letal pri pristajanju. Letališke stavbe so v smeri severozahoda, oddaljene najmanj 1 km. Proti severu in jugu se na razdalji 500 m razprostira gozd.

Na sliki spodaj je prikazana okolica merilnega mesta, ki je v velikosti 20 km x 20 km, nivojnice so na razdaljah 80 m.



	povprečna hitrost po mesecih in za leto za posamezna leta												
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
1997	0.8	1.4	1.5	1.9	1.8	1.5	1.6	1.3	1.1	1.3	0.8	0.9	1.3
1998	1.5	1.2	1.8	1.6	1.6	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.6	1.3
1999	0.9	1.3	1.7	1.5	1.5	1.6	1.4	1.2	1.2	1.1	0.8	1.1	1.3
2000	1.1	1.3	1.7	1.6	1.6	1.4	1.6	1.2	1.1	1.1	1.2	1.0	1.3
2001	1.3	1.4	1.5	1.6	1.5	1.6	1.4	1.3	1.1	0.8	0.8	0.9	1.3
2002	0.9	1.2	1.5	1.4	1.5	1.3	1.3	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2
2003	0.8	1.2	1.2	1.9	1.5	1.5	1.4	1.1	0.9	1.2	1.0	0.8	1.2
2004	0.8	1.0	0.9	1.1	1.2	1.0	1.1	1.0	0.7	0.8	1.1	0.8	1
2005	1.1	1.1	1.3	1.6	1.6	1.8	1.3	1.3	0.9	0.9	0.9	0.9	1.2
2006	0.8	1.1	1.4	1.4	1.6	1.7	1.6	1.3	1.0	1.3	1.1	1.0	1.3
pov.	1.0	1.2	1.5	1.6	1.5	1.5	1.4	1.2	1.0	1.1	1.0	0.9	1.2

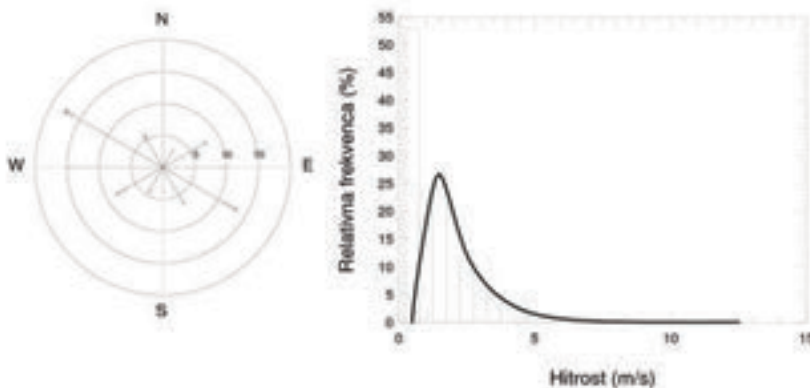
Slika 2.4a Karakteristike merilnega mesta na Brniku in povprečne hitrosti po mesecih in za leto.

Figure 2.4a Measuring site characteristics at Brnik and monthly and yearly averages of wind velocity.

ZNAČILNOSTI VETROV NAD SLOVENIJO

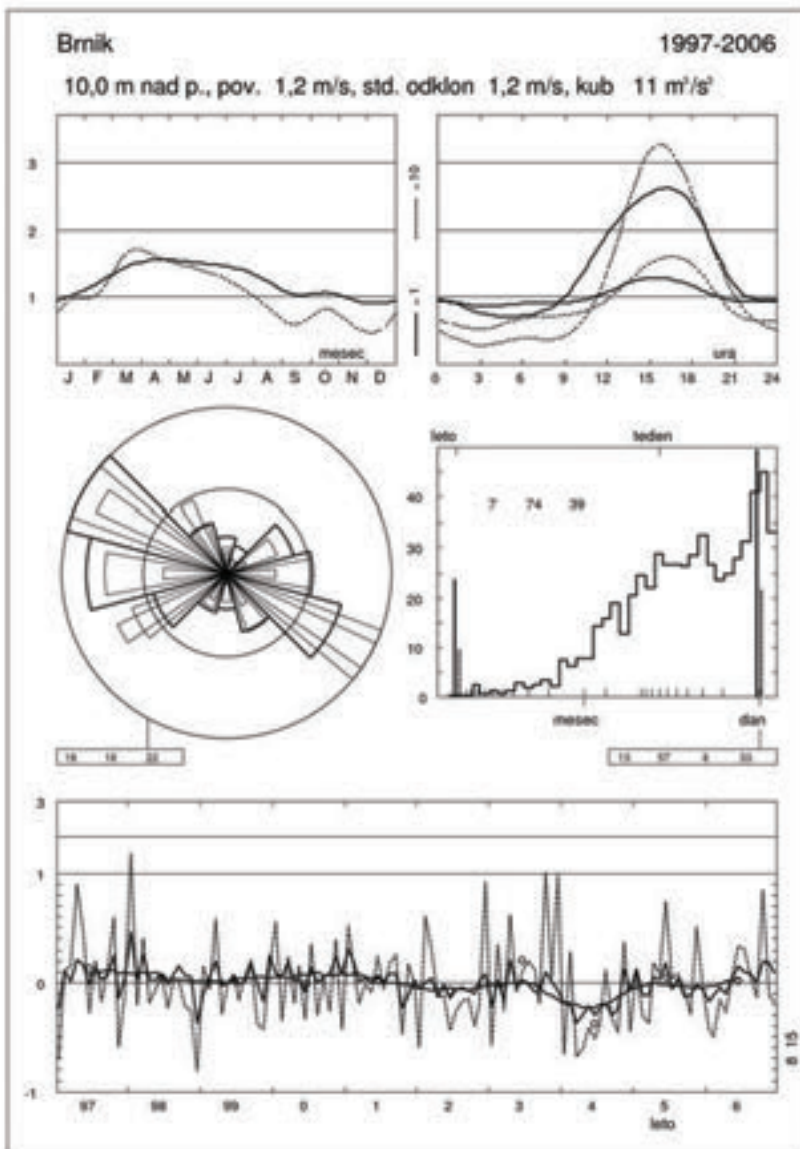
povprečna hitrost vetra po urah v dnevu za posamezne mesece in za leto													
ura	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
0-1	0.9	1.1	1.1	1.1	0.9	0.9	1.0	0.9	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9
1-2	0.9	1.1	1.1	1.1	0.9	0.9	1.0	0.8	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9
2-3	0.9	1.0	1.1	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.8	0.9	0.9	0.9
3-4	0.9	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.8	0.8	0.9	0.8
4-5	0.9	0.9	1.0	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.7	0.8	0.9	0.8
5-6	0.9	0.9	0.9	0.9	0.6	0.7	0.7	0.6	0.5	0.7	0.8	0.8	0.8
6-7	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.8	0.8	0.7
7-8	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.4	0.7	0.8	0.8	0.8
8-9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8
9-10	0.9	0.8	1.0	1.2	1.2	1.2	1.0	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	1.0
10-11	0.9	1.0	1.2	1.5	1.6	1.6	1.3	1.2	1.0	0.9	0.9	0.9	1.2
11-12	1.0	1.1	1.6	1.9	1.9	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.0	0.9	1.4
12-13	1.1	1.4	1.9	2.2	2.2	2.2	1.9	1.8	1.7	1.5	1.1	1.0	1.7
13-14	1.2	1.6	2.2	2.4	2.5	2.4	2.2	2.0	1.9	1.7	1.3	1.0	1.9
14-15	1.3	1.8	2.4	2.6	2.8	2.5	2.4	2.2	1.9	1.9	1.3	1.1	2.0
15-16	1.3	1.9	2.5	2.8	2.9	2.6	2.6	2.2	2.0	2.0	1.3	1.1	2.1
16-17	1.2	1.9	2.6	2.8	2.9	2.7	2.6	2.3	2.0	1.7	1.1	1.0	2.1
17-18	1.2	1.6	2.4	2.8	2.9	2.7	2.6	2.2	1.8	1.3	1.0	0.9	2.0
18-19	1.2	1.4	2.0	2.4	2.6	2.5	2.4	1.9	1.3	1.1	0.9	0.9	1.7
19-20	1.0	1.3	1.6	1.8	2.1	2.1	1.9	1.4	1.0	0.9	1.0	0.9	1.4
20-21	1.1	1.3	1.4	1.5	1.5	1.5	1.4	1.1	0.8	1.0	0.9	0.9	1.2
21-22	0.9	1.2	1.3	1.3	1.2	1.1	1.2	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	1.1
22-23	1.0	1.1	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8	0.9	1.0	0.9	1.0
23-24	1.0	1.1	1.2	1.1	1.0	0.9	1.0	0.9	0.7	1.0	0.9	0.9	1.0
prej.	1.0	1.2	1.5	1.6	1.5	1.5	1.4	1.2	1.0	1.1	1.0	0.9	1.2

vetrsna roža - pogostost vetra iz posameznih smeri po razredih hitrosti																	
sektor	frkvs.	<1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	17	>17	Δ	k
°	%															m/s	
0	4.0	726	162	52	30	17	9	3	1	0	0	0	0	0	0	0.7	0.79
30	3.2	794	172	26	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	1.29
60	7.8	375	337	70	10	4	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1.1	1.24
90	9.8	475	538	127	36	14	7	2	1	0	0	0	0	0	0	1.5	1.32
120	13.3	343	304	182	92	47	20	9	3	0	0	0	0	0	0	2.0	1.35
150	6.7	467	290	167	56	15	4	1	0	0	0	0	0	0	0	1.5	1.40
180	4.0	621	242	97	31	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	1.13
210	4.5	591	203	107	58	27	11	3	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.03
240	8.4	477	178	123	104	36	34	8	1	0	0	0	0	0	0	1.8	1.18
270	15.0	582	273	89	34	16	5	1	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.13
300	17.6	522	305	97	39	18	8	4	3	2	2	0	0	0	0	1.4	1.05
330	5.8	659	150	61	53	38	25	12	9	3	1	0	0	0	0	1.1	0.81
skupaj	100.0	530	269	109	49	25	11	4	2	1	0	0	0	0	0	1.4	1.09



Slika 2.4b Dnevna in urna povprečja hitrosti vetra na Brniku in vetrovna roža.
 Figure 2.4b Measuring site characteristics at Brnik and monthly and yearly averages of wind velocity.

Diagrami karakteristik vetra na Brniku (za podrobne razlage glej pojasnila v začetku tega poglavja)	
kraj, višina anemometrija nad terenom, povprečna hitrost in njen standardni odklon, povprečna tretja poterna hitrost.	obdobje,
povprečno leto	povprečni dnevi
rola vetra	spekter hitrosti vetra
čimrni potek	



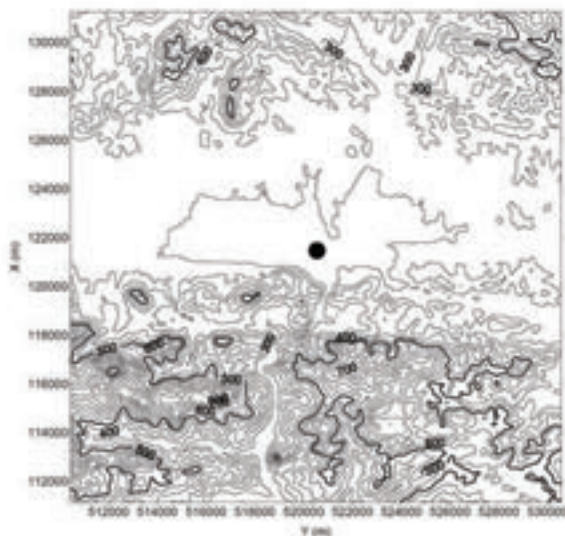
Slika 2.4c Po metodologiji WASP obdelani podatki o vetru na Brniku.
 Figure 2.4c Wind data for Brnik in WASP form.

CELJE

φ	λ	V	X	nadmorska višina
46.24472°	15.25250°	519.869 m	122.296 m	244 m

Anemometer je bil postavljen na severozahodnem robu Celja, v bližini o osnovne šole Lavi. Šola se je nahajal vzhodno od instrumenta, približno 35 m vstran. Teren je drugače odprt proti zahodu, kjer so se nahajala polja. Na vzhodu se je nahajalo naselje z nizkimi družinskimi hišami, najbližje so bile oddaljene približno 30 m. Instrument je stal na 10 m visokem drogu.

Na sliki spodaj je prikazana okolica merilnega mesta, ki je v velikosti 20 km x 20 km, nivojnice so na razdaljah 50 m.



	povprečna hitrost po mesecih in za leto za posamezna leta												
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
2001	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.8	0.7	0.7	0.6
2002	0.5	0.6	0.7	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6
2004	0.6	0.8	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	0.5	0.6	0.7	0.5	0.6
2005	0.6	0.6	0.7	0.9	0.7	0.7	0.7	0.5	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6
2006	0.5	0.6	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.4	0.6	0.8	0.6	0.7
avn.	0.6	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7

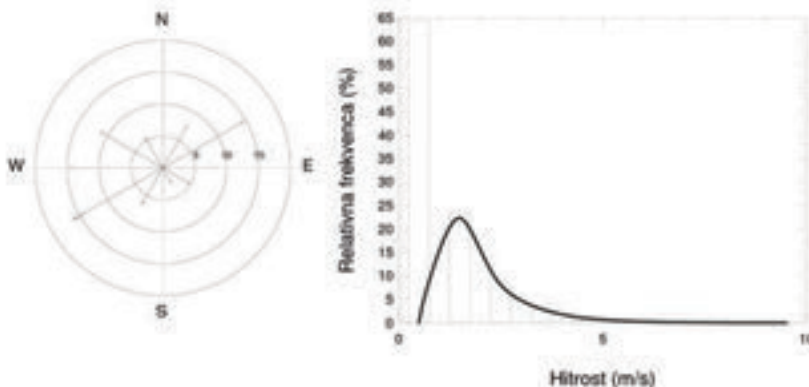
Slika 2.5a Karakteristike merilnega mesta v Celju in povprečne hitrosti po mesecih in za leto.

Figure 2.5a Measuring site characteristics in Celje and monthly and yearly averages of wind velocity.

ZNAČILNOSTI VETROV NAD SLOVENIJO

povprečna hitrost vetra po urah v dnevu za posamezne mesece in za leto													
ura	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
0-1	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.6	0.6	0.6	0.4	0.7	0.8	0.8	0.7
1-2	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.4	0.5	0.5	0.4
2-3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.4	0.5	0.5	0.4
3-4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.4	0.5	0.5	0.4
4-5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.5	0.5	0.4
5-6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.4	0.5	0.5	0.4
6-7	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.2	0.4	0.6	0.5	0.4
7-8	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.2	0.4	0.6	0.5	0.5
8-9	0.5	0.4	0.5	0.6	0.5	0.6	0.7	0.6	0.3	0.5	0.6	0.5	0.5
9-10	0.5	0.5	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6
10-11	0.6	0.6	0.8	0.9	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.7	0.6	0.7
11-12	0.6	0.7	0.9	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.6	0.8	0.8	0.6	0.8
12-13	0.7	0.8	1.0	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.6	0.9
13-14	0.8	0.9	1.1	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.8	1.0	1.0	0.7	1.0
14-15	0.8	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0	0.9	1.0	1.0	0.7	1.0
15-16	0.7	1.0	1.2	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	0.9	1.0	0.9	0.8	1.0
16-17	0.7	1.0	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.7	1.0
17-18	0.7	0.9	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.0	0.8	0.8	0.7	0.7	0.9
18-19	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1	1.1	1.0	0.9	0.6	0.7	0.7	0.6	0.8
19-20	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	0.8	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7
20-21	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6
21-22	0.6	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.4	0.3	0.5	0.6	0.6	0.5
22-23	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.4	0.5	0.4	0.3	0.5	0.6	0.5	0.5
23-24	0.5	0.5	0.6	0.6	0.4	0.5	0.4	0.3	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5
pos.	0.6	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.7	0.6	0.7

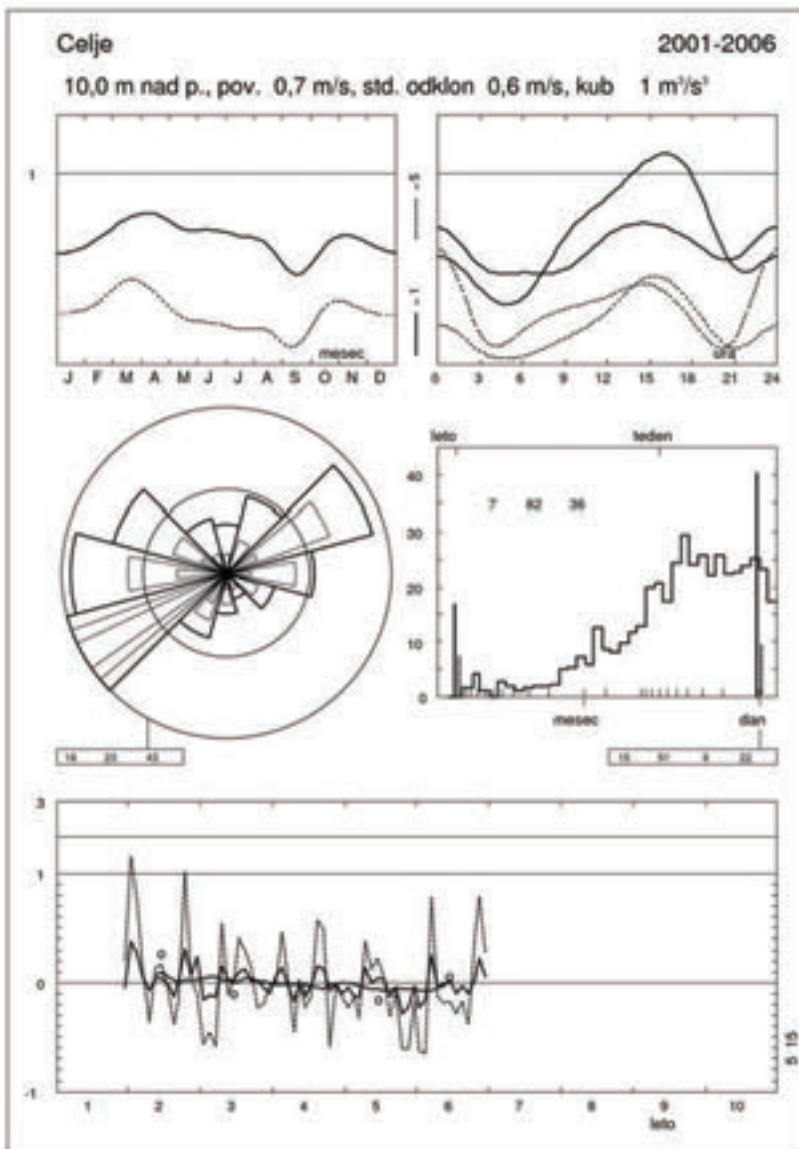
vetrarna roža – pogostost vetra iz posameznih smeri po razredih hitrosti																	
sektor	frekv.	<1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	17	>17	A	k
°	%															m/s	
0	4.7	857	97	24	12	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	1.01
30	7.5	804	199	26	8	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	1.19
60	14.6	563	322	91	23	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.39
90	8.4	495	366	115	23	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3	1.59
120	4.8	551	344	93	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.52
150	2.6	624	243	89	31	9	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1.0	1.08
180	3.8	542	287	117	43	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3	1.29
210	6.5	605	243	89	38	17	6	1	1	0	0	0	0	0	0	1.1	1.05
240	16.0	477	270	139	55	30	16	10	2	0	0	0	0	0	0	1.6	1.15
270	14.7	694	204	61	26	10	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0.95
300	11.2	836	126	33	14	7	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0.8	0.95
330	5.3	872	81	21	13	6	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0.7	0.90
skupaj	100.0	642	235	79	27	10	4	2	1	0	0	0	0	0	0	1.0	1.01



Slika 2.5b Dnevna in urna povprečja hitrosti vetra v Celju in vetrarna roža.
 Figure 2.5b Measuring site characteristics in Celje and monthly and yearly averages of wind velocity.

ZNAČILNOSTI VETROV NAD SLOVENIJO

Diagrami karakteristik vetra v Celju (za podrobne razlage glej pojasnila v začetku tega poglavja)	
kraj,	obdobje,
višina anemometra nad tlemi, povprečna hitrost in njun standardni odklon, povprečna tretja poterna hitrost,	
povprečno leto	povprečni dan
vrsta vetra	spekter hitrosti vetra
časovni postek	



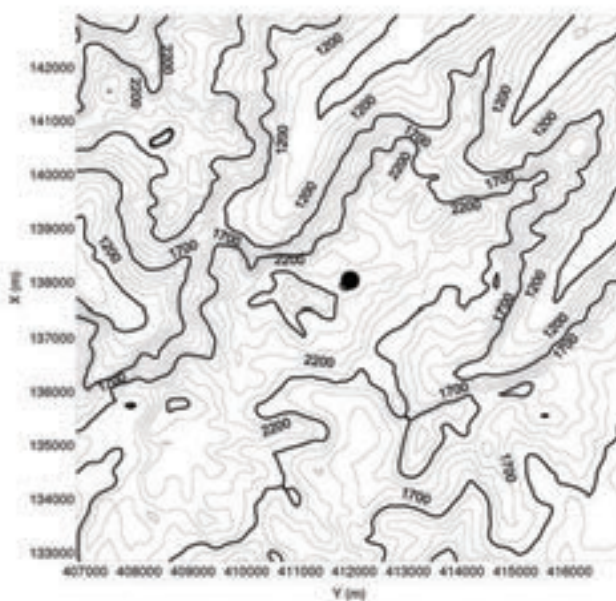
Slika 2.5c Po metodologiji WASP obdelani podatki o vetru v Celju.
Figure 2.5c Wind data for Celje in WASP form.

KREDARICA

φ	λ	Y	X	nadmorska višina
46.37967°	13.85399°	411.855 m	137.890 m	2.514 m

Anemometer stoji na 6 m visokem drogu na vrhu grebena. V smeri proti jugozahodu je na razdalji 50 m planinski dom, za njim se na razdalji 300 m nahaja hrib, katerega vrh je 300 m nad anemometrom.

Na sliki spodaj je prikazana okolica merilnega mesta, ki je v velikosti 10 km x 10 km, nivojnice so na razdaljah 100 m.



	povprečna hitrost po mesecih in za leto za posamezna leta												
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
1997	4.9	7.2	6.6	7.0	4.6	4.4	4.5	3.2	3.9	5.4	5.2	6.0	5.2
1998	6.2	5.9	7.6	4.5	3.3	4.1	4.4	4.1	5.0	5.9	5.6	6.7	5.3
1999	6.5	9.1	6.0	4.9	3.8	3.8	3.7	3.7	4.3	5.0	5.1	7.0	5.1
2000	7.8	6.6	7.6	4.3	4.1	4.4	4.7	4.1	4.8	5.4	5.9	4.9	5.3
2001	4.6	6.8	5.5	5.2	4.6	5.2	4.7	3.8	5.4	5.0	6.6	7.5	5.4
2002	6.8	7.1	6.5	4.2	4.9	4.8	4.1	3.9	4.0	5.7	7.3	4.9	5.3
2003	5.3	4.8	5.0	4.8	4.1	4.0	4.0	3.7	4.1	5.9	5.3	6.9	4.8
2004	6.9	7.5	5.4	3.7	4.6	4.1	4.5	3.8	4.5	5.2	7.6	5.1	5.1
2005	7.5	6.3	5.6	4.8	4.1	4.7	4.2	4.4	3.3	5.2	4.4	6.3	5.1
2006	4.9	5.0	6.0	4.2	4.5	4.6	3.0	4.1	3.6	4.5	6.6	4.8	4.6
pov.	6.2	6.6	6.2	4.8	4.3	4.4	4.2	3.9	4.3	5.3	6.0	6.0	5.1

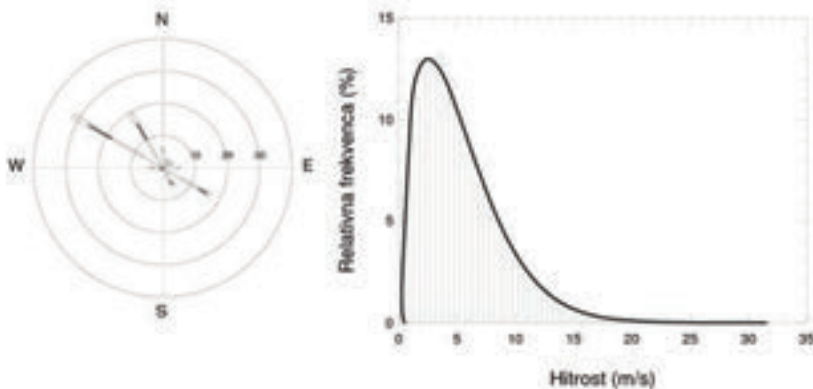
Slika 2.6a Karakteristike merilnega mesta na Kredarici in povprečne hitrosti po mesecih in za leto.

Figure 2.6a Measuring site characteristics at Kredarica and monthly and yearly averages of wind velocity.

ZNAČILNOSTI VETROV NAD SLOVENIJO

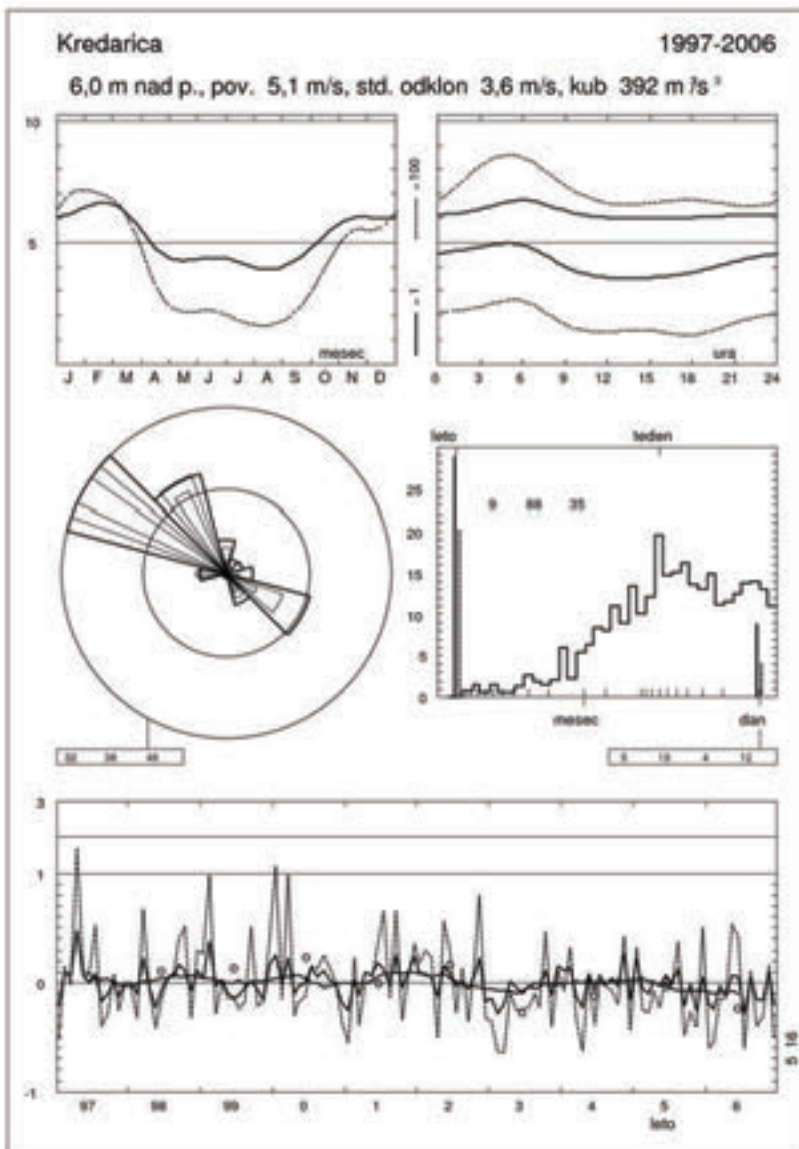
povprečna hitrost vetra po urah v dnevu za posamezne mesece in za leto													
ura	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
0-1	6.1	6.8	6.6	5.0	4.6	4.8	4.5	4.0	4.6	5.4	6.1	5.9	5.3
1-2	6.2	6.7	6.7	5.1	4.7	4.6	4.6	4.1	4.4	5.6	6.0	5.9	5.3
2-3	6.1	6.8	6.5	5.2	4.7	4.8	4.7	4.1	4.4	5.6	6.0	6.0	5.4
3-4	6.4	7.0	6.7	5.1	4.6	5.0	4.8	4.3	4.5	5.6	6.0	6.1	5.5
4-5	6.5	6.7	6.6	5.0	4.8	5.2	4.9	4.3	4.5	5.4	5.9	6.3	5.5
5-6	6.7	6.7	6.7	5.0	4.9	5.2	4.9	4.6	4.5	5.4	5.9	6.1	5.5
6-7	6.7	6.8	6.6	5.0	4.8	4.8	4.9	4.4	4.5	5.3	5.9	6.3	5.5
7-8	6.5	6.8	6.5	4.9	4.6	4.5	4.5	4.4	4.4	5.4	5.9	6.3	5.4
8-9	6.4	6.7	6.4	4.8	4.2	4.3	4.2	4.0	4.3	5.3	5.8	6.2	5.2
9-10	6.3	6.7	6.3	4.7	4.1	4.1	4.0	3.8	4.2	5.0	5.7	6.1	5.0
10-11	6.0	6.7	6.1	4.4	3.9	3.8	3.8	3.8	4.0	4.9	5.8	6.1	4.9
11-12	6.1	6.5	5.8	4.2	3.7	3.7	3.6	3.6	3.9	5.0	5.8	5.9	4.8
12-13	6.0	6.3	5.7	4.2	3.6	3.5	3.6	3.5	4.0	4.7	5.7	5.7	4.7
13-14	6.2	6.4	5.4	4.4	3.5	3.6	3.4	3.4	3.7	4.7	5.8	5.7	4.6
14-15	6.0	6.3	5.4	4.4	3.6	3.8	3.5	3.3	3.7	4.9	6.0	5.8	4.7
15-16	6.0	6.3	5.4	4.3	3.7	3.7	3.6	3.4	3.8	5.0	6.1	6.0	4.7
16-17	5.9	6.5	5.7	4.5	3.9	3.8	3.8	3.4	4.0	5.2	6.3	6.0	4.9
17-18	6.0	6.6	6.0	4.6	3.9	4.1	3.7	3.5	4.2	5.6	6.5	6.1	5.0
18-19	6.0	6.7	6.2	4.7	3.9	4.4	3.8	3.8	4.5	5.5	6.6	6.1	5.1
19-20	6.1	6.7	6.2	4.9	4.1	4.5	3.9	3.8	4.4	5.5	6.3	6.1	5.2
20-21	6.2	6.5	6.3	4.9	4.3	4.5	4.1	3.9	4.5	5.5	6.1	6.0	5.2
21-22	6.1	6.5	6.3	5.0	4.4	4.7	4.2	3.9	4.5	5.5	6.0	5.8	5.2
22-23	6.1	6.7	6.4	5.1	4.7	4.7	4.4	3.9	4.5	5.5	5.9	5.8	5.3
23-24	6.1	6.9	6.5	5.0	4.6	4.7	4.5	4.0	4.7	5.5	5.9	6.0	5.3
poz.	6.2	6.6	6.2	4.8	4.3	4.4	4.2	3.9	4.3	5.3	6.0	6.0	5.1

vetrarna roža – pogostost vetra iz posameznih smeri po razredih hitrosti																	
sektor	frqs.	<1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	17	>17	A	k
°	%															m/s	
0	6.6	83	130	128	131	124	109	90	73	53	39	16	4	0	0	5.2	1.78
30	3.0	153	174	187	190	155	78	33	20	8	3	0	0	0	0	3.6	1.91
60	3.2	145	177	197	223	162	64	21	8	1	0	0	0	0	0	3.4	2.21
90	5.1	157	202	201	195	139	58	28	13	5	2	0	0	0	0	3.3	1.86
120	16.8	76	143	168	158	129	97	69	49	35	43	20	8	4	1	4.7	1.46
150	6.4	85	133	168	142	113	85	58	49	41	56	34	19	9	6	4.9	1.28
180	0.8	343	297	239	89	23	5	3	0	1	0	0	0	0	0	1.9	1.62
210	0.5	433	294	187	72	8	3	3	0	0	1	0	0	0	0	1.7	1.42
240	0.8	307	217	178	111	64	48	25	21	10	14	4	2	0	0	2.6	1.15
270	5.0	78	78	85	97	96	88	82	76	63	108	70	42	22	17	7.3	1.63
300	32.1	35	34	105	121	125	114	102	80	62	81	43	25	14	20	6.7	1.53
330	19.6	43	77	89	99	105	108	105	97	80	103	53	25	11	6	7.1	1.91
skupaj	100.0	72	111	129	132	120	99	82	66	51	67	34	18	9	9	5.7	1.45



Slika 2.6b Dnevna in urna povprečja hitrosti vetra na Kradarici in vetrarna roža.
 Figure 2.6b Measuring site characteristics at Kradarica and monthly and yearly averages of wind velocity.

Diagrami karakteristik vetra na Kredarici (za podrobne razlage glej poglavje v zvezi tega poglavja)	
kraj:	obdobje:
višina anemometra nad tlemi, povprečna hitrost in njun standardni odklon, povprečna tretja poterna hitrost:	
povprečno leto	povprečni dan
vrsta vetra	spekter hitrosti vetra
časovni postop.	



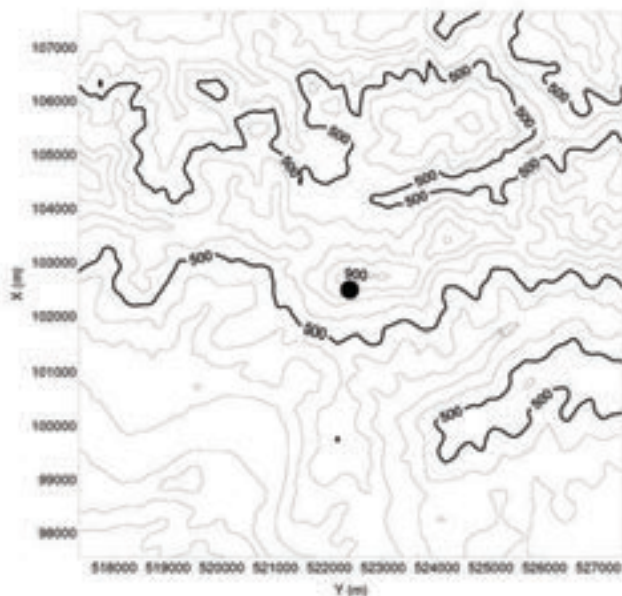
Slika 2.6c Po metodologiji WASP obdelani podatki o vetru na Kredarici.
Figure 2.6c Wind data for Kredarica in WASP form.

LISCA

φ	λ	Y	X	nadmorska višina
46.06781°	15.28983°	522.420 m	102.635 m	943 m

Anemometer stoji na vrhu hriba Lisca. V smeri severovzhod se nahaja radarski sistem. Pobočje hriba se spušča proti jugu, tam je v oddaljenosti 4 km dolina Save.

Na sliki spodaj je prikazana okolica merilnega mesta, ki je v velikosti 10 km x 10 km, nivojnice so na razdaljah 100 m.



	povprečna hitrosti po mesecih in za leto za posamezna leta												
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
1997	2.1	4.8	2.6	3.3	3.7	2.7	2.8	2.6	2.5	3.8	3.8	4.0	3.2
1998	4.7	3.7	3.7	4.1	2.6	2.9	2.6	2.1	3.0	3.5	3.2	3.4	3.3
1999	4.0	3.7	2.9	3.5	3.1	2.7	2.9	3.0	3.3	3.2	3.4	3.1	3.4
2000	3.2	4.0	4.1	3.5	3.2	2.6	3.4	2.9	2.5	3.9	4.5	4.8	3.6
2001	4.2	4.1	4.8	3.1	2.9	2.9	2.4	2.4	3.5	3.6	3.3	3.8	3.4
2002	3.8	4.5	3.5	3.3	3.3	2.6	2.8	2.7	2.9	3.8	4.0	3.8	3.4
2003	3.4	3.0	3.0	3.5	3.0	2.6	2.5	2.6	2.7	4.1	3.9	4.5	3.2
2004	4.0	4.0	3.5	2.4	3.2	2.6	2.8	3.0	3.0	4.2	4.0	3.3	3.3
2005	3.8	3.2	3.3	4.0	2.7	2.7	2.7	2.4	2.9	3.4	3.3	4.2	3.2
2006	3.4	3.6	4.2	3.3	3.3	2.9	2.3	3.0	2.5	3.8	5.1	4.6	3.5
gov.	3.7	3.8	3.6	3.4	3.1	2.7	2.7	2.7	2.9	3.8	3.9	4.1	3.4

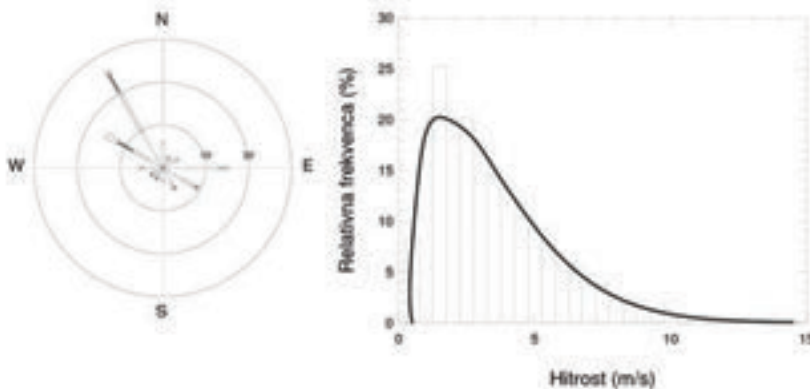
Slika 2.7a Karakteristike merilnega mesta na Lisca in povprečne hitrosti po mesecih in za leto.

Figure 2.7a Measuring site characteristics at Lisca and monthly and yearly averages of wind velocity.

ZNAČILNOSTI VETROV NAD SLOVENIJO

povprečna hitrost vetra po urah v dnevu za posamezne mesece in za leto													
ura	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
0-1	4.1	4.2	3.9	3.8	3.7	3.3	3.2	3.2	3.3	4.2	4.1	4.3	3.8
1-2	4.1	4.2	4.0	3.8	3.7	3.2	3.3	3.2	3.3	4.1	4.1	4.4	3.8
2-3	4.1	4.1	4.0	3.8	3.7	3.3	3.3	3.2	3.4	4.1	4.0	4.5	3.8
3-4	4.0	4.1	4.0	3.7	3.7	3.3	3.4	3.2	3.4	4.1	4.1	4.4	3.8
4-5	3.9	4.0	4.0	3.8	3.6	3.3	3.3	3.2	3.4	4.1	4.1	4.4	3.8
5-6	3.9	4.1	4.1	3.8	3.7	3.3	3.2	3.2	3.4	4.0	4.1	4.4	3.8
6-7	3.9	4.1	4.0	3.8	3.5	3.1	3.1	3.1	3.4	4.1	4.2	4.4	3.7
7-8	4.0	4.1	3.9	3.5	3.1	2.8	2.8	2.8	3.1	4.1	4.2	4.3	3.5
8-9	4.0	4.0	3.6	3.1	2.7	2.3	2.5	2.5	2.8	3.7	4.0	4.4	3.3
9-10	3.7	3.8	3.3	2.9	2.4	2.0	2.3	2.2	2.6	3.5	3.8	4.1	3.0
10-11	3.5	3.5	3.2	2.8	2.3	1.9	2.0	2.0	2.4	3.2	3.6	4.0	2.9
11-12	3.3	3.3	3.1	2.8	2.4	2.0	2.0	2.0	2.3	3.2	3.5	3.8	2.8
12-13	3.3	3.3	3.0	2.8	2.3	2.0	2.0	2.0	2.2	3.1	3.4	3.7	2.8
13-14	3.2	3.3	3.0	2.8	2.4	2.0	2.1	2.0	2.2	3.0	3.3	3.7	2.8
14-15	3.2	3.3	3.0	2.9	2.4	2.1	2.1	2.0	2.2	3.1	3.4	3.7	2.8
15-16	3.1	3.3	3.0	2.9	2.5	2.1	2.2	2.0	2.2	3.1	3.4	3.7	2.8
16-17	3.2	3.2	3.0	2.9	2.5	2.1	2.2	2.1	2.3	3.2	3.6	3.8	2.8
17-18	3.4	3.5	3.0	3.0	2.6	2.2	2.2	2.2	2.4	3.5	3.9	4.0	3.0
18-19	3.6	3.8	3.3	3.1	2.8	2.4	2.3	2.4	2.7	3.9	4.0	4.1	3.2
19-20	3.7	3.9	3.5	3.5	3.1	2.6	2.7	2.8	2.9	4.0	4.1	4.1	3.4
20-21	3.7	4.1	3.7	3.8	3.4	3.0	3.0	2.9	3.1	4.1	4.1	4.2	3.6
21-22	3.8	4.2	3.8	3.8	3.5	3.2	3.1	3.0	3.2	4.2	4.0	4.2	3.7
22-23	3.8	4.2	3.8	3.7	3.7	3.3	3.2	3.1	3.3	4.2	4.1	4.2	3.7
23-24	4.0	4.2	3.9	3.8	3.6	3.3	3.2	3.2	3.3	4.1	4.1	4.3	3.7
prej.	3.7	3.8	3.6	3.4	3.1	2.7	2.7	2.7	2.9	3.8	3.9	4.1	3.4

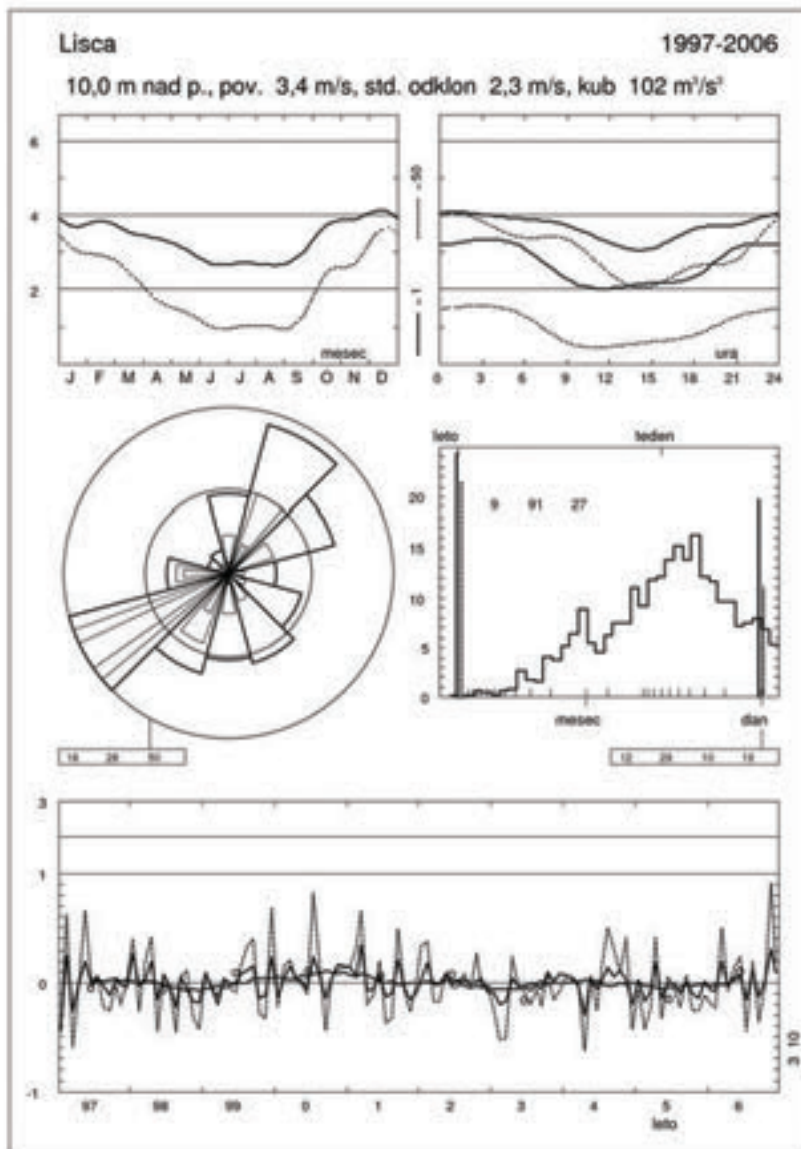
vetrarna roža – pogostost vetra iz posameznih smeri po razredih hitrosti																	
sektor	frqs.	<1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	17	>17	A	k
°	%															m/s	
0	7.7	77	224	277	199	114	60	29	13	5	1	0	0	0	0	3.3	1.83
30	14.9	54	201	260	199	130	77	44	22	8	3	1	0	0	0	3.6	1.83
60	10.9	82	310	298	176	88	30	11	4	1	0	0	0	0	0	2.8	1.94
90	4.6	192	408	236	117	36	9	1	0	0	0	0	0	0	0	2.1	1.73
120	7.5	237	590	138	27	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7	2.16
150	9.2	150	529	197	74	38	11	1	0	0	0	0	0	0	0	1.9	1.57
180	8.6	68	306	270	164	102	58	22	8	2	1	0	0	0	0	3.0	1.74
210	10.1	34	101	171	184	168	141	99	58	30	13	2	0	0	0	4.8	2.21
240	16.1	17	44	72	106	128	152	154	129	89	84	22	3	0	0	6.7	2.73
270	5.9	43	90	109	120	147	153	121	90	57	52	16	3	0	0	5.8	2.25
300	2.1	105	207	223	236	153	60	12	4	1	1	0	0	0	0	3.4	2.27
330	2.4	111	269	258	209	110	30	9	4	1	0	0	0	0	0	3.0	2.05
skupaj	100.0	83	252	201	145	104	76	54	38	23	19	5	1	0	0	3.6	1.45



Slika 2.7b Dnevna in urna povprečja hitrosti vetra na Lisici in vetrarna roža.
 Figure 2.7b Measuring site characteristics at Lisica and monthly and yearly averages of wind velocity.

ZNAČILNOSTI VETROV NAD SLOVENIJO

Diagrami karakteristik vetra na Lisci (za podrobne razlage glej poglavje v zvezi tega poglavja)	
Kraj, višina anemometra nad tromejo, povprečna hitrost in njun standardni odklon, povprečna frekvenca potnega hitrosti,	obdobje, povprečni dnevi
vrsta vetra	spekter hitrosti vetra
časovni potek	



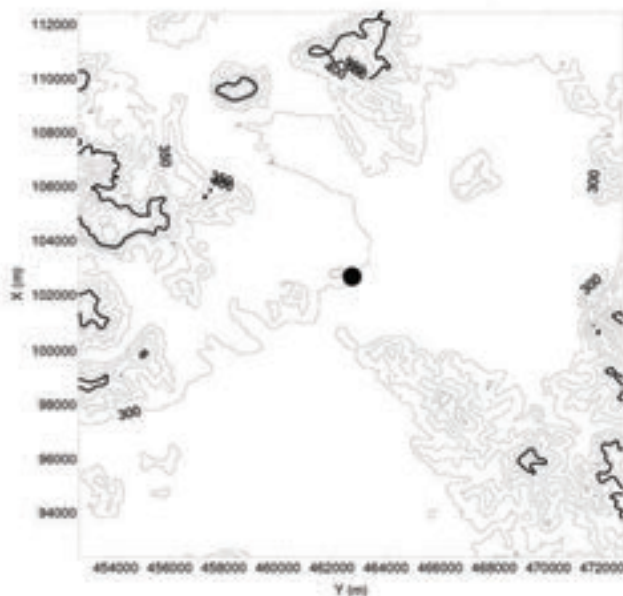
Slika 2.7c Po metodologiji WASP obdelani podatki o vetru na Lisci.
Figure 2.7c Wind data for Lisca in WASP form.

LJUBLJANA

φ	λ	Y	X	nadmorska višina
46.06545°	14.51819°	462.730 m	102.445 m	299 m

Anemometer stoji 22 m nad tlemi na vrhu stavbe za Bežigradom v Ljubljani. Okolica je gosto pozidana.

Na sliki spodaj je prikazana okolica merilnega mesta, ki je v velikosti 20 km x 20 km, nivojnice so na razdaljah 50 m.



	povprečna hitrosti po mesecih in za leto za posamezna leta												
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
1997	0,6	1,1	1,2	1,9	1,8	1,4	1,4	1,2	1,1	1,4	0,7	0,9	1,2
1998	1,2	1,0	1,6	1,7	1,5	1,6	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	0,8	1,3
1999	1,0	1,2	1,7	1,5	1,6	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,3
2000	1,0	1,1	1,8	1,5	1,5	1,4	1,6	1,2	1,1	1,1	1,0	1,2	1,3
2001	1,4	1,3	1,6	1,5	1,5	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	1,3
2002	1,0	1,3	1,5	1,4	1,5	1,4	1,4	1,2	1,2	1,2	1,1	1,3	1,3
2003	1,0	1,3	1,4	1,7	1,5	1,5	1,4	1,3	1,0	1,3	1,2	1,1	1,3
2004	1,0	1,3	1,2	1,3	1,4	1,2	1,2	1,2	1,0	1,2	1,2	0,9	1,2
2005	1,1	1,2	1,4	1,7	1,4	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	1,1	1,0	1,3
2006	1,0	1,2	1,6	1,3	1,2	1,8	1,5	1,3	1,1	1,1	1,3	1,4	1,3
gov.	1,1	1,2	1,5	1,6	1,5	1,5	1,4	1,2	1,1	1,2	1,1	1,1	1,3

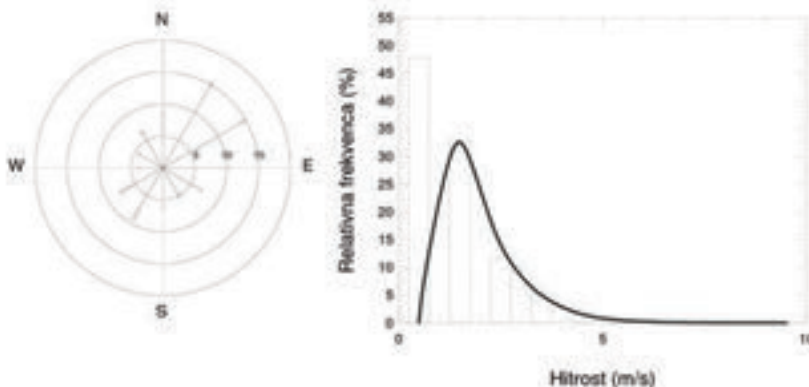
Slika 2.8a Karakteristike merilnega mesta v Ljubljani in povprečne hitrosti po mesecih in za leto.

Figure 2.8a Measuring site characteristics in Ljubljana and monthly and yearly averages of wind velocity.

ZNAČILNOSTI VETROV NAD SLOVENIJO

povprečna hitrost vetra po urah v dnevu za posamezne mesece in za leto													
ura	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
0-1	0.9	0.9	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0
1-2	0.9	0.9	1.1	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.9	0.9	1.0	0.9
2-3	0.9	0.9	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.9	0.9	1.0	0.9
3-4	0.9	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9
4-5	0.9	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.9	0.9	1.0	0.8
5-6	0.9	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.9	0.9	1.0	0.8
6-7	0.9	0.8	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9
7-8	1.0	0.9	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	0.9	0.9	1.0	0.9
8-9	1.0	0.9	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0
9-10	1.0	1.0	1.2	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.1
10-11	1.0	1.1	1.4	1.6	1.5	1.5	1.4	1.2	1.1	1.2	1.1	1.1	1.3
11-12	1.1	1.3	1.7	1.8	1.8	1.8	1.7	1.4	1.3	1.4	1.2	1.1	1.5
12-13	1.2	1.5	1.9	2.2	2.2	2.0	2.0	1.7	1.6	1.6	1.3	1.2	1.7
13-14	1.3	1.6	2.2	2.4	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.4	1.3	1.8
14-15	1.3	1.8	2.3	2.5	2.5	2.3	2.2	2.0	1.9	1.7	1.5	1.3	2.0
15-16	1.4	1.8	2.4	2.6	2.6	2.4	2.4	2.1	1.9	1.8	1.5	1.4	2.0
16-17	1.3	1.8	2.4	2.6	2.5	2.4	2.4	2.1	1.9	1.7	1.4	1.3	2.0
17-18	1.2	1.7	2.3	2.5	2.4	2.4	2.3	2.0	1.8	1.5	1.3	1.2	1.9
18-19	1.2	1.5	2.1	2.2	2.2	2.2	2.1	1.8	1.5	1.3	1.2	1.1	1.7
19-20	1.1	1.4	1.8	1.9	1.9	1.9	1.8	1.5	1.2	1.2	1.1	1.1	1.5
20-21	1.1	1.3	1.6	1.7	1.6	1.6	1.5	1.3	1.1	1.1	1.1	1.1	1.3
21-22	1.0	1.1	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2
22-23	1.0	1.1	1.4	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.1
23-24	1.0	1.0	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	0.9	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1
prej.	1.1	1.2	1.5	1.6	1.5	1.5	1.4	1.2	1.1	1.2	1.1	1.1	1.3

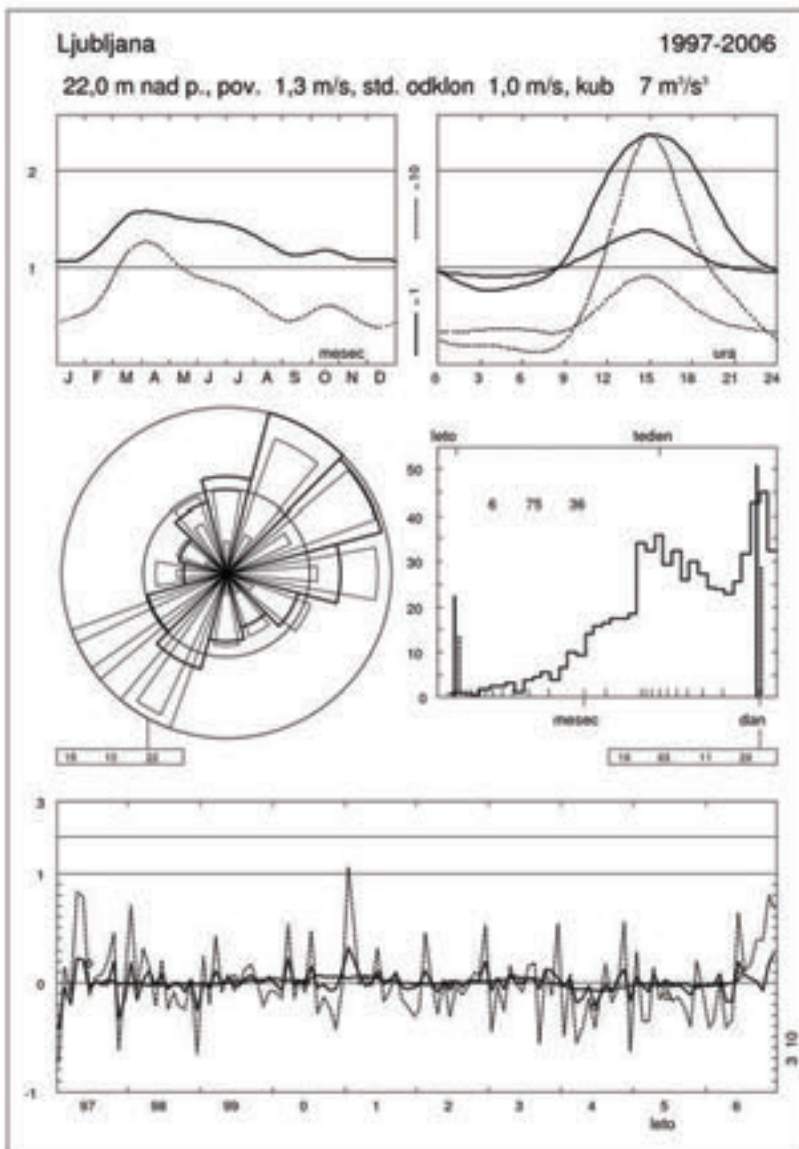
vetrarna roža – pogostost vetra iz posameznih smeri po razredih hitrosti																	
sektor	frekv.	<1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	17	>17	A	k
°	%															m/s	
0	8.6	673	263	39	14	7	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0.9	1.10
30	15.4	660	287	35	12	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1.0	1.22
60	14.8	598	288	66	32	12	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1.1	1.14
90	10.7	418	339	153	67	20	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6	1.47
120	7.0	335	500	149	15	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6	2.16
150	5.1	341	496	149	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6	2.20
180	6.3	430	474	83	11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.4	1.98
210	9.2	319	314	180	107	60	18	3	0	0	0	0	0	0	0	2.0	1.44
240	7.7	203	241	285	187	66	15	2	0	0	0	0	0	0	0	2.6	2.12
270	4.1	276	318	265	115	23	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2.1	1.90
300	4.4	535	306	112	36	8	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1.3	1.30
330	6.6	555	298	81	35	18	8	4	1	0	0	0	0	0	0	1.3	1.11
skupaj	100.0	478	330	118	50	19	5	1	0	0	0	0	0	0	0	1.5	1.33



Slika 2.8b Dnevna in urna povprečna hitrosti vetra v Ljubljani in vetrorna roža.
 Figure 2.8b Measuring site characteristics in Ljubljana and monthly and yearly averages of wind velocity.

ZNAČILNOSTI VETROV NAD SLOVENIJO

Diagrami karakteristik vetra v Ljubljani (za podrobne razlage glej poglavje v zvezi tega poglavja)	
kraj,	obdobje,
višina anemometra nad tlemi, povprečna hitrost in njena standardni odklon, povprečna tretja poterna hitrost,	
povprečno leto	povprečni dan
vrsta vetra	spekter hitrosti vetra
časovni postek	



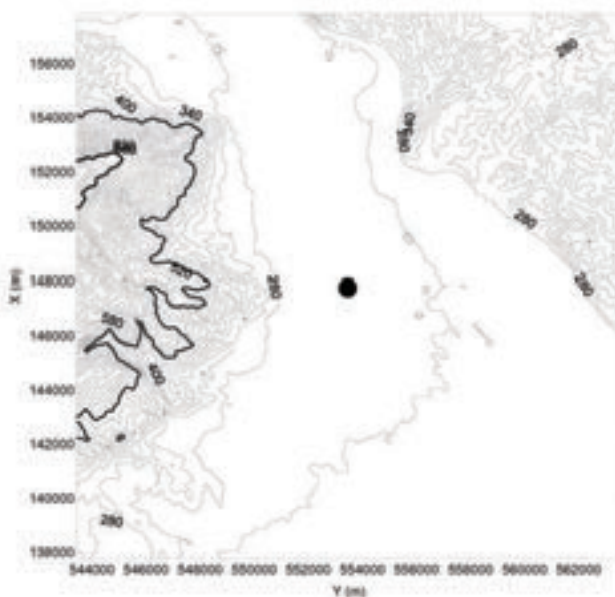
Slika 2.8c Po metodologiji WASP obdelani podatki o vetru v Ljubljani.
Figure 2.8c Wind data for Ljubljana in WASP form.

MARIBOR - LETALIŠČE

φ	λ	Y	X	nadmorska višina
46.49000°	15.68694°	552.739 m	148.632 m	264 m

Anemometer stoji na letališču, tj. 18 km južno od centra Maribora. Postavljen je v bližini jugovzhodnega konca pristajalne steze. Letališče je obkroženo s travniki, polji in gozdom. V bližini, na razdalji 250 m južno, se nahaja manjši drevored. Letališke stavbe so v smeri proti severozahodu.

Na sliki spodaj je prikazana okolica merilnega mesta, ki je v velikosti 20 km x 20 km, nivojnice so na razdaljah 30 m.



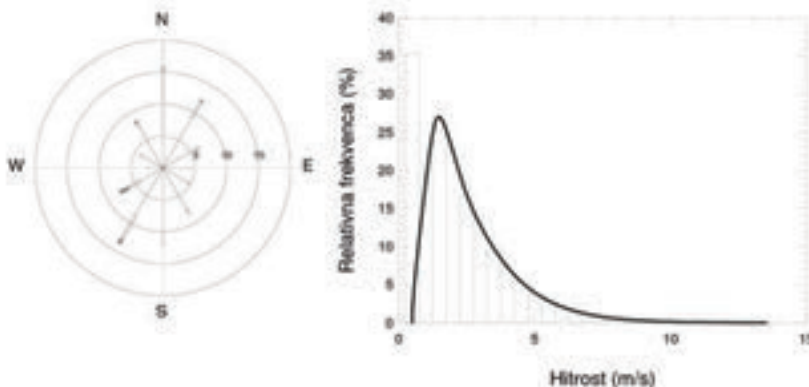
	povprečna hitrost po mesecih in za leto za posamezna leta												
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
2000	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1.4	1.7	1.6
2002	1.6	2.7	2.5	2.4	2.2	1.8	2.0	1.6	1.6	2.3	2.1	1.9	2.1
2003	1.6	1.7	1.5	2.7	2.2	1.7	1.9	1.6	1.7	1.9	1.9	1.8	1.9
2004	1.8	1.9	2.2	2.2	2.2	1.7	1.5	1.5	1.4	1.5	1.9	1.3	1.8
2005	1.8	1.8	1.6	2.5	1.9	2.0	1.9	1.5	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8
2006	1.4	2.1	2.8	2.6	2.2	2.3	1.7	1.7	1.4	2.1	2.5	1.6	2.0
gov.	1.6	2.0	2.3	2.5	2.1	1.9	1.8	1.6	1.5	1.9	1.9	1.7	1.9

Slika 2.9a Karakteristike merilnega mesta v Mariboru in povprečne hitrosti po mesecih in za leto.

Figure 2.9a Measuring site characteristics in Maribor and monthly and yearly averages of wind velocity.

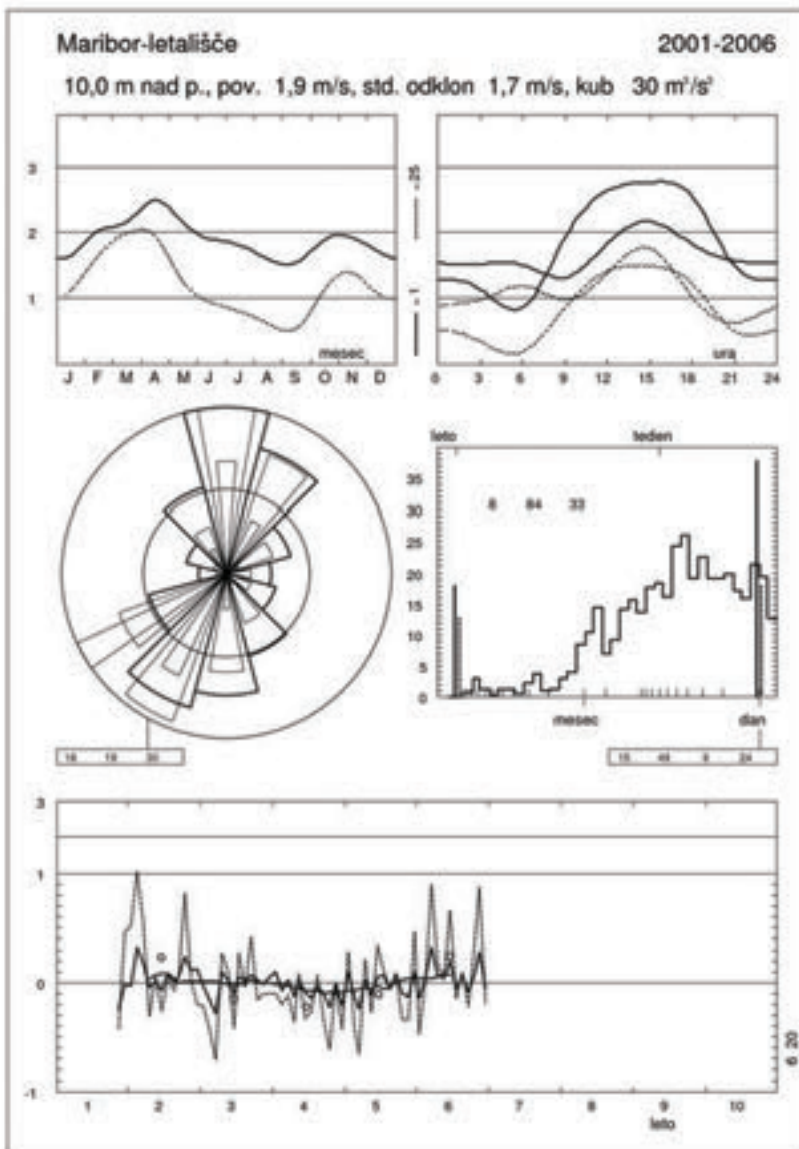
povprečna hitrost vetra po urah v dnevu za posamezne mesece in za leto													
ura	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
0-1	1.5	1.6	1.7	2.0	1.6	1.3	1.3	1.1	1.1	1.5	1.6	1.6	1.5
1-2	1.5	1.7	1.6	1.9	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.5	1.6	1.5	1.4
2-3	1.6	1.7	1.6	1.9	1.3	1.1	1.2	1.0	1.1	1.4	1.6	1.6	1.4
3-4	1.5	1.7	1.4	1.8	1.2	1.0	1.1	1.0	1.0	1.3	1.5	1.6	1.4
4-5	1.4	1.6	1.5	1.8	1.3	0.9	1.0	0.8	1.0	1.3	1.6	1.5	1.3
5-6	1.4	1.6	1.4	1.7	1.2	0.9	0.8	0.8	1.0	1.1	1.6	1.5	1.3
6-7	1.5	1.5	1.4	1.6	1.2	0.9	0.9	0.9	0.9	1.3	1.6	1.5	1.3
7-8	1.4	1.5	1.5	1.7	1.3	1.2	1.0	0.8	0.8	1.4	1.5	1.5	1.3
8-9	1.4	1.6	1.6	2.1	1.9	1.6	1.4	1.1	1.1	1.4	1.5	1.5	1.5
9-10	1.3	1.6	1.8	2.6	2.4	2.0	1.9	1.5	1.5	1.7	1.7	1.6	1.8
10-11	1.3	1.8	2.2	3.0	2.7	2.4	2.3	1.9	1.9	2.2	1.9	1.6	2.1
11-12	1.6	2.1	2.7	3.3	3.0	2.6	2.5	2.2	2.2	2.6	2.3	1.8	2.4
12-13	1.8	2.5	2.9	3.3	3.2	2.8	2.6	2.4	2.5	2.9	2.6	2.1	2.6
13-14	2.0	2.7	3.2	3.5	3.2	2.8	2.8	2.5	2.5	2.9	2.8	2.2	2.7
14-15	2.2	3.0	3.3	3.5	3.3	3.0	2.8	2.5	2.6	3.1	2.9	2.2	2.8
15-16	2.2	3.1	3.2	3.4	3.3	3.1	2.8	2.6	2.6	2.9	2.8	2.1	2.8
16-17	2.1	3.0	3.2	3.5	3.3	3.0	2.7	2.6	2.4	2.7	2.5	1.9	2.7
17-18	1.9	2.5	3.1	3.2	3.2	2.9	2.8	2.4	2.1	2.2	2.3	1.7	2.5
18-19	1.8	2.3	2.7	3.0	2.8	2.7	2.5	2.0	1.6	1.9	2.1	1.7	2.2
19-20	1.7	2.1	2.3	2.5	2.3	2.2	2.1	1.6	1.4	1.8	1.8	1.6	1.9
20-21	1.7	1.9	2.2	2.4	1.8	1.8	1.7	1.4	1.4	1.8	1.7	1.6	1.8
21-22	1.6	1.9	2.0	2.3	1.7	1.6	1.5	1.4	1.4	1.7	1.6	1.5	1.7
22-23	1.5	2.0	1.9	2.2	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.7	1.5	1.5	1.6
23-24	1.5	1.9	1.8	2.1	1.6	1.4	1.3	1.3	1.1	1.5	1.7	1.5	1.6
poz.	1.6	2.0	2.2	2.5	2.1	1.9	1.8	1.6	1.5	1.9	1.9	1.7	1.9

vetrova roža – pogostost vetra iz posameznih smeri po razredih hitrosti																	
sektor	frkvs.	<1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	17	>17	A	k
°	%															m/s	
0	15.7	284	250	153	133	94	48	22	11	4	2	0	0	0	0	2.6	1.37
30	12.2	213	259	271	152	67	34	9	4	1	1	0	0	0	0	2.6	1.76
60	6.5	293	345	237	86	29	9	1	0	0	0	0	0	0	0	2.0	1.69
90	4.4	456	347	153	34	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	1.55
120	4.8	481	341	146	27	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.4	1.54
150	8.2	396	351	177	57	15	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1.7	1.57
180	11.9	295	317	217	109	42	14	5	1	0	0	0	0	0	0	2.1	1.55
210	13.6	230	210	193	165	100	51	29	14	6	1	0	0	0	0	3.0	1.59
240	7.7	305	142	87	83	91	91	85	60	33	21	2	1	0	0	3.8	1.42
270	2.5	373	158	43	16	7	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0.8	0.99
300	4.0	374	174	26	12	7	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0.8	0.94
330	8.4	366	287	65	25	17	15	13	7	3	1	1	0	0	0	1.2	0.99
skupaj	100.0	353	266	167	97	54	28	17	9	4	2	0	0	0	0	2.1	1.17



Slika 2.9b Dnevna in urna povprečja hitrosti vetra v Mariboru in vetrovna roža.
 Figure 2.9b Measuring site characteristics in Maribor and monthly and yearly averages of wind velocity.

Diagrami karakteristik vetra na letališču Maribor (za podrobne razlage glej pojasnila v zavihku tega poglavja)	
kraj,	obdobje,
vilina anemometra nad tromejo, povprečna hitrost in njena standardni odklon, povprečna frekvenca potresa hitrosti,	povprečni dnevi
povprečno leto	spekter hitrosti vetra
vrsta vetra	
časovni postek	



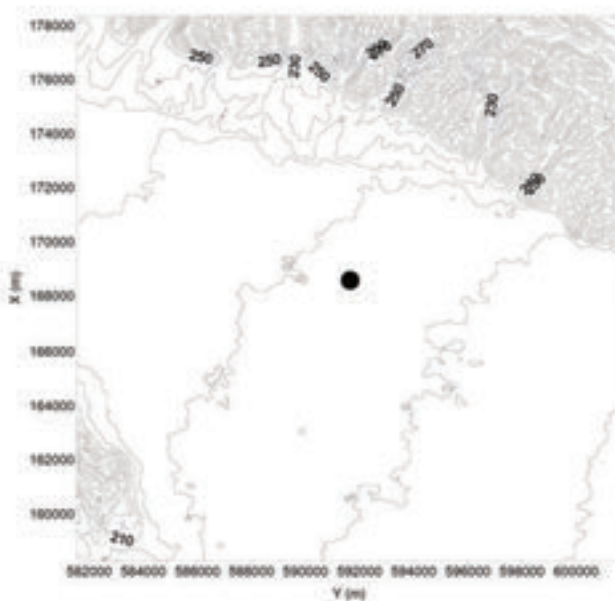
Slika 2.9c Po metodologiji WASP obdelani podatki o vetru v Mariboru.
Figure 2.9c Wind data for Maribor in WASP form.

MURSKA SOBOTA

φ	λ	Y	X	nadmorska višina
46.65246°	16.19632°	591.555 m	168.265 m	185 m

Anemometer stoji na ravnem in odprtem terenu. V smeri proti vzhodu stoji na razdalji 40 m hiša, visoka 4 m. Za njo je na razdalji 100 m naselje Rakičan. V smeri proti severu in zahodu so njive, južno od anemometra je na razdalji 100 m drevored.

Na sliki spodaj je prikazana okolica merilnega mesta, velikosti 20 km × 20 km, nivojnice so na razdaljah 20 m.



povprečna hitrost po mesecih in za leto za posamezna leta													
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
1997	1.0	1.9	1.7	2.6	2.3	1.5	1.6	1.3	1.2	1.2	1.4	1.5	1.6
1998	1.8	1.5	2.4	2.1	1.7	1.4	1.3	1.3	1.4	1.6	1.4	1.1	1.6
1999	1.5	1.6	2.3	1.8	1.4	1.6	1.7	1.3	1.3	1.3	1.1	1.6	1.5
2000	1.4	1.5	2.0	2.2	1.5	1.5	1.6	1.5	1.3	1.1	1.5	1.2	1.5
2001	1.7	2.1	2.1	1.7	1.9	1.8	1.6	1.5	1.3	0.9	1.4	1.3	1.6
2002	1.2	1.9	2.2	1.9	1.6	1.5	1.5	1.3	1.4	1.6	1.4	1.5	1.6
2003	1.2	1.5	1.7	2.2	1.7	1.4	1.7	1.5	1.2	1.4	1.4	1.5	1.6
2004	1.5	1.6	1.9	1.7	1.7	1.4	1.6	1.5	1.3	1.0	1.5	1.2	1.5
2005	1.6	1.6	1.4	2.2	1.6	1.8	1.6	1.4	1.0	1.1	1.1	1.1	1.4
2006	0.9	1.4	1.9	1.8	1.5	1.6	1.4	1.2	0.8	1.2	1.3	1.1	1.3
pov.	1.4	1.7	1.9	2.0	1.7	1.6	1.6	1.4	1.2	1.2	1.3	1.3	1.5

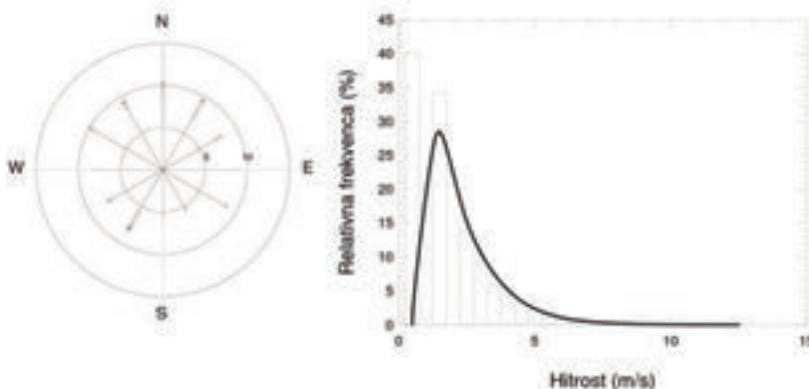
Slika 2.10a Karakteristike merilnega mesta v Murski Soboti in povprečne hitrosti po mesecih in za leto.

Figure 2.10a Measuring site characteristics in Murska Sobota and monthly and yearly averages of wind velocity.

ZNAČILNOSTI VETROV NAD SLOVENIJO

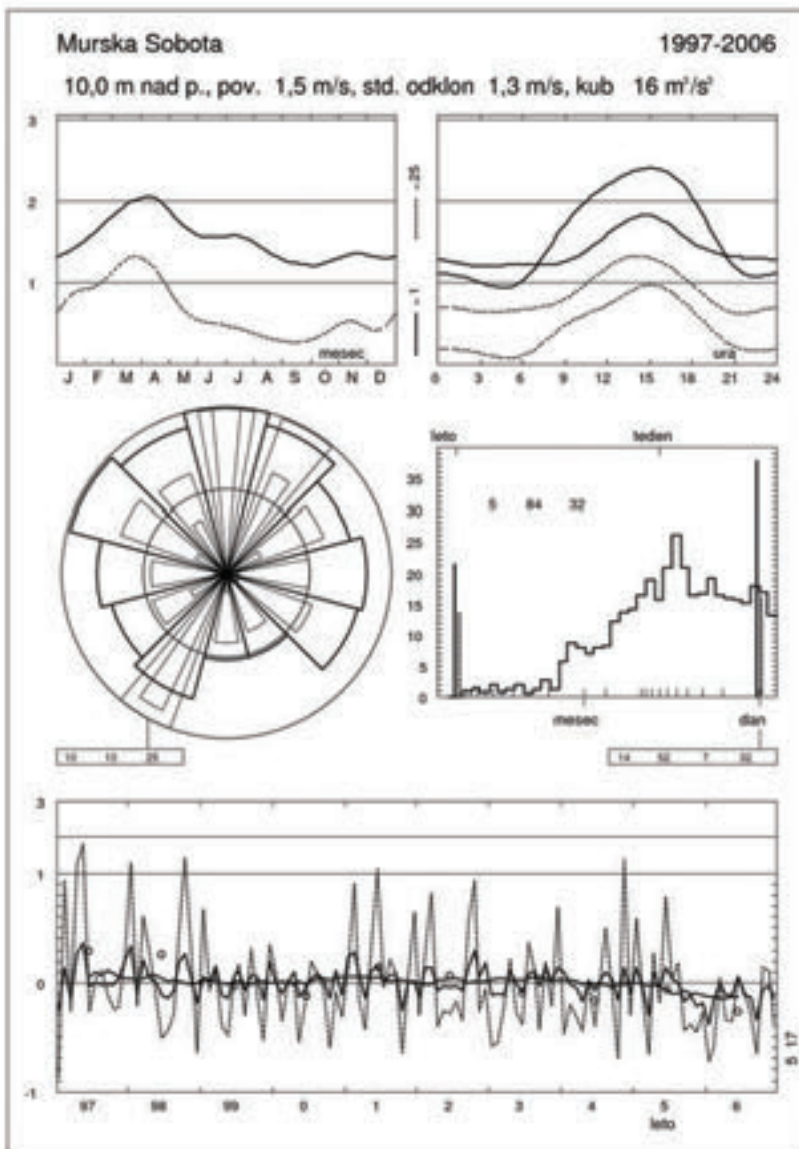
povprečna hitrost vetra po arah v dnevu za posamezne mesece in za leto													
ura	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
0-1	1.3	1.4	1.5	1.5	1.1	1.0	1.1	0.9	0.9	0.9	1.1	1.2	1.2
1-2	1.2	1.3	1.4	1.5	1.1	1.0	1.0	1.0	0.8	0.9	1.1	1.2	1.1
2-3	1.2	1.3	1.5	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	1.1	1.1	1.1
3-4	1.2	1.3	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	1.1	1.1	1.1
4-5	1.2	1.3	1.3	1.3	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	1.2	1.1	1.1
5-6	1.2	1.2	1.3	1.3	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	1.2	1.1	1.1
6-7	1.2	1.1	1.3	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	1.1	1.2	1.1
7-8	1.2	1.1	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.1	0.9	0.9	1.1	1.2	1.2
8-9	1.2	1.2	1.6	1.8	1.6	1.5	1.5	1.3	1.1	1.0	1.2	1.2	1.4
9-10	1.2	1.3	1.9	2.2	1.9	1.8	1.7	1.5	1.3	1.2	1.3	1.3	1.6
10-11	1.3	1.6	2.2	2.5	2.2	1.9	2.0	1.7	1.6	1.5	1.5	1.3	1.8
11-12	1.5	1.9	2.4	2.8	2.4	2.0	2.1	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	2.0
12-13	1.6	2.1	2.6	2.9	2.5	2.2	2.2	2.0	1.9	1.9	1.8	1.6	2.1
13-14	1.7	2.3	2.8	3.0	2.6	2.3	2.3	2.1	2.0	2.0	1.9	1.6	2.2
14-15	1.8	2.5	2.8	3.1	2.6	2.3	2.4	2.1	2.1	2.0	2.0	1.6	2.3
15-16	1.8	2.5	2.9	3.1	2.6	2.3	2.4	2.2	2.0	2.0	2.0	1.7	2.3
16-17	1.7	2.4	3.0	3.0	2.6	2.3	2.3	2.1	1.8	1.8	1.7	1.5	2.2
17-18	1.6	2.1	2.8	2.8	2.5	2.3	2.3	2.0	1.6	1.3	1.4	1.4	2.0
18-19	1.5	1.8	2.4	2.4	2.1	2.1	2.0	1.7	1.1	1.2	1.3	1.4	1.8
19-20	1.4	1.8	2.1	2.0	1.7	1.8	1.6	1.3	1.0	1.2	1.3	1.3	1.5
20-21	1.3	1.7	1.9	1.8	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	1.1	1.2	1.2	1.4
21-22	1.3	1.7	1.7	1.7	1.3	1.2	1.2	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	1.3
22-23	1.3	1.5	1.6	1.5	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2
23-24	1.3	1.5	1.5	1.5	1.1	1.0	1.1	1.0	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2
poz.	1.4	1.7	1.9	2.0	1.7	1.6	1.6	1.4	1.2	1.2	1.3	1.3	1.5

vetrarna roža – pogostost vetra iz posameznih smeri po razredih hitrosti																	
sektor	frekv.	<1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	17	>17	A	k
°	%															m/s	
0	10.4	452	218	114	73	54	34	25	15	8	7	0	0	0	0	1.8	0.96
30	9.6	332	219	185	137	71	34	14	5	2	0	0	0	0	0	2.4	1.43
60	8.1	385	303	185	79	34	12	1	1	0	0	0	0	0	0	1.8	1.43
90	8.9	470	406	102	18	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.4	1.69
120	8.7	346	503	131	19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6	2.13
150	5.5	312	486	182	19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6	2.18
180	5.5	286	411	228	63	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.8	1.91
210	8.2	233	268	178	123	87	56	32	14	7	1	0	0	0	0	2.7	1.99
240	7.5	496	370	62	29	18	10	7	4	3	1	0	0	0	0	1.4	1.65
270	8.2	481	407	86	20	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3	1.63
300	10.0	427	370	139	39	14	7	2	1	1	0	0	0	0	0	1.6	1.37
330	9.3	523	274	101	48	26	13	7	4	2	2	0	0	0	0	1.4	1.61
skupaj	100.0	462	343	137	57	29	15	8	4	2	1	0	0	0	0	1.7	1.17



Slika 2.10b Dnevna in urna povprečja hitrosti vetra v Murski Soboti in vetrorna roža.
 Figure 2.10b Measuring site characteristics in Murska Sobota and monthly and yearly averages of wind velocity.

Diagrami karakteristik vetra v Murski Soboti (za podrobne razlage glej pojasnila v zavezi tega poglavja)	
kraj:	obdobje:
vilica anemometra nad tromejo, povprečna hitrost in njena standardni odklon, povprečna tretja poterna hitrost,	
povprečno leto	povprečni dan
vrsta vetra	spekter hitrosti vetra
časovni postek	



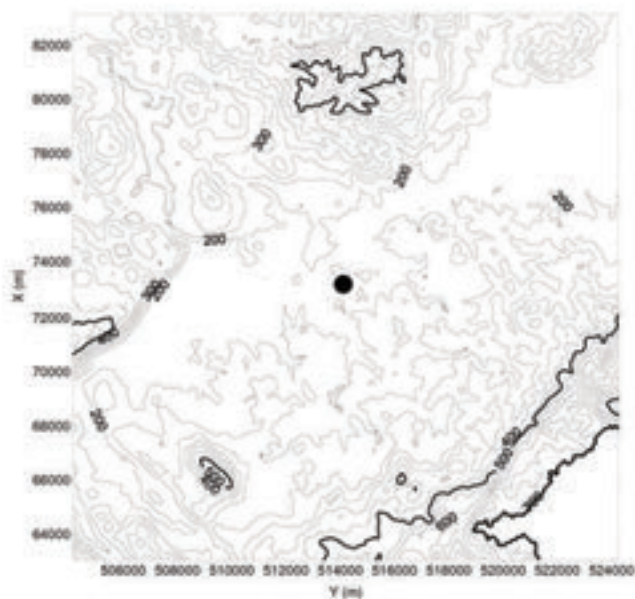
Slika 2.10c Po metodologiji WASP obdelani podatki o vetru v Murski Soboti.
Figure 2.10c Wind data for Murska Sobota in WASP form.

NOVO MESTO

φ	λ	Y	X	nadmorska višina
45.80203°	15.18206°	514.150 m	73.075 m	220 m

Anemometer stoji na odprtem travnatem terenu na vrhu položnega hribečka. Posamezne hiše so na razdalji 50 m v smeri severozahod in so nižje od vznožja stolpa z anemometrom. Za njimi je naselje.

Na sliki spodaj je prikazana okolica merilnega mesta, ki je v velikosti 20 km x 20 km, nivojnice so na razdaljah 50 m.



	povprečna hitrost po mesecih in za leto za posamezna leta												
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
1997	1.1	1.7	1.6	1.7	2.4	1.7	1.3	1.2	1.3	1.6	1.3	1.4	1.5
1998	1.7	1.6	1.9	2.4	1.6	1.5	1.5	1.4	1.2	1.3	1.3	0.9	1.5
1999	1.2	1.2	2.1	1.8	1.6	1.3	1.3	1.4	1.3	1.4	1.2	1.3	1.4
2000	1.2	1.4	2.0	1.8	1.6	1.6	1.7	1.5	1.2	1.3	1.5	1.4	1.5
2001	1.7	1.7	2.2	1.7	1.7	1.6	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.3	1.5
2002	1.3	1.7	1.7	1.7	1.4	1.4	1.4	1.1	1.2	1.5	1.5	1.5	1.5
2003	1.1	1.3	1.6	1.9	1.6	1.4	1.5	1.5	1.0	1.3	1.3	1.2	1.4
2004	1.3	1.5	1.4	1.4	1.5	1.3	1.3	1.4	1.1	1.3	1.4	1.1	1.3
2005	1.3	1.3	1.6	1.8	1.5	1.5	1.4	1.2	1.2	1.1	1.1	1.3	1.4
2006	1.3	1.5	2.0	1.5	1.6	1.5	1.5	1.3	1.2	1.5	1.6	1.2	1.5
poz.	1.3	1.5	1.8	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.4	1.3	1.3	1.5

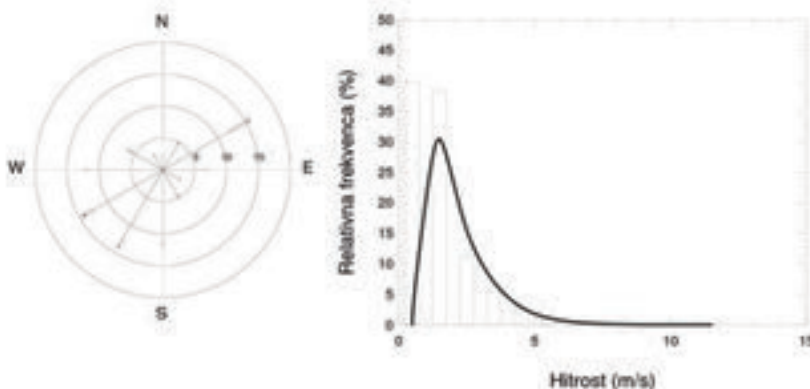
Slika 2.11a Karakteristike merilnega mesta v Novem mestu in povprečne hitrosti po mesecih in za leto.

Figure 2.11a Measuring site characteristics in Novo Mesto and monthly and yearly averages of wind velocity.

ZNAČILNOSTI VETROV NAD SLOVENIJO

povprečna hitrost vetra po urah v dnevu za posamezne mesece in za leto													
ura	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
0-1	1.3	1.3	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2
1-2	1.3	1.3	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	1.1
2-3	1.3	1.3	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	1.1	1.2	1.2	1.1
3-4	1.2	1.3	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	1.1	1.2	1.2	1.1
4-5	1.2	1.2	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	1.1
5-6	1.2	1.2	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	1.1	1.1	1.2	1.1
6-7	1.2	1.2	1.3	1.1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.1	1.2	1.2	1.1
7-8	1.2	1.2	1.3	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.2	1.2	1.1
8-9	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	1.0	1.2	1.2	1.1
9-10	1.2	1.2	1.3	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2
10-11	1.2	1.2	1.6	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.1	1.3	1.3	1.2	1.4
11-12	1.3	1.4	1.9	2.2	2.0	1.7	1.7	1.6	1.4	1.5	1.5	1.3	1.6
12-13	1.4	1.7	2.3	2.5	2.3	2.0	1.9	1.7	1.6	1.8	1.6	1.4	1.9
13-14	1.4	2.0	2.6	2.7	2.5	2.2	2.1	1.9	1.9	2.0	1.7	1.4	2.0
14-15	1.5	2.2	2.8	2.9	2.7	2.3	2.2	2.1	1.8	2.1	1.8	1.5	2.1
15-16	1.6	2.2	2.9	3.0	2.8	2.4	2.3	2.1	2.0	2.0	1.7	1.5	2.2
16-17	1.6	2.2	2.9	2.9	2.7	2.5	2.3	2.1	2.0	1.9	1.6	1.4	2.2
17-18	1.5	2.0	2.8	2.8	2.7	2.5	2.4	2.1	1.9	1.7	1.4	1.3	2.1
18-19	1.4	1.8	2.5	2.4	2.4	2.4	2.2	1.9	1.6	1.4	1.3	1.3	1.9
19-20	1.3	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	1.8	1.5	1.1	1.3	1.3	1.3	1.6
20-21	1.3	1.4	1.7	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	1.2	1.2	1.3	1.4
21-22	1.3	1.4	1.5	1.5	1.3	1.3	1.2	1.1	0.9	1.3	1.2	1.3	1.3
22-23	1.3	1.4	1.5	1.4	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2	1.2
23-24	1.3	1.3	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
prej.	1.3	1.5	1.8	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.4	1.3	1.3	1.5

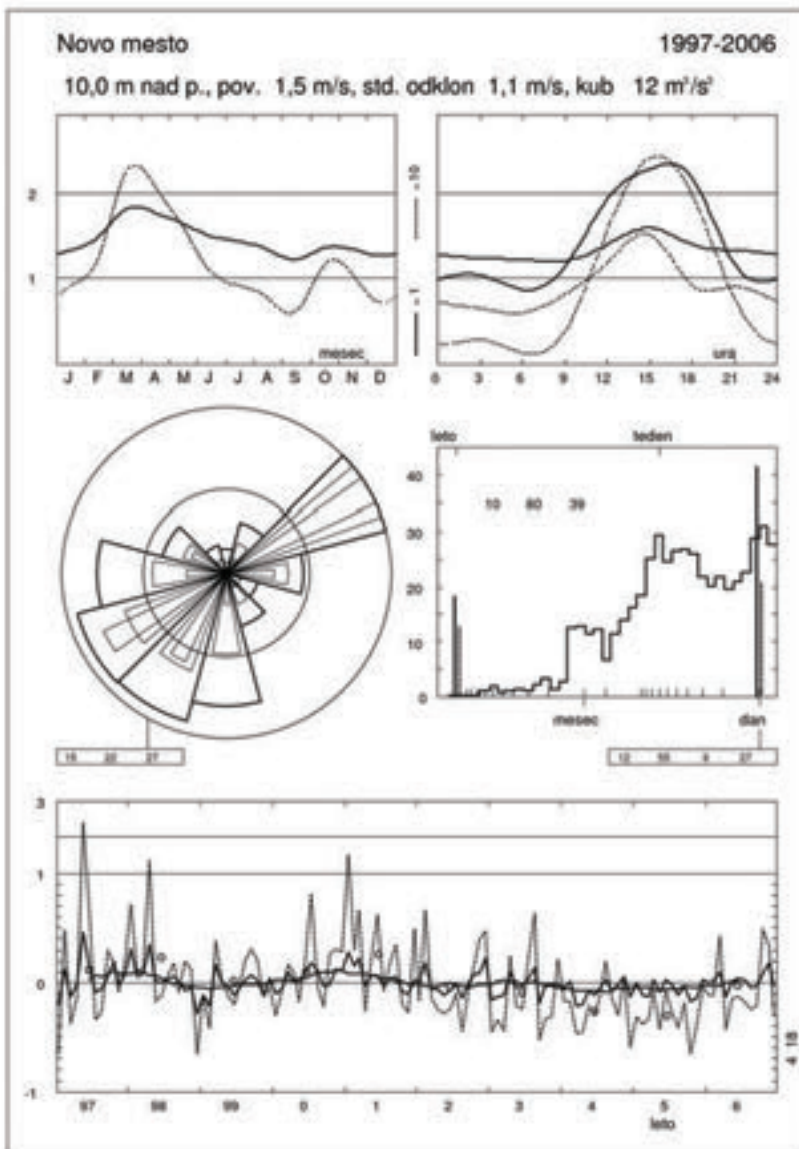
vetrarna roža – pogostost vetra iz posameznih smeri po razredih hitrosti																	
sektor	frekv.	<1 2 3 4 5 6 7 8 9 11 13 15 17 >17														A	k
		%															
0	2.3	588	335	43	14	12	5	3	0	0	0	0	0	0	0	1.1	1.15
30	4.9	386	444	120	31	10	6	2	1	0	0	0	0	0	0	1.6	1.54
60	15.6	180	347	253	131	59	20	7	2	1	0	0	0	0	0	2.4	1.68
90	7.4	285	395	182	89	35	11	2	1	0	0	0	0	0	0	1.9	1.51
120	3.1	350	374	64	10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.57
150	5.0	455	336	144	53	10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	1.48
180	12.0	375	479	103	33	8	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1.6	1.73
210	14.0	437	397	64	36	32	20	9	3	2	0	0	0	0	0	1.5	1.09
240	14.4	474	358	48	34	32	27	17	7	2	1	0	0	0	0	1.4	0.95
270	12.3	475	406	64	28	15	7	3	1	0	0	0	0	0	0	1.4	1.30
300	6.3	462	315	96	65	39	17	6	0	0	0	0	0	0	0	1.5	1.16
330	2.8	570	323	70	26	7	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.25
skupaj	100.0	399	384	113	54	28	13	6	2	1	0	0	0	0	0	1.6	1.25



Slika 2.11b Dnevna in urna povprečja hitrosti vetra v Novem mestu in vetrorna roža.
 Figure 2.11b Measuring site characteristics in Novo Mesto and monthly and yearly averages of wind velocity.

ZNAČILNOSTI VETROV NAD SLOVENIJO

Diagrami karakteristik vetra v Novem mestu (za podrobne razlage glej pojasnila v zavezi tega poročila)	
kraj:	obdobje:
vrsta anemometra nad tlemi, povprečna hitrost in njena standardni odklon, povprečna tretja poterna hitrost,	
povprečno leto	povprečni dnevi
vrsta vetra	spekter hitrosti vetra
časovni postek	



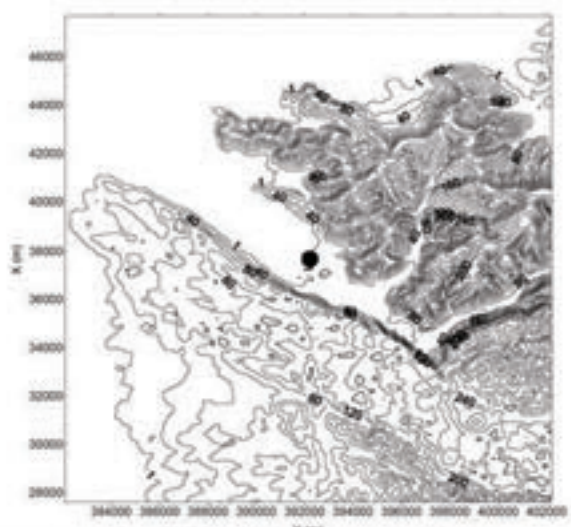
Slika 2.11c Po metodologiji WASP obdelani podatki o vetru v Novem mestu.
Figure 2.11c Wind data for Novo Mesto in WASP form.

PORTOROŽ - LETALIŠČE

φ	λ	Y	X	nadmorska višina
45.47503°	13.62090°	192 195 m	37 650 m	2 m

Anemometer je bil postavljen v dolini Dragonje (v smeri severozahod-jugovzhod) na letališču Portorož, na trimetrskem drogu na vrhu letališkega stolpa. Instrument se je nahajal okrog 13 m od tal na skrajnem severozahodnem koncu letališke zgradbe. Letališka zgradba je bila postavljena v smeri doline (severozahod-jugovzhod). Severozahodno od instrumenta se je na razdalji okrog 100 m nahajalo naselje Sveti Martin. Drugače je bil teren odprt. Marca 2006 je bil instrument prestavljen v bližino letališke steze, na drog visok 10 m. Prestavitev se pozna pri meritvah, povprečna hitrost se je zaradi bolj odprte lege merilnega instrumenta povečala.

Na sliki spodaj je prikazan relief okolice merilnega mesta, ki je v velikosti 20 km x 20 km, nivojnice so na razdaljah 20 m.



	povprečna hitrost po mesecih in za leto za posamezna leta												
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
1997	2.2	2.7	2.9	3.2	3.2	2.9	2.9	2.6	2.9	2.8	2.5	2.4	2.8
1998	2.2	2.6	3.1	3.1	2.6	2.5	2.9	3.2	3.1	3.1	2.9	2.6	2.9
1999	2.5	3.1	3.3	3.3	2.4	2.8	3.0	2.9	3.1	2.9	2.8	2.9	2.8
2000	2.6	2.4	2.9	2.9	2.8	3.0	3.3	3.1	3.0	2.6	3.1	3.2	2.8
2001	2.9	3.0	3.0	3.2	2.9	3.0	3.0	3.1	2.9	2.4	2.7	3.1	2.9
2002	2.4	2.3	2.7	2.8	2.6	3.0	2.8	2.7	2.7	2.8	3.1	3.1	2.7
2003	3.1	3.4	2.9	3.2	2.9	2.4	3.2	3.2	2.4	2.8	3.1	2.9	3.0
2004	2.4	2.2	2.7	2.8	3.0	3.0	2.9	3.1	3.1	2.4	2.9	3.1	2.9
2005	3.0	3.0	2.4	3.4	2.7	2.7	2.8	2.6	2.6	1.8	2.7	2.7	2.7
2006	2.4	2.7	2.3	3.3	3.7	3.4	3.7	3.4	3.3	3.7	3.7	3.6	3.1
pos.	2.6	2.7	2.9	3.1	2.9	2.9	3.1	3.0	2.9	2.7	2.7	2.7	2.8

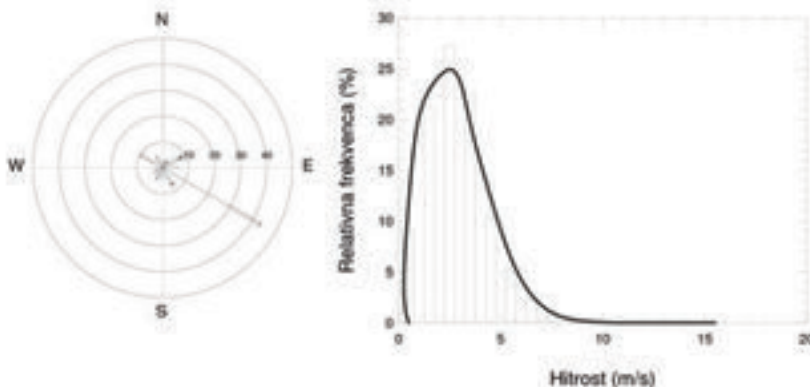
Slika 2.12a Karakteristike merilnega mesta v Portorožu in povprečne hitrosti po mesecih in za leto.

Figure 2.12a Measuring site characteristics in Portorož and monthly and yearly averages of wind velocity.

ZNAČILNOSTI VETROV NAD SLOVENIJO

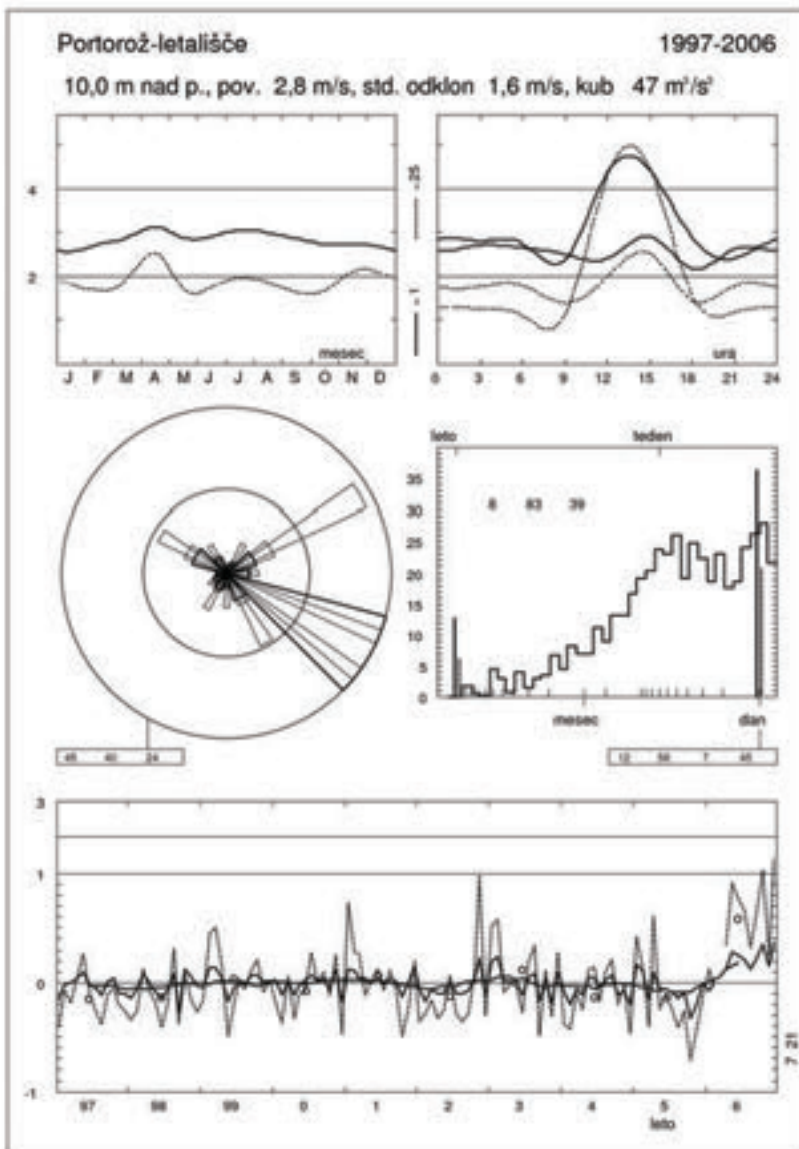
povprečna hitrost vetra po urah v dnevu za posamezne mesece in za leto													
ura	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
0-1	2,6	2,7	2,6	2,8	2,7	2,7	2,9	2,9	2,8	2,8	2,9	2,7	2,7
1-2	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,8	2,9	2,8	2,8	2,8	2,8	2,7
2-3	2,7	2,6	2,6	2,8	2,7	2,8	2,8	2,9	2,7	2,7	2,8	2,7	2,8
3-4	2,7	2,7	2,6	2,8	2,8	2,9	2,8	2,9	2,8	2,8	2,7	2,8	2,8
4-5	2,7	2,7	2,6	2,8	2,7	2,8	2,8	2,9	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8
5-6	2,7	2,7	2,6	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8
6-7	2,7	2,7	2,7	2,9	2,7	2,6	2,7	2,9	2,7	2,7	2,8	2,7	2,7
7-8	2,6	2,8	2,6	2,7	2,3	2,2	2,3	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,6
8-9	2,6	2,7	2,6	2,4	1,9	1,8	1,9	2,0	2,4	2,6	2,9	2,8	2,4
9-10	2,5	2,5	2,3	2,7	2,5	2,3	2,4	2,0	2,2	2,3	2,7	2,8	2,4
10-11	2,3	2,2	2,8	3,5	3,3	3,2	3,3	3,0	2,6	2,3	2,5	2,6	2,8
11-12	2,2	2,5	3,6	4,2	3,7	3,7	3,9	3,8	3,3	2,7	2,5	2,5	3,2
12-13	2,4	3,1	4,1	4,4	4,0	4,0	4,4	4,2	3,6	3,1	2,9	2,6	3,6
13-14	2,8	3,5	4,2	4,5	4,1	4,2	4,5	4,3	4,0	3,4	3,0	2,9	3,8
14-15	2,9	3,7	4,1	4,3	4,0	4,2	4,5	4,3	3,9	3,4	3,0	2,9	3,8
15-16	2,9	3,5	3,9	4,2	3,9	4,0	4,4	4,0	3,8	3,3	2,8	2,7	3,6
16-17	2,5	3,1	3,5	3,8	3,5	3,7	4,0	3,7	3,4	2,8	2,4	2,2	3,2
17-18	2,0	2,5	3,1	3,4	3,2	3,3	3,4	3,2	2,9	2,2	2,1	2,1	2,8
18-19	2,2	2,0	2,4	2,9	2,6	2,7	2,9	2,6	2,1	2,1	2,5	2,4	2,4
19-20	2,4	2,2	1,8	2,3	2,0	2,1	2,3	1,9	1,9	2,5	2,8	2,5	2,2
20-21	2,5	2,5	2,3	2,3	1,9	1,7	1,7	1,9	2,4	2,7	2,8	2,6	2,3
21-22	2,6	2,6	2,5	2,6	2,3	2,3	2,4	2,5	2,7	2,7	2,8	2,6	2,5
22-23	2,7	2,7	2,6	2,7	2,6	2,7	2,7	2,8	2,7	2,8	2,8	2,7	2,7
23-24	2,7	2,7	2,7	2,9	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,7	2,8
pos.	2,6	2,7	2,9	3,1	2,9	2,9	3,1	3,0	2,9	2,7	2,7	2,7	2,8

vetrarna roža – pogostost vetra iz posameznih smeri po razredih hitrosti																	
sektor	frqs.	<1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	17	A	k	
°	%															m/s	
0	1,9	229	263	189	145	96	45	20	8	2	4	0	0	0	0	2,7	1,49
30	2,9	127	127	168	192	166	114	58	28	14	5	1	0	0	0	4,1	2,05
60	8,6	52	87	155	195	188	147	87	48	24	13	2	0	0	0	4,8	2,28
90	6,1	166	256	242	167	98	43	17	7	3	1	0	0	0	0	2,9	1,72
120	43,5	56	238	372	271	45	11	3	2	1	1	0	0	0	0	2,9	2,99
150	7,6	135	232	180	140	119	94	53	26	13	6	1	0	0	0	3,5	1,60
180	3,6	157	178	170	169	144	98	55	21	5	1	0	0	0	0	3,6	1,89
210	4,6	111	153	200	206	164	106	43	12	3	1	0	0	0	0	3,8	2,19
240	3,7	157	190	226	243	123	41	12	5	2	1	0	0	0	0	3,2	2,14
270	3,0	199	342	222	141	71	17	6	1	1	1	0	0	0	0	2,4	1,61
300	9,8	63	174	213	239	187	85	29	8	1	0	0	0	0	0	3,7	2,47
330	4,8	111	226	203	204	165	65	18	4	2	1	0	0	0	0	3,4	2,12
skupaj	100,0	91	211	273	226	183	83	24	11	5	2	0	0	0	0	3,3	1,89



Slika 2.12b Dnevna in urna povprečja hitrosti vetra v Portorožu in vetrna roža.
 Figure 2.12b Measuring site characteristics in Portorož and monthly and yearly averages of wind velocity.

Diagrami karakteristik vetra na letališču Portorož (za podrobne razlage glej poglavje v začetku tega poglavja)	
kraj,	obdobje,
višina anemometra nad tlemi, povprečna hitrost in njena standardni odklon, povprečna tretja poterna hitrost,	
povprečno leto	povprečni dan
vrsta vetra	spekter hitrosti vetra
časovni postek	



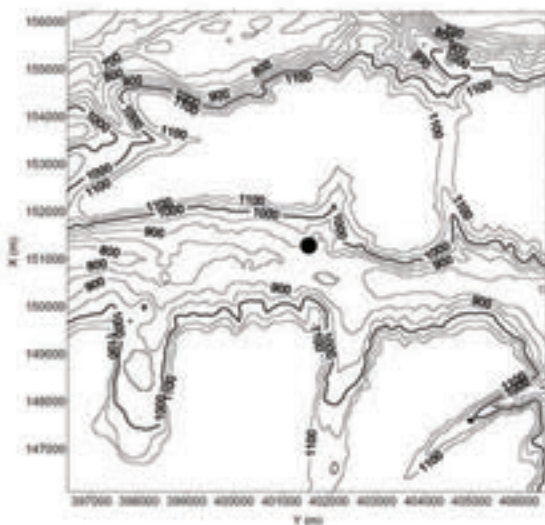
Slika 2.12c Po metodologiji WASP obdelani podatki o vetru v Portorožu.
Figure 2.12c Wind data for Portorož in WASP form.

RATEČE

φ	λ	V	X	nadmorska višina
46.49°20"	13.11751°	401.570 m	131.133 m	500 m

Anemometer je bil postavljen v dolini na jugozahodnem delu Rateč. Na zahodu je bilo v bližini merilnega mesta le nekaj hiš, potem je bil teren odprt. Rateče se nahajajo vzhodno, severovzhodno in jugovzhodno od merilnega mesta. Najbližja hiša je 10 m zahodno severozahodno od instrumenta. Instrument je bil na drogu, visokem 10 m.

Na sliki spodaj je prikazana okolica merilnega mesta, ki je v velikosti 10 km x 10 km, nivojnice so na razdaljah 50 m.



	povprečna hitrost po mesecih in za leto za posamezna leta												
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
2000	0.9	0.8	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	0.9	0.9	1.0	0.9	0.8	1.0
2001	0.8	1.0	1.2	1.1	1.0	1.1	1.0	1.0	0.8	0.9	0.8	0.8	1.0
2002	0.8	1.0	1.1	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.8	1.2	1.1	0.9	1.0
2003	0.8	0.9	1.0	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	1.0	0.9	0.7	0.9
2004	0.7	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.9	0.8	0.6	0.9
2005	0.6	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	0.9	0.8	0.7	0.8	0.8	0.6	0.8
2006	0.7	0.8	1.1	0.8	1.1	1.1	1.7	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.9
poz.	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0	0.9	0.8	1.0	0.8	0.7	0.9

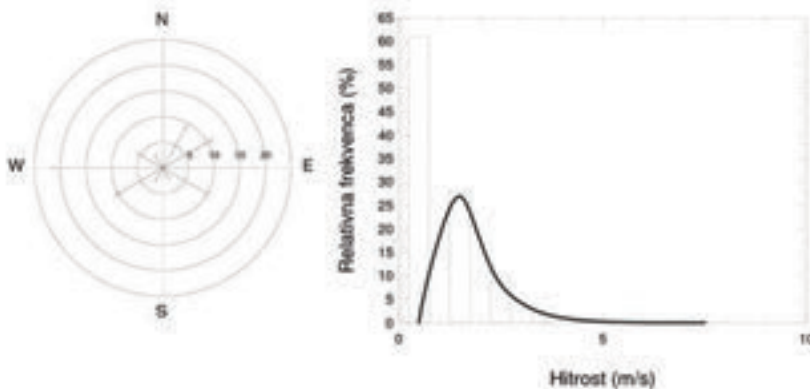
Slika 2.13a Karakteristike merilnega mesta v Ratečah in povprečne hitrosti po mesecih in za leto.

Figure 2.13a Measuring site characteristics in Rateče and monthly and yearly averages of wind velocity.

ZNAČILNOSTI VETROV NAD SLOVENIJO

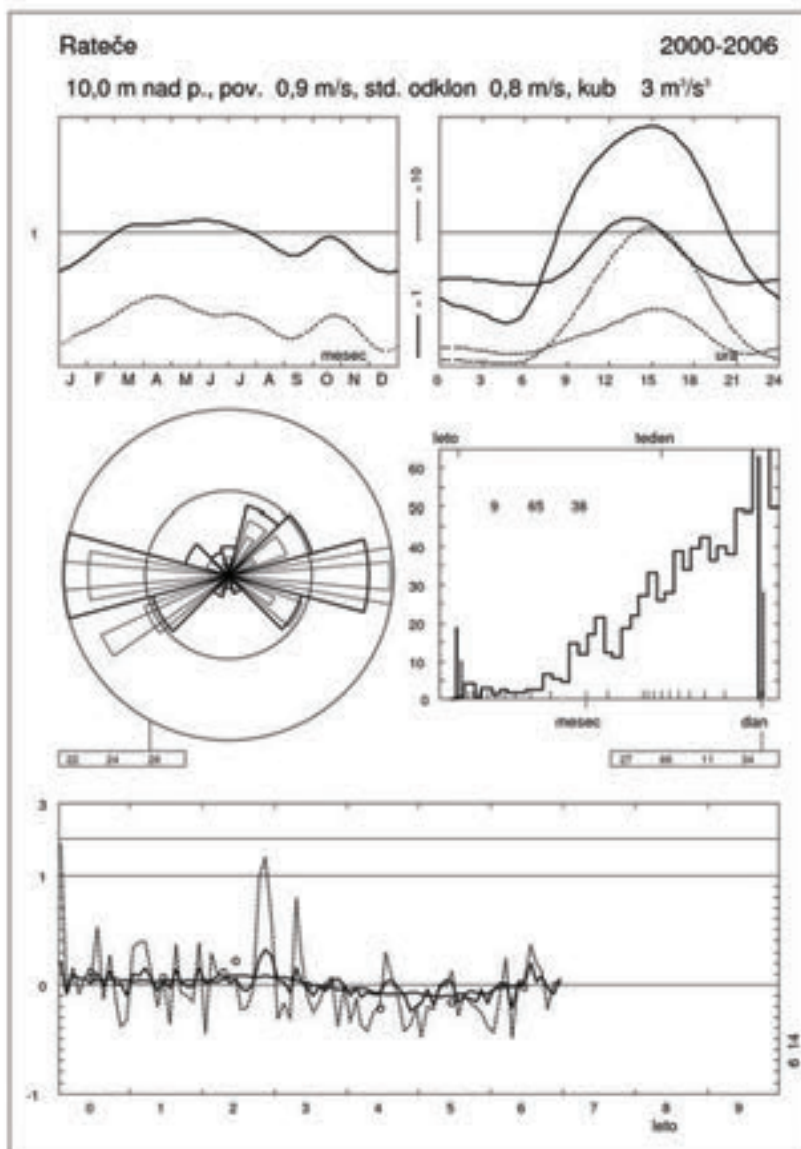
povprečna hitrost vetra po urah v dnevu za posamezne mesece in za leto													
ura	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
0-1	0,6	0,6	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6
1-2	0,7	0,6	0,7	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,5
2-3	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,5
3-4	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,5
4-5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,5
5-6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,5
6-7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,5
7-8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7	0,6	0,5	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6
8-9	0,7	0,6	0,6	0,8	1,0	1,1	0,9	0,8	0,6	0,7	0,6	0,7	0,8
9-10	0,7	0,7	0,8	1,1	1,3	1,3	1,2	1,1	0,9	0,9	0,8	0,7	1,0
10-11	0,8	0,9	1,2	1,4	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,0	0,7	1,2
11-12	0,9	1,1	1,4	1,6	1,6	1,6	1,5	1,3	1,3	1,4	1,2	0,8	1,3
12-13	1,0	1,3	1,6	1,7	1,8	1,7	1,6	1,4	1,5	1,7	1,3	1,0	1,5
13-14	1,1	1,6	1,8	1,8	1,9	1,8	1,7	1,6	1,6	1,8	1,4	1,0	1,6
14-15	1,1	1,6	1,9	1,8	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,8	1,5	1,0	1,6
15-16	1,1	1,6	1,9	1,9	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,7	1,4	0,9	1,6
16-17	1,0	1,6	1,9	1,9	2,0	2,0	1,7	1,7	1,6	1,5	1,1	0,7	1,5
17-18	0,8	1,3	1,7	1,6	1,8	1,8	1,7	1,5	1,3	1,2	0,9	0,7	1,4
18-19	0,8	1,1	1,3	1,5	1,6	1,6	1,5	1,3	1,0	0,9	0,8	0,6	1,2
19-20	0,7	1,0	1,1	1,3	1,2	1,3	1,3	1,0	0,8	0,8	0,7	0,6	1,0
20-21	0,7	0,9	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	0,9	0,6	0,8	0,7	0,7	0,8
21-22	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,7	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7
22-23	0,6	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,6	0,5	0,7	0,7	0,6	0,7
23-24	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,6	0,7	0,6	0,6
poz.	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1	1,0	0,9	0,8	1,0	0,8	0,7	0,9

vetrarna roža – pogostost vetra iz posameznih smeri po razredih hitrosti																	
sektor	frkvs.	<1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	17	>17	A	k
0	3,6	304	146	38	8	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	1,14
30	9,2	644	274	64	16	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,0	1,25
60	11,1	749	213	31	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	1,30
90	18,4	430	341	208	20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	1,78
120	10,0	411	495	90	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,4	2,20
150	2,4	564	386	47	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,1	1,71
180	1,5	698	271	29	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	1,49
210	2,9	615	308	60	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,0	1,31
240	10,6	516	299	111	48	18	7	1	0	0	0	0	0	0	0	1,4	1,24
270	21,7	676	230	55	25	10	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0,9	1,00
300	5,6	864	115	16	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	1,36
330	3,0	884	95	16	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	1,36
skupaj	100,0	610	280	86	18	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1,1	1,21



Slika 2.13b Dnevna in urna povprečja hitrosti vetra v Ratečah in vetrorna roža.
 Figure 2.13b Measuring site characteristics in Rateče and monthly and yearly averages of wind velocity.

Diagrami karakteristik vetra v Ratečah (za podrobne razlage glej pojasnila v zavihku tega poglavja)	
Kraj, višina anemometra nad tlemi, povprečna hitrost in njena standardni odklon, povprečna tretja poterna hitrost, povprečno leto	obdobje, povprečni dnevi
vrsta vetra	spekter hitrosti vetra
časovni potek	



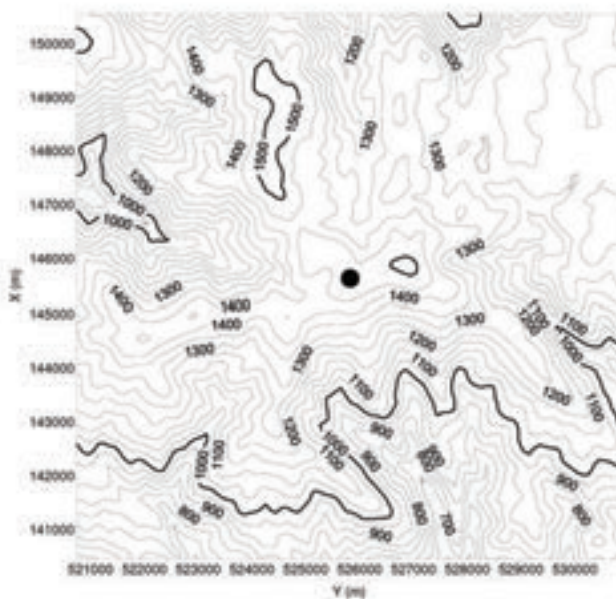
Slika 2.13c Po metodologiji WASP obdelani podatki o vetru v Ratečah.
 Figure 2.13c Wind data for Rateče in WASP form.

ROGLA

φ	λ	Y	X	nadmorska višina
46.45330°	15.33621°	525.825 m	145.490 m	1.492 m

Anemometer stoji na 10 m visokem drogu na hribu, visokem 4 m ob sedežnici Planja na Rogli. Okolica terena je pogozdena in se v vseh smereh spušča. V smeri proti severovzhodu je nizka kočja in zgornja postaja sedežnice.

Na sliki spodaj je prikazana okolica merilnega mesta, ki je v velikosti 10 km x 10 km, nivojnice so na razdaljah 50 m.



povprečna hitrost po mesecih in za leto za posamezna leta													
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
1997	2.1	4.6	3.8	4.8	4.6	3.9	4.3	3.2	3.3	3.9	4.8	4.1	4.0
1998	4.8	3.8	4.4	5.1	4.0	3.5	2.6	3.1	4.3	4.4	3.3	3.3	4.0
1999	3.8	5.3	4.5	4.2	3.1	3.6	3.6	3.2	3.8	4.0	3.7	4.4	3.9
2000	3.7	4.0	4.1	4.1	3.2	2.6	3.6	2.6	3.0	4.1	5.7	4.2	3.8
2001	4.2	4.9	4.9	4.0	3.6	4.0	3.3	2.8	4.3	3.7	4.0	3.0	3.9
2002	3.4	4.0	4.4	3.9	3.9	3.4	3.3	3.6	3.6	4.6	5.7	4.4	4.0
2003	4.5	4.3	3.5	4.8	4.2	3.0	3.5	3.0	3.7	4.2	4.6	5.6	4.1
2004	4.9	4.6	3.5	4.0	4.0	3.5	3.9	3.5	3.4	4.5	4.9	4.5	4.1
2005	4.6	4.0	3.7	4.3	3.8	3.8	3.6	3.4	3.6	3.8	4.1	4.4	3.9
2006	4.2	4.3	4.6	3.9	3.8	3.9	2.7	3.9	3.0	4.4	4.2	4.3	3.9
pov.	4.1	4.4	4.1	4.3	3.8	3.5	3.5	3.2	3.6	4.2	4.5	4.3	4.0

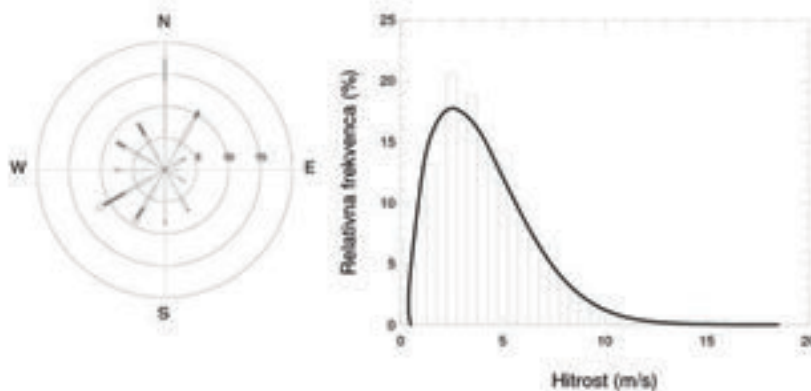
Slika 2.14a Karakteristike merilnega mesta na Rogli in povprečne hitrosti po mesecih in za leto.

Figure 2.14a Measuring site characteristics at Rogla and monthly and yearly averages of wind velocity.

ZNAČILNOSTI VETROV NAD SLOVENIJO

povprečna hitrost vetra po urah v dnevu za posamezne mesece in za leto													
ura	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
0-1	4.3	4.5	4.3	4.4	4.0	3.8	3.7	3.5	3.8	4.4	4.6	4.4	4.1
1-2	4.3	4.5	4.3	4.5	4.1	3.8	3.7	3.5	3.8	4.4	4.6	4.4	4.1
2-3	4.3	4.7	4.3	4.4	4.0	3.8	3.8	3.4	3.7	4.3	4.6	4.3	4.1
3-4	4.3	4.7	4.4	4.4	4.0	3.8	3.8	3.4	3.8	4.3	4.6	4.3	4.1
4-5	4.2	4.6	4.4	4.4	4.0	3.7	3.8	3.3	3.9	4.3	4.6	4.3	4.1
5-6	4.2	4.6	4.3	4.4	4.0	3.7	3.8	3.4	3.8	4.3	4.6	4.3	4.1
6-7	4.3	4.6	4.2	4.3	3.8	3.4	3.6	3.3	3.8	4.3	4.6	4.3	4.0
7-8	4.2	4.5	4.2	4.2	3.7	3.2	3.4	3.1	3.7	4.2	4.5	4.3	3.9
8-9	4.1	4.4	4.1	4.2	3.7	3.3	3.3	3.1	3.6	4.0	4.4	4.2	3.9
9-10	4.0	4.3	4.0	4.3	3.6	3.3	3.2	3.1	3.6	4.0	4.3	4.1	3.8
10-11	3.8	4.2	4.0	4.2	3.6	3.2	3.3	3.1	3.6	4.1	4.4	4.0	3.8
11-12	3.6	4.2	3.9	4.1	3.5	3.2	3.2	3.2	3.5	4.0	4.4	4.0	3.7
12-13	3.7	4.2	3.9	4.2	3.6	3.3	3.3	3.1	3.4	4.0	4.4	3.9	3.7
13-14	3.8	4.1	3.9	4.2	3.7	3.4	3.3	3.1	3.4	3.9	4.4	4.0	3.8
14-15	3.8	4.1	3.9	4.2	3.8	3.6	3.5	3.1	3.3	3.9	4.4	4.0	3.8
15-16	3.9	4.0	3.9	4.2	3.9	3.6	3.5	3.1	3.3	3.8	4.5	4.0	3.8
16-17	3.8	4.0	3.9	4.3	3.9	3.6	3.5	3.1	3.3	3.8	4.4	4.0	3.8
17-18	3.9	4.0	3.9	4.2	3.8	3.5	3.5	3.0	3.2	3.8	4.5	4.2	3.8
18-19	4.0	4.3	4.0	4.2	3.7	3.4	3.4	3.0	3.3	4.1	4.6	4.3	3.9
19-20	4.1	4.4	4.2	4.3	3.6	3.3	3.5	3.1	3.5	4.4	4.5	4.3	3.9
20-21	4.1	4.6	4.3	4.4	3.8	3.5	3.5	3.3	3.7	4.4	4.6	4.3	4.0
21-22	4.1	4.5	4.2	4.4	4.0	3.7	3.6	3.4	3.7	4.4	4.6	4.2	4.1
22-23	4.1	4.4	4.3	4.4	4.1	3.8	3.7	3.4	3.8	4.3	4.6	4.3	4.1
23-24	4.2	4.5	4.3	4.5	4.0	3.8	3.6	3.4	3.8	4.3	4.6	4.4	4.1
prej.	4.1	4.4	4.1	4.3	3.8	3.5	3.5	3.2	3.6	4.2	4.5	4.2	4.0

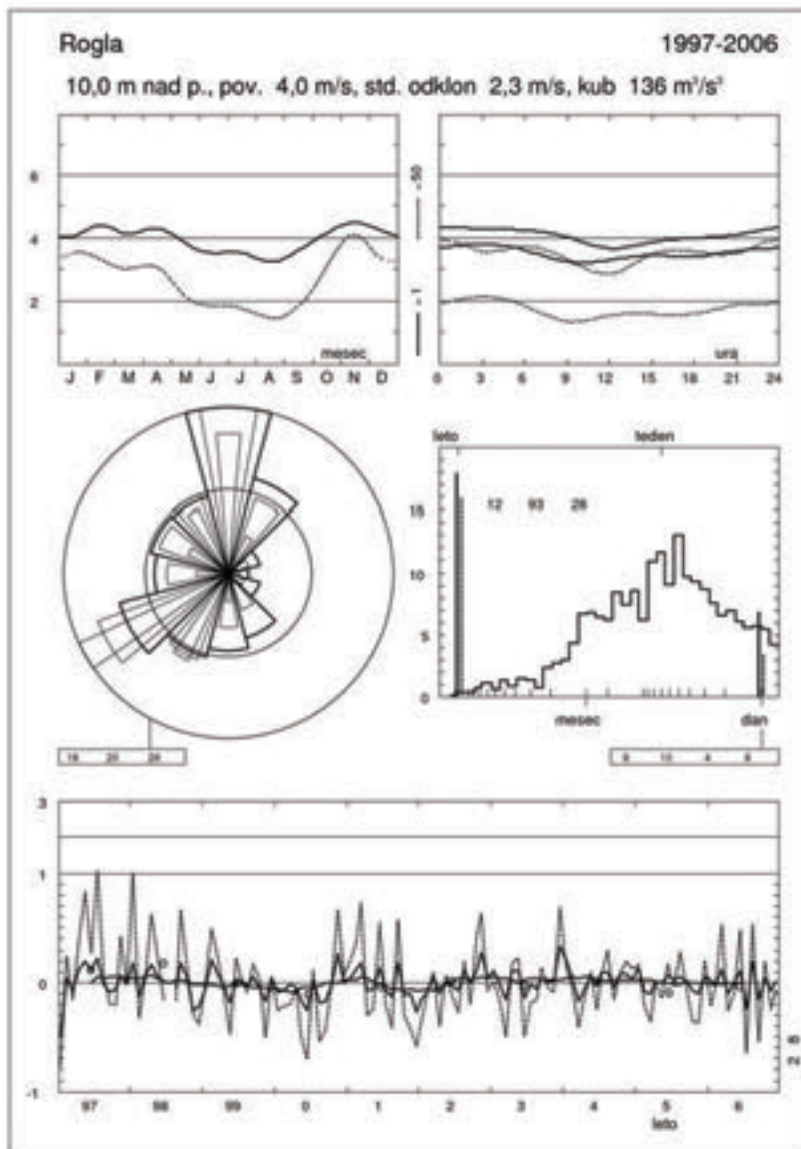
vetrarna roža – pogostost vetra iz posameznih smeri po razredih hitrosti																	
sektor	frkvs.	<1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	17	>17	A	k
°	%																
0	17.9	27	89	171	190	170	131	94	60	30	27	8	3	1	0	5.0	1.94
30	10.5	48	135	225	214	162	112	63	26	10	5	0	0	0	0	4.1	2.09
60	3.5	100	169	223	219	163	75	39	8	2	0	0	0	0	0	3.6	2.20
90	2.1	163	244	288	168	83	29	17	6	1	0	0	0	0	0	2.8	1.85
120	3.6	118	308	324	156	63	20	7	1	0	0	0	0	0	0	2.7	2.05
150	7.4	74	271	354	193	68	22	11	4	2	0	0	0	0	0	2.9	2.08
180	8.5	63	197	293	217	107	49	28	22	12	10	2	0	0	0	3.4	1.62
210	9.5	45	114	162	165	131	105	76	68	50	41	21	1	0	0	5.1	1.71
240	12.2	30	68	116	124	129	135	122	100	74	70	24	7	1	0	6.2	2.18
270	7.9	42	121	227	227	165	106	60	33	13	6	0	0	0	0	4.1	2.07
300	8.6	38	86	178	224	185	136	80	43	18	11	0	0	0	0	4.6	2.23
330	8.5	40	70	137	170	179	155	101	70	41	30	6	1	0	0	5.3	2.21
skupaj	100.0	50	131	205	188	143	104	71	47	27	24	7	2	0	0	4.4	1.69



Slika 2.14b Dnevna in urna povprečja hitrosti vetra na Rogli in vetrarna roža.
 Figure 2.14b Measuring site characteristics at Rogla and monthly and yearly averages of wind velocity.

ZNAČILNOSTI VETROV NAD SLOVENIJO

Diagrami karakteristik vetra na Rogli (za podrobne razlage glej pojasnila v začetku tega poglavja)	
Kraj, vrhovi anemometra nad tromešom, povprečna hitrost in njena standardni odklon, povprečna tretja poterna hitrost.	obdobje, povprečni dnevi
vrsta vetra	spekter hitrosti vetra
časovni postek	



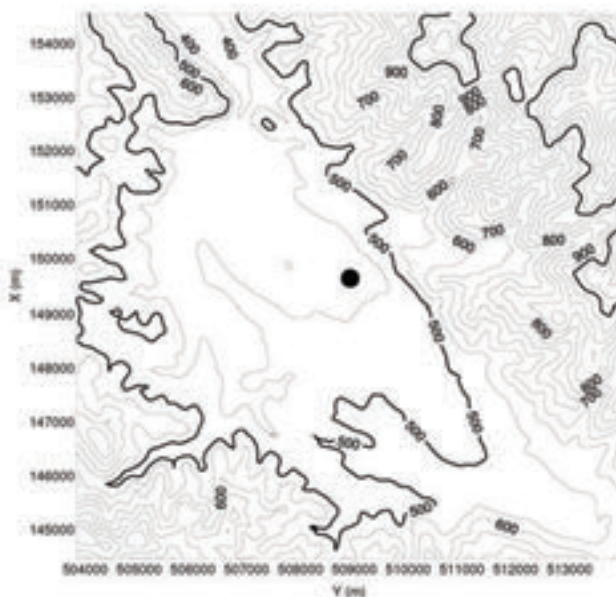
Slika 2.14c Po metodologiji WASP obdelani podatki o vetru na Rogli.
Figure 2.14c Wind data for Rogla in WASP form.

ŠMARTNO PRI SLOVENJ GRADCU

φ	λ	Y	X	nadmorska višina
46.48991°	15.11601°	508.905 m	149.510 m	445 m

V smeri proti zahodu stoji na razdalji 30 m od anemometra gospodarsko poslopje, visoko 10 m. V smeri proti severu je na razdalji 40 m hiša, za njo so njive. V smeri proti jugu so travniki in njive, v smeri vzhodno je na razdalji 100 m naprej naselje.

Na sliki spodaj je prikazana okolica merilnega mesta, ki je v velikosti 10 km x 10 km, nivojnice so na razdaljah 50 m.



povprečna hitrost po mesecih in za leto za posamezna leta													
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leta
1997	0,9	1,3	1,6	2,1	2,0	1,8	1,5	1,1	1,1	1,5	1,4	1,2	1,5
1998	1,4	1,2	1,7	2,1	1,7	1,4	1,4	1,3	1,5	1,3	1,4	0,9	1,5
1999	1,0	1,7	2,0	1,8	1,5	1,7	1,5	1,2	1,3	1,4	1,1	1,1	1,4
2000	1,0	1,2	2,0	2,2	1,6	1,6	1,6	1,2	1,2	1,6	1,7	1,1	1,5
2001	1,7	1,5	2,1	1,7	1,8	1,9	1,5	1,3	1,4	1,0	1,2	1,5	1,5
2002	1,0	1,3	1,7	1,7	1,7	1,7	1,4	1,2	1,0	1,2	1,3	1,1	1,4
2003	0,9	1,0	0,9	1,7	1,7	1,3	1,5	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2
2004	0,9	0,9	1,3	1,4	1,3	1,2	1,1	1,2	0,9	1,1	1,1	0,9	1,1
2005	1,2	1,3	1,4	1,8	1,6	1,6	1,5	1,1	1,1	0,8	0,9	1,0	1,3
2006	0,9	1,2	1,7	1,6	1,4	1,6	1,3	1,2	0,8	1,1	0,8	1,4	1,2
poz.	1,1	1,3	1,7	1,8	1,6	1,6	1,4	1,2	1,1	1,2	1,2	1,1	1,4

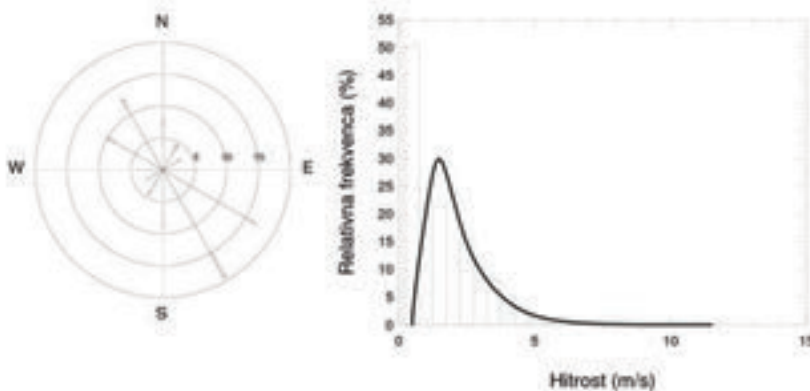
Slika 2.15a Karakteristike merilnega mesta v Šmartnem pri Slovenj Gradcu in povprečne hitrosti po mesecih in za leto.

Figure 2.15a Measuring site characteristics in Šmartno pri Slovenj Gradcu and monthly and yearly averages of wind velocity.

ZNAČILNOSTI VETROV NAD SLOVENIJO

povprečna hitrost vetra po urah v dnevu za posamezne mesece in za leto													
ura	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	leto
0-1	1.0	1.0	1.2	1.2	1.0	0.9	0.9	0.7	0.7	0.8	1.0	1.0	1.0
1-2	1.0	1.0	1.2	1.2	0.9	0.9	0.9	0.7	0.7	0.8	1.0	1.0	0.9
2-3	0.9	0.9	1.1	1.2	0.9	0.8	0.8	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	0.9
3-4	0.9	1.0	1.1	1.1	0.8	0.8	0.8	0.6	0.6	0.8	0.9	1.0	0.9
4-5	0.9	0.9	1.0	1.1	0.8	0.8	0.8	0.6	0.6	0.8	1.0	1.0	0.8
5-6	0.9	0.9	1.0	1.1	0.7	0.8	0.7	0.6	0.6	0.8	1.0	1.0	0.8
6-7	0.9	0.8	1.0	1.0	0.7	0.8	0.8	0.6	0.6	0.9	1.0	1.0	0.8
7-8	0.9	0.8	1.0	1.2	0.9	1.0	0.9	0.6	0.6	0.8	1.0	1.1	0.9
8-9	0.9	0.8	1.0	1.5	1.1	1.2	1.1	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0
9-10	0.9	0.8	1.2	1.8	1.5	1.5	1.4	1.1	1.0	1.0	1.1	1.0	1.2
10-11	1.0	1.0	1.5	2.1	1.9	1.7	1.6	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.4
11-12	1.1	1.3	1.8	2.4	2.1	2.0	1.8	1.5	1.4	1.4	1.4	1.2	1.6
12-13	1.2	1.5	2.1	2.6	2.4	2.2	2.0	1.7	1.7	1.6	1.6	1.3	1.8
13-14	1.4	1.7	2.4	2.8	2.6	2.4	2.2	1.9	1.9	1.8	1.7	1.4	2.0
14-15	1.5	1.9	2.6	2.8	2.8	2.6	2.4	2.1	2.1	1.9	1.7	1.4	2.1
15-16	1.5	2.0	2.7	2.8	2.8	2.7	2.5	2.1	2.1	2.0	1.8	1.3	2.2
16-17	1.4	2.0	2.8	2.9	2.8	2.6	2.4	2.1	2.1	2.0	1.5	1.2	2.2
17-18	1.4	1.9	2.7	2.7	2.7	2.6	2.3	1.9	1.8	1.7	1.3	1.1	2.0
18-19	1.3	1.8	2.4	2.3	2.4	2.4	2.1	1.6	1.5	1.5	1.2	1.1	1.8
19-20	1.2	1.5	2.0	2.0	2.1	2.1	1.8	1.3	1.2	1.4	1.2	1.0	1.6
20-21	1.2	1.4	1.9	1.8	1.7	1.7	1.4	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.4
21-22	1.1	1.3	1.7	1.8	1.5	1.4	1.2	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.3
22-23	1.0	1.2	1.5	1.5	1.4	1.3	1.1	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	1.1
23-24	0.9	1.0	1.3	1.4	1.1	1.1	1.1	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0
prej.	1.1	1.3	1.7	1.8	1.6	1.6	1.4	1.2	1.1	1.2	1.2	1.1	1.4

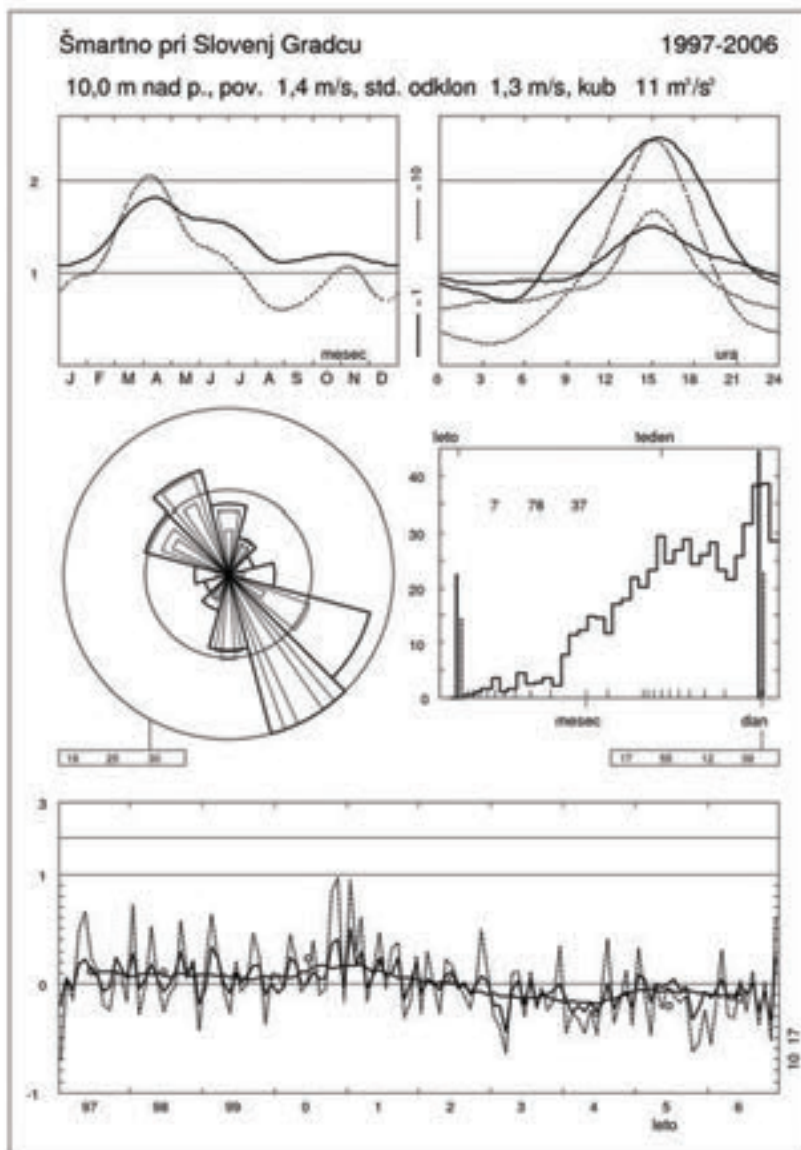
vetrovna roža – pogostost vetra iz posameznih smeri po razredih hitrosti																	
sektor	frekv.	<1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	17	>17	A	k
0	8.0	349	293	237	88	24	7	1	1	0	0	0	0	0	0	1.9	1.63
30	4.5	329	156	139	98	48	20	6	3	1	0	0	0	0	0	1.6	1.11
60	3.1	791	112	57	26	8	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0.7	0.85
90	5.4	829	150	18	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	1.43
120	16.8	605	253	89	42	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	1.14
150	19.4	413	174	195	141	58	15	4	1	0	0	0	0	0	0	2.1	1.48
180	8.9	382	188	210	122	67	24	5	1	0	0	0	0	0	0	2.2	1.51
210	4.4	544	143	184	83	29	13	3	1	1	0	0	0	0	0	1.5	1.16
240	2.9	866	105	21	6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	1.23
270	3.9	814	138	32	11	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	1.10
300	10.0	466	244	154	83	36	13	3	1	0	0	0	0	0	0	1.7	1.25
330	12.6	298	315	262	87	26	8	3	1	0	0	0	0	0	0	2.1	1.72
skupaj	100.0	502	214	158	81	32	10	2	1	0	0	0	0	0	0	1.6	1.22



Slika 2.15b Dnevna in urna povprečja hitrosti vetra v Šmartnem pri Slovenj Gradcu in vetrovna roža.

Figure 2.15b Measuring site characteristics in Šmartno pri Slovenj Gradcu and monthly and yearly averages of wind velocity.

Diagrami karakteristik vetra v Šmartnem pri Slovenj Gradcu (za podrobne razlage glej poljsko in zaledsko togo poglavje)	
kraj,	obdobje,
višina anemometra nad tlemi, povprečna hitrost in njen standardni odklon, povprečna tretja potenca hitrosti,	
povprečno leto	povprečni dnevi
ruža vetra	spekter hitrosti vetra
časovni potek	



Slika 2.15c Po metodologiji WASP obdelani podatki o vetru v Šmartnem pri Slovenj Gradcu.

Figure 2.15c Wind data for Šmartno pri Slovenj Gradcu in WASP form.

3 MODELIRANJE POLJA VETRA NAD SLOVENIJO

3.1 Računska ocena polja vetra nad Slovenijo

3.1.1 Uvod

Kot je razvidno iz prejšnjih poglavij, je ocena vetrnih razmer (zlasti v povezavi s potencialnim energetskega izkoriščanjem) zelo zahtevna naloga. Ker je energija oziroma potencialna moč vetra sorazmerna s tretjo potenco hitrosti, je ocena energije zelo občutljiva na kakovost ocene pogostosti pojavljanja relativno velikih hitrosti, ki se (sledječ Weibullovi porazdelitvi) pojavljajo zelo redko. Torej ni dovolj zgolj dobra ocena povprečne hitrosti vetra, treba je dobro oceniti vso statistično porazdelitev ali pa vsaj parametra Weibullove porazdelitve A in k .

Pri izbiri metode smo imeli dve možnosti – statistični pristop z obdelavo točkovnih meritev vetra in izdelavo kart s pomočjo geostatističnih metod ali pa dinamični pristop – kartiranje s pomočjo računalniške simulacije vremenskih procesov za daljše časovno obdobje. Glavna razlika med obema pristopoma je v prostorski porazdelitvi pričakovane napake. Pri statistični metodi, ki temelji na točkovnih meritvah, je pričakovana napaka v neposredni bližini merilnih točk zelo majhna, z razdaljo od merilnih točk pa raste; če je znotraj območja, ki je razgibano in ima kompleksen vetrovni režim, relativno malo merskih točk, lahko napaka doseže velike vrednosti. Dinamični pristop pa je na meritve vezan posredno, prek asimilacijskega procesa, ki se vrši v veliki prostorski skali. Prilagoditve polja vetra na manjšo prostorsko skalo se izvedejo računsko, s pomočjo vhodnih podatkov meteoroloških spremenljivk in podatkov o lastnosti tal, ki so urejeni v pravih računskih mrežah. Zato je upravičeno pričakovanje, da je napaka relativno enakomerno prostorsko porazdeljena; seveda so lahko prisotna tudi prostorska nihanja med posameznimi deli računskega območja, vendar le-ta ni odvisna od števila merskih točk in razdalje med njimi.

Zaradi relativno kompleksnega vetrovnega režima v Sloveniji, zlasti na Primorskem in v bližini morja, in zaradi relativno majhnega števila merskih točk – v jugozahodni Sloveniji ni nobene gorske meteorološke postaje – smo izbrali dinamični pristop k izdelavi kart vetra.

3.1.2 Reanalize ERA-40, model ALADIN, dinamična adaptacija in masnokonsistentni model

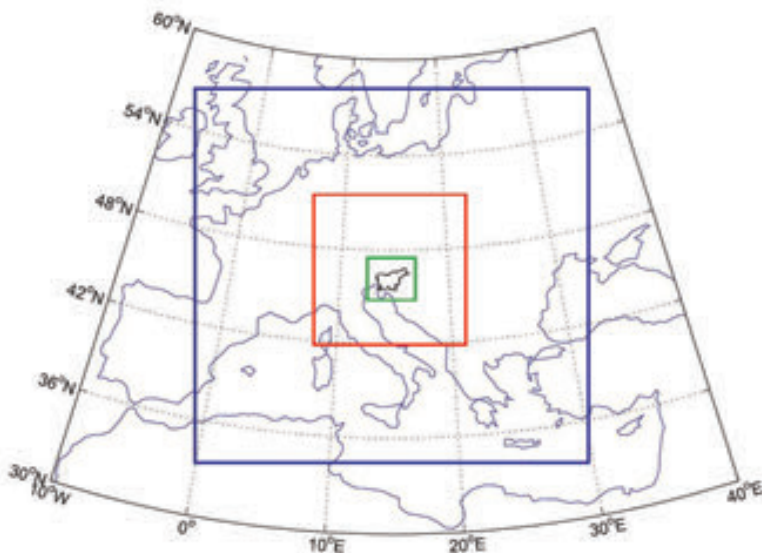
Dinamični meteorološki modeli, ki se v današnjem času v meteoroloških službah uporabljajo za kratkoročno napovedovanje vremena, lahko služijo tudi za klimatske študije, kakršna je ocena potenciala vetra. Razlika je v bistvu le v dolžini izračuna; pri napovedovanju vremena se numerični izračuni vršijo za obdobje nekaj dni, za potrebe klimatoloških študij dlje – skozi več let ali desetletij. Osnovni vir podatkov je bil v našem primeru arhiv reanaliz vremena Evropskega centra za srednjeročne prognoze (ECMWF) – ERA-40. To je arhiv meteoroloških polj, ki so ga ustvarili s pomočjo bogate, 40-letne zbirke podatkov in najsodobnejših računalniških meteoroloških orodij. Žal pa je njihova prostorska ločljivost precej slaba – nad Evropo znaša razdalja med mrežnimi točkami približno 120 km. Slaba prostorska ločljivost podatkov je bila glavni razlog, da smo nad omejenim območjem izračune v nekem smislu ponovili – polja ERA-40 so služila kot začetni in stranski robni pogoji.

Izračuni, izvedeni z ALADIN-30, so služili kot vhod v model ALADIN (glej npr. Hagel in Horanyi, 2007) – tokrat nad manjšim območjem (Slovenija in sosednje dežele – rdeči rob na sliki 3.1) in z manjšo razdaljo med računskimi točkami (približno 10 km). Sledila je še dinamična adaptacija vetra, in lahko še zadnji korak, obdelava z masnokonsistentnim modelom.

- Dinamična adaptacija

Računalniški model, ki sicer služi simulaciji vseh vremenskih procesov nad omejenim območjem, je mogoče uporabiti tudi kot zgolj orodje za prilagoditev vetra opisu reliefa v višji prostorski ločljivosti (Žagar in Rakovec, 1999). Računska simulacija se v tem primeru lahko vrši le v krajšem časovnem intervalu ob izbranem terminu, odpovemo pa se lahko tudi simulaciji nekaterih procesov v ozračju, ki na prilagoditev polja vetra ne vplivajo v dovolj veliki meri (npr. padavinskim procesom). Kljub (zaradi boljše prostorske ločljivosti) večjemu številu računskih točk se tovrstna simulacija lahko izvede relativno hitro. V našem primeru je bila uporabljena razdalja med računskimi točkami 2,5 km, računsko območje pa je pokrilo Slovenijo – zeleni rob na sliki 3.1.

V modelu ALADIN, ki ga v tej študiji uporabljamo v metodi dinamičnega prilagajanja vetra boljše opisanemu reliefu in ki ga imenujemo DADA, je spodnji računski nivo približno 30 m nad tlemi. Veter na meteorološki višini 10 m je v modelu, izračunan po Monin-Obukhovi podobnostni teoriji, s katero pridemo do kvazilogaritemskega profila vetra v prizemni plasti. Profil je logaritemski, ko je atmosfera nevtralna, sicer pa od logaritemskega malo odstopa. Težava, na katero naletimo v primeru, ko ekstrapolacijo vetra s spodnjega modelskega nivoja na meteorološko višino 10 m prepustimo modelu, je, da pri tej ekstrapolaciji uporablja parameter hrapavosti,



Slika 3.1 Modelska območja. Modri rob: računsko območje modela ALADIN s prostorsko resolucijo ca 30 km (ALADIN-30), vgnezdjeno neposredno v polja ERA 40. Rdeči rob: računsko območje modela ALADIN s prostorsko resolucijo ca 10 km, vgnezdjeno v ALADIN-30. Zeleni rob: računsko območje DADA (pojasnilo v besedilu). Polja ERA-40 so bila za obdobje 1994–2001 (zadnjih 8 let v arhivu reanaliz) pripravljena za vhod v model ALADIN na računskem območju, ki pokriva srednjo Evropo (modri rob) z razdaljo med računskimi točkami približno 30 km – ALADIN-30.

Figure 3.1 The models' domains. Blue frame: computing domain of the ALADIN model with a horizontal spatial resolution of approx. 30 km (ALADIN-30), nested into the ERA 40 meteorological fields. Red frame: computing domain of the ALADIN model with a horizontal spatial resolution of approx. 10 km, nested into the ALADIN-30. Green frame: computing domain of the DADA dynamic adaptation model. The ERA 40 meteorological fields for 1994–2001 were prepared over the domain of the blue frame with a horizontal resolution of approx. 30 km – ALADIN-30.

ki zaradi poenotenja na nek način vključuje tudi podmrežno variabilnost reliefa in ne le dejanske hrapavosti, kot je ponavadi za posamezne tipe tal podana v tabelah. Tako je večjemu delu Slovenije pripisana hrapavost 1 m in več, medtem ko bi bila bolj primerna hrapavost 1 cm. Tako velika hrapavost povzroči, da je hitrost vetra na meteorološki višini 10 m, kot jo izpiše model ALADIN, premajhna. Za samo delovanje modela je to neškodljivo, saj te hitrosti model ne uporablja več. Za model je pomembneje, da na ta račun zmore pravilno opisati hitrost vetra v celi spodnji troposferi, kar dobro vpliva na modelski razvoj vremenskih sistemov.

Za rešitev te težave spet lahko uporabimo podobnostno teorijo. Ob predpostavki, da je plast atmosfere med 10 in 50 m nad tlemi nevtralna, kar ob zmerno močnem vetru večinoma drži, lahko veter na 10 m dobimo iz vetra na 50 m s samo enim dodatnim parametrom – dejansko hrapavostjo podlage.

Za višino 50 m smo se odločili zato, ker je to višina, na kateri prav tako rišemo karte klimatologije vetra v Sloveniji ter na kateri predpostavimo, da je modelski veter najboljše, s čimer ta hip razpolagamo. Če torej vzamemo logaritemski profil in standardno vrednost parametra hrapavosti $z_0 = 1$ cm, se problem ekstrapolacije vetra z ene na drugo višino skrči v aritmetično operacijo množenja z 0,811. Tako dobimo novo hitrost vetra na 10 m, ki se od tiste, ki jo izračuna ALADIN, zelo malo razlikuje tam, kjer je bila hrapavost že v modelu majhna, kar precej pa drugod, še posebej v hribovitem reliefu.

- Masnokonsistentni model

Za še večjo prostorsko ločljivost lahko uporabimo še masno konsistentni model za prilagoditev vetra digitalnemu modelu reliefa – npr. v ločljivosti 1 km. Za ta namen smo izbrali model AIOLOS. Model AIOLOS (Lalas, 1996) je bil razvit iz znanega, pogosto uporabljenega modela NOABL (Stefany, 1991 in Ishikawa, 1994). Tako izvirna kot izvedena verzija modela sta bili priporočeni v uporabo na območjih, kjer piha zmeren ali močan veter in kjer relief ni pretirano zapleten – torej, kjer predstavlja topografsko siljenje toka zraka edini pomemben odklon od konstantne splošne smeri toka zraka. Takšnim razmeram je prilagojena tudi inicializacija modela. Model AIOLOS inicializiramo s poljem numeričnih vrednosti višine reliefa v pravilni mreži ter (opcijsko) s poljem, ki v kategorijah opisuje pokrovnost tal. S pokrovnostjo tal je definiran tudi parameter dolžina hrapavosti z_0 , stabilnostni parameter a ter debelina planetarne mejne plasti, v kateri je zaznaven vpliv tal na tok zraka (Ekmanova plast) H_E – v modelski terminologiji je to višina mešanja $z_M \approx H_E$. Parametri so določeni fiksno ne glede na dejanske stabilnostne razmere ali – na primer – letni čas. Model se po določitvi omenjenih parametrov lahko inicializira z enim samim podatkom o hitrosti in smeri vetra. Model predpostavi, da vneseni podatek o hitrosti in smeri vetra velja za razmere v prosti atmosferi nad višino mešanja in da je v atmosferi nad višino mešanja veter konstanten tako po velikosti kot po smeri. Pod višino mešanja pa je hitrost treba parametrizirati. Privzeta parametrizacija predpostavlja, da je torna hitrost povezana z geostrofsko hitrostjo vetra, s t. i. geostrofskim približkom trenja po enačbah Hessovega tipa (str. 22), opcijsko pa lahko uporabimo tudi preprosto osnovno enačbo, ki opisuje logaritemski profil vetra, za inicializacijo hitrosti vetra do vrha plasti mešanja.

- Modifikacija modela AIOLOS

Že iz priporočil za uporabo modela AIOLOS je razvidno, da je inicializacija eden najšibkejših členov masnokonsistentnega modela. Model polje vetra prilagodi reliefu, vendar mora biti vhodno polje vetra neposredno nad

reliefom že dovolj realno, denimo reprezentativno za prostorsko skalo, ki je en velikosti red višja od prostorske skale topografije, na katero tok vetra prilagajamo. Preprosteje rečeno: ne moremo pričakovati ugodnih rezultatov pri izračunu nad modelom reliefa s prostorsko skalo 1 km, če kot vhodno polje uporabimo podatek o vetru v eni sami točki nad Slovenijo, tudi če je reprezentativen v ustrezni prostorski skali (v tem primeru v skali z značilno horizontalno razsežnostjo okoli 100 km). Če hočemo, da je izračun nad modelom reliefa s prostorsko ločljivostjo 1 km uspešen, mora biti vhodno polje vetra reprezentativno za prostorsko skalo z značilno horizontalno razsežnostjo nekaj 10 km. Rezultat je polje vetra, prilagojeno modelu reliefa z eno stopnjo večje prostorske ločljivosti. Nad območji, ki so glede na topografsko siljenje relativno preprosta, npr. posamezni manjši otoki ali manjše gričevje v ravnini, je omenjeni pogoj izpolnjen, tudi če model inicializiramo z eno samo točko. Žal to ne velja za računsko območje, ki bi npr. pokrilo vso Slovenijo. V tem primeru moramo model ustrezno modificirati – tako da bo zadoščeno zgoraj omenjenemu pogoju. Modifikacije inicializacije modela AIOLOS so naslednje:

- Namesto inicializacije modela s po višini konstantnim homogenim poljem vetra nad višino mešanja z_M , je bil model prirejen za vnos polja vetra iz izhoda modela ALADIN ali dinamične adaptacije (Žagar in Rakovec, 1999). Izdelane so bile procedure za potrebno horizontalno in vertikalno interpolacijo.
- Višina mešanja je privzeta iz originalne inicializacijske sheme; predpostavimo, da poznamo hitrost vetra na višini mešanja z_M – to je hitrost, dobljena z vertikalno interpolacijo na višino z_M . Iz te predpostavke lahko analogno geostrofskemu približku trenja izračunamo torni hitrost:

$$u_* = \frac{v(z_M)}{\ln \frac{z_M}{z_0}}$$

3.2 Kakovost modelskih vetrovnih polj

Idealni, a nedosegljivi način verifikacije modela bi bil, če bi primerjali modelske vrednosti z opazovanimi na identični geografski lokaciji. V praksi visoke korelacije med modeliranim in opazovanim vetrom v kompleksnem terenu ne moremo pričakovati. Opazovanja vetra se namreč vršijo na višini točno 10 m nad tlemi na mestu opazovalne postaje. Neizogibno se v okolici opazovalne postaje v resnici in v modelu pojavljajo razlike v višini reliefa, hrapavosti podlage, pa tudi npr. stabilnosti prizemne mejne plasti, ovire, ki niso modelsko razrešene (stavbe) ...

Ker so modelske ločljivosti pri ALADIN-u 10 km, in pri DADA 2,5 km, to tudi pomeni, da predvsem z modeloma Aladin in DADA le težko ujamemo v modelu točno tisto točko, kjer so meritve. Do razlik v primerjavi z

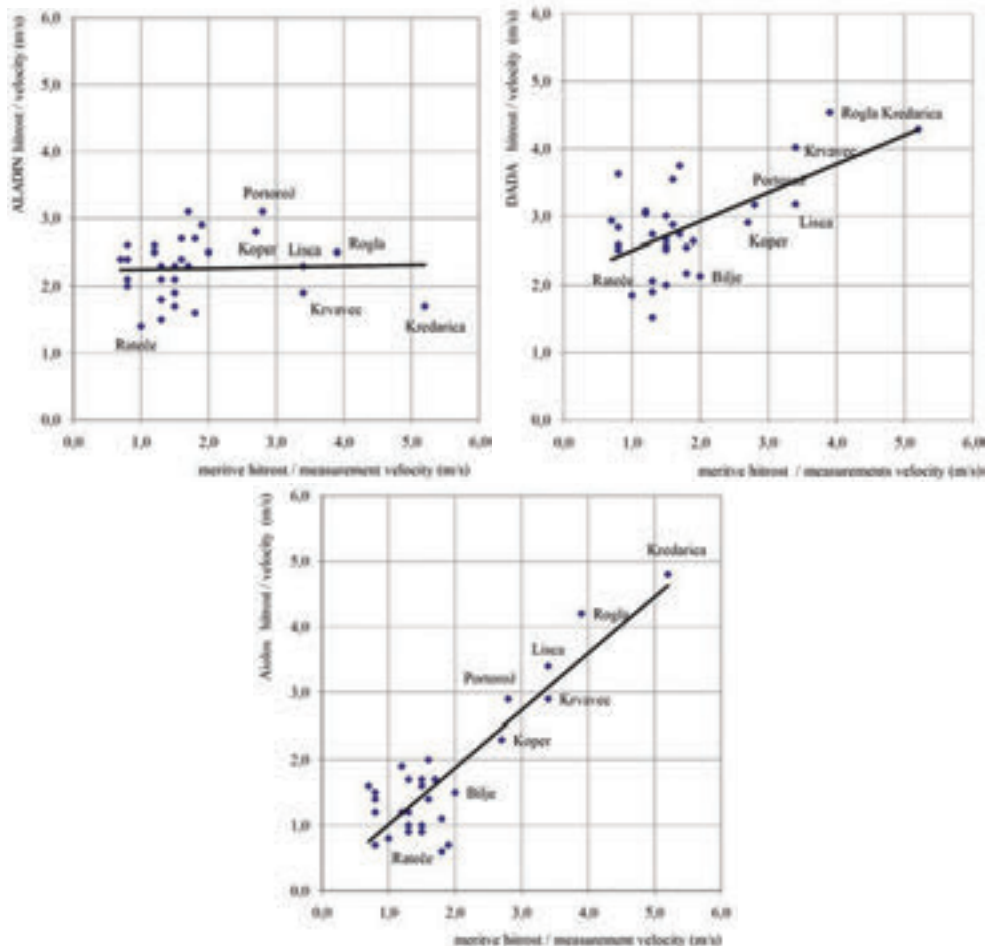
meritvami pride tudi zaradi tega, ker dajejo modeli vrednosti, ki veljajo približno za celotno območje njihove mrežne ločljivosti (100 km^2 , $6,25 \text{ km}^2$ in 1 km^2) za meritve pa velja, da odražajo značilnost samega merilnega mesta. Če je lega postaje zelo dobro izbrana, veljajo njene meritve precej dobro tudi v okolici merilnega mesta, velikokrat pa imamo meritve na izrazito izpostavljenih legah (npr. na vrhu hriba, samo nekaj deset metrov proč pa je veter lahko že povsem drugačen).

Tule se omejujemo na nekaj primerjav med meritvami in modelskimi rezultati. Pri neposredni primerjavi z meritvami je treba upoštevati tudi, da nimajo vse merilne postaje merilnega niza enako dolgega, kot je obdobje modeliranja – od tod se lahko pojavijo dodatne razlike med izmerjenim in modeliranim. Na nekaterih merilnih mestih se modelski rezultati ujemajo zelo dobro, drugje pa manj. Vizualno najlaže naredimo primerjavo tako, da primerjamo povprečne hitrosti vetra modelskih rezultatov in meritev na razsevnem grafu. Na absciso nanesimo povprečja meritev, na ordinato pa modelska povprečja. V idealnem primeru bi morale točke ležati na simetrali lihih kvadrantov. V realnosti so seveda točke statistično razpršene okrog simetrale.

Ker se napake pri potenciranju na tretjo potenco močno povečajo, so razlike pri povprečni gostoti moči (pri tretji potenci – kubu hitrosti) lahko že zelo velike – ni pa nujno, da so si povsem podobne, kot pri hitrosti: drugačna porazdelitev lahko pomeni neko odstopanje pri povprečje prve potence (povprečna hitrost) in morda drugačno odstopanje pri povprečni tretji potenci (povprečna gostota moči). V našem primeru je ta razpršenost bolj ali manj simetrična tako pri hitrosti (slike 3.2), kot tudi pri gostoti moči (slike 3.3), kar pomeni, da v povprečju modeli nimajo kakih izrazitih sistematičnih napak, zaradi katerih bi bile vse vrednosti podcenjene ali precenjene.

Vidimo, da osnovni model ALADIN na splošno močno podcenjuje hitrost vetra – seveda, saj njegova prostorska ločljivost le zelo približno razpoznava obliko reliefa, poleg tega pa pri interpolaciji na višino 10 m nad tlemi ALADIN uporablja parameter hrapavosti, ki je značilen za veliko skalo in tako za kokretno lokacijo veliko veliko prevelik. DADA z boljšo ločljivostjo se meritvam že bolj približa tudi zato, ker izhajamo iz vetra na 50 m nad tlemi, pri interpolaciji na 10 m nad tlemi pa uporabimo za lokalne razmere primeren parameter hrapavosti $z_0 = 1 \text{ cm}$. DADA očitno glede povprečij preceni vetrove po nižinah in podceni tiste v višjih legah (regresijska premica ne gre skozi izhodišče in je tudi preveč položna). Aiolos pa glede povprečij hitrosti daje sorazmerno dobro ujemanje z meritvami.

Primerjava frekvenčnih porazdelitev je bolj zahteven preizkus ujemanja modela z meritvami, kot je primerjava samo povprečij. Zgolj ujemanje povprečij po meritvah in modelih še ne pomeni, da so enako pogostni tudi posamezni razredi hitrosti. Pri nekaterih postajah je to ujemanje zelo dobro (predvsem v visokogorskih, takih, ki se približno ujemajo z razmerami v prosti atmosferi), drugod pa manj. Spet opozorimo, da do razlik lahko pride tudi zaradi tega, ker dajejo modeli vrednosti, ki veljajo približno za celotno območje njihove mrežne ločljivosti, meritve pa le bolj ali manj



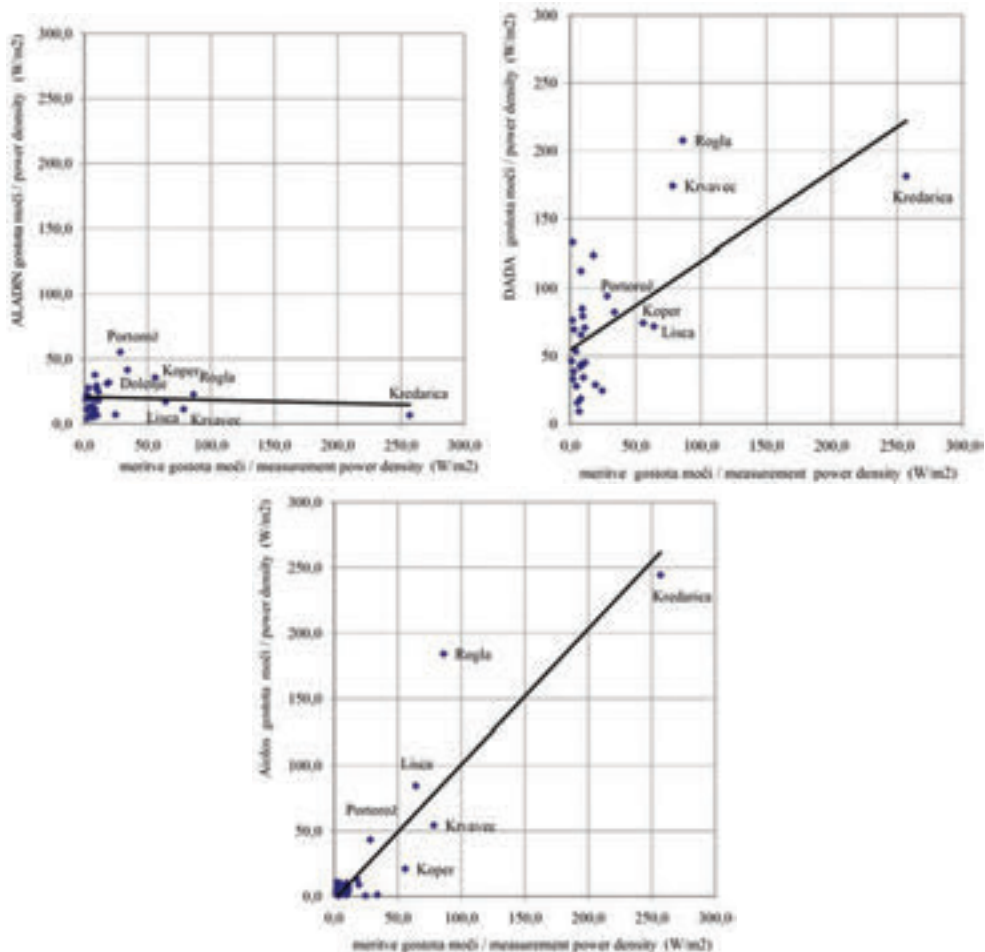
Slika 3.2 Primerjava povprečne hitrosti vetra v celotnem obdobju modeliranja z modeli ALADIN, DADA in Aiolos s povprečji meritev na izbranih lokacijah.

Figure 3.2 Comparison of average wind velocities at selected locations computed with the ALADIN, DADA and Aiolos models with measurements for the whole modelling time period.

uspešno odražajo razmere na svojem območju.

Kot primer prikazujemo porazdelitvene histograme za pet lokacij: Lisca in Rogla na vrhu hriba, Rateče v globoki dolini, Mursko Soboto na ravnini, Portorož ob obali in Dolenje v Vipavski dolini. Že sedaj pa opozorimo tudi na primerjavo z meritvami na Slatni v poglavju 5.1.5.

Porazdelitve po razredih hitrostih pokažejo, da ALADIN povsod in sistematično podcenjuje pogostnost visokih hitrosti. DADA ima na splošno spekter nekoliko širši, še širšega (ki torej daje visoke hitrosti – npr. nad 9 m/s) pa Aiolos. Toda ob tem je težišče pri DADA kljub vsemu na splošno pri višjih hitrostih kot pri Aiolosu. Spekter modela DADA se bolje sklada z meritvami na Lisca in Rogli, čeprav nekoliko podcenjuje najvišje razrede

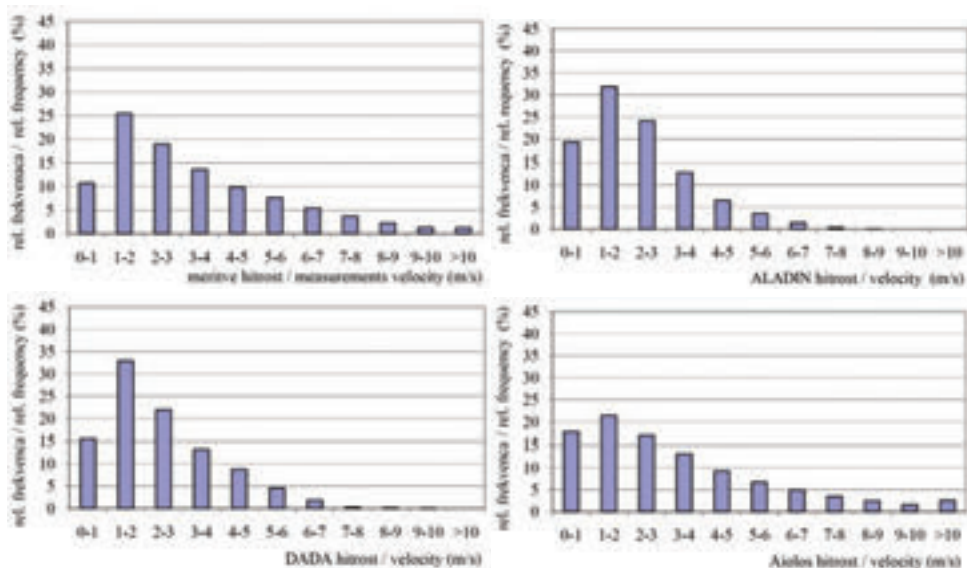


Slika 3.3 Primerjava povprečne gostote moči vetra v celotnem obdobju modeliranja z modeli ALADIN, DADA in Aiolos s povprečji meritev na izbranih lokacijah.

Figure 3.3 Comparison of average wind power density at selected locations computed with the ALADIN, DADA and Aiolos models with measurements for the whole modelling time period.

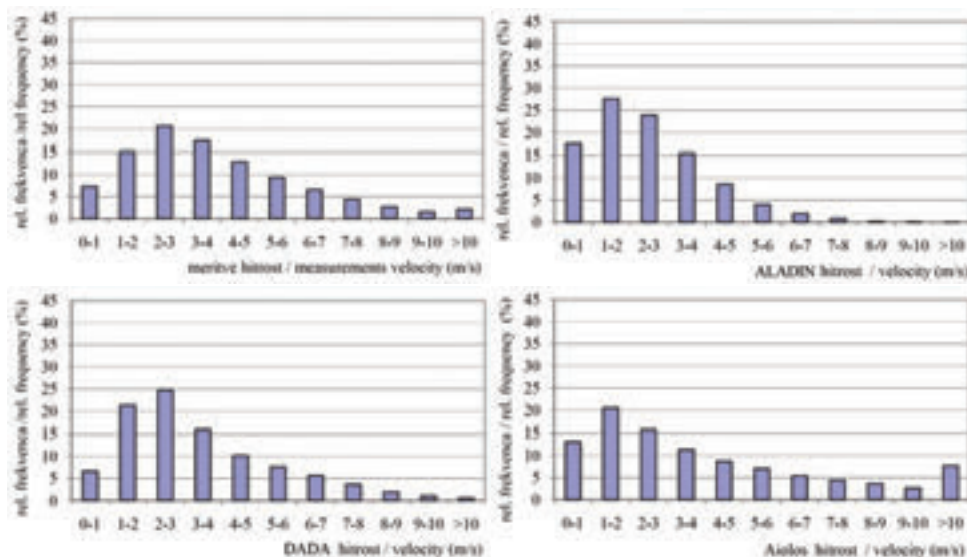
hitrosti. Aiolos pa je po širini spektra najboljši v dolinskih Ratečah in v ravninski Murski Soboti, vendar nekoliko preveč teže daje najnižjemu razredu hitrosti vetra pod 1 m/s.

Na osnovi teh primerjav ne moremo zanesljivo reči, kateri model je najboljši: vsekakor to ni osnovni ALADIN (tudi če ne upoštevamo splošne tendence k podcenjevanju hitrosti, ki je posledica njegove slabe prostorske ločljivosti). Od drugih dveh pa na splošno Aiolos boljše ponazarja porazdelitve po nižinah, DADA pa nekoliko boljše nad hribi.



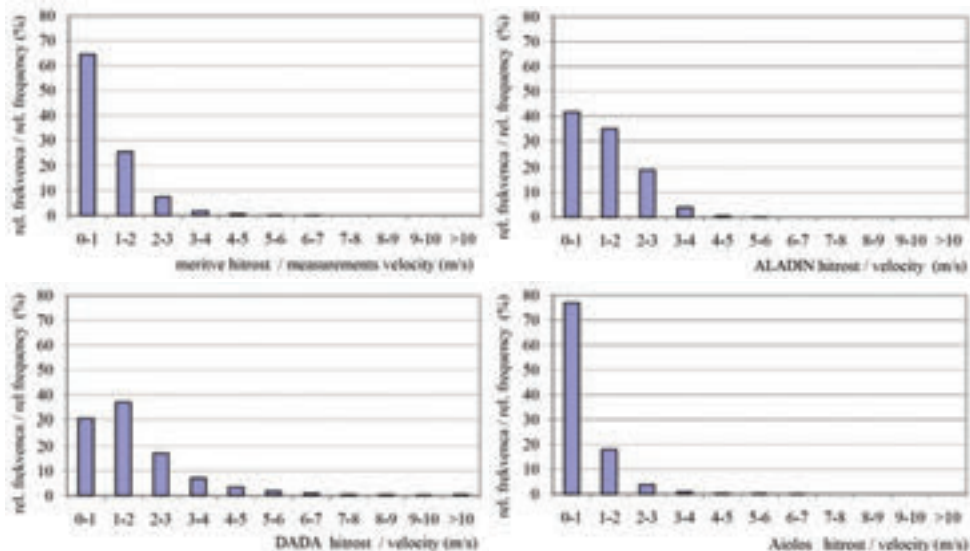
Slika 3.4 Histogrami povprečne hitrosti vetra, kot je bila izmerjena na Lisca in kot je bila za to lokacijo modelirana z modeli ALADIN, DADA in Aiolos.

Figure 3.4 Histograms of average wind velocity measured at Lisca and modelled with the ALADIN, DADA and Aiolos models.



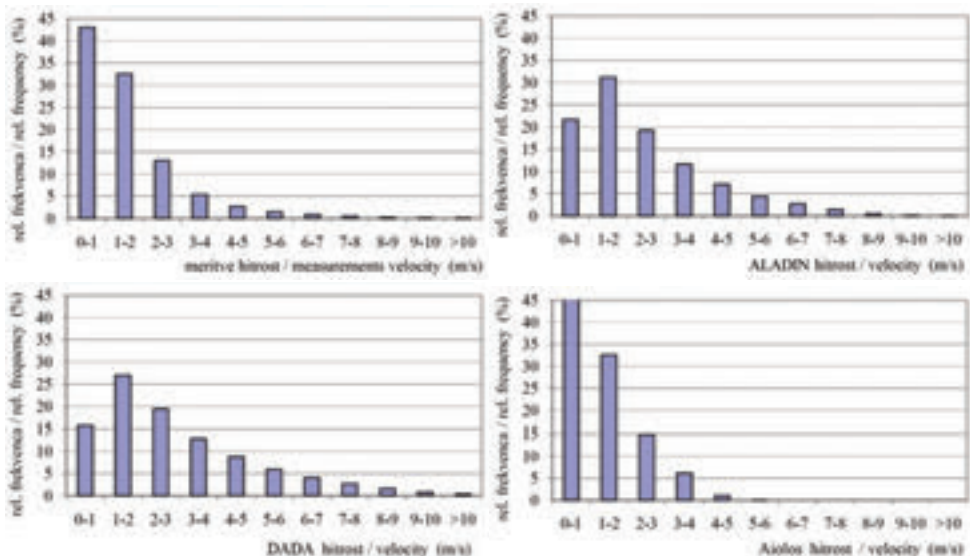
Slika 3.5 Histogrami povprečne hitrosti vetra, kot je bila izmerjena na Rogla in kot je bila za to lokacijo modelirana z modeli ALADIN, DADA in Aiolos.

Figure 3.5 Histograms of average wind velocity measured at Rogla and modelled with the ALADIN, DADA and Aiolos models.



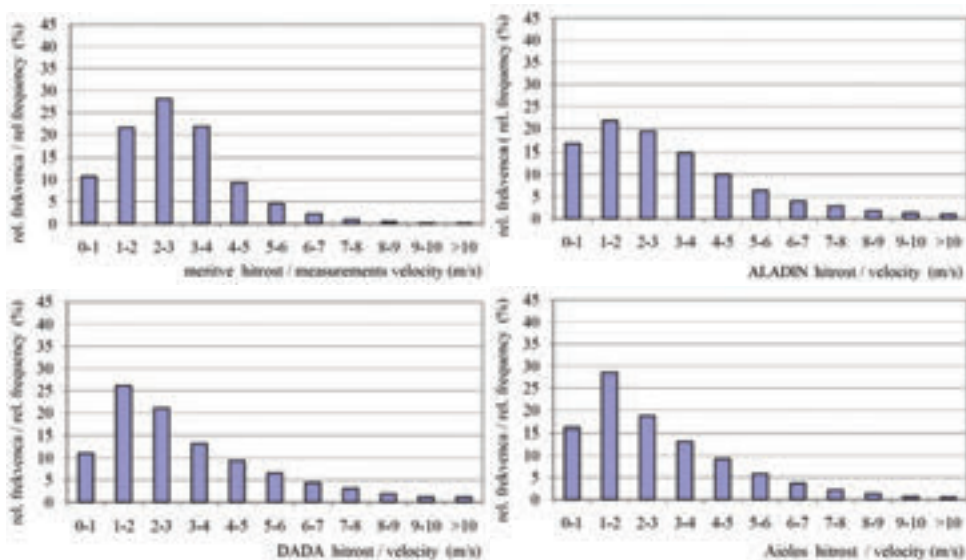
Slika 3.6 Histogrami povprečne hitrosti vetra, kot je bila izmerjena v Ratečah in kot je bila za to lokacijo modelirana z modeli ALADIN, DADA in Aiolos.

Figure 3.6 Histograms of average wind velocity measured in Ratece and modelled with the ALADIN, DADA and Aiolos models.



Slika 3.7 Histogrami povprečne hitrosti vetra, kot je bila izmerjena v Murski Soboti in kot je bila za to lokacijo modelirana z modeli ALADIN, DADA in Aiolos.

Figure 3.7 Histograms of average wind velocity measured in Murska Sobota and modelled with the ALADIN, DADA and Aiolos models.



Slika 3.8 Histogrami povprečne hitrosti vetra, kot je bila izmerjena v Portorožu in kot je bila za to lokacijo modelirana z modeli ALADIN, DADA in Aiolos.

Figure 3.8 Histograms of average wind velocity measured in Portorož and modelled with the ALADIN, DADA and Aiolos models.

4 KARTE HITROSTI VETRA IN GOSTOTE MOČI VETRNE ENERGIJE NAD SLOVENIJO

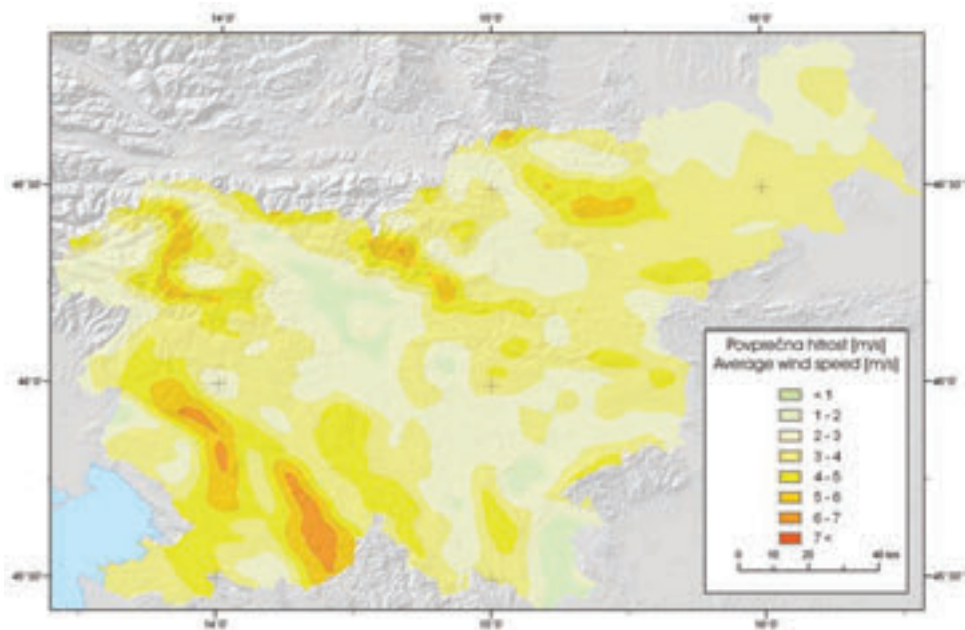
4.1 Karte hitrosti vetra nad Slovenijo 10 m in 50 m nad tlemi po modelih DADA in Aiolos

Karte na naslednjih straneh prikazujejo povprečno modelsko hitrost vetra po modelu DADA in po modelu Aiolos na višinah 10 m (slike 4.1 do 4.26) in 50 m od tal (slike 4.27 do 4.52) na območju Slovenije po mesecih in za celo leto. Hitrost po modelu DADA je izračunana po logaritemskem profilu vetra s hrapavostjo $z_0 = 1$ cm iz hitrosti na 50 m. Hitrosti so razdeljene v razrede po 1 m/s. Meja hitrosti npr. 5 m/s je na višini 50 m nad tlemi seveda presežena veliko pogosteje kot pa na 10 m. Vedno je to na najbolj izpostavljenih legah in večkrat se to zgodi pri jesenskih in zimskih mesečnih povprečjih (npr. od novembra do marca). Glede na meritve so vrednosti v Vipavski dolini podcenjene, saj niti DADA niti Aiolos ne zmoreta dobro simulirati pospeševanja toka burje po pobočjih navzdol.

Model DADA daje na splošno precej višje hitrosti kot model Aiolos. DADA je model z dinamičnim odzivom na delovanje sil, Aiolos pa samo kinematično preusmerja vetrove okrog in prek reliefnih ovir. Na višini 10 m nad tlemi daje model DADA na najbolj izpostavljenih lokacijah – na grebenih alpsko-dinarske gorske pregrade ter Julijskih in Kamniško-Savinjskih Alp hitrosti 6–7 m/s v zimskih mesecih (od novembra do marca), sicer pa 4–5 m/s. Po nižinah je pogosto veter 1–2 m/s. Model Aiolos pa daje predvsem boljše predstavo o regionalizaciji vetrovnosti, območja najvišjih hitrosti so zato bistveno manjša, pa tudi sama hitrost je za en razred nižja. Tudi po nižinah daje Aiolos vetrove na posameznih območjih v najnižjem razredu pod 1 m/s, česar pri DADA zaradi slabše resolucije ni. Na višini 50 m nad tlemi je po modelu DADA veter na izpostavljenih grebenih v zimskem času v povprečju 7–8 m/s, po modelu Aiolos pa en razred nižje – 6–7 m/s – nad nižinami pa so še vedno območja hitrosti pod 1 m/s tudi na tej višini nad tlemi.

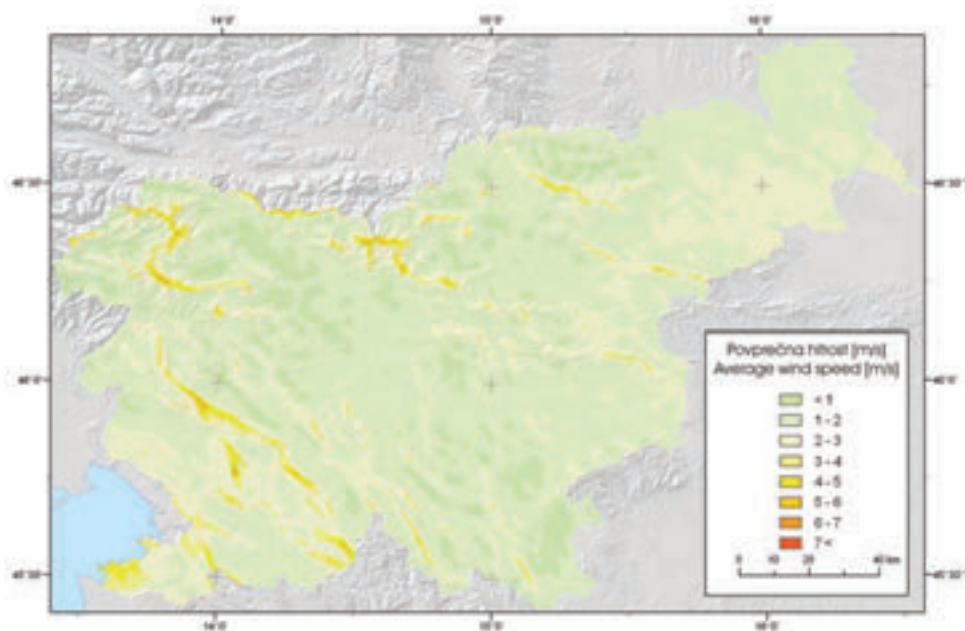
Ker pa žal nimamo dovolj podatkov za primerjavo z neposrednimi meritvami, ne moremo s popolno gotovostjo trditi, kateri model daje rezultate, ki so najbližji tistim v naravi. Vseeno lahko na podlagi primerjave z mesečnimi povprečji po meritvah Elektra Primorske (interno pridobljeni podatki) in na podlagi primerjave s povprečji po meritvah v okviru projekta Wep1 (ENH, 2003) (poglavje 5.1.5) sklepamo, da so vsaj na grebenih in

vrhovih vrednosti po modelu DADA, ki so višje, bližje razmeram v naravi. Rezultati po modelu Aiolos s prostorsko ločljivostjo $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ pa v primerjavi z rezultati po modelu DADA (ločljivost samo $2,5 \text{ km} \times 2,5 \text{ km}$) dajejo precej več informacij o podrobnejši prostorski porazdelitvi območij z bolj ali manj močnim vetrom – same vrednosti pa so najverjetneje podcenjene. Več primerjav z ugotovitvami drugih študij in projektov pa v naslednjem, 5. poglavju.



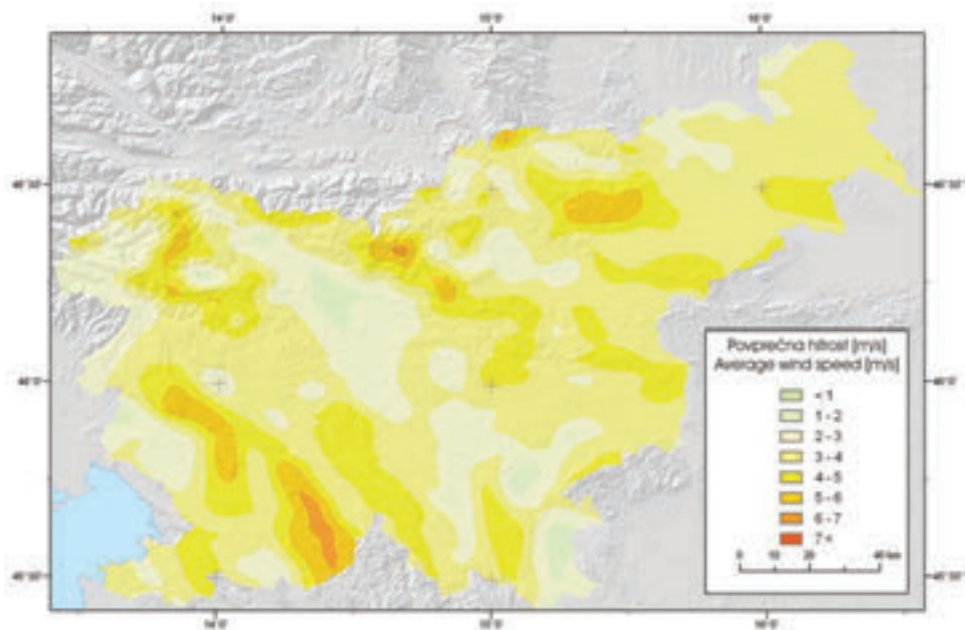
Slika 4.1 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi januarja po modelu DADA.

Figure 4.1 Average wind velocity at a height of 10 m in January according to the DADA model.



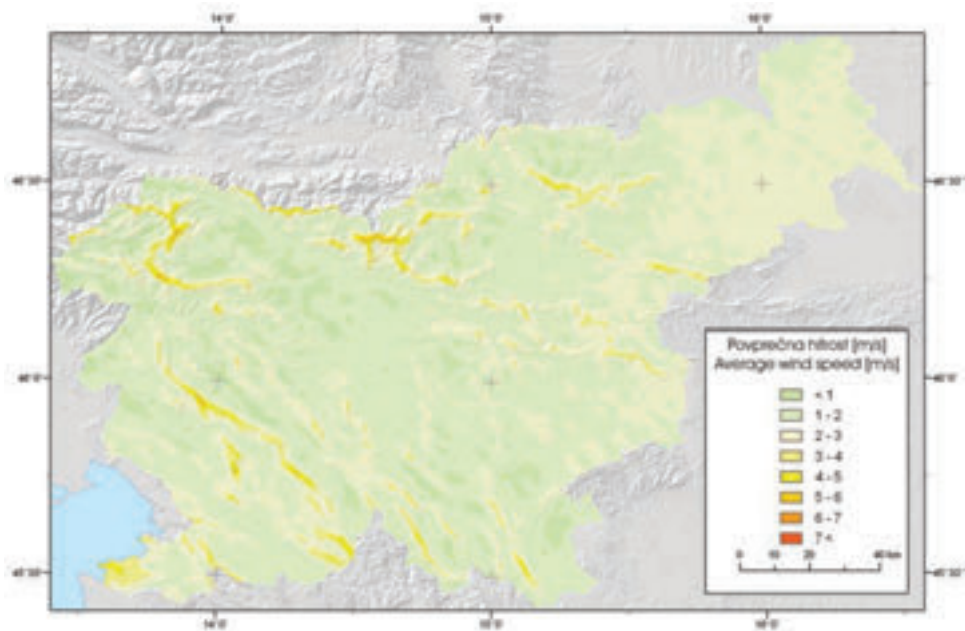
Slika 4.2 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi januarja po modelu Aiolos.

Figure 4.2 Average wind velocity at a height of 10 m in January according to the Aiolos model.



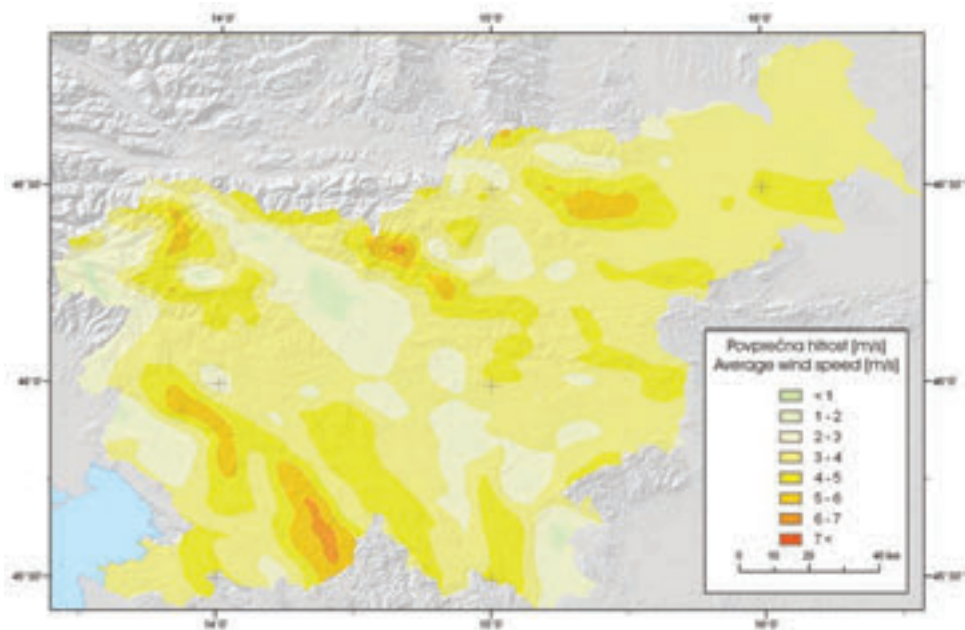
Slika 4.3 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi februarja po modelu DADA.

Figure 4.3 Average wind velocity at a height of 10 m in February according to the DADA model.



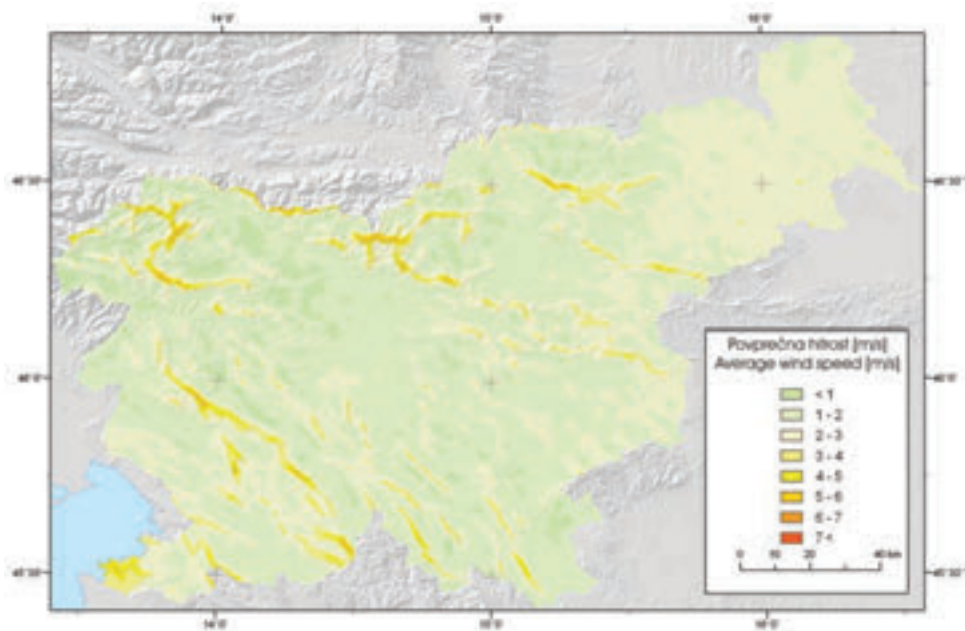
Slika 4.4 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi februarja po modelu Aiolos.

Figure 4.4 Average wind velocity at a height of 10 m in February according to the Aiolos model.



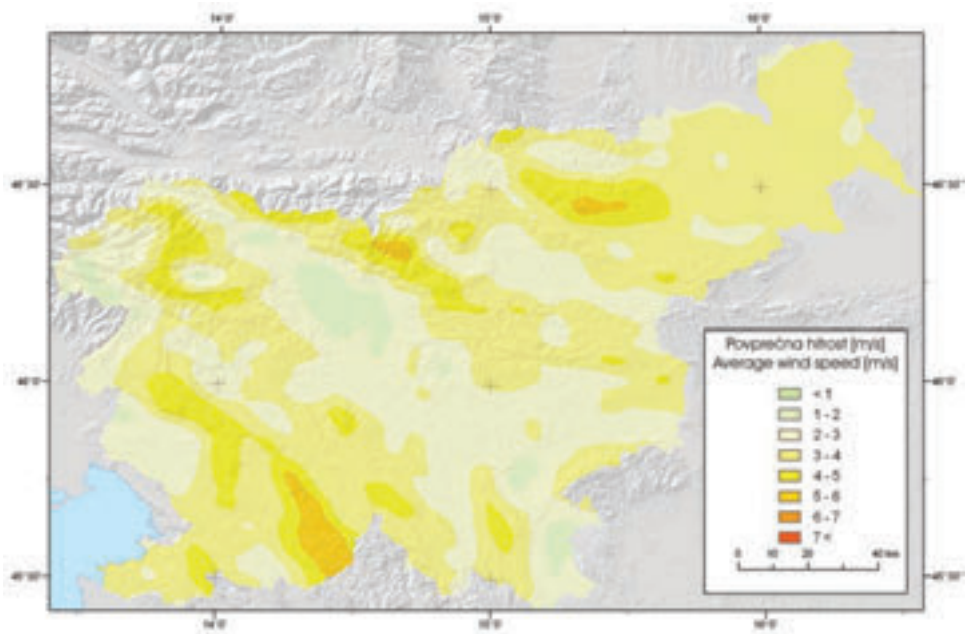
Slika 4.5 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi marca po modelu DADA.

Figure 4.5 Average wind velocity at a height of 10 m in March according to the DADA model.



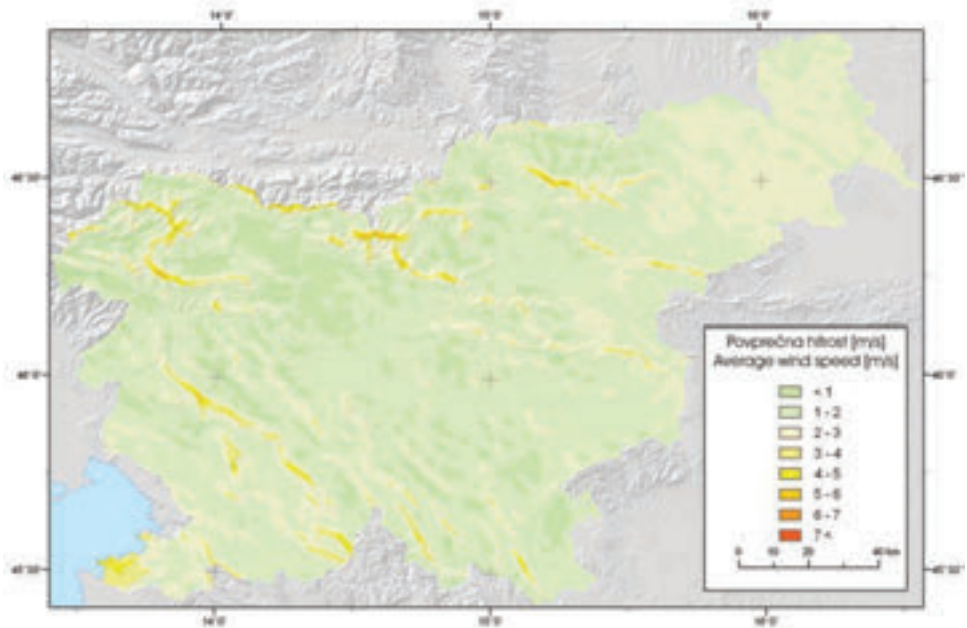
Slika 4.6 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi marca po modelu Aiolos.

Figure 4.6 Average wind velocity at a height of 10 m in March according to the Aiolos model.



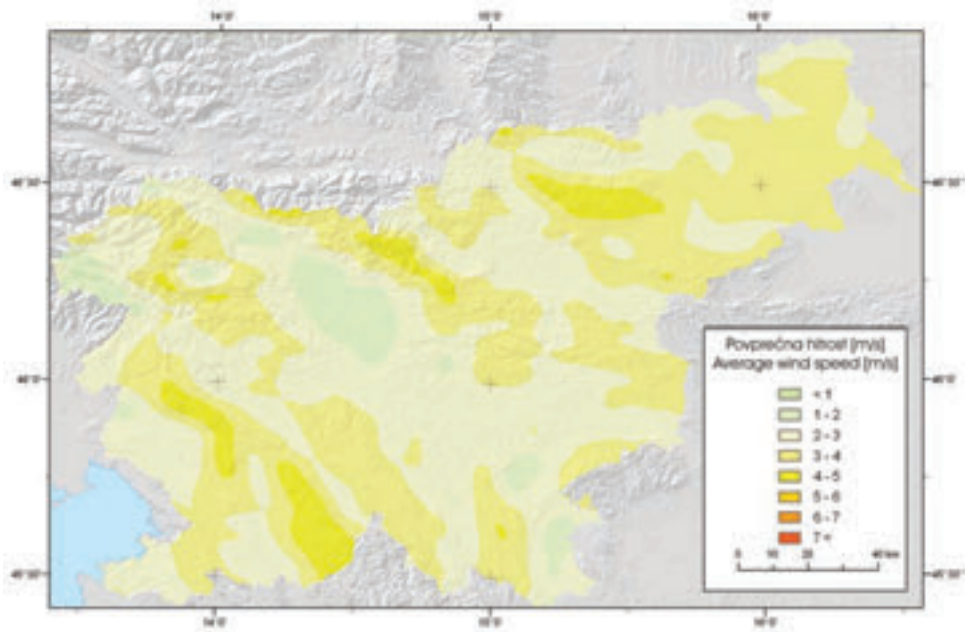
Slika 4.7 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi aprila po modelu DADA.

Figure 4.7 Average wind velocity at a height of 10 m in April according to the DADA model.



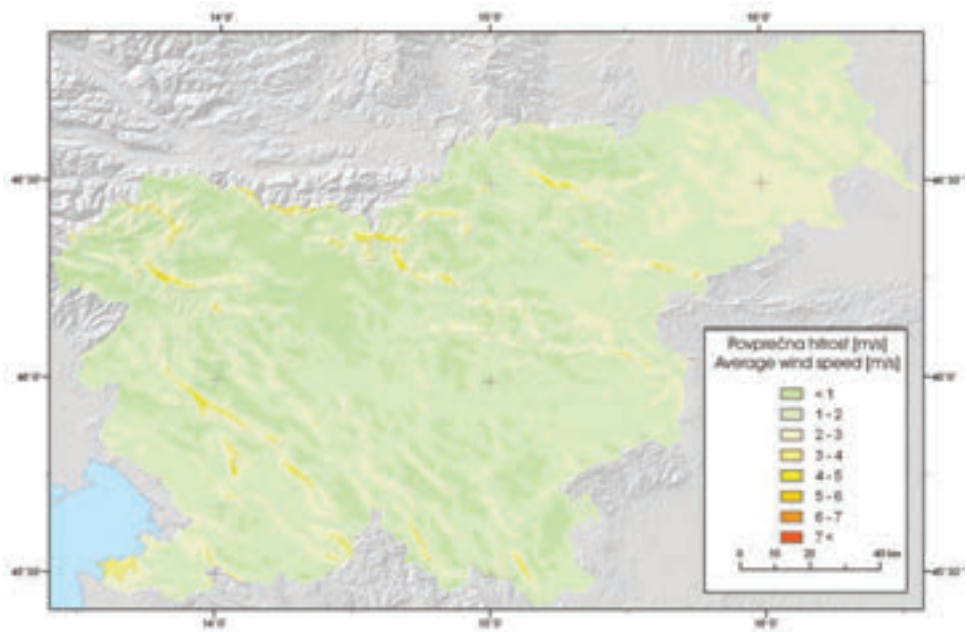
Slika 4.8 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi aprila po modelu Aiolos.

Figure 4.8 Average wind velocity at a height of 10 m in April according to the Aiolos model.



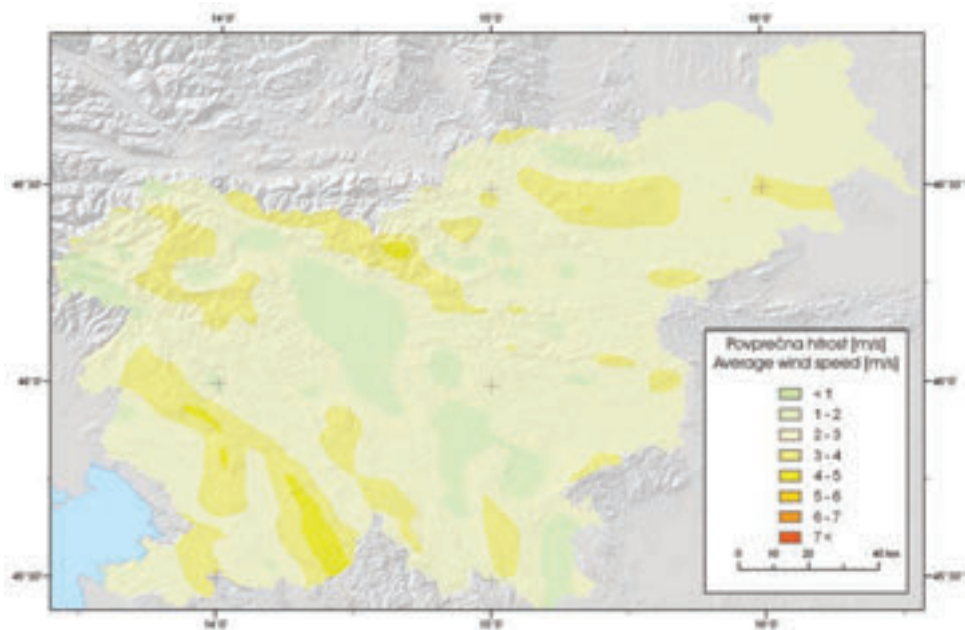
Slika 4.9 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi maja po modelu DADA.

Figure 4.9 Average wind velocity at a height of 10 m in May according to the DADA model.



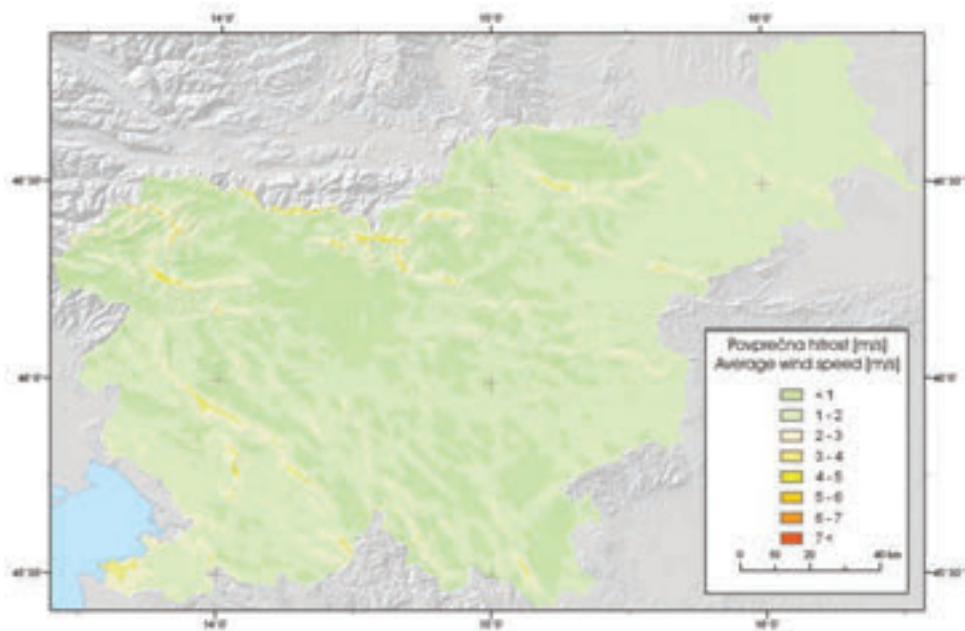
Slika 4.10 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi maja po modelu Aiolos.

Figure 4.10 Average wind velocity at a height of 10 m in May according to the Aiolos model.



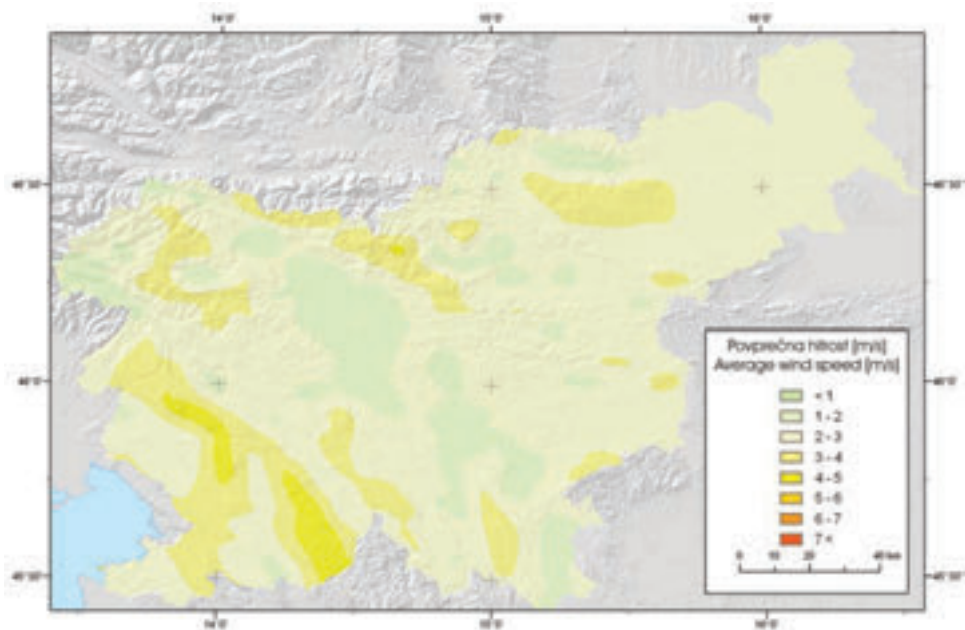
Slika 4.11 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi junija po modelu DADA.

Figure 4.11 Average wind velocity at a height of 10 m in June according to the DADA model.



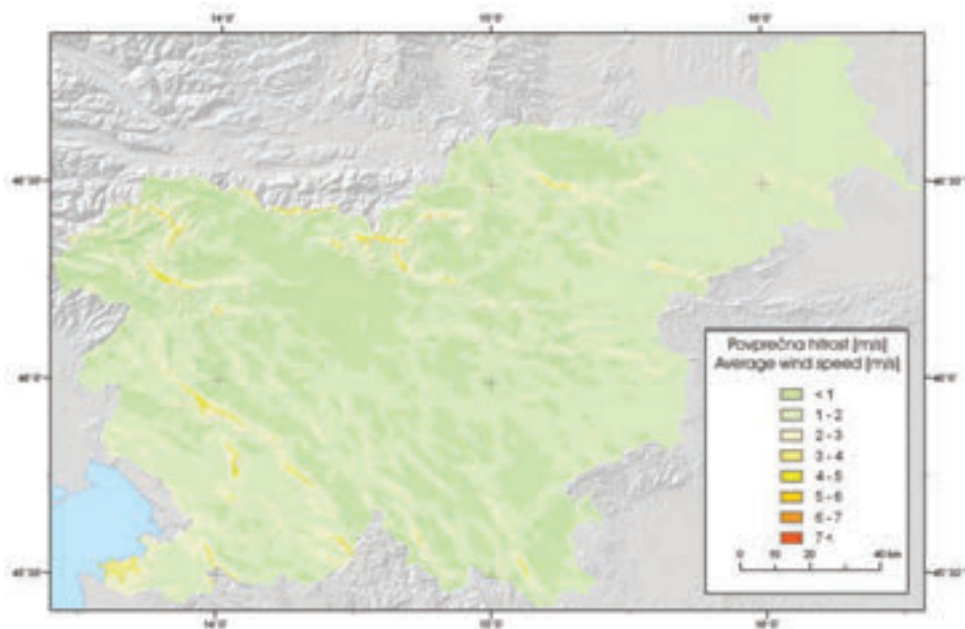
Slika 4.12 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi junija po modelu Aiolos.

Figure 4.12 Average wind velocity at a height of 10 m in June according to the Aiolos model.



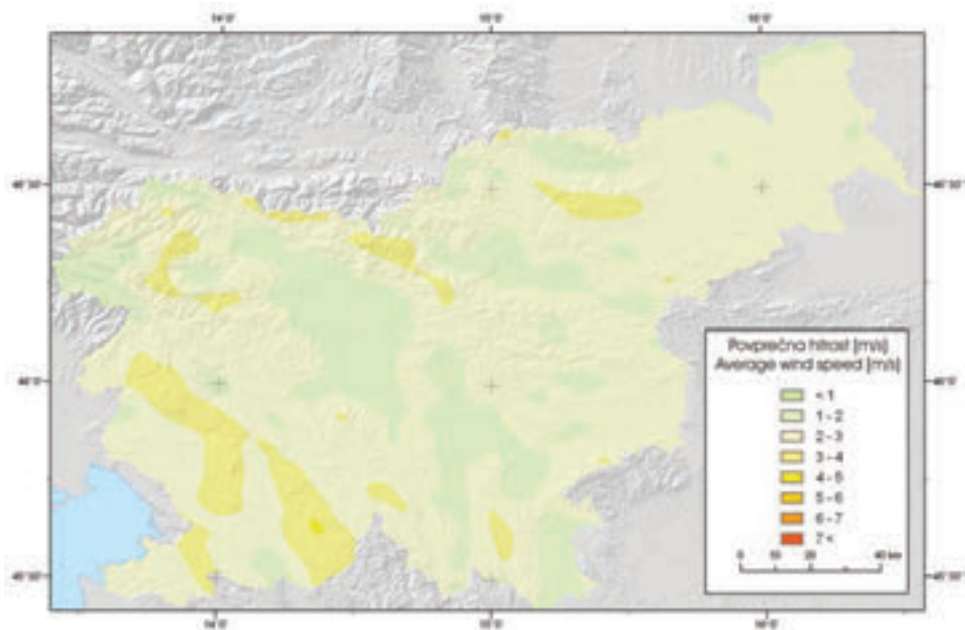
Slika 4.13 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi julija po modelu DADA.

Figure 4.13 Average wind velocity at a height of 10 m in July according to the DADA model.



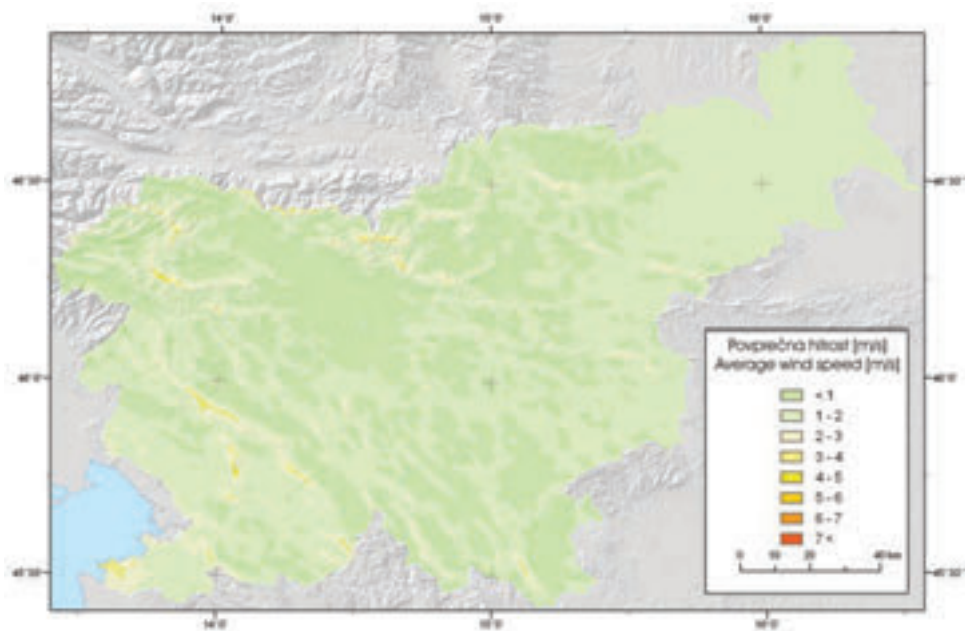
Slika 4.14 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi julija po modelu Aiolos.

Figure 4.14 Average wind velocity at a height of 10 m in July according to the Aiolos model.



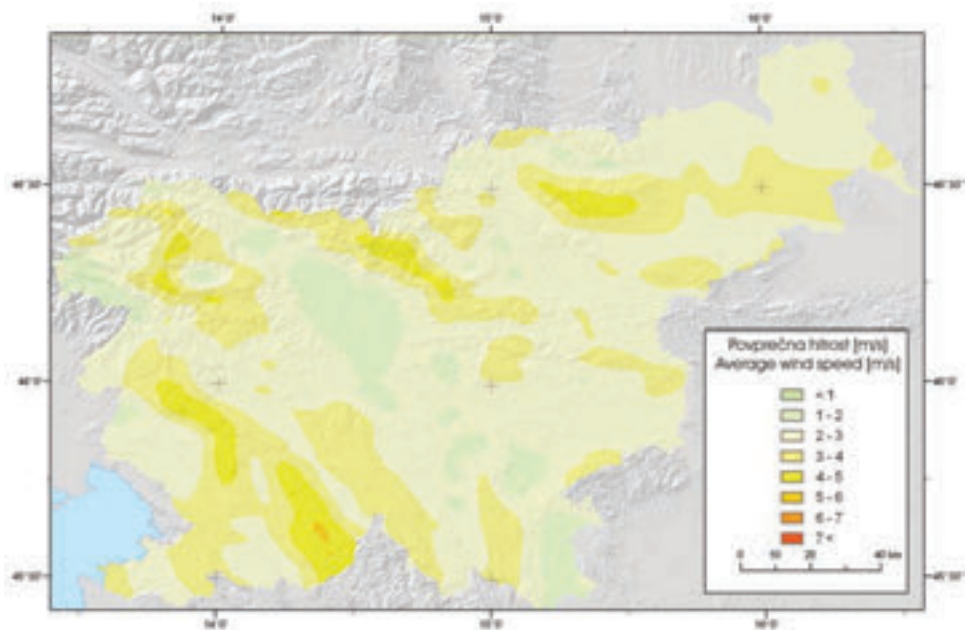
Slika 4.15 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi avgusta po modelu DADA.

Figure 4.15 Average wind velocity at a height of 10 m in August according to the DADA model.



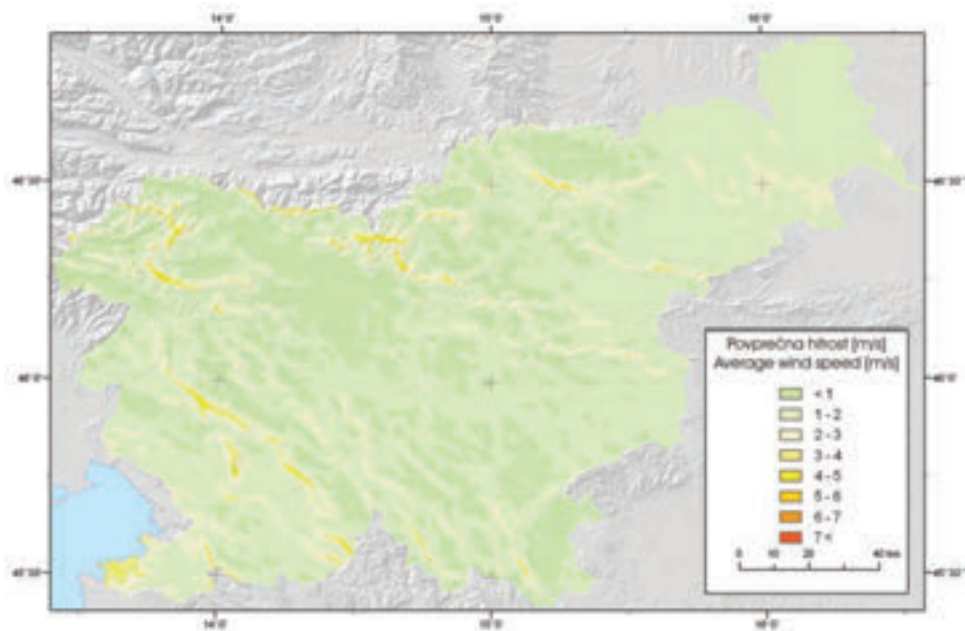
Slika 4.16 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi avgusta po modelu Aiolos.

Figure 4.16 Average wind velocity at a height of 10 m in August according to the Aiolos model.



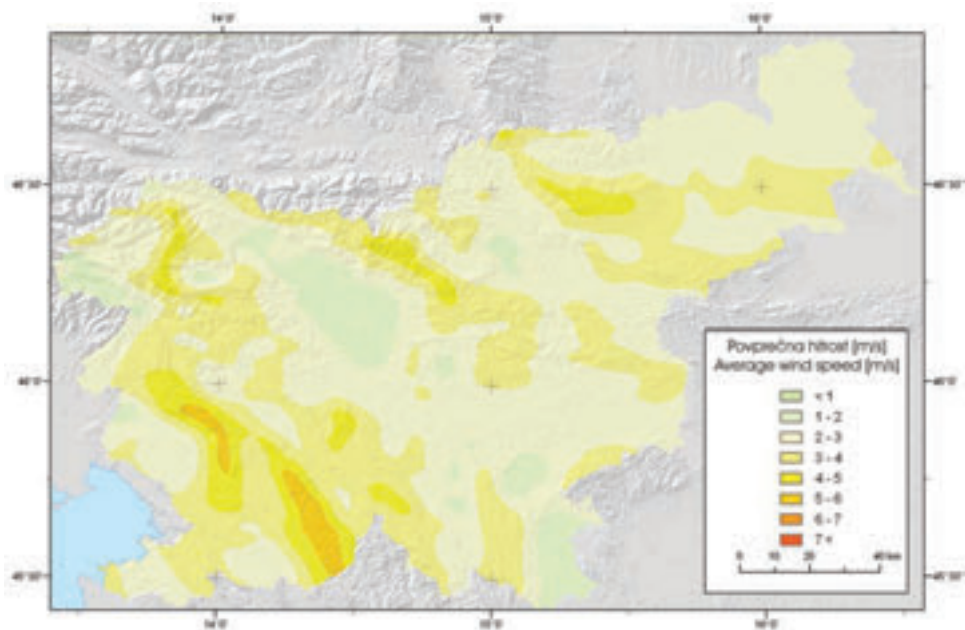
Slika 4.17 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi septembra po modelu DADA.

Figure 4.17 Average wind velocity at a height of 10 m in September according to the DADA model.



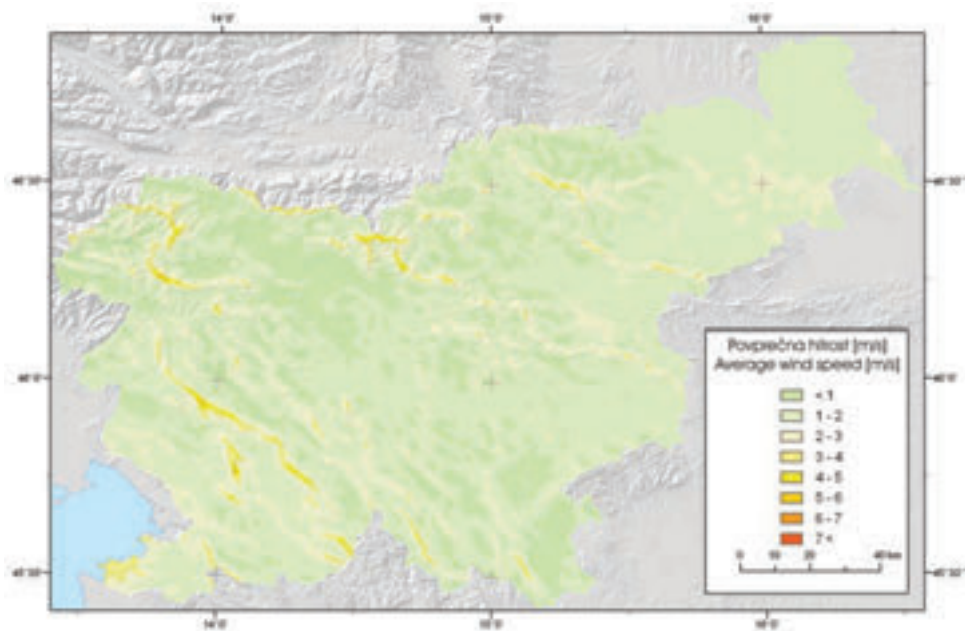
Slika 4.18 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi septembra po modelu Aiolos.

Figure 4.18 Average wind velocity at a height of 10 m in September according to the Aiolos model.



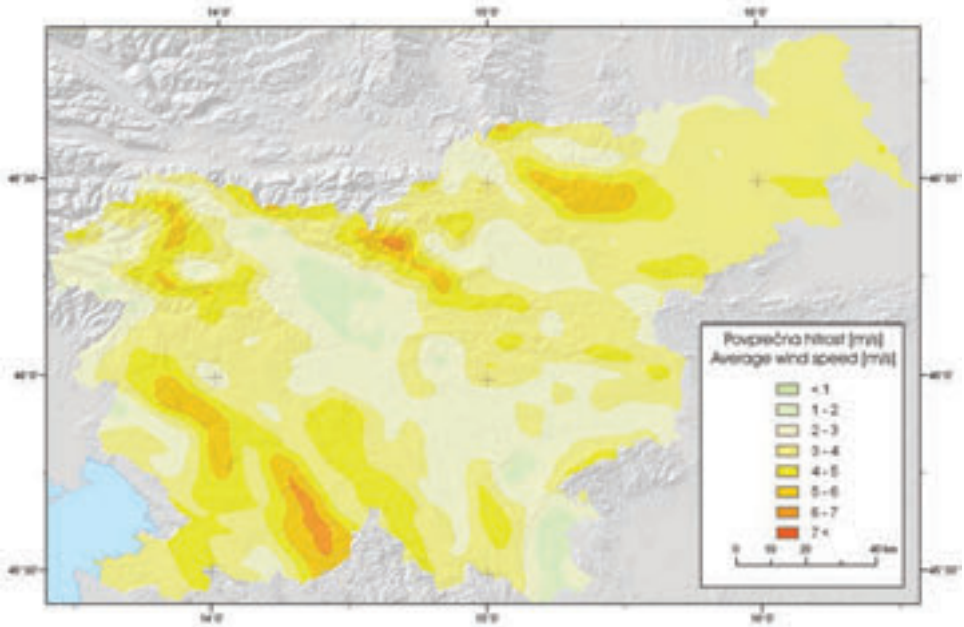
Slika 4.19 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi oktobra po modelu DADA.

Figure 4.19 Average wind velocity at a height of 10 m in October according to the DADA model.



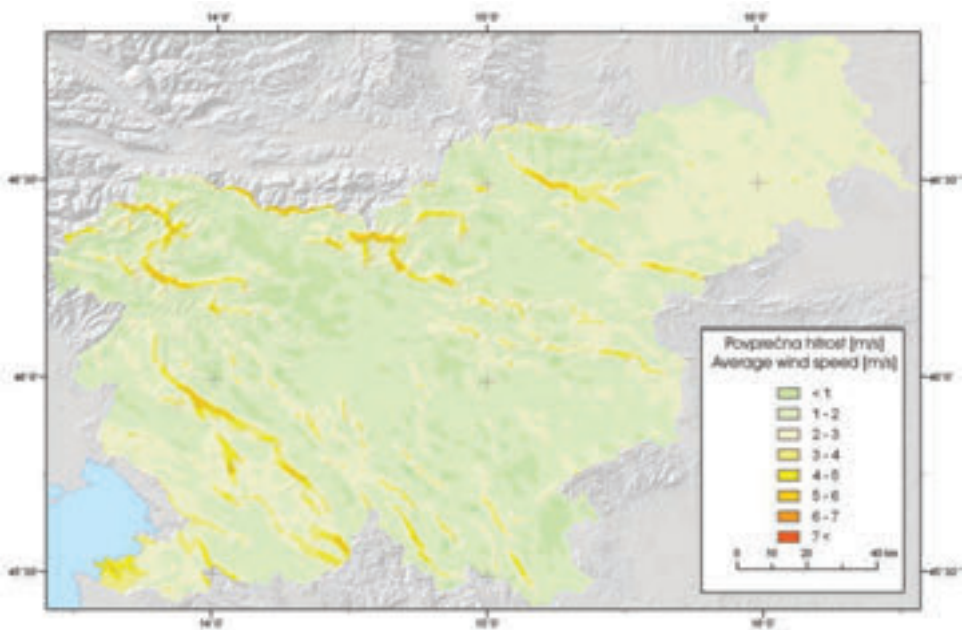
Slika 4.20 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi oktobra po modelu Aiolos.

Figure 4.20 Average wind velocity at a height of 10 m in October according to the Aiolos model.



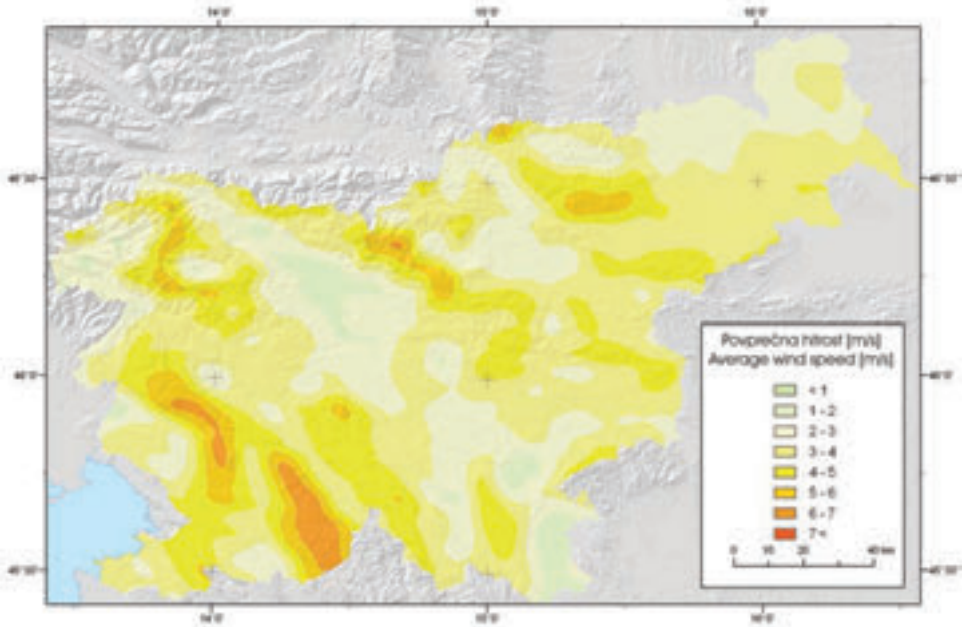
Slika 4.21 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi novembra po modelu DADA.

Figure 4.21 Average wind velocity at a height of 10 m in November according to the DADA model.



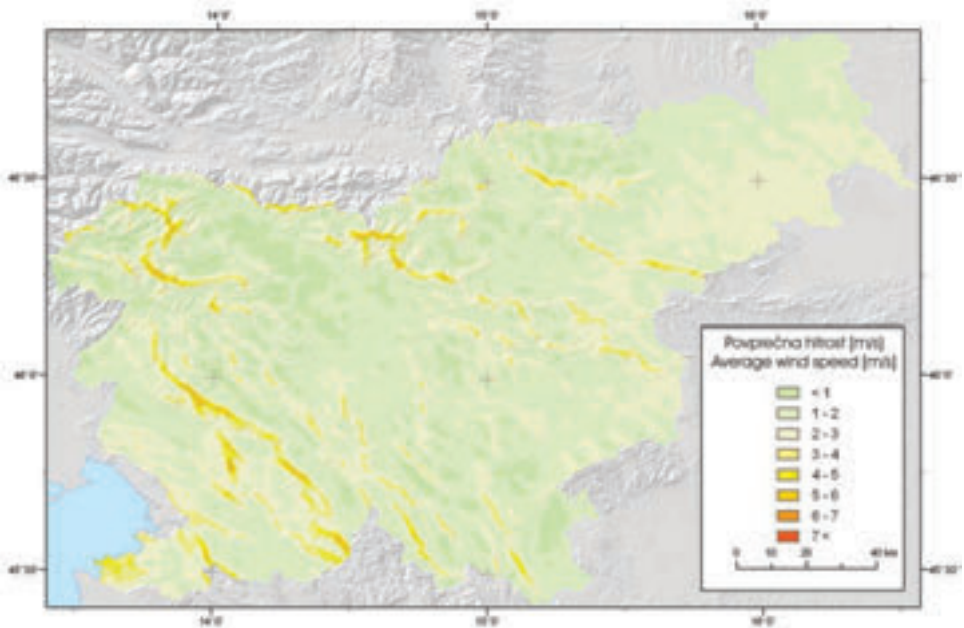
Slika 4.22 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi novembra po modelu Aiolos.

Figure 4.22 Average wind velocity at a height of 10 m in November according to the Aiolos model.



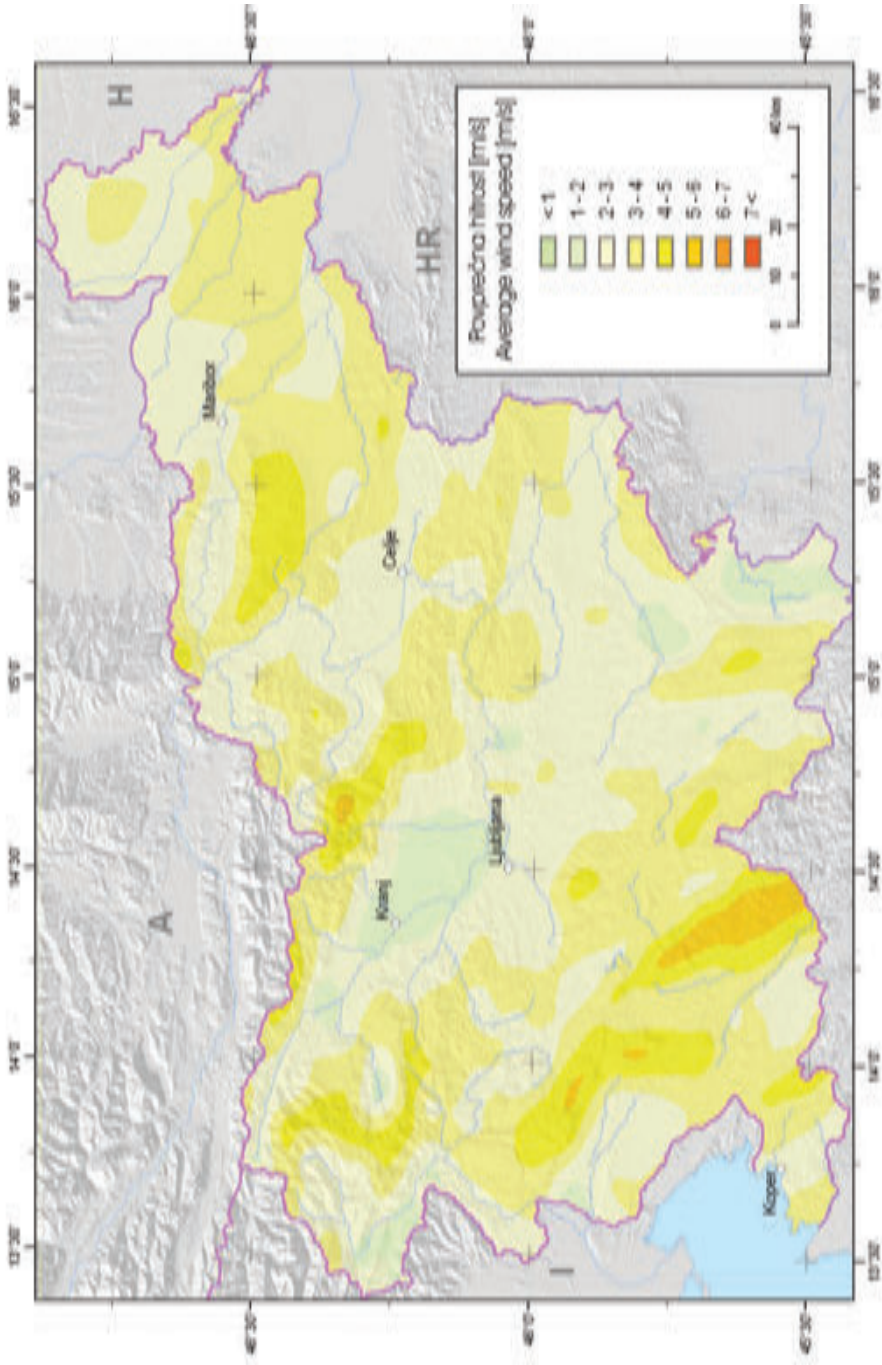
Slika 4.23 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi decembra po modelu DADA.

Figure 4.23 Average wind velocity at a height of 10 m in December according to the DADA model.

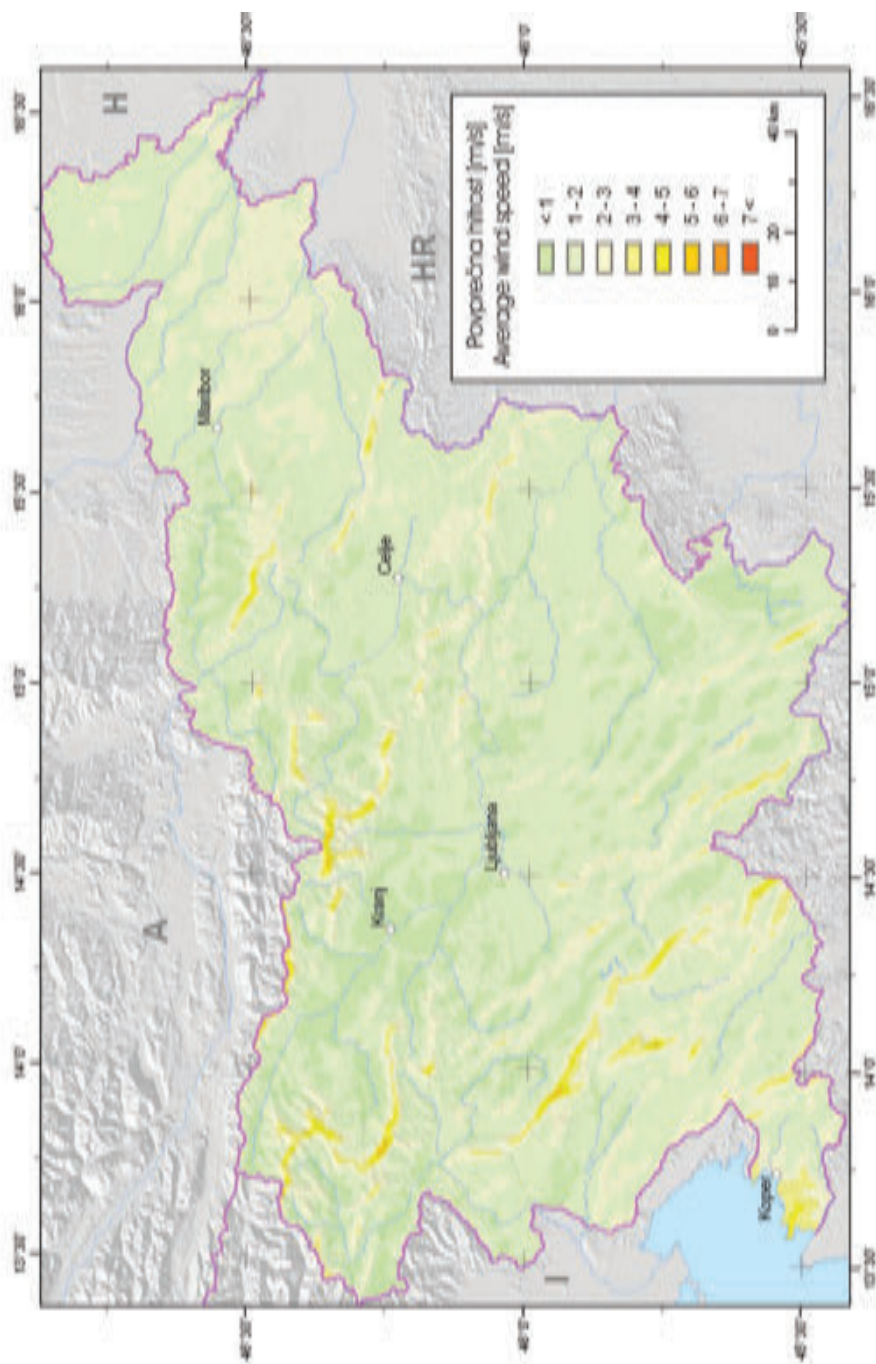


Slika 4.24 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi decembra po modelu Aiolos.

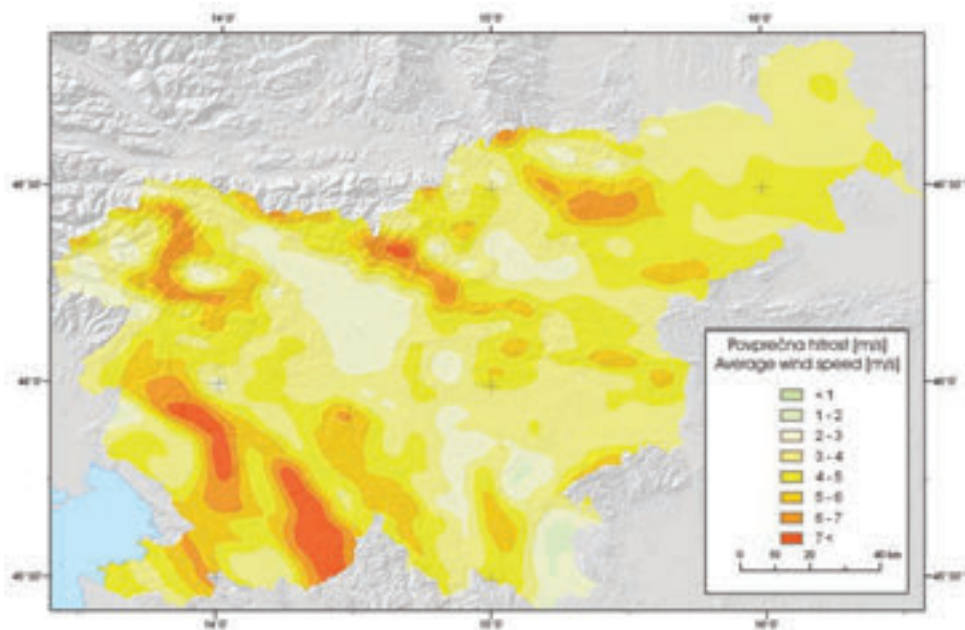
Figure 4.24 Average wind velocity at a height of 10 m in December according to the Aiolos model.



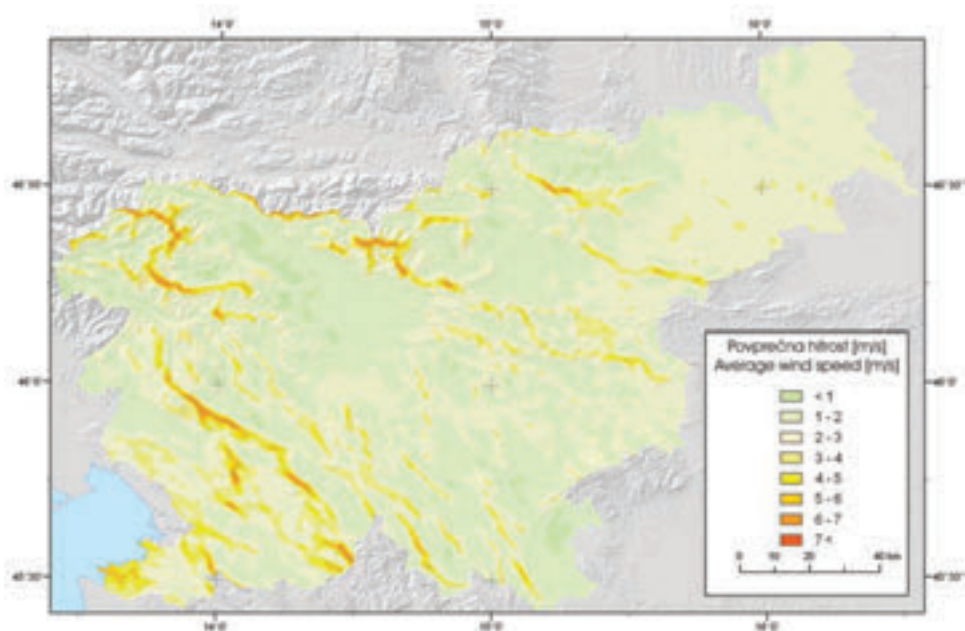
Slika 4.25 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi – letno povprečje po modelu DADA.
Figure 4.25 Average yearly wind velocity at a height of 10 m according to the DADA model.



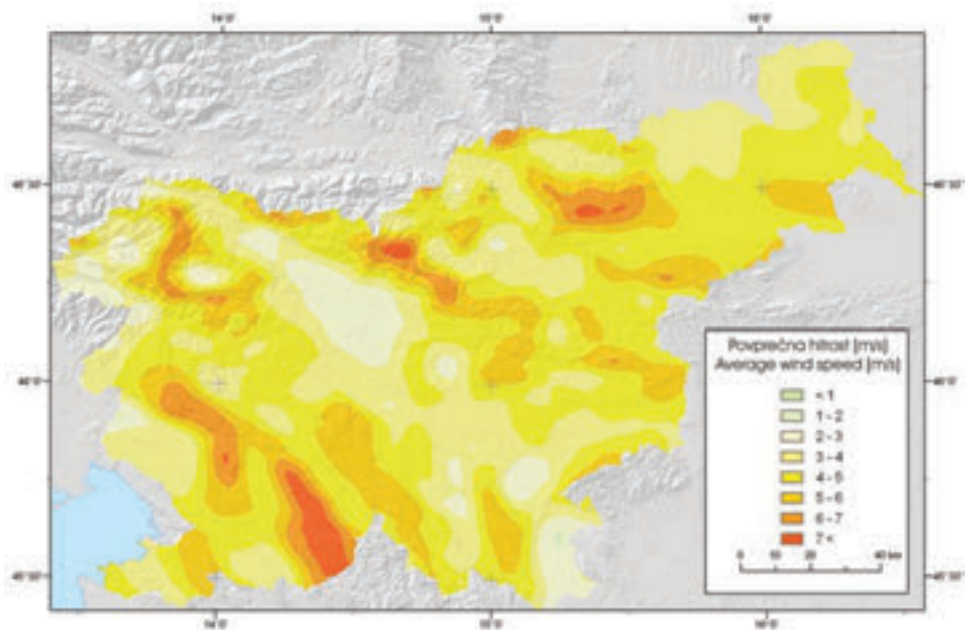
Slika 4.26 Povprečna hitrost vetra 10 m nad tlemi – letno povprečje po modelu Aiolos.
Figure 4.26 Average yearly wind velocity at a height of 10 m according to the Aiolos model.



Slika 4.27 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi januarja po modelu DADA.
Figure 4.27 Average wind velocity at a height of 50 m in January according to the DADA model.

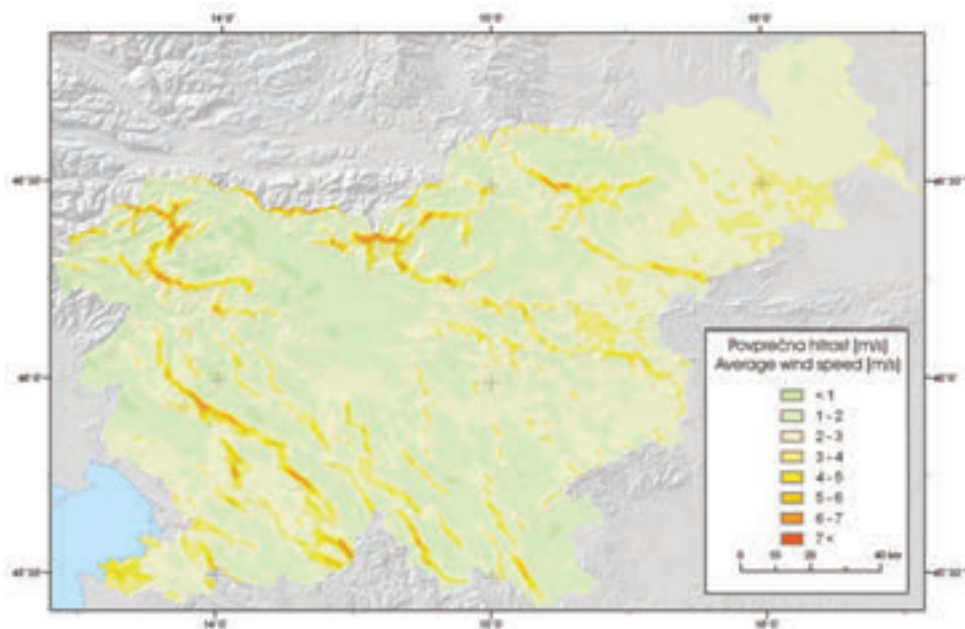


Slika 4.28 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi januarja po modelu Aiolos.
Figure 4.28 Average wind velocity at a height of 50 m in January according to the Aiolos model.



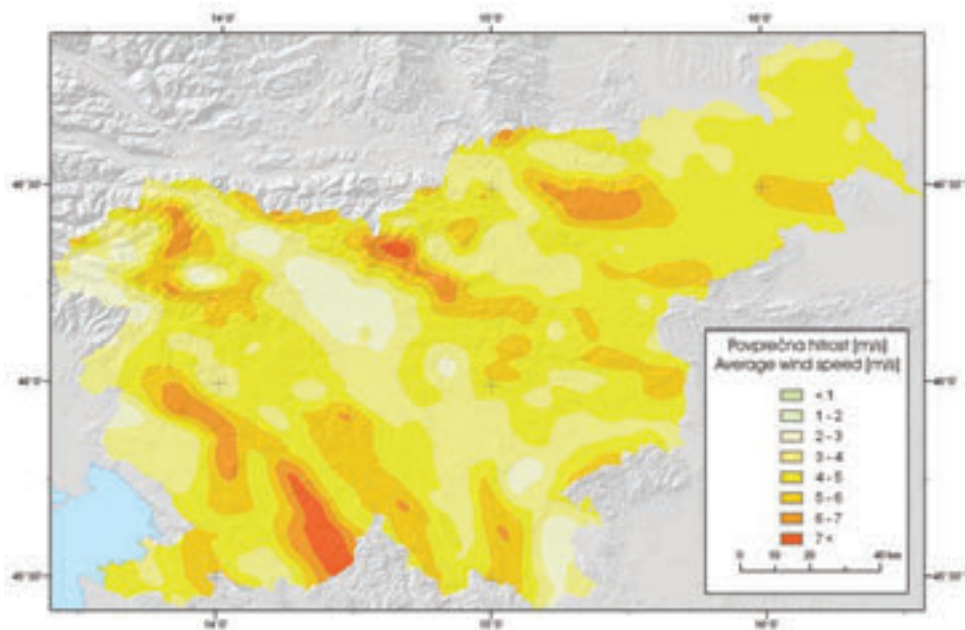
Slika 4.29 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi februarja po modelu DADA.

Figure 4.29 Average wind velocity at a height of 50 m in February according to the DADA model.



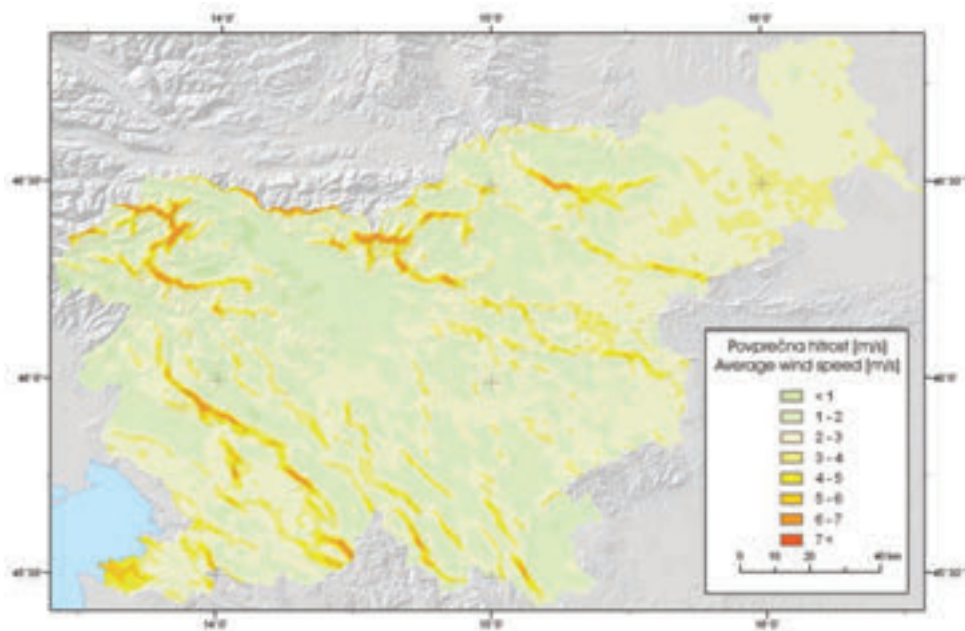
Slika 4.30 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi februarja po modelu Aiolos.

Figure 4.30 Average wind velocity at a height of 50 m in February according to the Aiolos model.



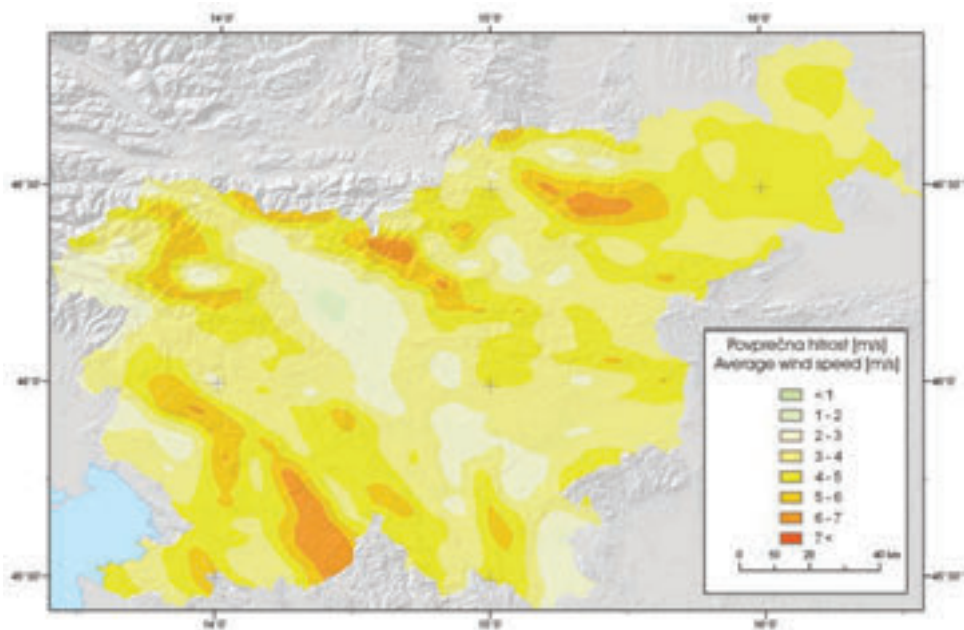
Slika 4.31 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi marca po modelu DADA.

Figure 4.31 Average wind velocity at a height of 50 m in March according to the DADA model.



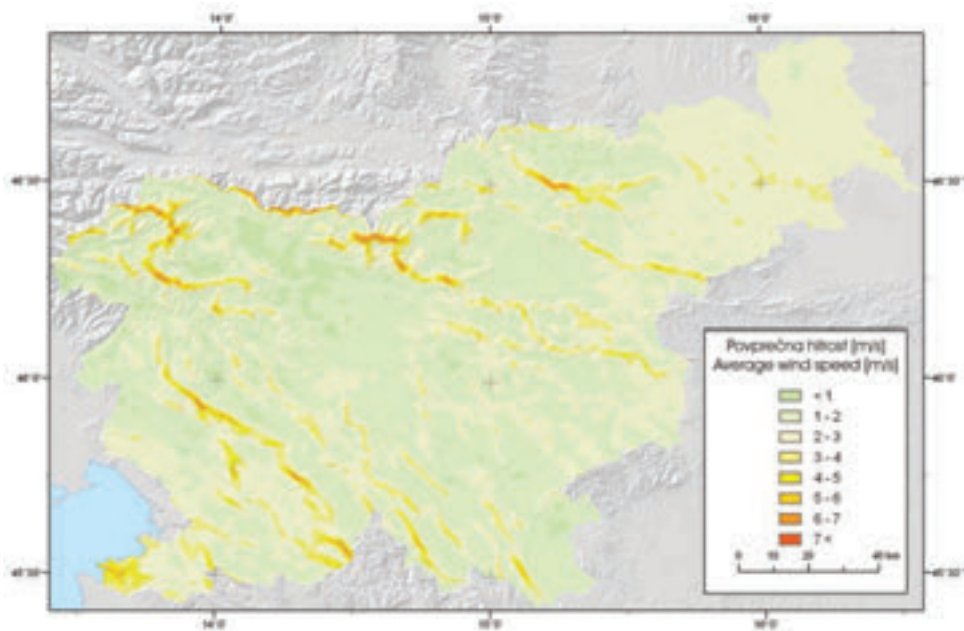
Slika 4.32 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi marca po modelu Aiolos.

Figure 4.32 Average wind velocity at a height of 50 m in March according to the Aiolos model.



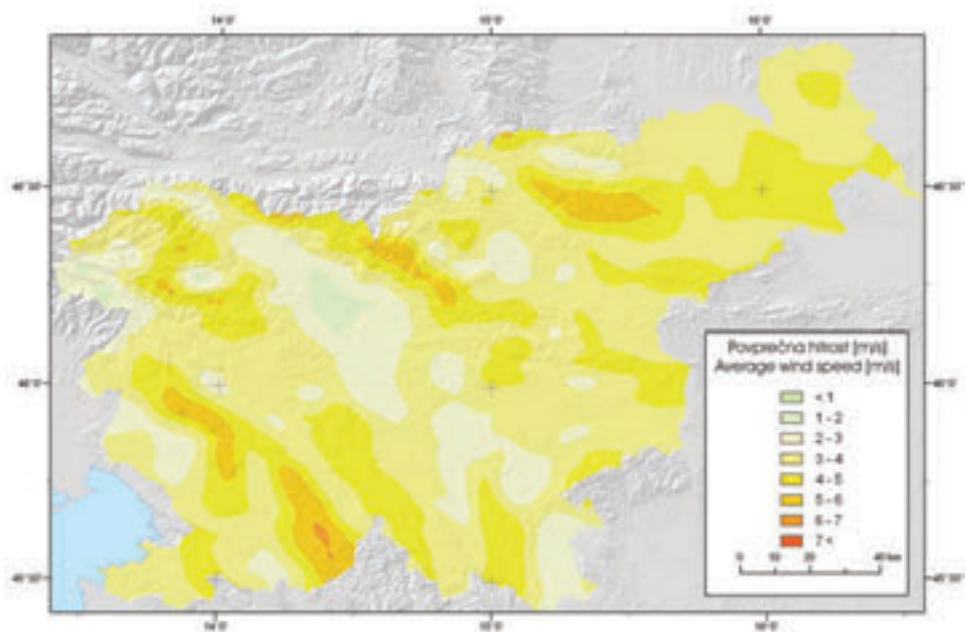
Slika 4.33 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi aprila po modelu DADA.

Figure 4.33 Average wind velocity at a height of 50 m in April according to the DADA model.



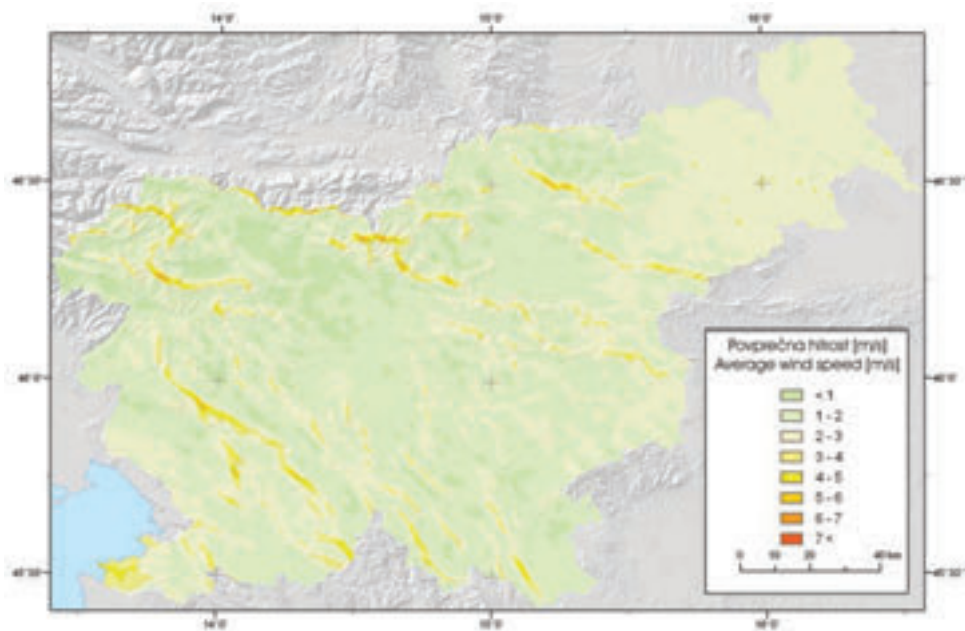
Slika 4.34 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi aprila po modelu Aiolos.

Figure 4.34 Average wind velocity at a height of 50 m in April according to the Aiolos model.



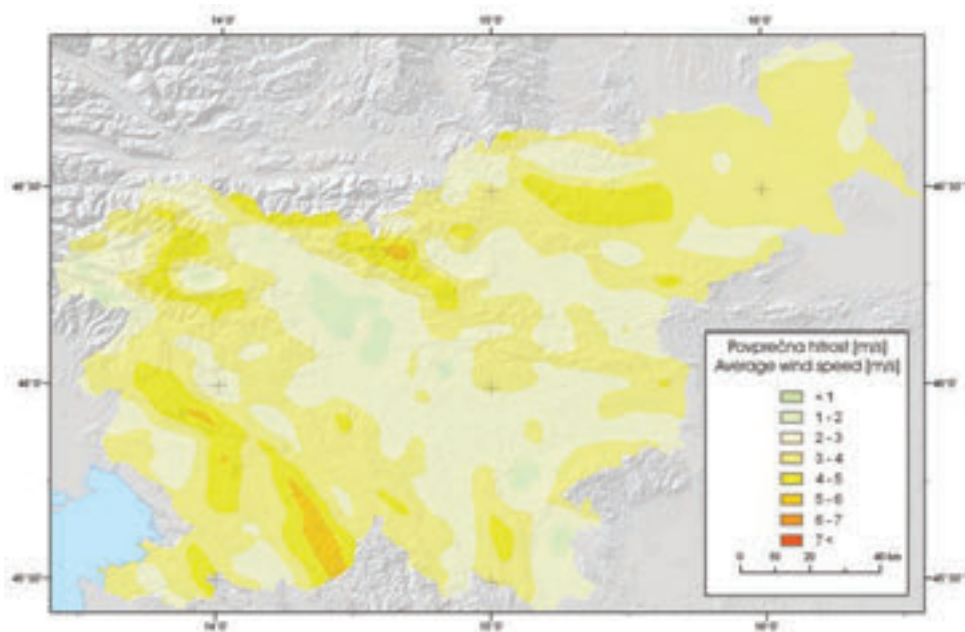
Slika 4.35 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi maja po modelu DADA.

Figure 4.35 Average wind velocity at a height of 50 m in May according to the DADA model.



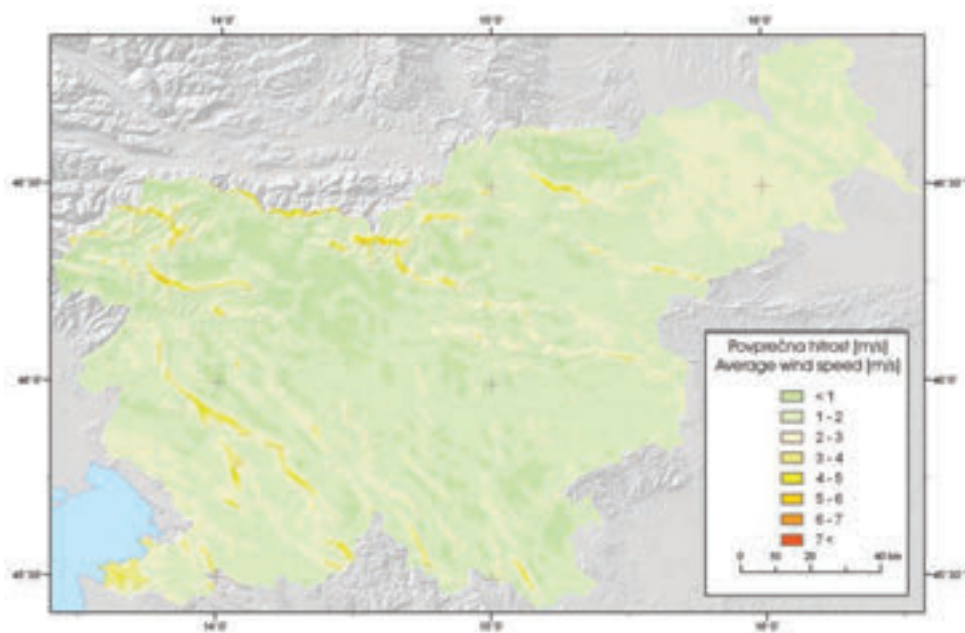
Slika 4.36 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi maja po modelu Aiolos.

Figure 4.36 Average wind velocity at a height of 50 m in May according to the Aiolos model.



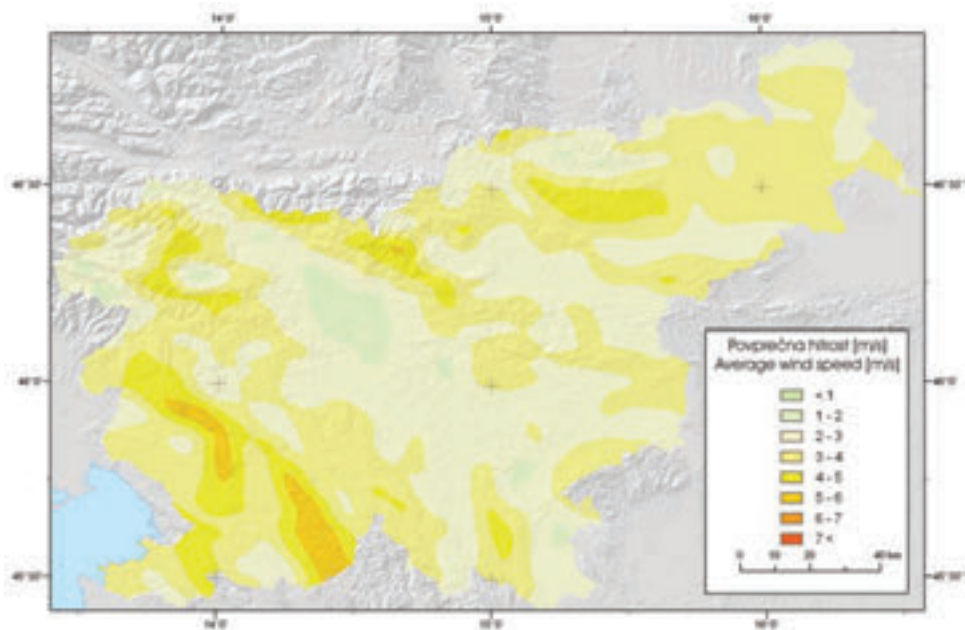
Slika 4.37 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi junija po modelu DADA.

Figure 4.37 Average wind velocity at a height of 50 m in June according to the DADA model.



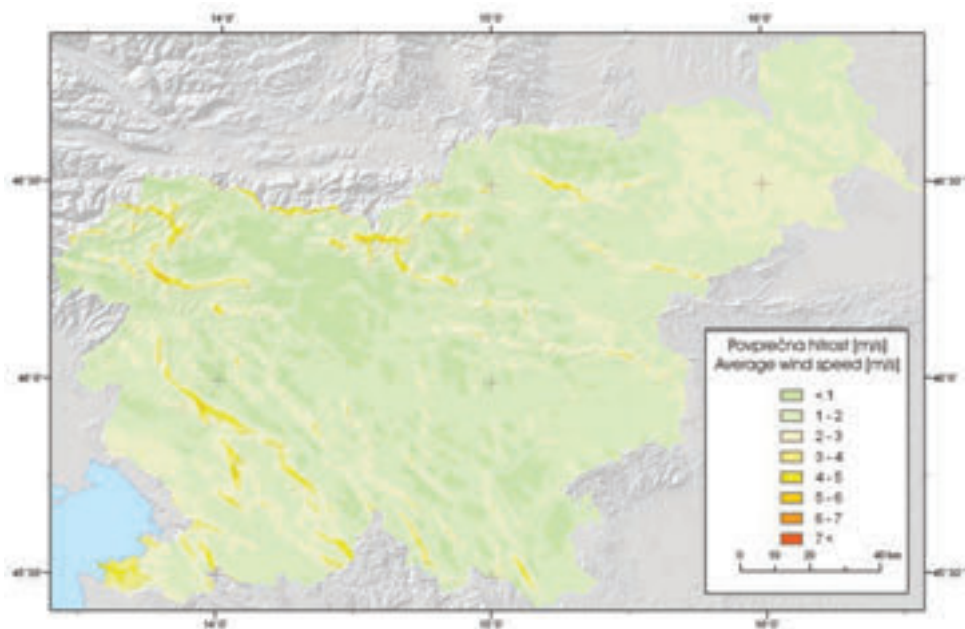
Slika 4.38 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi junija po modelu Aiolos.

Figure 4.38 Average wind velocity at a height of 50 m in June according to the Aiolos model.



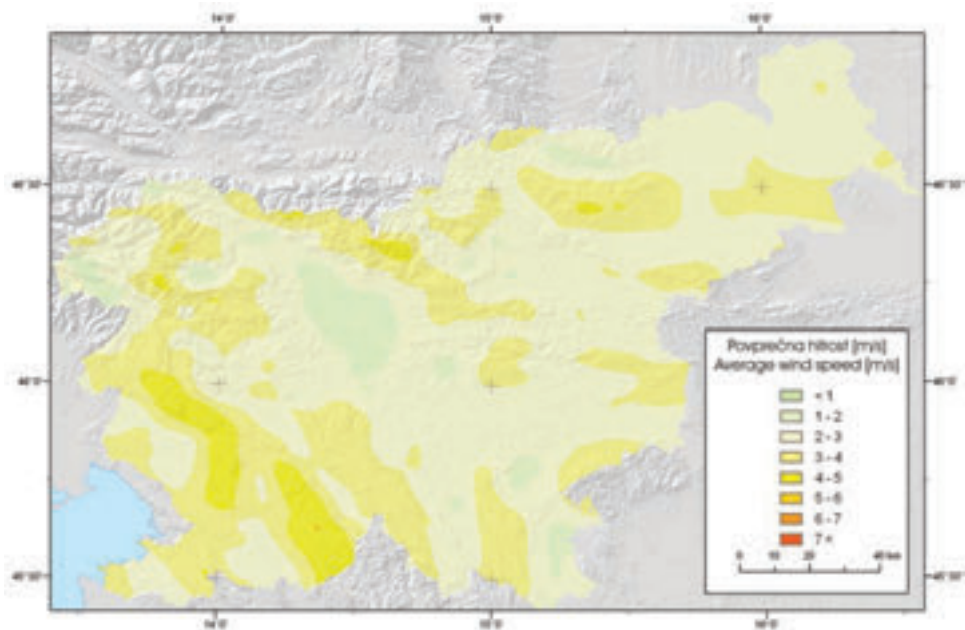
Slika 4.39 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi julija po modelu DADA.

Figure 4.39 Average wind velocity at a height of 50 m in July according to the DADA model.



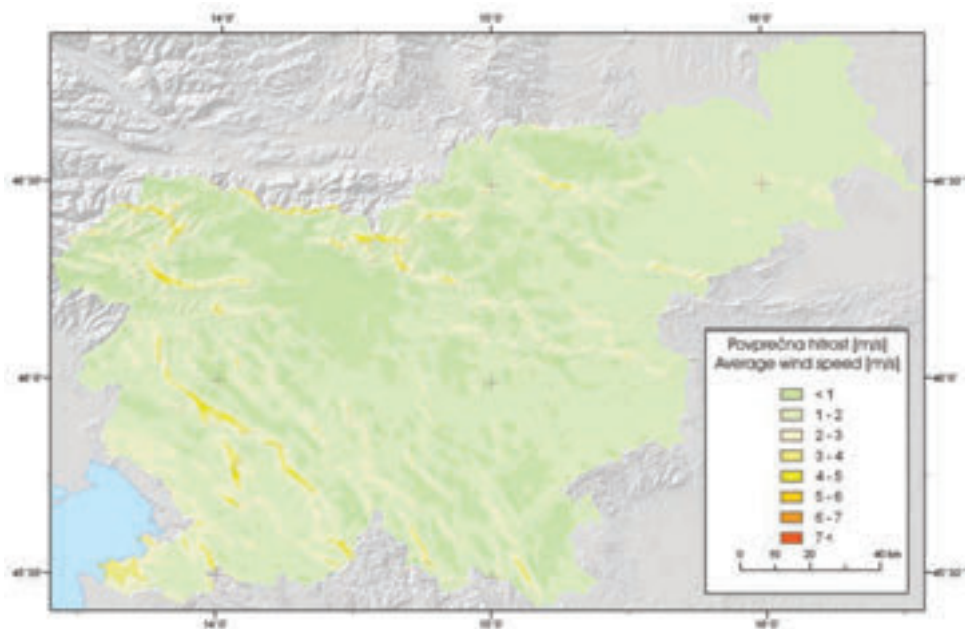
Slika 4.40 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi julija po modelu Aiolos.

Figure 4.40 Average wind velocity at a height of 50 m in July according to the Aiolos model.



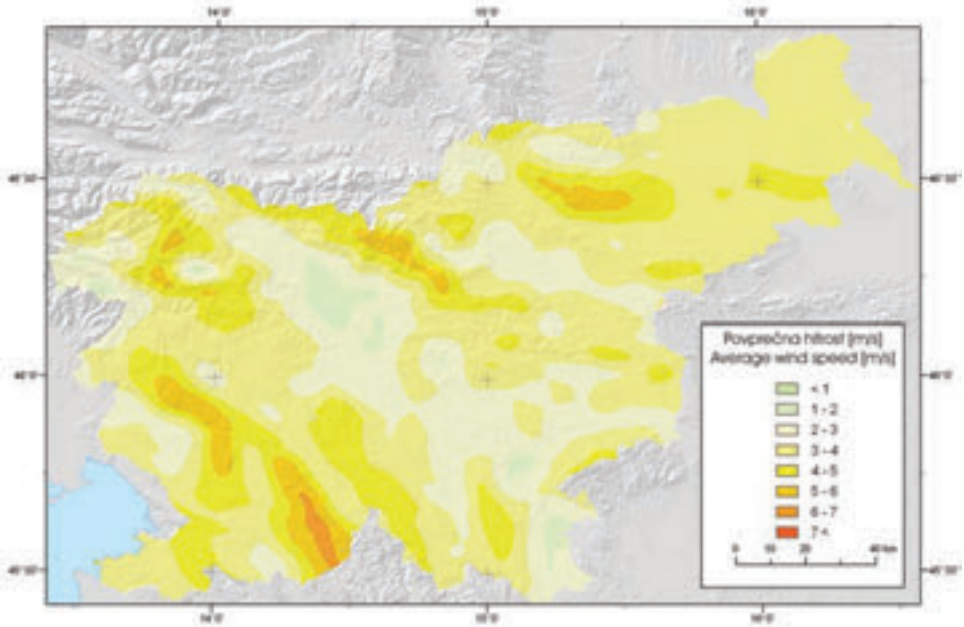
Slika 4.41 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi avgusta po modelu DADA.

Figure 4.41 Average wind velocity at a height of 50 m in August according to the DADA model.



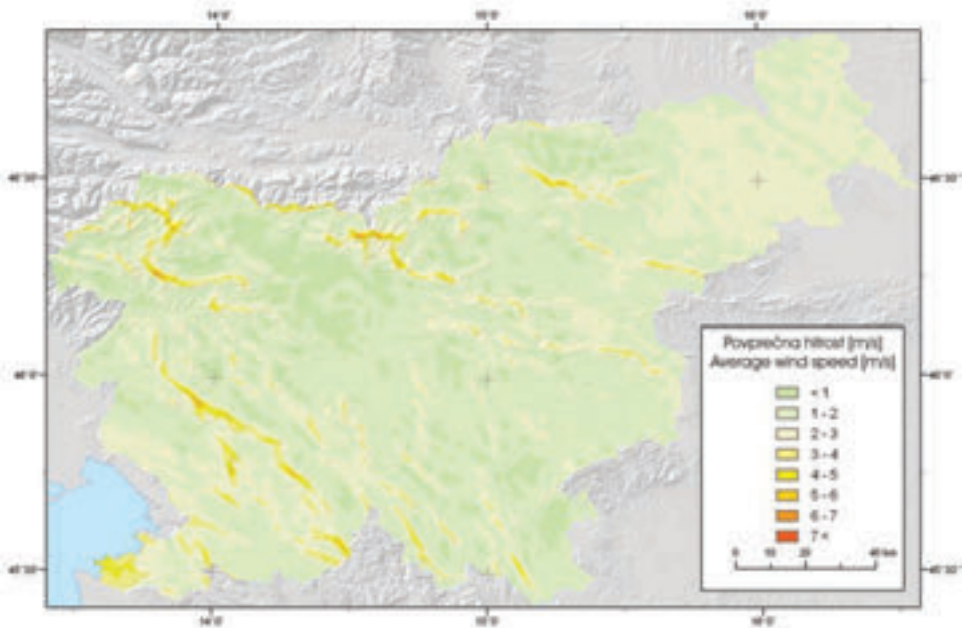
Slika 4.42 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi avgusta po modelu Aiolos.

Figure 4.42 Average wind velocity at a height of 50 m in August according to the Aiolos model.



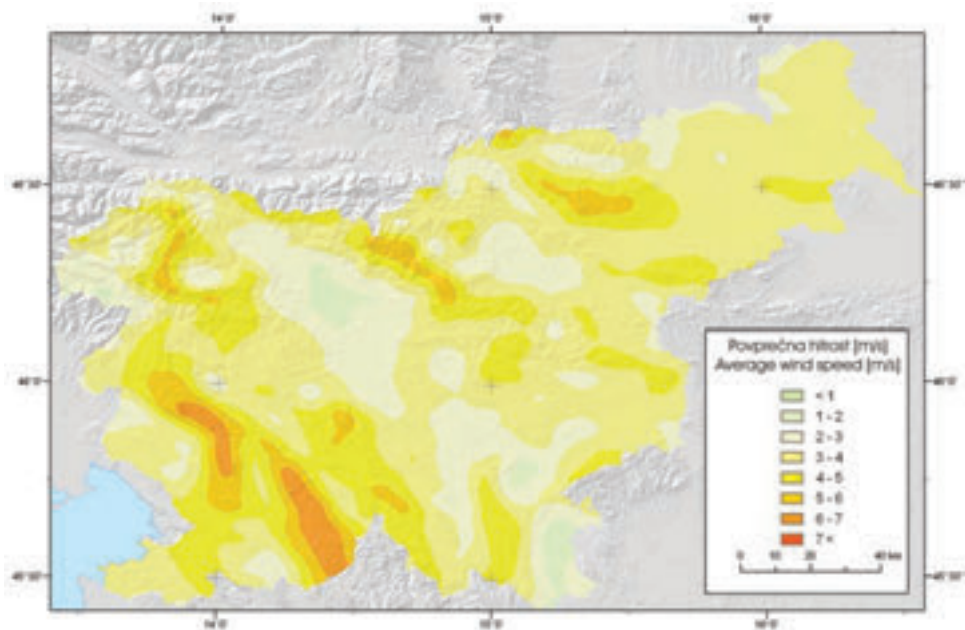
Slika 4.43 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi septembra po modelu DADA.

Figure 4.43 Average wind velocity at a height of 50 m in September according to the DADA model.



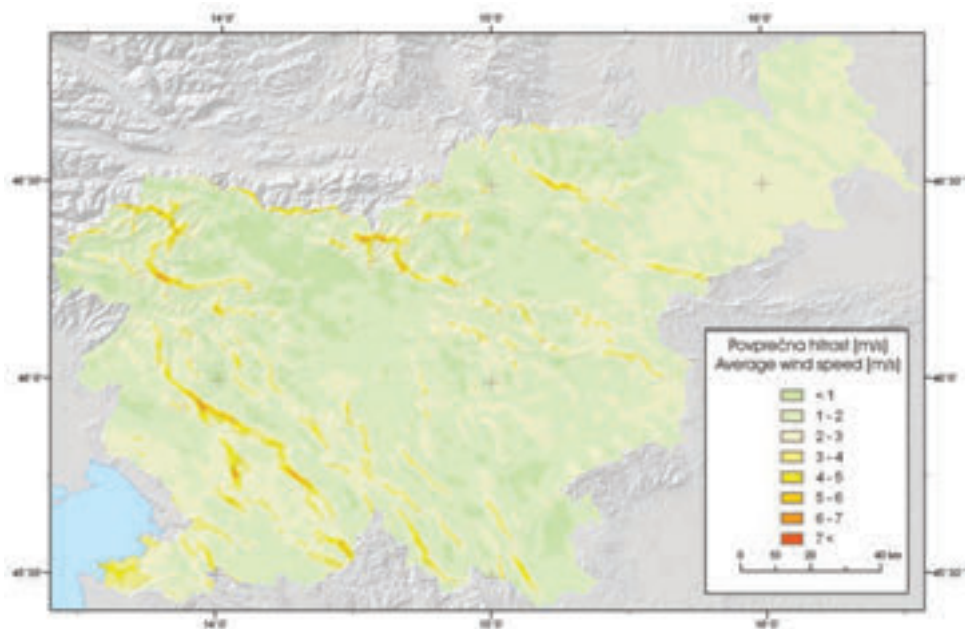
Slika 4.44 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi septembra po modelu Aiolos.

Figure 4.44 Average wind velocity at a height of 50 m in September according to the Aiolos model.



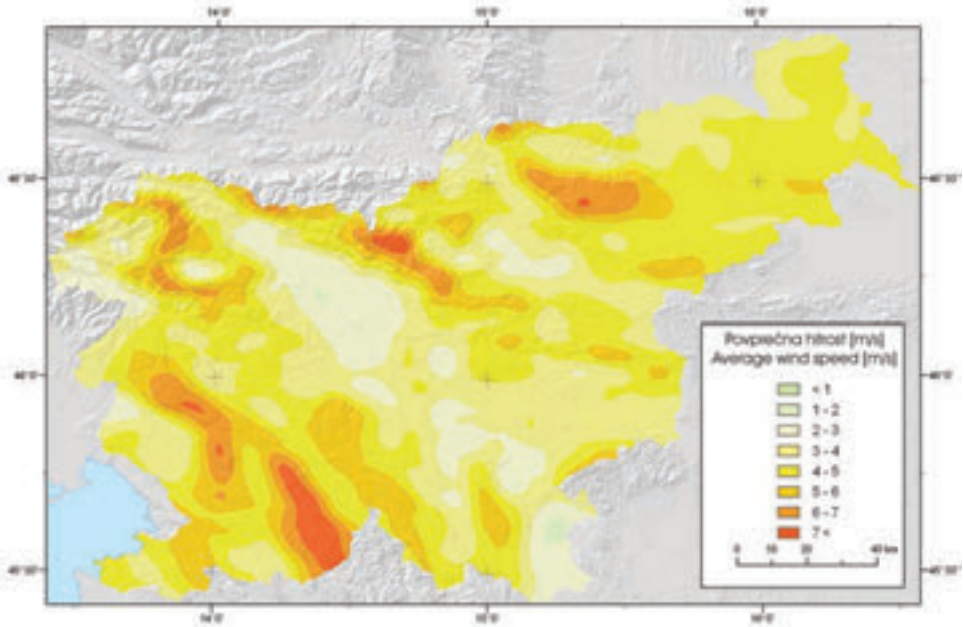
Slika 4.45 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi oktobra po modelu DADA.

Figure 4.45 Average wind velocity at a height of 50 m in February October to the DADA model.



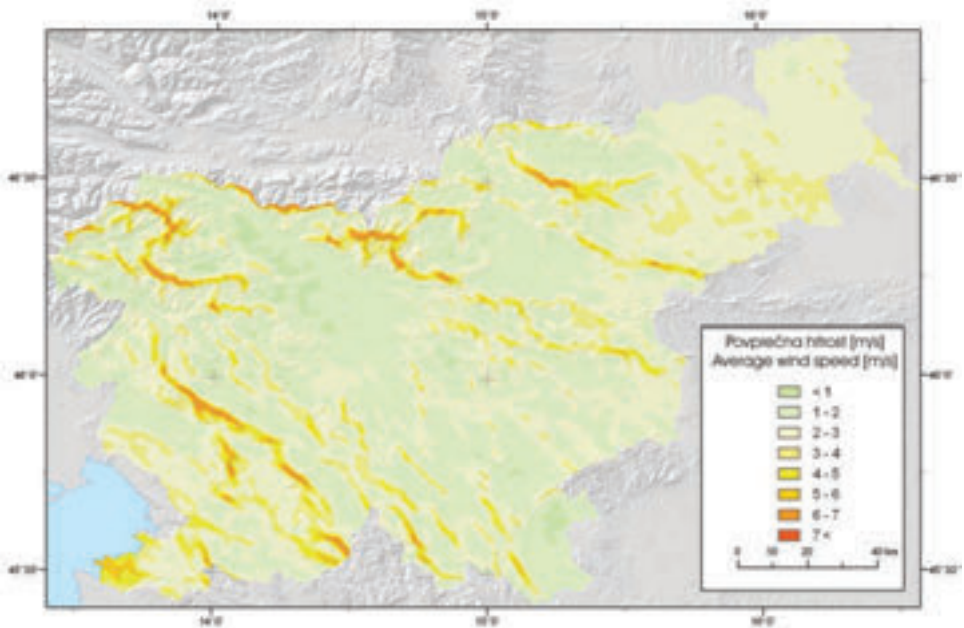
Slika 4.46 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi oktobra po modelu Aiolos.

Figure 4.46 Average wind velocity at a height of 50 m in October according to the Aiolos model.



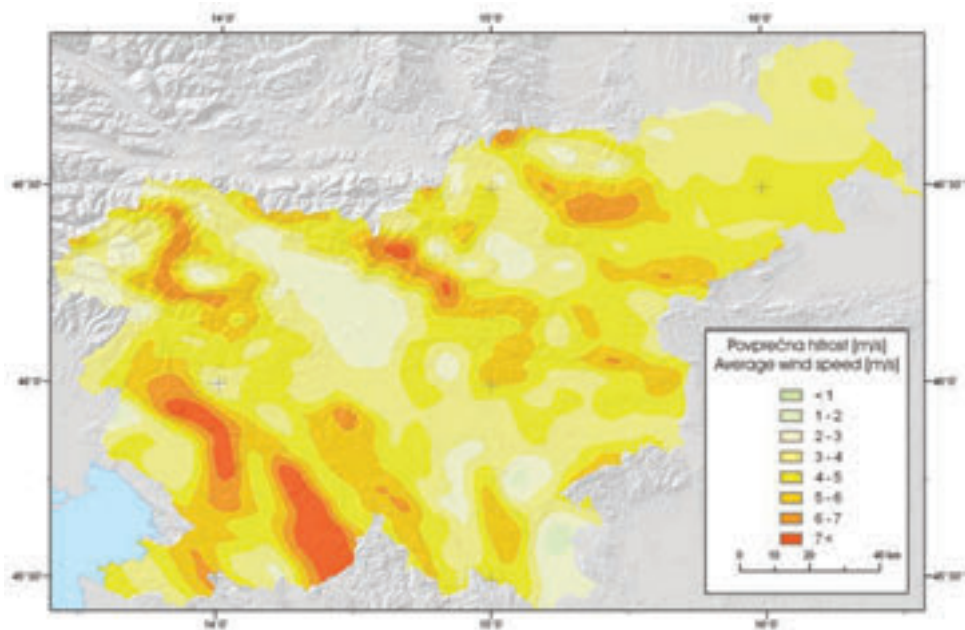
Slika 4.47 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi novembra po modelu DADA.

Figure 4.47 Average wind velocity at a height of 50 m in November according to the DADA model.



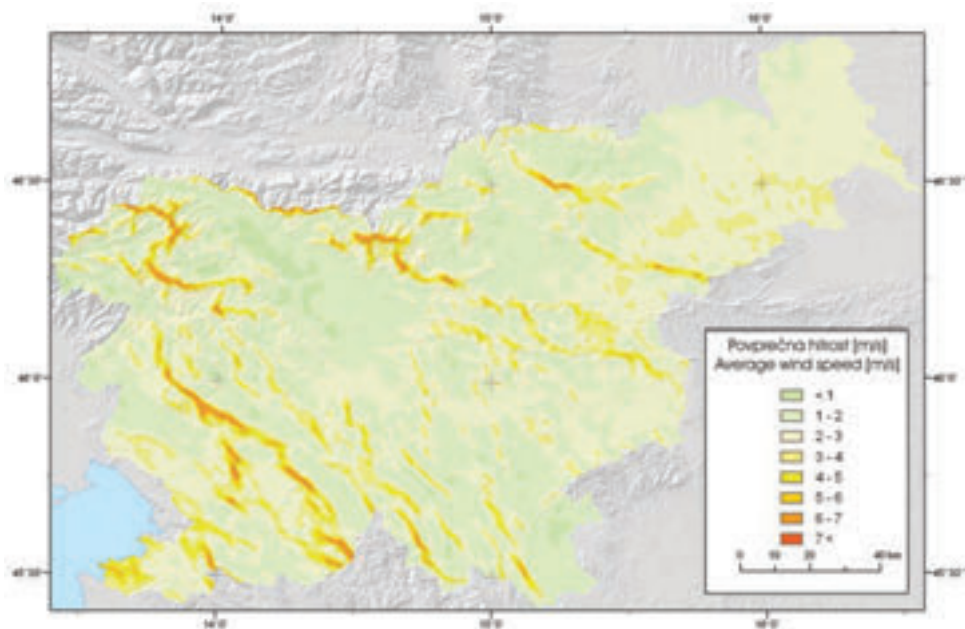
Slika 4.48 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi novembra po modelu Aiolos.

Figure 4.48 Average wind velocity at a height of 50 m in November according to the Aiolos model.



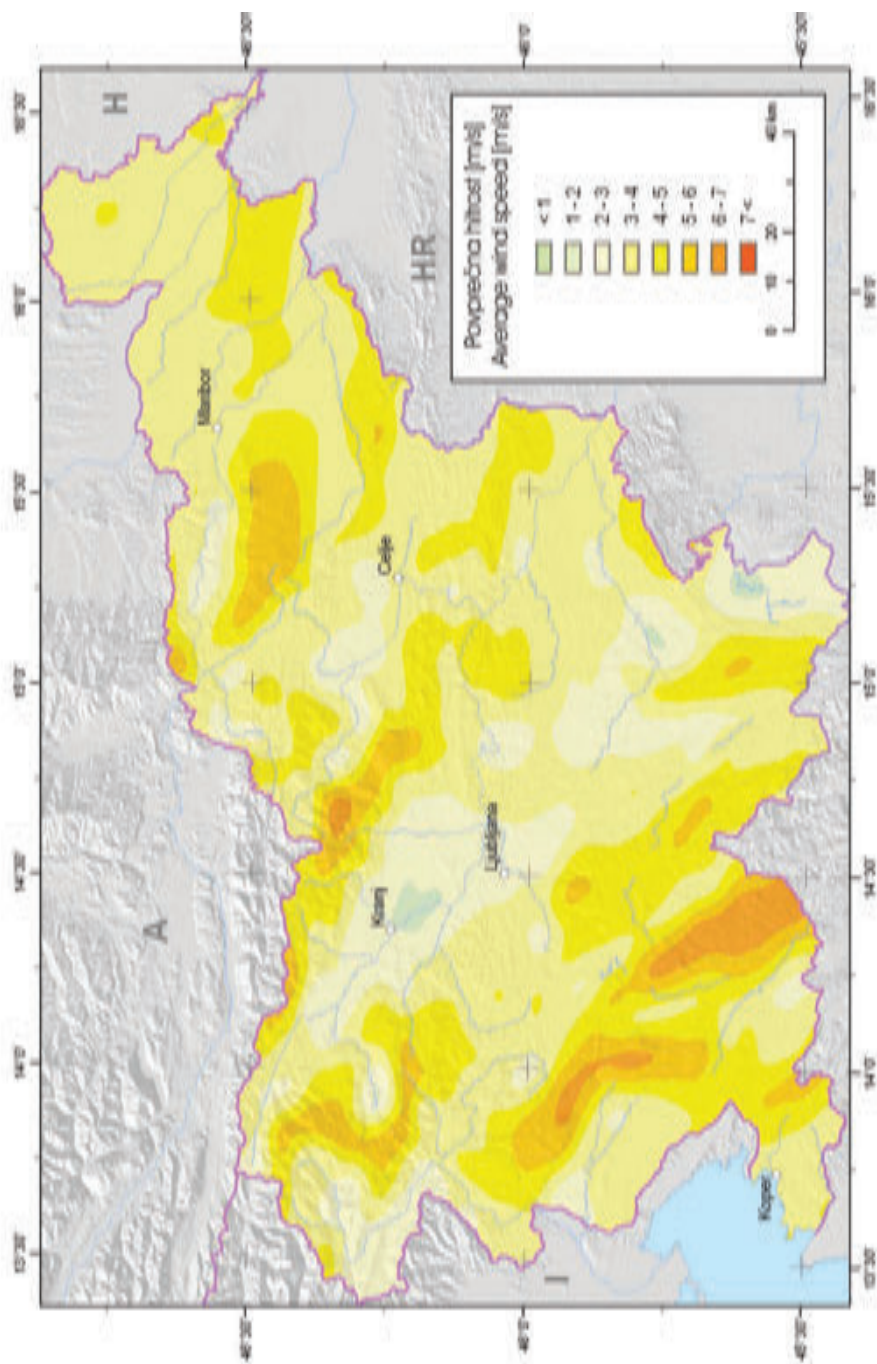
Slika 4.49 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi decembra po modelu DADA.

Figure 4.49 Average wind velocity at a height of 50 m in December according to the DADA model.

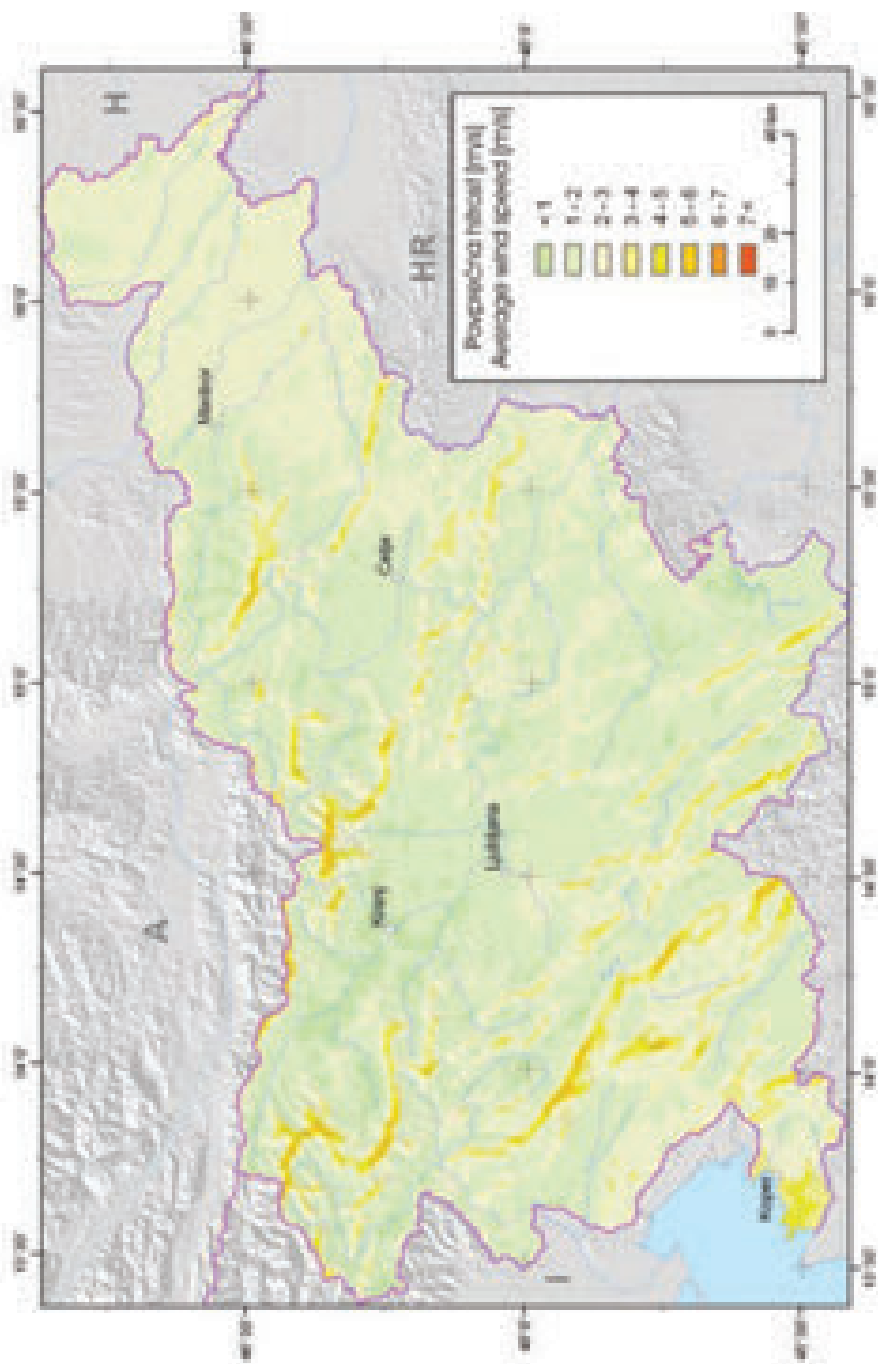


Slika 4.50 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi decembra po modelu Aiolos.

Figure 4.50 Average wind velocity at a height of 50 m in December according to the Aiolos model.



Slika 4.51 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi – letno povprečje po modelu DADA.
Figure 4.51 Average yearly wind velocity at a height of 50 m according to the DADA model.

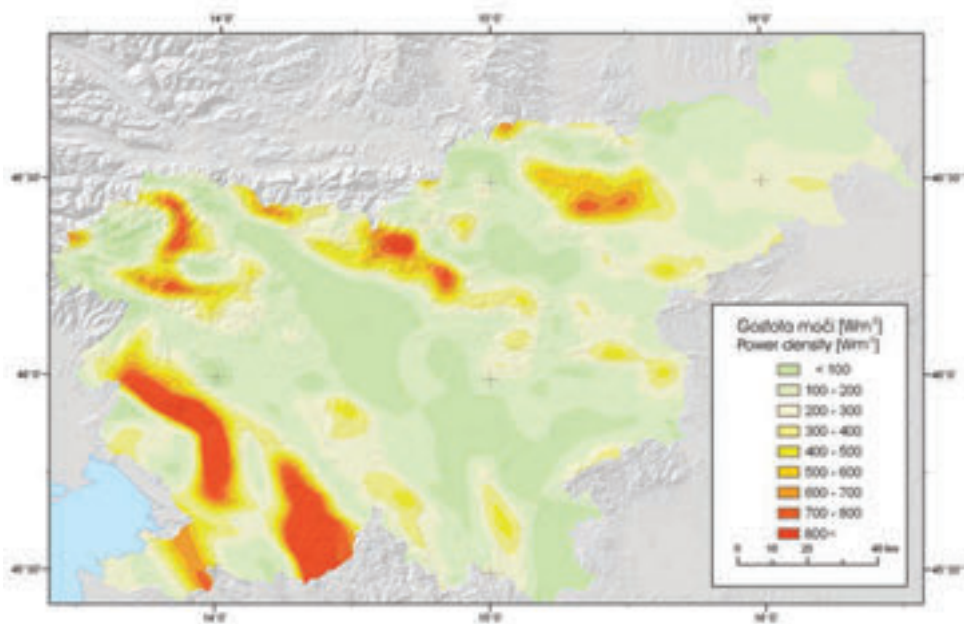


*Slika 4.52 Povprečna hitrost vetra 50 m nad tlemi – letno povprečje po modelu Aiolos.
Figure 4.52 Average yearly wind velocity at a height of 50 m according to the Aiolos model.*

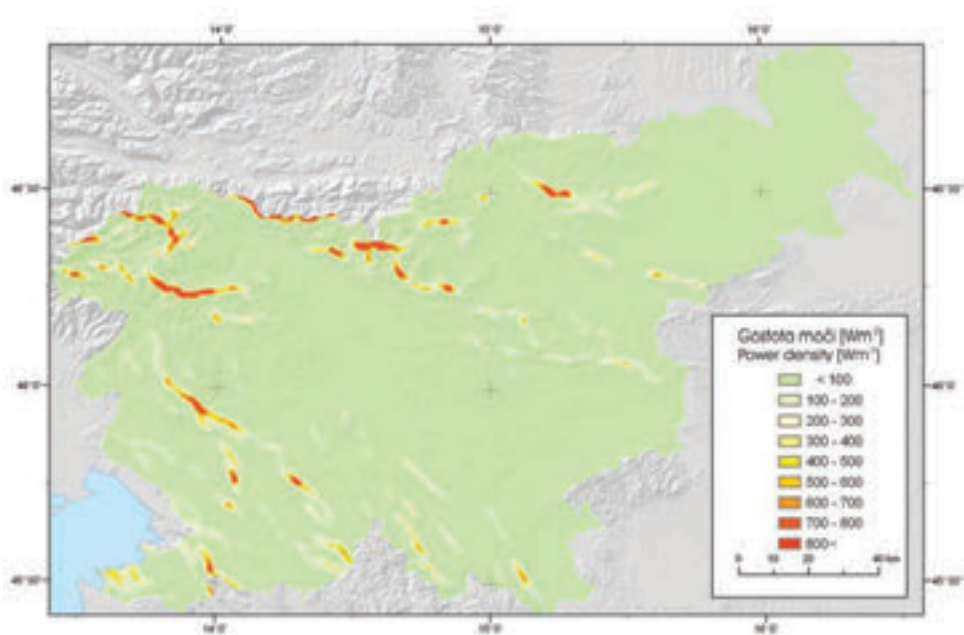
4.2 Karte gostote moči vetra nad Slovenijo 50 m nad tlemi po modelih DADA in Aiolos

Iz podatkov modelov DADA in Aiolos lahko izračunamo tudi povprečne tretje potence (kube) hitrosti vetra in iz tega povprečno gostoto moči vetra. Rezultati za Slovenijo so predstavljeni na slikah na naslednji straneh. Slike za gostoto moči podajamo samo za višino 50 m nad tlemi, saj so sodobne vetrnice za izrabo vetrne energije vsaj tako visoke ali pa še višje.

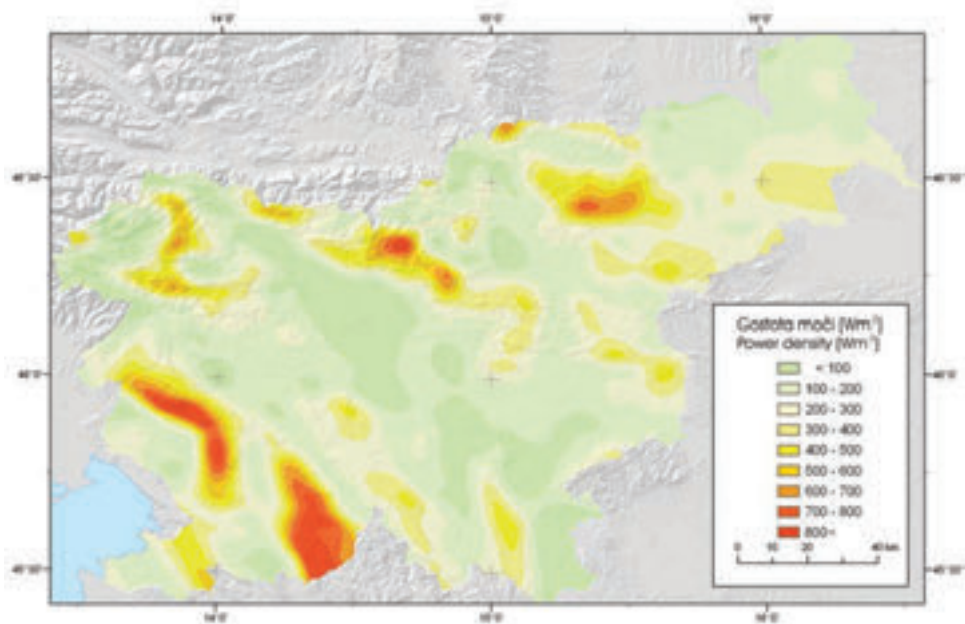
Komentar je v nekem smislu podoben kot za povprečno hitrost: vrednosti po modelu DADA, ki so na splošno višje, veljajo na širših območjih. Vrednosti segajo pozimi prek devet razredov: od manj kot 100 Wm^{-2} do prek 800 Wm^{-2} , poleti pa ne sežejo prek 400 Wm^{-2} . Rezultati po modelu Aiolos s boljšo prostorsko ločljivostjo pa spet dajejo več informacij o podrobnejši prostorski porazdelitvi območij različnih vetrovnosti. Zanimivo pa je, da – za razliko od hitrosti – sedaj tudi Aiolos daje pozimi gostote moči prek 800 Wm^{-2} in poleti celo višje kot the DADA model, seveda pa le na ozkih območjih navečje izpostavljenosti vetru. To je posledica razlik v spektrih – hitrostnih porazdelitvah vetra, ko kljub nižjim povprečjem pride do izraza pomen razredov višjih hitrosti. Ti so sicer relativno slabo zastopani, a pri potenciranju na tretjo potenco prispevajo očitno pomemben delež h gostoti moči.



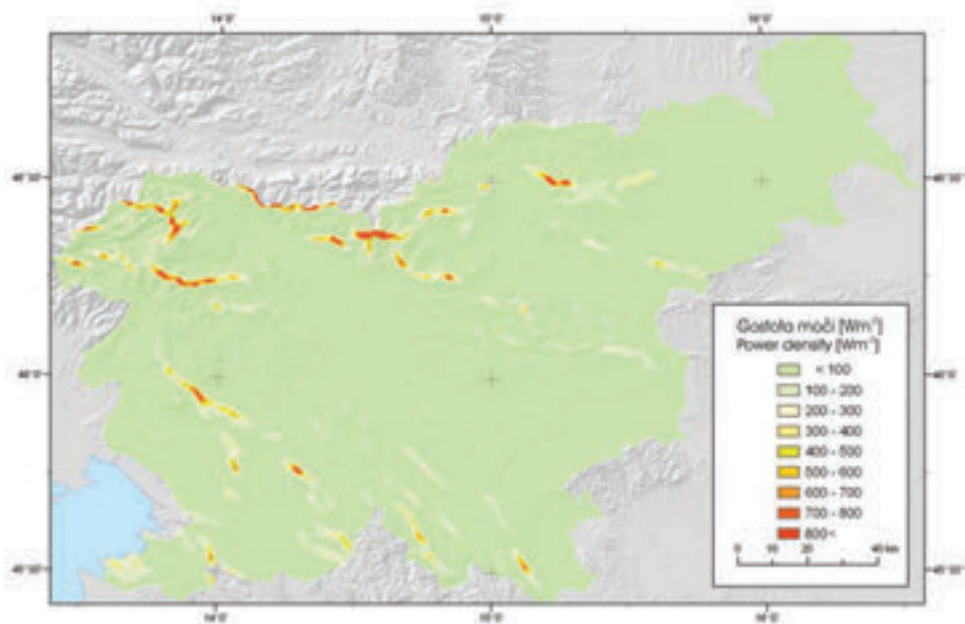
Slika 4.79 Povprečna gostota moči vetra 50 m nad tlemi januarja po modelu DADA.
Figure 4.79 Average wind power density at a height of 50 m in January according to the DADA model.



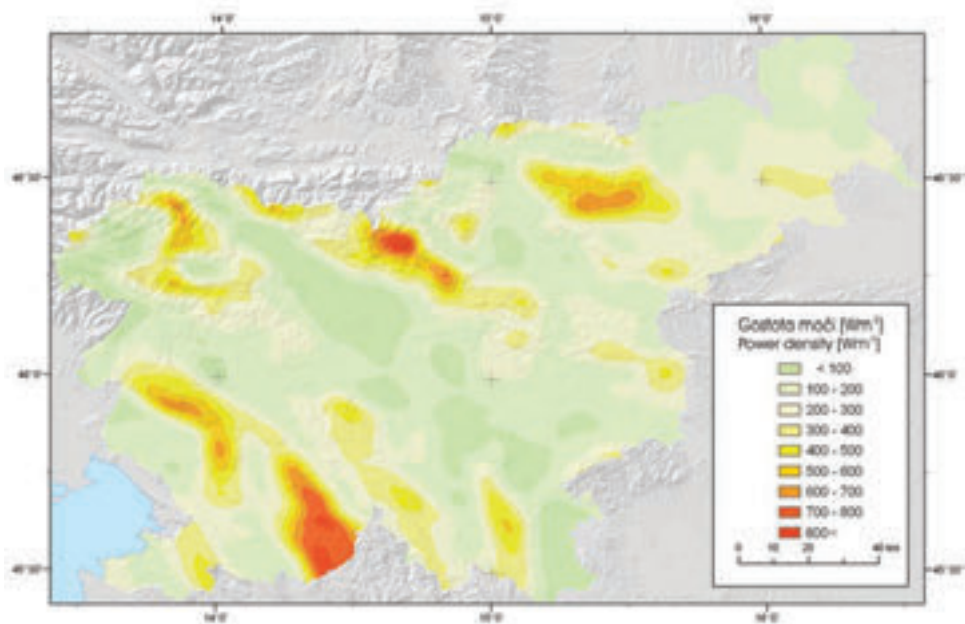
Slika 4.80 Povprečna moč vetra 50 m nad tlemi januarja po modelu Aiolos.
Figure 4.80 Average wind power density at a height of 50 m in January according to the Aiolos model.



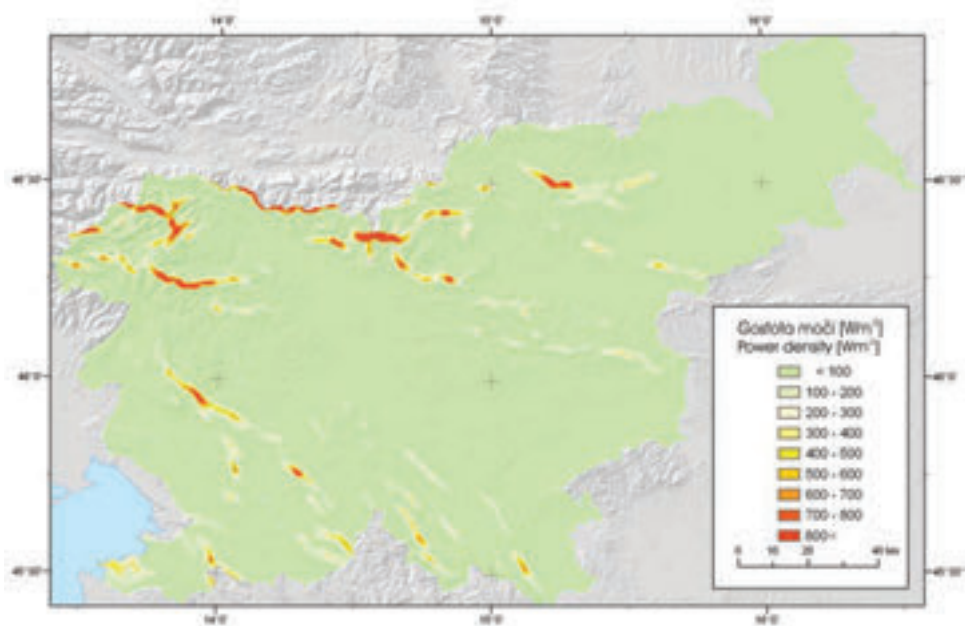
Slika 4.81 Povprečna gostota moči vetra 50 m nad tlemi februarja po modelu DADA.
Figure 4.81 Average wind power density at a height of 50 m in February according to the DADA model.



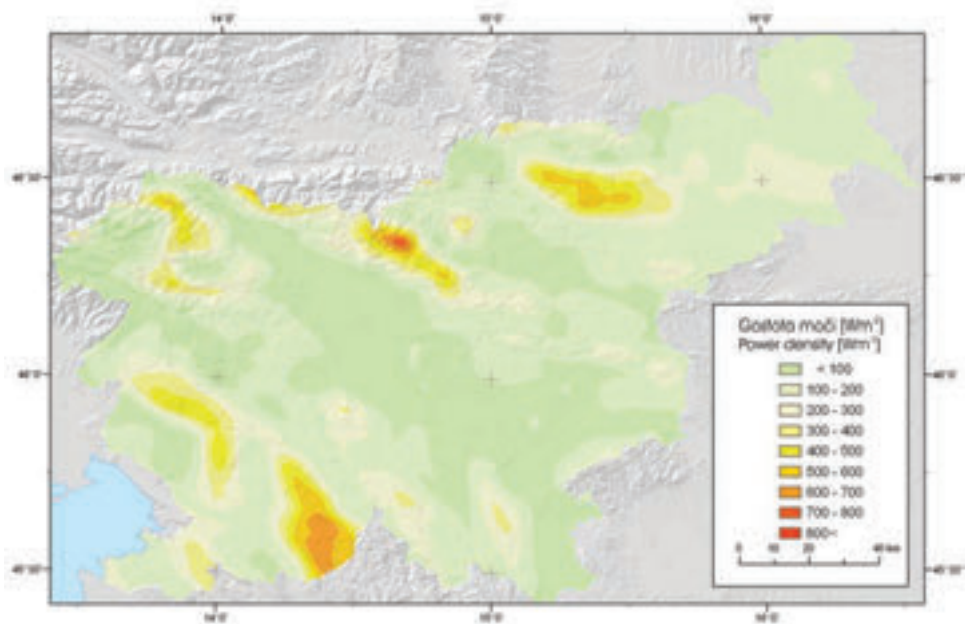
Slika 4.82 Povprečna moč vetra 50 m nad tlemi februarja po modelu Aiolos.
Figure 4.82 Average wind power density at a height of 50 m in February according to the Aiolos model.



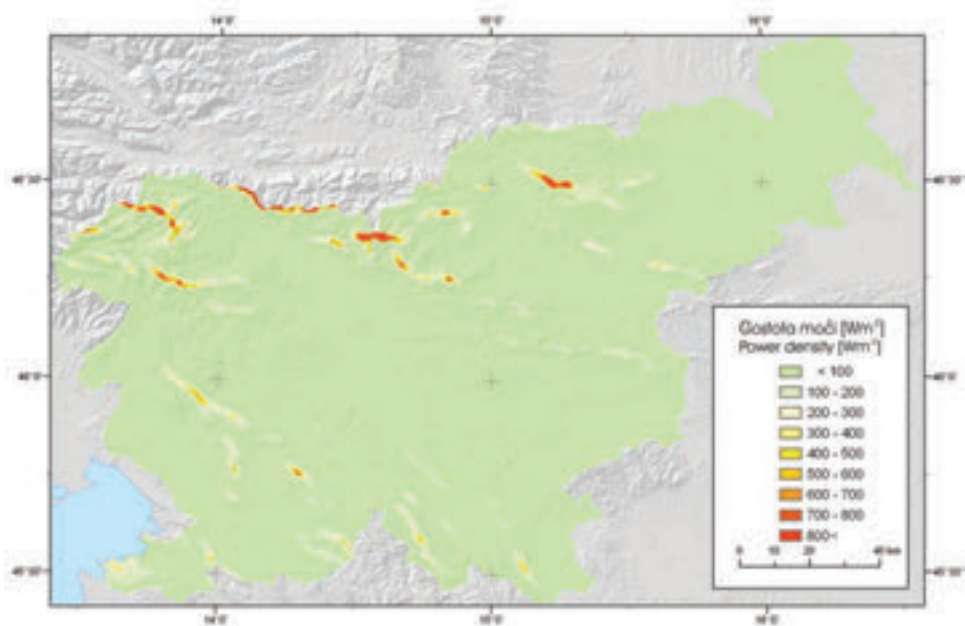
Slika 4.83 Povprečna gostota moči vetra 50 m nad tlemi marca po modelu DADA.
Figure 4.83 Average wind power density at a height of 50 m in March according to the DADA model.



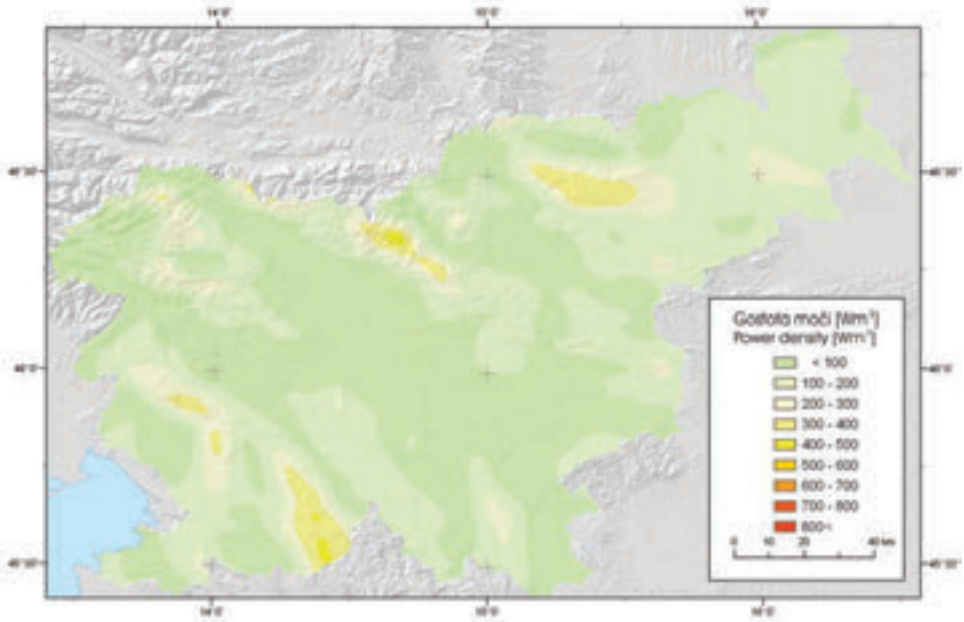
Slika 4.84 Povprečna moč vetra 50 m nad tlemi marca po modelu Aiolos.
Figure 4.84 Average wind power density at a height of 50 m in March according to the Aiolos model.



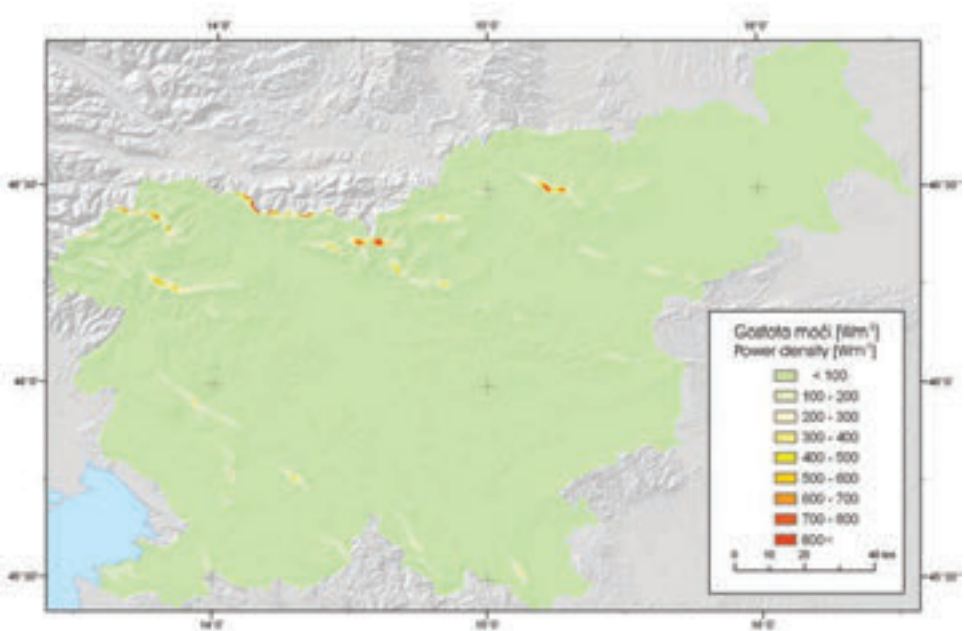
Slika 4.85 Povprečna gostota moči vetra 50 m nad tlemi aprila po modelu DADA.
Figure 4.85 Average wind power density at a height of 50 m in April according to the DADA model.



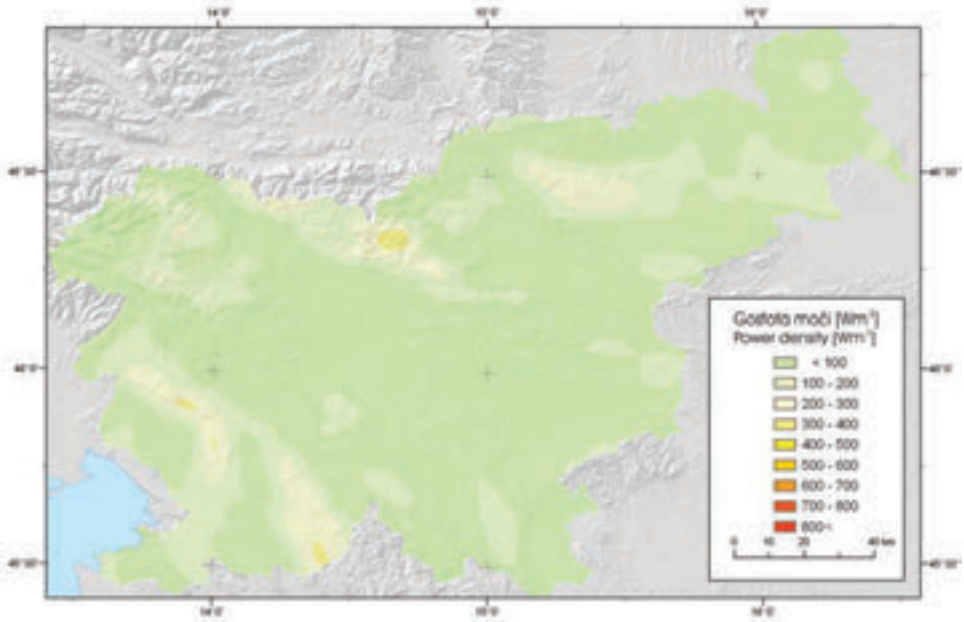
Slika 4.86 Povprečna moč vetra 50 m nad tlemi aprila po modelu Aiolos.
Figure 4.86 Average wind power density at a height of 50 m in April according to the Aiolos model.



Slika 4.87 Povprečna gostota moči vetra 50 m nad tlemi maja po modelu DADA.
Figure 4.87 Average wind velocityy at a height of 50 m in May according to the DADA model.

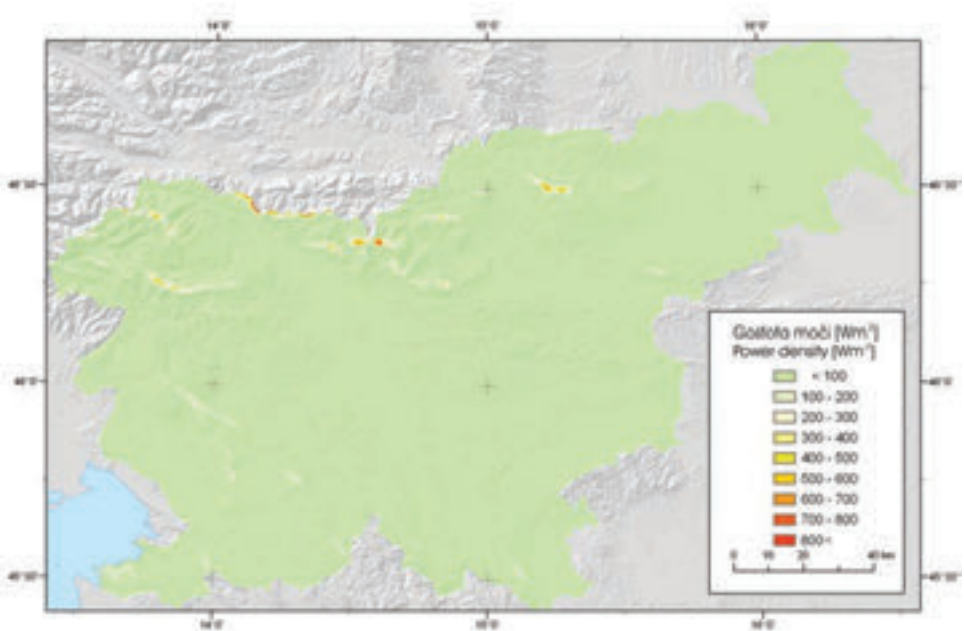


Slika 4.88 Povprečna moč vetra 50 m nad tlemi maja po modelu Aiolos.
Figure 4.88 Average wind power density at a height of 50 m in May according to the Aiolos model.



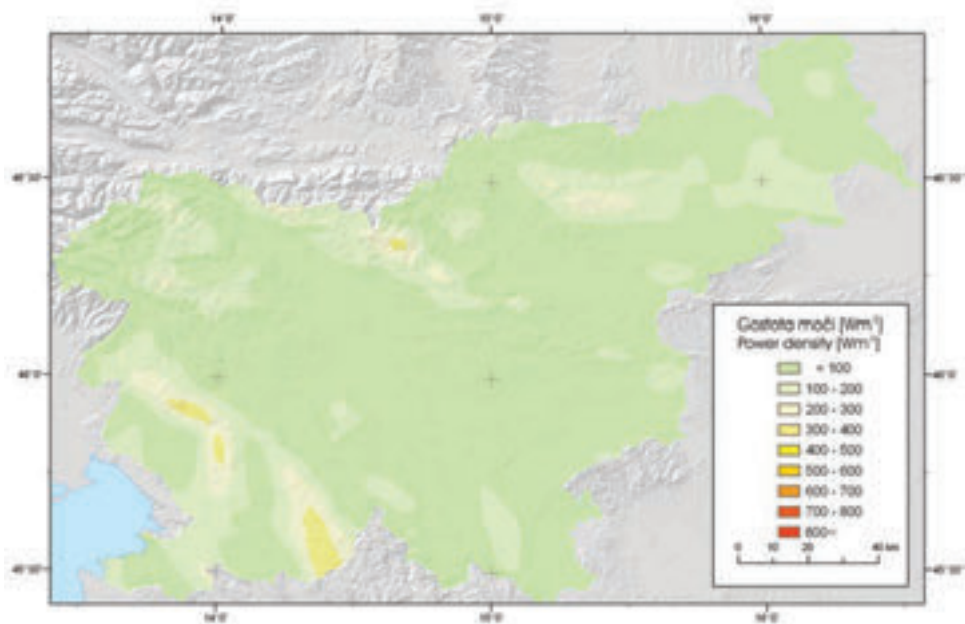
Slika 4.89 Povprečna gostota moči vetra 50 m nad tlemi junija po modelu DADA.

Figure 4.89 Average wind power density at a height of 50 m in June according to the DADA model.

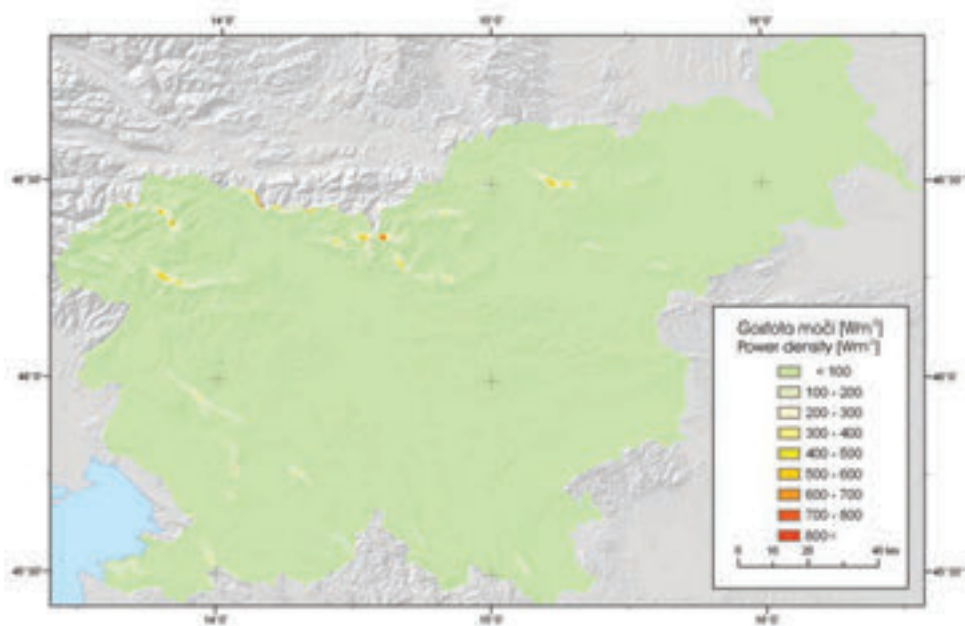


Slika 4.90 Povprečna moč vetra 50 m nad tlemi junija po modelu Aiolos.

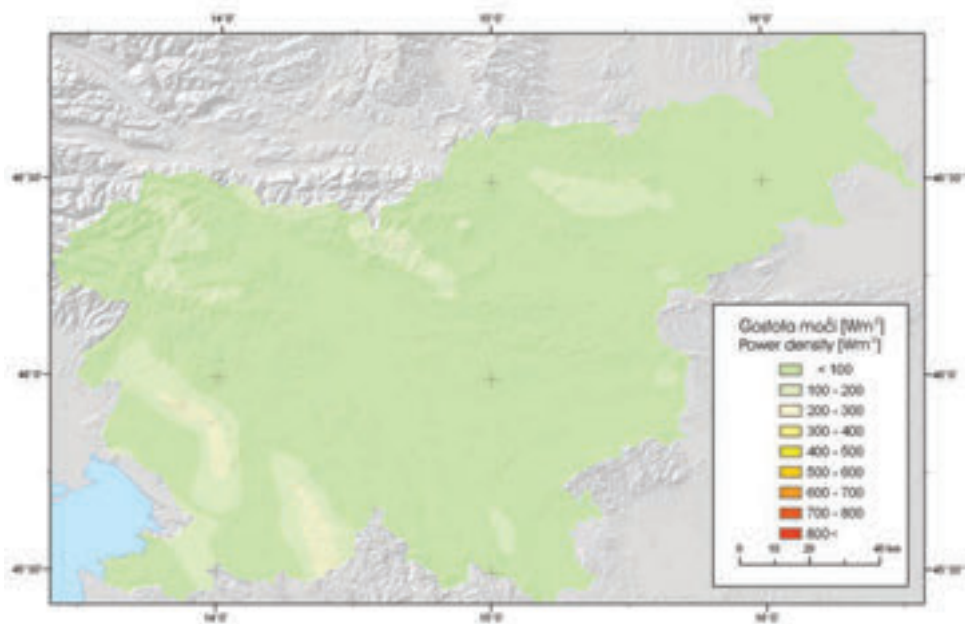
Figure 4.90 Average wind power density at a height of 50 m in June according to the Aiolos model.



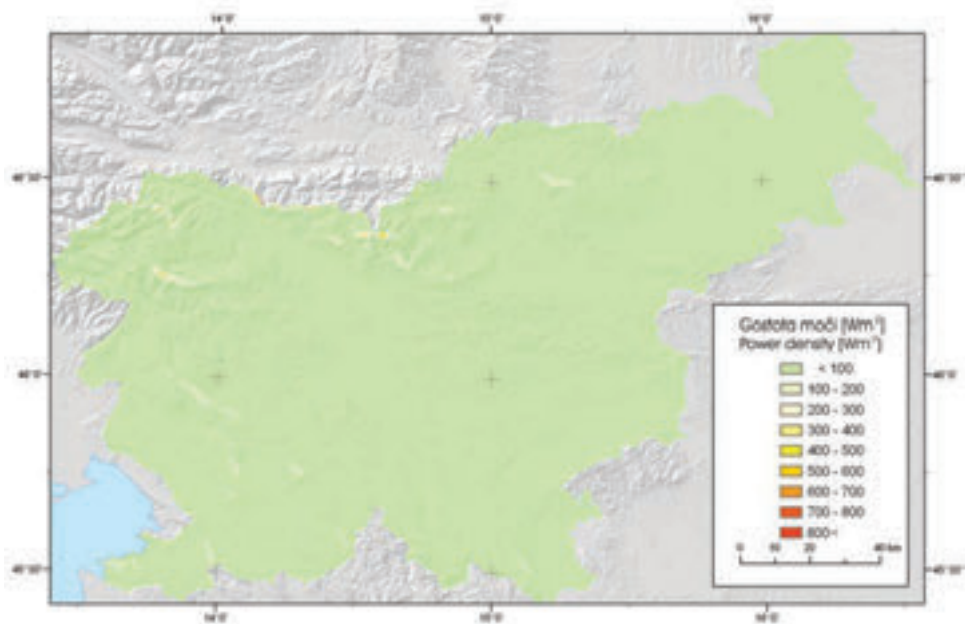
Slika 4.91 Povprečna gostota moči vetra 50 m nad tlemi julija po modelu DADA.
Figure 4.91 Average wind power density at a height of 50 m in July according to the DADA model.



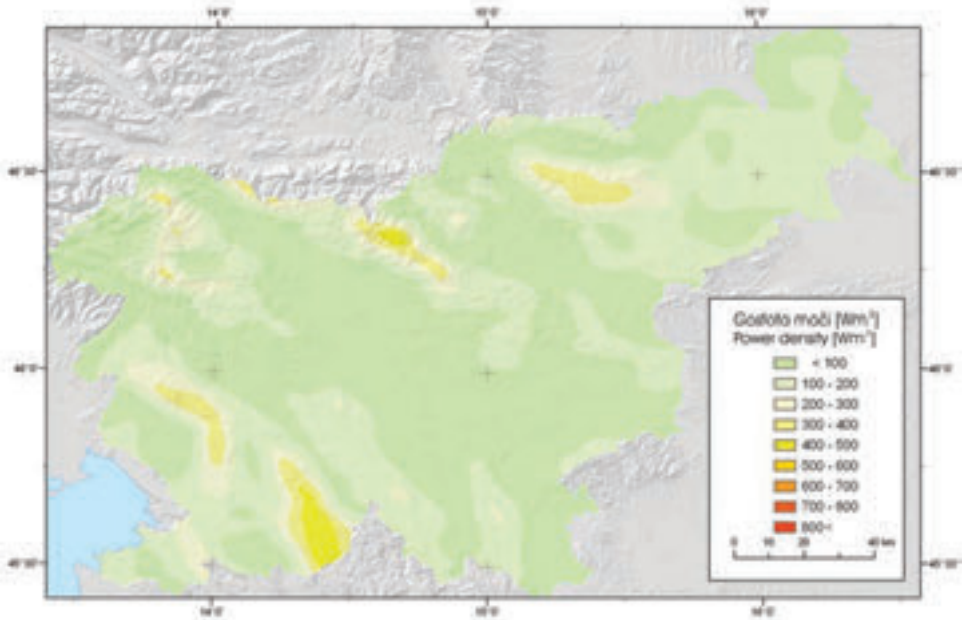
Slika 4.92 Povprečna moč vetra 50 m nad tlemi julija po modelu Aiolos.
Figure 4.92 Average wind power density at a height of 50 m in July according to the DADA model.



Slika 4.93 Povprečna gostota moči vetra 50 m nad tlemi avgusta po modelu DADA.
Figure 4.93 Average wind power density at a height of 50 m in August according to the DADA model.

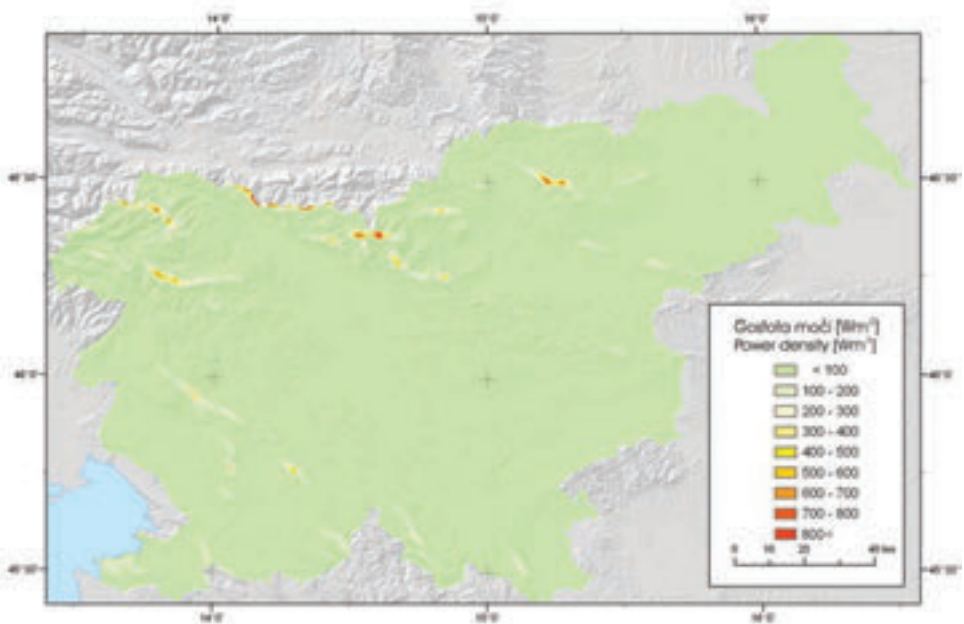


Slika 4.94 Povprečna moč vetra 50 m nad tlemi avgusta po modelu Aiolos.
Figure 4.94 Average wind power density at a height of 50 m in August according to the Aiolos model.



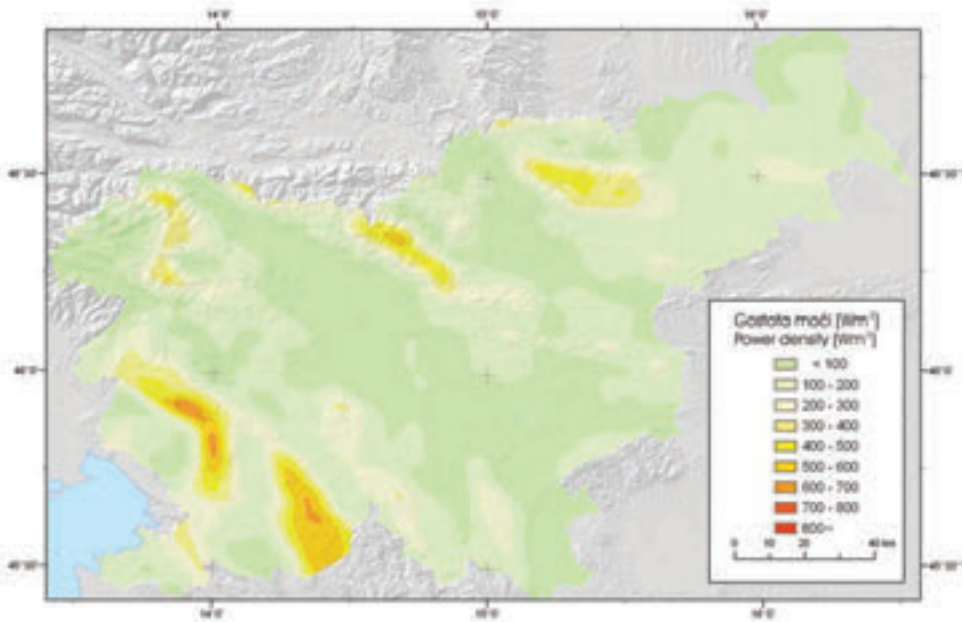
Slika 4.95 Povprečna gostota moči vetra 50 m nad tlemi septembra po modelu DADA.

Figure 4.95 Average wind power density at a height of 50 m in September according to the DADA model.



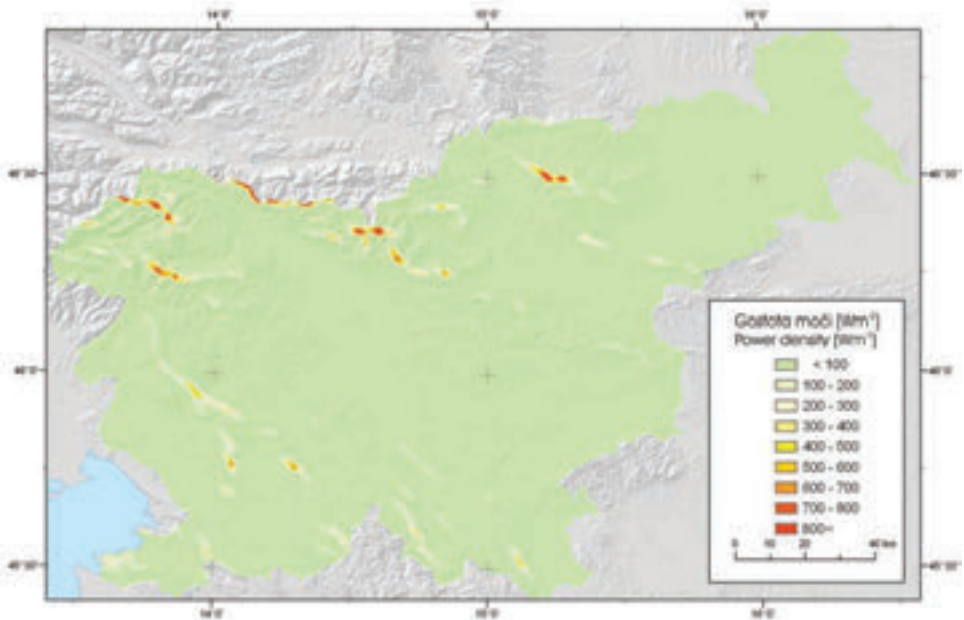
Slika 4.96 Povprečna moč vetra 50 m nad tlemi septembra po modelu Aiolos.

Figure 4.96 Average wind power density at a height of 50 m in September according to the Aiolos model.



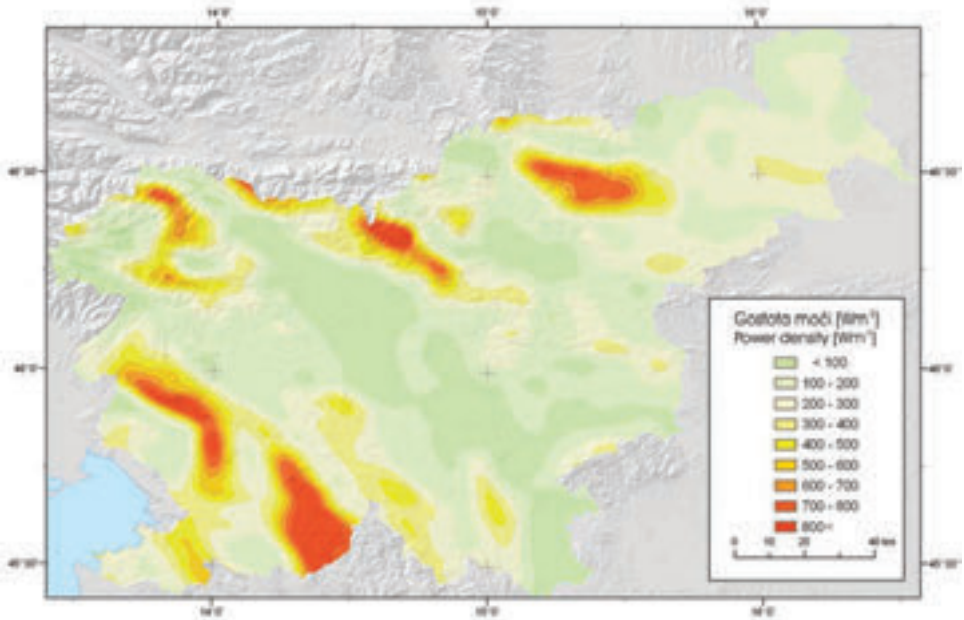
Slika 4.97 Povprečna gostota moči vetra 50 m nad tlemi oktobra po modelu DADA.

Figure 4.97 Average wind power density at a height of 50 m in October according to the DADA model.

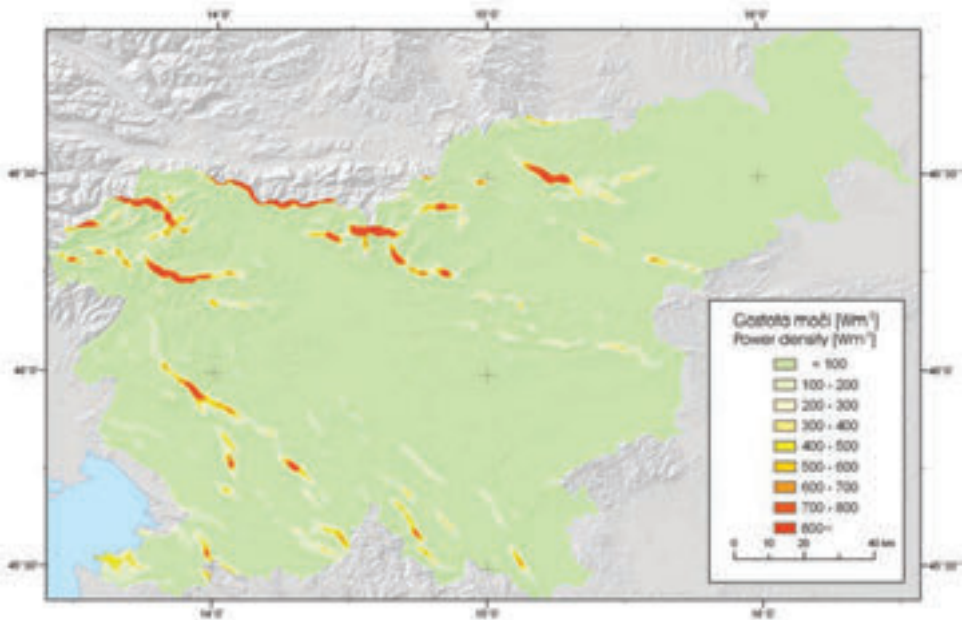


Slika 4.98 Povprečna moč vetra 50 m nad tlemi oktobra po modelu Aiolos.

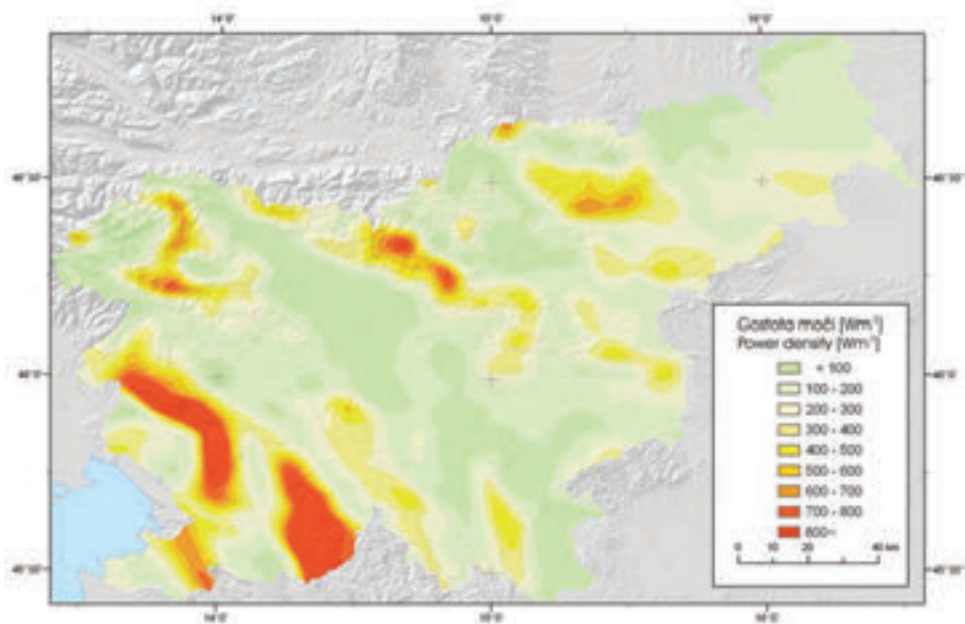
Figure 4.98 Average wind power density at a height of 50 m in October according to the Aiolos model.



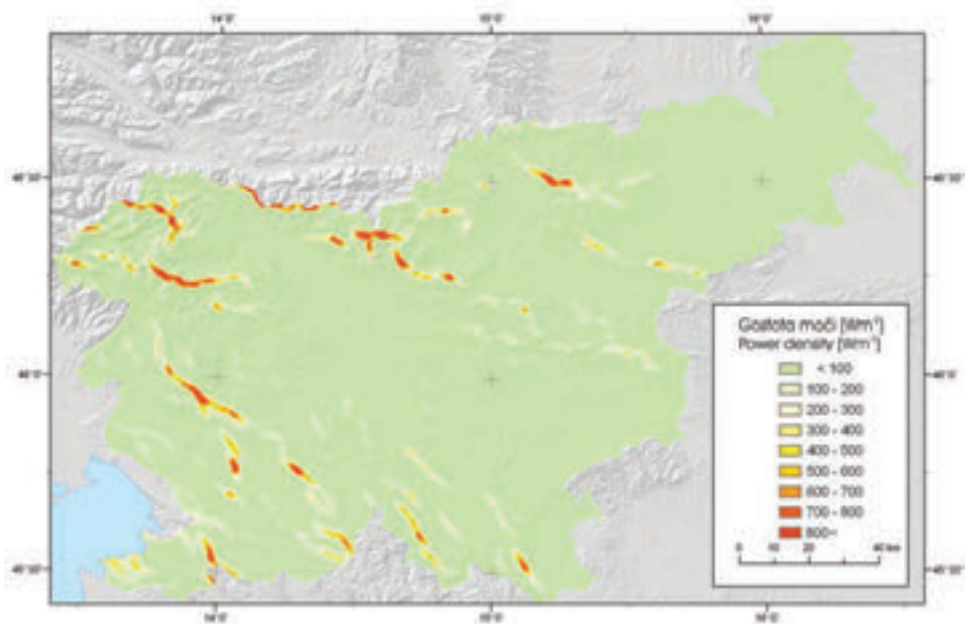
Slika 4.99 Povprečna gostota moči vetra 50 m nad tlemi novembra po modelu DADA.
Figure 4.99 Average wind power density at a height of 50 m in November according to the DADA model.



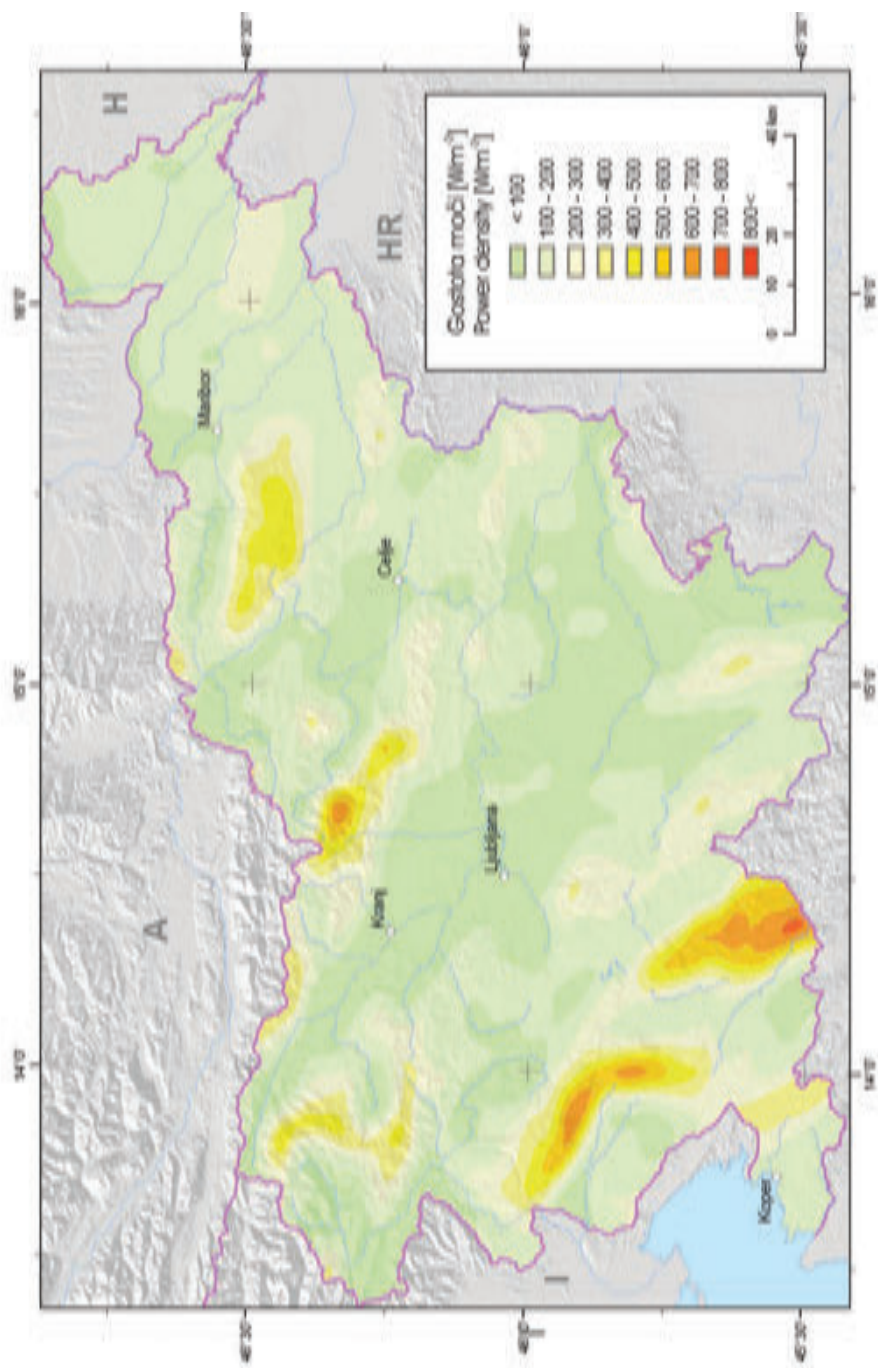
Slika 4.100 Povprečna moč vetra 50 m nad tlemi novembra po modelu Aiolos.
Figure 4.100 Average wind power density at a height of 50 m in November according to the Aiolos model.



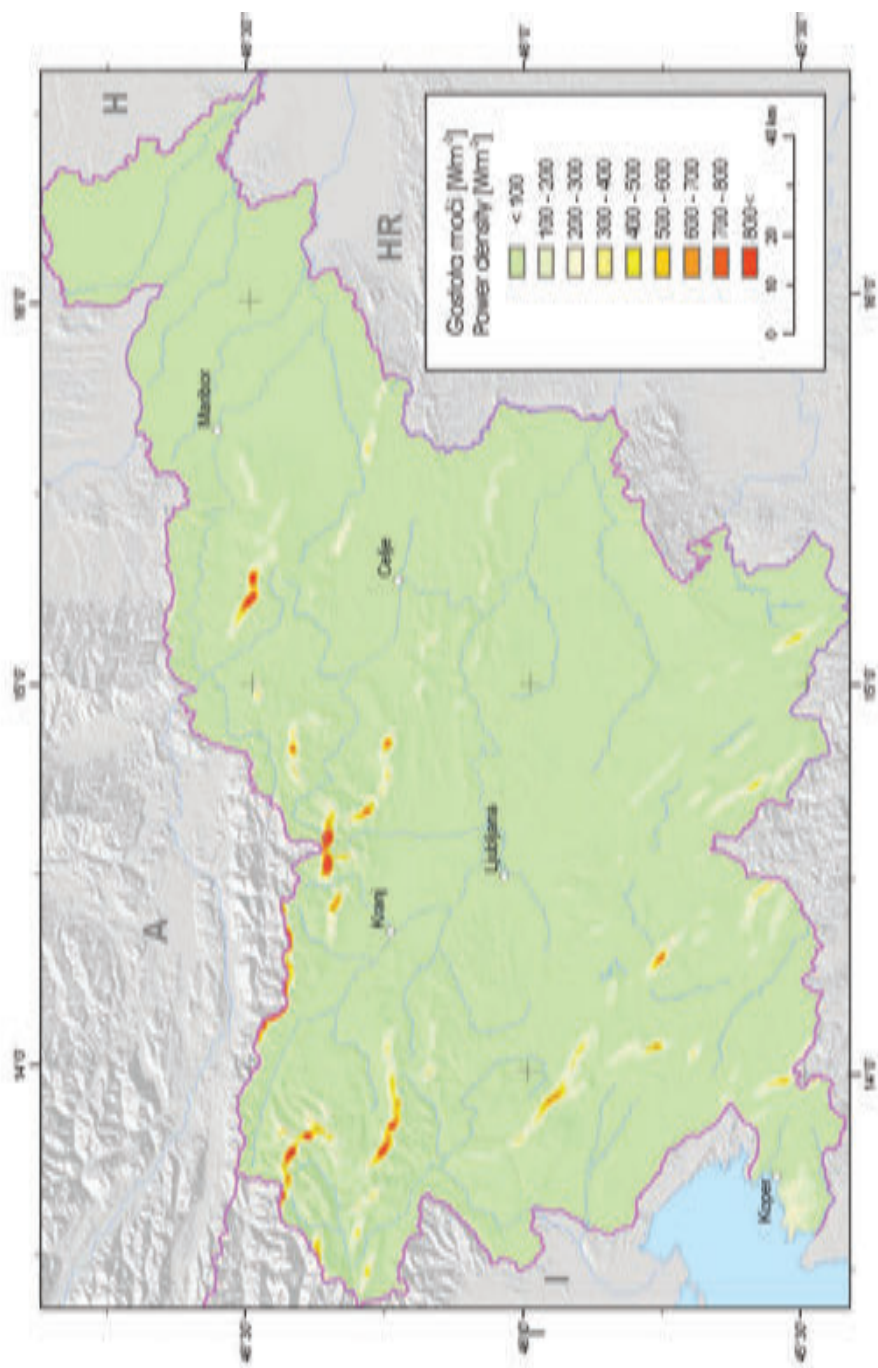
Slika 4.101 Povprečna gostota moči vetra 50 m nad tlemi decembra po modelu DADA.
Figure 4.101 Average wind power density at a height of 50 m in December according to the DADA model.



Slika 4.102 Povprečna gostota moči vetra 50 m nad tlemi decembra po modelu Aiolos.
Figure 4.102 Average wind power density at a height of 50 m in December according to the Aiolos model.



Slika 4.103 Povprečna gostota moči vetra 50 m nad tlemi – letno povprečje po modelu DADA.
Figure 4.103 Average yearly wind power density at a height of 50 m according to the DADA model.



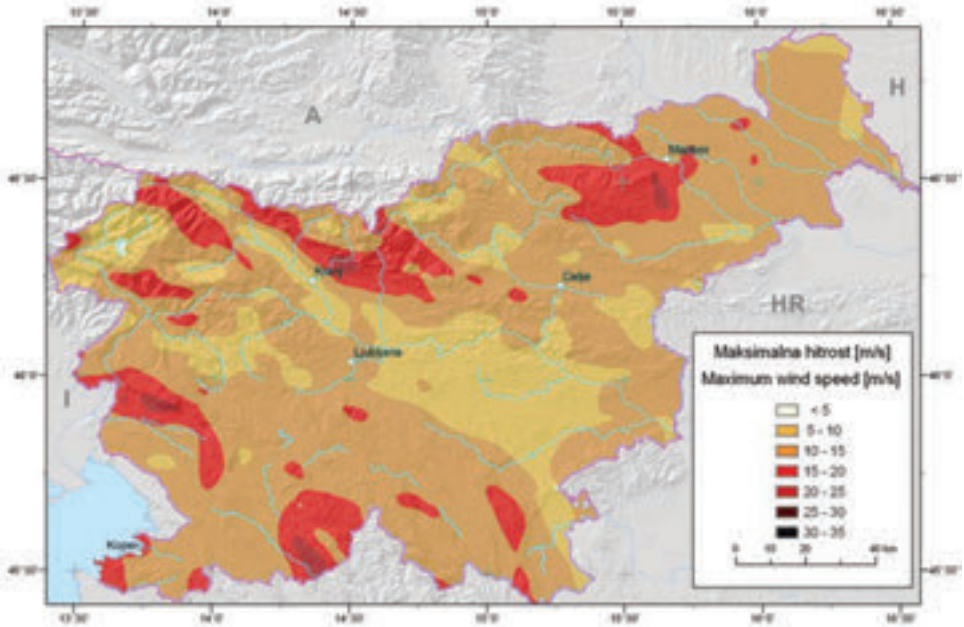
Slika 4.104 Povprečna gostota moči vetra 50 m nad tlemi – letno povprečje po modelu Aiolos.
Figure 4.104 Average yearly wind power density at a height of 50 m according to the Aiolos model.

4.3 Najmočnejši vetrovi

Pogosto je pomembno, kako močan veter se lahko pojavi ne neki lokaciji: tak namreč povzroča škode na objektih (odkriva strehe, trga električne in telefonske žice itd), na drevju in na kmetijskih pridelkih (jih lomi, cefra ali celo ruva). Za oceno, kje in kako pogosto lahko pričakujemo kako močan veter, nas torej ne zanimajo povprečne vrednosti, temveč absolutni maksimum – ne glede na to, kdaj so se pojavili.

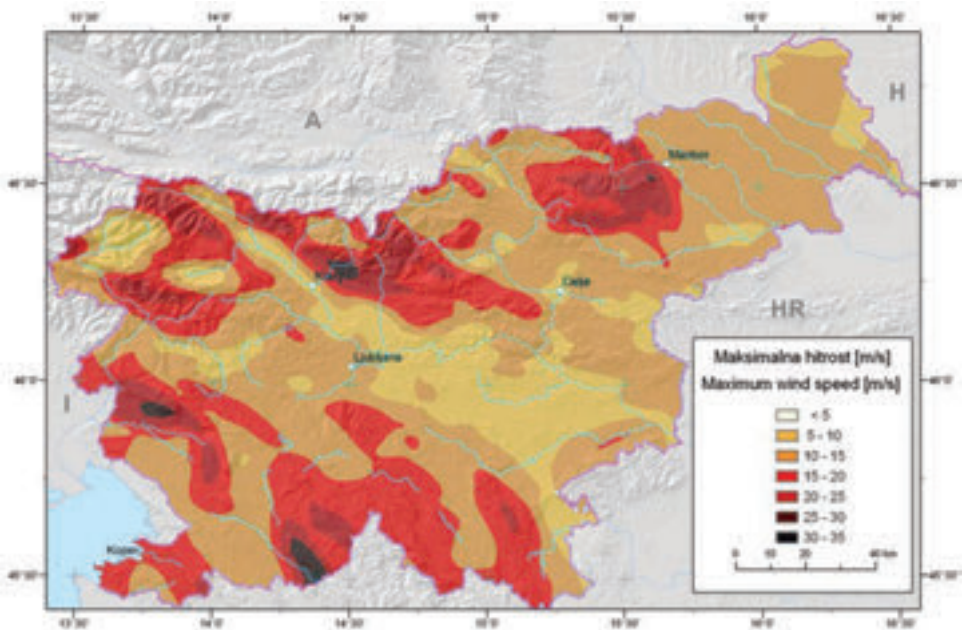
Tako sta narejeni sliki 4.105 in 4.106: prikazujeta najmočnejši modelski veter v ločljivosti 2,5 km (to je po modelu DADA) ne glede na to, kdaj v obdobju osmih let 1994–2001 se je pojavil – prva od obeh slik velja za višino 10 m nad tlemi, druga pa za višino 50 m nad tlemi. Za višino 10 m nad tlemi model samo za majhno območje v zgornji Soški dolini ni nikoli dal vetrov, močnejših od 5 m/s. Seveda moramo takoj poudariti, da je to posledica ločljivost modela 2,5 km, ki s svojim razpoznavanjem reliefa Slovenije najde samo eno tako zatišno območje. V resnici pa jih je še več: marsikje v naravi najdemo lokacijo, ki je tako zaprta, da nad njo močni vetrovi pač ne pihajo. Podobno model na višini 10 m nad tlemi simulira najmočnejše vetrove med 20 in 25 m/s – pretežno na lokacijah, ki so tudi v povprečju najbolj vetrovne. To spet ne pomeni, da nikjer po Sloveniji ni na tej višini še močnejših vetrov: seveda se lahko pojavijo – ali ob splošnem vetrovnem vremenu na izrazito izpostavljenih lokacijah (ki jih prostorska ločljivost 2,5 km ne razpozna) ali pa ob kakih nevihtnih neurjih, ki jih naš modelski prostop sploh ne zajema. To pomeni: vetrove do 25 m/s na višini 10 m nad tlemi lahko pričakujemo ob močnem splošnem vetru na lokacijah, katerih reliefne značilnosti so tudi v naravi blizu tistim, ki jih v modelu razpozna ločljivost 2,5 km.

Na višini 50 m nad tlemi so vetrovi seveda močnejši: zato so na tej višini najmočnejši vetrovi v modelski ločljivosti 2,5 km tudi močnejši od 25 m/s – in na prav majhnem območju v pogorju Snežnika (jugovzhodno od Ilirske Bistrice) tudi prek 30 m/s.



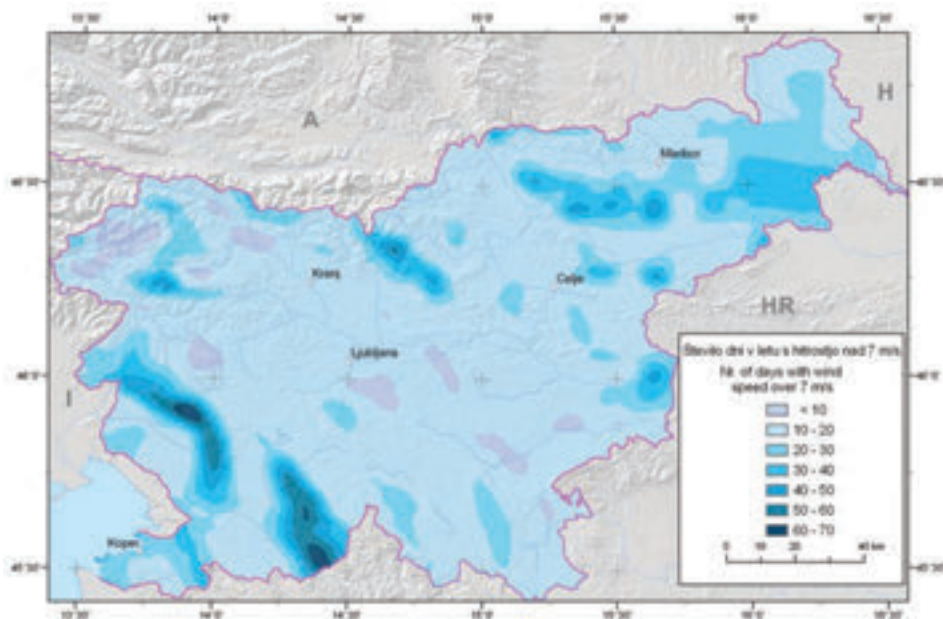
Slika 4.105 Absolutni maksimumi hitrosti vetra 10 m nad tlemi po modelu DADA.

Figure 4.105 Absolute maxima of wind speeds at 10 m height according to the DADA model.



Slika 4.106 Absolutni maksimumi hitrosti vetra 50 m nad tlemi po modelu DADA.

Figure 4.106 Absolute maxima of wind speeds at a height of 50 m according to the DADA model.



Slika 4.107 Povprečno letno število dni s hitrostjo vetra 10 m nad tlemi, večjo od 7 m/s po modelu DADA.

Figure 4.107 Average yearly number of days with wind speed at a height of 10 m greater than 7 m/s according to the DADA model.

Pomembna informacija je tudi, kako pogosto se pojavljajo močni vetrovi. Oceno o tem nam daje povprečno število dni v letu (za obdobje 1994–2001) z vetrom nad neko mejno hitrostjo. Na sliki 4.107 prikazujemo povprečno število dni v letu, ko model izračuna na višini 10 m nad tlemi veter, ki je močnejši od 7 m/s. Tako kot pri povprečnih spet izstopajo lokacije na alpsko-dinarskem gorskem grebenu: od Trnovskega gozda do Nanosa ter od Vremščice prek Sneznika proti Gorskemu Kotarju na Hrvaškem: na teh lokacijah je veter 10 m nad tlemi tudi več kot 60 dni v letu močnejši od 7 m/s – kar je približno ena šestina vsega časa.

V našem prikazu prikazujemo slike vetrovnosti samo znotraj meja Slovenije na kopnem. Na koncu je verjetno vseeno smiselno, da povemo še kako besedo o vetrovih v bližnji okolici in nad morjem, saj z modelom seveda nismo modelirali samo vetra nad slovenskim ozemljem. Najprej povejmo, da se področje najmočnejšega vetra od Sneznika nadaljuje naprej po dinarskem grebenu na Hrvaško – tam je veter celo močnejši kot pri nas in močni vetrovi so tam tudi bolj pogosti. Tudi nad morjem se pojavljajo močni vetrovi – predvsem ob burji. V naravi se namreč burja pospešuje z grebenov navzdol v jadranski morski bazen. Zato je burja po nižinah na jadranski strani alpsko-dinarske gorske pregrade močnejša kot nad hribi. Tako v naravi kot tudi v modelu pa se še posebej okrepi nad morjem, ki je v primerjavi s kopnim manj hrapavo in zato nad morjem vetra pri tleh trenje ne zavira tako močno kot nad kopnim.

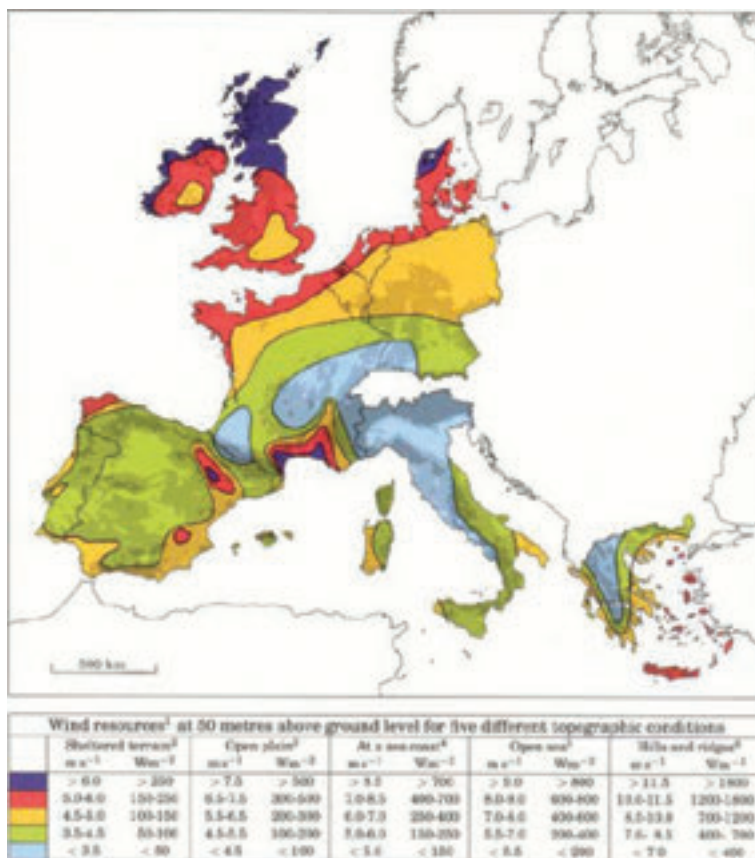
5 PRIMERJAVA Z DRUGIMI ŠTUDIAMI

5.1 Ocene po atlasih vetra in po nekaterih drugih študijah

5.1.1 European Wind Atlas in Wind Atlas for Central European Countries

Evropski vetrovni atlas je bil v osemdesetih letih XX. stoletja narejen najprej za tedaj še manjšo Evropsko gospodarsko skupnost (Portugalska, Španija, Irska, Velika Britanija, Belgija, Francija, Luksemburg, Italija, Zahodna Nemčija, Grčija, Danska in Nizozemska (Troen in Petersen, 1989)). Nato je bil razširjen še na nekatere srednjeevropske države: Avstrija, Češka, Hrvaška, Madžarska, Slovenija in Slovaška (Dobesch in sod., 1997). Kasneje so metodologijo tega atlasa uporabili še na območjih drugih držav, tako da je do leta 2004 uporabljena na 33 evropskih in izvenevropskih državah. V analizo, na podlagi katere je bil narejen osnovni Evropski vetrovni atlas, je bilo vključenih 220 postaj iz 12 držav. Avtorji so si prizadevali, da bi bili podatki s teh postaj reprezentativni za območja, velika $200 \text{ km} \times 200 \text{ km}$. V ta namen so s programom WASP poizkušali zmanjšati vpliv lokalnih dejavnikov na veter. Z vpeljavo 4 značilnih hrapavosti (poraščenost, raba tal) in 5 različnih topografskih značilnosti (od ravnin do goratih območij) so kvantificirali vpliv okolice na posamezno meritev. Za razmeroma ravninske predele so njihove obdelave res veljavne za območja $200 \text{ km} \times 200 \text{ km}$, za zmerno razgibane predele pa predvidevajo, da je območje veljavnosti manjše, za gorata območja celo pričakujejo, da so podatki veljavni le za najbližjo okolico obdelane postaje. Na podlagi teh 220 postaj so bili izdelani kartografski prikazi za posamezne države EEC, ki so zelo zglajeni in ne upoštevajo večine lokalne topografije. V komentarju h kartam je dodano, da posamezne izohiete v različnih reliefnih oblikah pomenijo različne hitrosti in različne gostote moči.

Avtorji posebej nekvantitativno prikazujejo območja, kjer bi zaradi lokalnih topografskih učinkov utegnili priti do povečevanja hitrosti. Avtorji poudarjajo, da gre pri njihovih prikazih za regionalno razporeditev vetra, ki je večinoma posledica splošnih vetrov in da so regionalni vetrovi (npr. mistral) vključeni prek podatkov iz posameznih postaj. Velika večina regionalnih vetrov in lokalni vetrovi pa niso vključeni v prikaz. Večji del evropskega vetrovnega atlasa predstavljajo obdelave posameznih postaj in tako vsebuje statistične značilnosti povprečij hitrosti in gostot moči. Tu



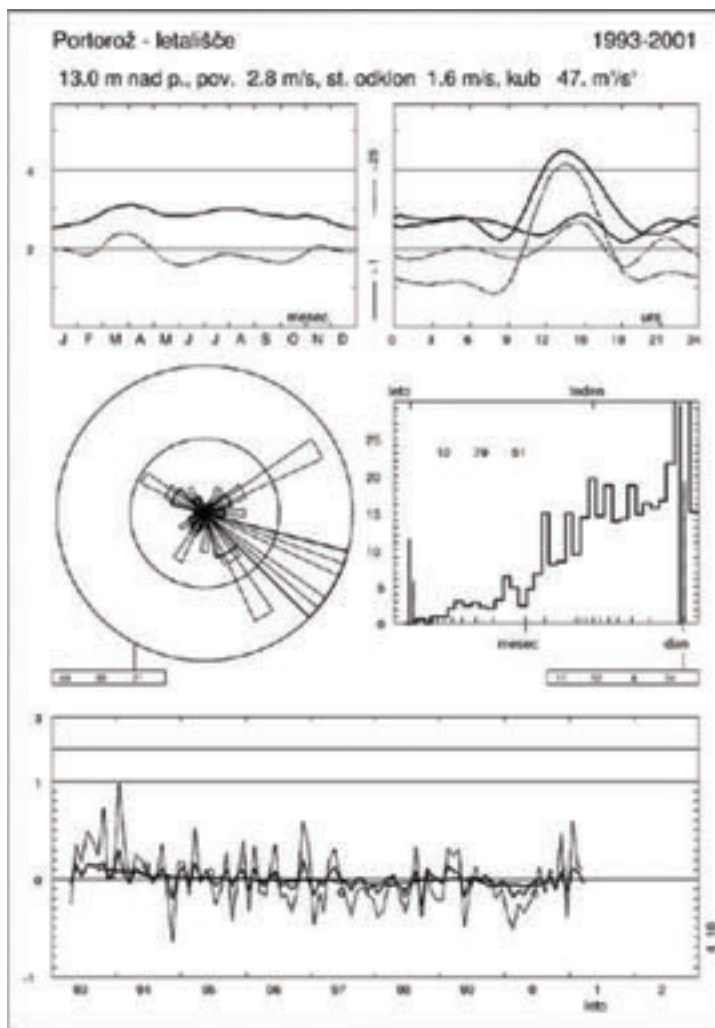
Slika 5.1 Hitrosti in gostote moči vetra za območje EEC (12 držav) (Troen in Petersen, 1989). Ista barva ustreza različnim hitrostim in gostotam moči v odvisnosti od izpostavljenosti posamezne reliefne oblike.

Figure 5.1 Wind velocity and power density for the EEC domain (12 countries) (Troen and Petersen, 1989). A particular colour corresponds to different velocities and power densities at sites of different exposures of the local relief shape.

so tabelarično in grafično (s klimatskim odtisom vetra) podane vrednosti za različne stopnje hrapavosti (dobljene z WASP), urejeno po sektorjih 12-smerne vetrovne rože in za višine 10, 25, 50, 100 in 200 metrov nad tlemi. Dodan je značilen letni in dnevni potek, spekter ter mesečna povprečja hitrosti in gostote moči za desetletno obdobje. Na tak način so v tej publikaciji predstavljeni izmerjeni podatki v poglavju 2.5.

Slika 5.1 nam daje slutiti (kljub temu, da naše območje ni prikazano), da naši kraji niso zelo vetrovni – če jih npr. primerjamo s severno Evropo in posebej npr. s Škotsko ali z zahodnimi obalami Irske.

Vetrovni atlas za centralno Evropo uporablja enako metodologijo. V njem ni kartografskega prikaza, pač pa le statistike za posamezne postaje. Tu je posebej poudarjeno, da za postaje v razgibanem reliefu (ko so višinske razlike v celicah $10\text{ km} \times 10\text{ km}$ večje od 1000 m) pristop z



Slika 5.2 Primer vetrovnosti po Srednjeevropskem atlasu vetra (Dobesch in sod., 1997).
Figure 5.2 Example of wind characteristics according to the Central European Wind Atlas (Dobesch et al., 1997.)

WASP ni primeren. Zato z WASP npr. niso bili popravljani podatki z avstrijskih in slovaških gorskih postaj (Feuerkogel 1618 m, Villacher Alpe – Dobrač 2140 m, Copok 2008 m) in iz Innsbrucka. V ta atlas je vključenih tudi 5 postaj iz Slovenije (Ajdovščina, Brnik, Krško, Maribor, Portorož – Beli Križ), za te postaje je bil uporabljen WASP, čeravno bi po kriteriju (10 km × 10 km, 1000 m) morali izločiti postaje Ajdovščina, Maribor in Brnik.

Po Srednjeevropskem atlasu vetra, ki zajema obdobje 1993–2001, je na Letališču Portorož povprečna tretja potenca hitrosti vetra $47 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, in točno tako vrednost dajejo tudi naši izračuni za obdobje 1993–2001.

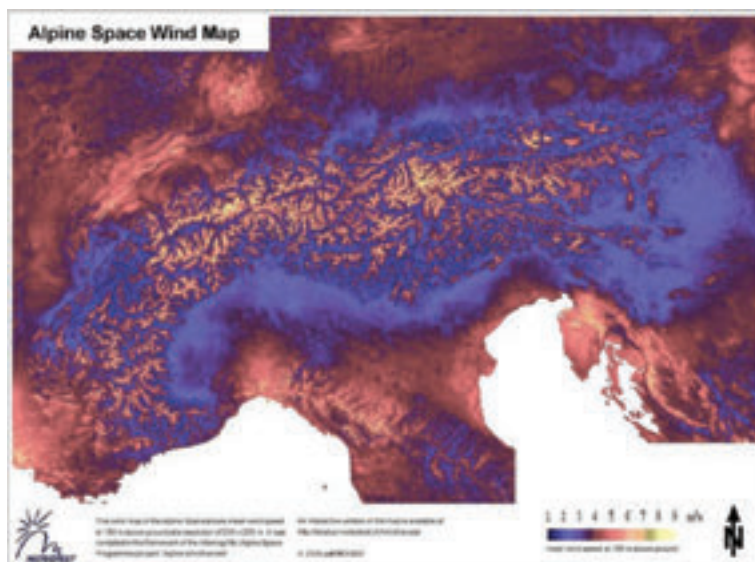
Ob takem vetru bi imele lokacije prvega razreda v bližini Portoroža po Evropskem atlasu vetra (ravna, gladka pokrajina – npr. nad solinami ali pa nad morjem) na višini 50 m nad tlemi gostoto moči 124 Wm^{-2} , lokacije razreda tri (npr. gričevnata do hribovita pokrajina na kopnem) pa gostoto moči vetra okrog 37 Wm^{-2} .

5.1.2 Rezultati po projektu Alpine Windharvest

Metodologija za izdelavo karte vetrnega potenciala po Modelu Meteotest, ki je bil uporabljen v projektu Interreg IIIB Alpine Windharvest (2001–2006), je statistična; razlogi za izbiro statistične metodologije so bili pretežno praktične narave (omejeni resursi za razvoj, omejen čas izvajanja projekta). Natančnost statistične metode je zelo variabilna in lahko (po njihovih lastnih ocenah) niha od visoke (v območjih, kjer je velika gostota reprezentativnih meritev vetra) do precej nizke (kjer potrebni podatki niso na razpolago). Glede na izkušnje, ki jih je podjetje METEOTEST dobilo pri izdelavi karte vetrnega potenciala v Švici, za kartiranje vetrnega potenciala v goratih območjih niso dovolj meritve, ki jih opravljajo na stalnih meteoroloških postajah, ker le-te pretežno ležijo na poseljenih dolinskih območjih. Zato priporočajo, da se ta metoda kartiranja uporablja predvsem na območjih, kjer potekajo merilne kampanje na potencialnih lokacijah vetrnih elektrarn. Procedura, uporabljena za ustvarjanje karte, je bila naslednja:

- 1) pridobitev potrebnih podatkov – digitalni model reliefa (ločljivost 250 m), raba tal (zbirka podatkov CORINE) ter merski podatki o hitrosti vetra (592 stalnih ali začasnih merilnih mest);
- 2) priprava podatkov: ekstrapolacija merskih podatkov na višino 50 m nad tlemi, prostorsko glajenje podatkov;
- 3) prostorska interpolacija (uporaba metode kriging);
- 4) popravki dobljenega rastra glede na: a – lego na grebenu ali v ozki dolini (kanjonu), b – lego v (širši ali ožji) dolini, c – lego na obširnejšem ravninskem območju, d – lego v bližini obale ali nad površinsko večjimi vodnimi telesi. Prikazujemo primer: karto povprečne hitrosti vetra, preračunano na višino 100 m nad tlemi.

Na območju Slovenije so bili za izdelavo te karte uporabljeni podatki merilne mreže ARSO, pa tudi tudi meritve projekta WEP 1, v okviru katerega so se izvajale meritve na nekaj zelo izpostavljenih lokacijah (Golič, Nanos, Slatna, Tabor) – o rezultatih tega projekta v naslednjem podpoglavju. Karta je torej (v skladu s priporočili) izdelana s pomočjo podatkov tudi na izpostavljenih legah na Primorskem. Relativno velike ocenjene hitrosti v osrednjem delu severne Istre (do okoli 7 m/s na višini 100 m nad tlemi, torej nekako med 4 m/s in 5 m/s na višini 10 m nad tlemi) so realne za izpostavljene lege na Primorskem. Na karti pa je nekoliko precenjen njihov vpliv na bližnjo okolico, zlasti na dolinske in zatišne lege. Zaradi



Slika 5.3 Hitrost vetra 100 m nad tlemi, izdelana v okviru Interreg IIIb projekta Alpine Windharvest (z modelom Meteotest).

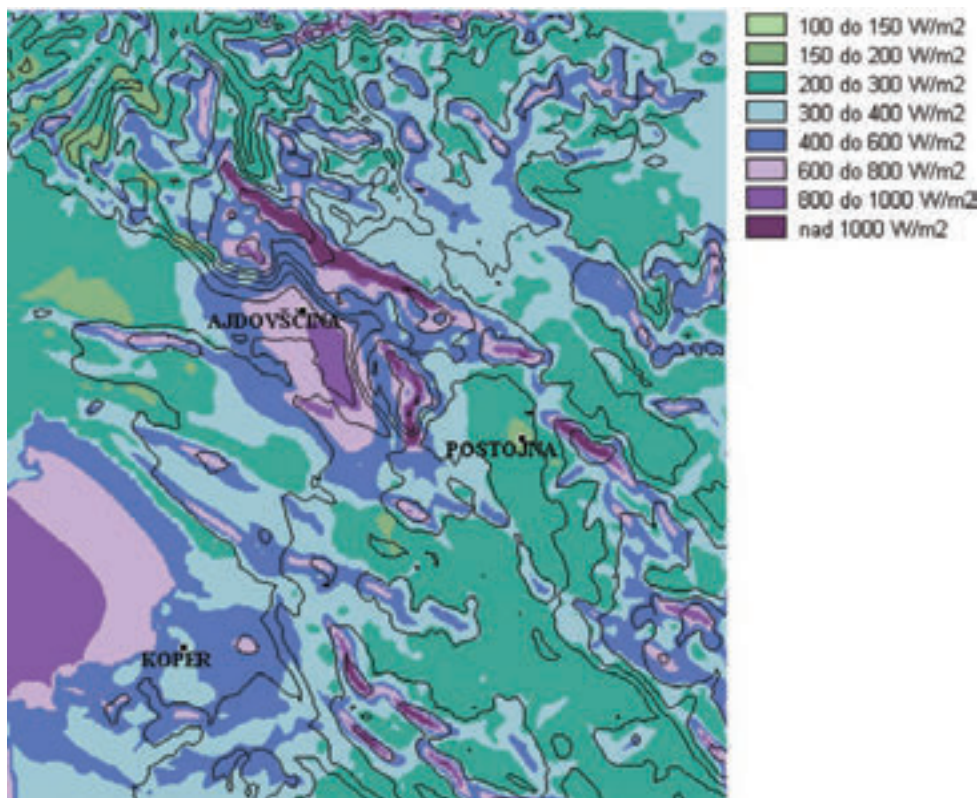
Figure 5.3 Wind velocity 100 m above the surface made within the scope of the Interreg IIIb project Alpine Windharvest (with the Meteotest model).

premajhnega števila merilnih točk glede na prostorsko razsežnost pojava pa je podcenjena hitrost v Vipavski dolini.

V primerjavi s to karto so rezultati naše študije kar pravšnji. Letna povprečja hitrosti na višini 50 m od tal na grebenih alpsko-dinarske gorske pregrade presegajo 5 m/s po modelu Aiolos – na manjših območjih teh predelov, medtem ko po modelu DADA presežejo tudi vrednosti 6 m/s – in to tudi na nekoliko večjih območjih. To pomeni, da se naši rezultati in rezultati projekta Alpine Windharvest večinoma kar ujemajo.

5.1.3 Rezultati po študiji Veter na Primorskem

V eni od predhodnih publikacij (Rakovec in sod., 2001) so bili po metodologiji WASP obdelani izmerjeni podatki za 13 postaj na Primorskem. Tudi tu je bil WASP za precej postaj uporabljen pravzaprav neustrezno, saj gre v nekaj primerih (Ajdovščina, Razdrto, Strmec, Vipava, Postojna) za postaje, za katere metodologija WASP ne more dati dobrega rezultata. Posebej pa je treba upoštevati, da je na Primorskem burja pogost veter in da njen mehanizem ni vključen v metodologijo WASP. Zato so avtorji po obdelavi izmerjenih podatkov s postaj obdelovali veter na Primorskem tudi z numeričnimi modeli in dobili bistveno boljše rezultate o regionalni porazdelitvi vetrovnosti. Primer na sliki 5.4 kaže podobno prostorsko razporeditve vetrovnosti, kot smo jih izračunali tokrat.

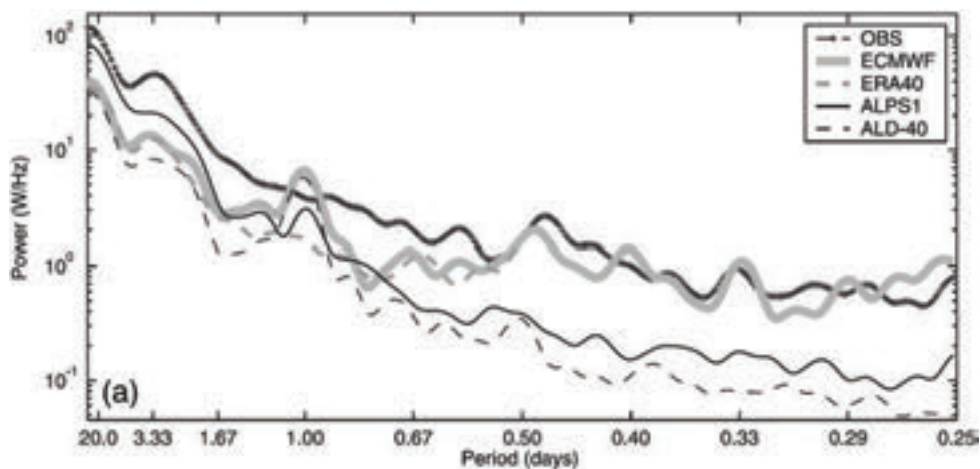


Slika 5.4 Gostota moči vetra 50 m nad tlemi nad pokrajino prvega razreda hrapavosti, izdelana v okviru študije Veter na Primorskem (Rakovec in sod., 2001).

Figure 5.4 Wind power density 50 m above the surface over a landscape of the first roughness class, made within the scope of the study Wind in the Primorska Region (Rakovec et al., 2001.)

5.1.4 Analiza v članku N. Žagar in sodelavcev

Podrobno analizo o sami metodi dinamičnega prilagajanja vse podrobnejšemu opisu reliefa smo naredili s pomočjo podatkov iz obdobja posebnih opazovanj mednarodnega projekta MAP (2003), ko so bile meritve na razpolago vsake tri ure. Tako smo poleg običajnih metod (povprečni kvadrat napake, povprečna absolutna napaka, korelacija odstopanj) lahko primerjali tudi spektre izmerjenega in modeliranega vetra glede na časovni potek (Žagar in sod. 2006). Že običajne metode pokažejo, da je metoda zaporednega gnezdenja modelov z vse boljšo prostorsko ločljivostjo v tiste s slabšo ločljivostjo dobra. Ta pristop se najbolj obnese na lokacijah, ki so izpostavljene vetru, kjer več kot 80 % moči spektra pripada periodam, daljšim od enega dneva. Večina merilnih mest je po nižinah in v dolinah, kjer pa okrog 40 % moči spektra pripada periodam, krajšim od enodnevnih. Ti deli spektra vetra (ki pripadajo npr. termičnim lokalnim vetrovom



Slīka 5.5 Močnostni spekter zonalne komponente vetra v odvisnosti od periode za Roglo po meritvah (OBS) in po raznih modelih. Vidi se, da se pri nekajdnevnih periodah (od 20 dni do približno dveh dni) modeli z boljšo ločljivostjo (npr. ALPS1) bolj približajo meritvam kot modeli s slabšo ločljivostjo (npr. ECMWF in ERA-40) ter da velja obratno za periode, krajše od enega dneva (iz Žagar in sod., 2006).

Figure 5.5 Spectral power distribution as a function of a period for the observed (OBS) and modelled zonal wind at Rogla. It may be seen that for longer periods (from 20 days to approx. 2 days) those models with better spatial resolution (e.g. ALPS1) perform better, and vice versa for periods shorter than one day (from Žagar et al., 2006).

podnevi navzgor po pobočjih in ponoči po pobočjih navzdol) pa so na splošno podcenjeni. To pomeni, da naša metod dobro simulira splošne vetrove, medtem ko lokalnih vetrov ni sposobna dovolj dobro zajeti.

5.2 Primerjava z rezultati meritev v okviru projekta Wep1

Primerjava z meritvami na meteoroloških postajah je bila predstavljena že v poglavju o modeliranju – v podpoglavju 3.2 o kvaliteti modelskih vetrovnih polj. Te meritve so pretežno po nižinah. Tu pa predstavljamo še primerjavo z meritvami na edini od močno prevetrenih lokacij, za katero imamo javno dostopne podatke – na Slatni na alpsko-dinarsko gorski pregradi.

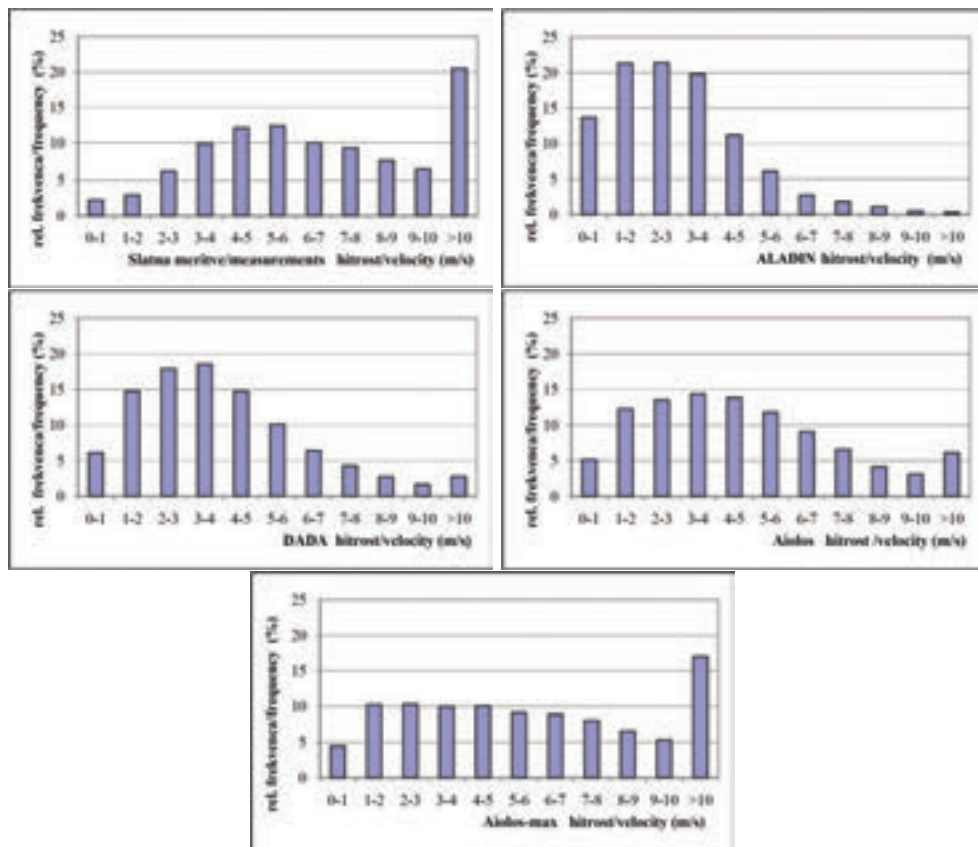
Wep1 (EHN, 2003) je bil projekt – študija o vetrovnosti v petih evropskih regijah. Med drugim je zajemal tudi območje jugozahodne Slovenije. V okviru tega so ocenili tako vetrovnost kot ustreznost lokacij za izrabo vetrne energije. Kot ustrezne so ocenili območje Bat na Banjščicah, Selivca in Vremščice nad Divačo, ter Goliča – jugozahodno od Slavnika. Kot ustrezne pod nekaterimi pogoji (upoštevajoč tudi že razpoložljivo infrastrukturo električnega omrežja) pa še šest območij na Krasu, Nanosu, Slavniku in nad Ilirsko Bistrico.

Meritve so bile ponekod na bolj ustreznih merilnih stolpih (Golič in

Slatna), drugod pa na nekoliko manj ustreznih (npr. Tabor) ali pa celo precej neustreznih (npr. na Nanosu je bil anemometer na zgornjem robu velike, za veter neprepustne konstrukcije – posledično močan Bernoullijev efekt). Vse meritvne niso bile na istih višinah nad tlemi (npr. Golič in Slatna 15 m drog, Tabor 30 m steber s paličjem). Meritve dajejo povprečje hitrosti od oktobra 2001 do oktobra 2002 od 6 m/s na Taboru do 7,3 m/s na Slatni. Ob tem smo tedaj na FMF in ARSO naredili klimatski pregled o tem, koliko je bilo to obdobje reprezentativno za daljšo dobo, in ugotovili, da je bilo kar primerljivo z daljšim klimatološkim obdobjem (Rakovec in sod., 2001).

Neposredna primerjava s pričujočo študijo ni mogoča, saj ne razpolagamo z meritvami na gorskih vrhovih, in še posebej ne na grebenih dinarsko-alpske gorske pregrade. Zato rezultate s Slatne (15 m nad tlemi – slika 5.5) lahko samo približno primerjamo z meritvami npr. na Lisci ali Rogli (10 m nad tlemi – sliki 3.4a in 3.5a). Spektra imata približno podobno širino – na Slatni je večina vrednosti do nekako 15 m/s; posamezne vrednosti (0,02 %) celo nad 19 m/s, na Lisci ali na Rogli pa je večino vrednosti do nekako 12 m/s in nekaj vrednosti do 14 m/s. Te razlike so delno posledica različne višine merjenja, delno pa tudi dejstva, da se na Slatni ob burji, ki se pospešuje ob spuščanju navzdol, prične severovzhodnik pospeševati delno že na privetni strani glavne gorske pregrade in nad grebeni, medtem ko takega pospeševanja severozahodnika na Rogli ni (ker tam ni spuščanja in s tem pospeševanja toka hladnega zraka).

Naslednja primerjava pa je mogoča z našimi modelskimi rezultati: slike 5.6a do d. Vse boljša ločljivost deae tudi vse večjo podobnost z izmerjenim vetrom na Slatni. V točki, ki je v modelu na območju Slatne najbolj vetrovno izpostavljena, daje model Aiolos že kar nekaj vetra tudi v razredu nad 10 m/s. Upoštevati pa moramo tudi, da so to rezultati za 5 m nižje – samo 10 m nad tlemi. In če smiselno povzamemo tudi rezultate iz poglavja 4, lahko pričakujemo, da bi se npr. s programom DADA z modelsko ločljivostjo okrog 100 m merjenim vrednostim tudi modelsko že kar približali tudi kvantitativno in ne samo kvalitativno.



Slika 5.6 Histogram hitrosti vetra 15 m nad tlemi na Slatni (po EHN, 2003) in histogrami hitrosti vetra na višini 10 m od tal po modelih ALADIN, DADA, Aiolos na Slatni. Pri modelu Aiolos, ki ima dobro krajevno ločljivost, so poleg rezultatov za točko, ki se po koordinatah povsem ujema s Slatno, dodani še rezultati za bližnjo točko – tisto, ki je reliefno najbolj izpostavljena – najbolj vetrovna.

Figure 5.6 Histogram of wind velocity 15 m above the surface at Slatna (after EHN, 2003) and histograms of wind velocities 10 m above the surface at Slatna according to the ALADIN, DADA and Aiolos models. For Aiolos a histogram with a good spatial resolution is also given at the model point most exposed to the wind and which is still close to the exact position of Slatna.

6 UGOTOVITVE IN SKLEPI

6.1 Vetrovi v Sloveniji

Vetrovne razmere v Sloveniji določata predvsem njena geografska lega v zmernih geografskih širinah severne poloble, lega na jugovzhodni strani Alp, ob robu Panonske nižine in bližina Sredozemskega morja. Vsi močnejši vetrovi so v Sloveniji povezani s cikloni oziroma z dolinami v valujočem zahodnem toku, najmočnejši pa so povezani s prehodi front in Sredozemskimi cikloni. Obdobja intenzivnih vremenskih procesov in močnih vetrov so časovno razmeroma kratka, okoli ene tretjine časa. Obdobja anticiklonalnega vremena, ko je vetra le malo, so dolgotrajnejša od obdobjij ciklonalnega vremena. Zelo pogosto je poletno trajno anticiklonalno vreme, podobno je tudi konec zime in v začetku pomladi.

Na vetrovne razmere v Sloveniji bistveno vplivajo Alpe. Glede na Alpe je Slovenija v njihovem zavetrju, kadar pihajo zahodni, severozahodni ali severni vetrovi. V takšnih situacijah (ki so zelo pogoste) so spodnje plasti ozračja nad Slovenijo (do višine okoli 3000 m) v zavetrnem zatišju in vetrovi so tedaj nad Slovenijo precej šibki. Zato so tudi glede na razmere drugod po Evropi vetrovi v Sloveniji večinoma šibki. Kadar pa so vetrovi pri nas močni, so časovno in prostorsko omejeni.

V Sloveniji so nekateri vetrovi regionalni tj. jugozahodnik, burja in karavanški fen, ali pa lokalni.

– Jugozahodnik oz. nad morjem jugo se pojavlja kot močan veter iz jugozahodne do jugovzhodne smeri pred prehodom hladne fronte sredozemskega ciklona. Hitrosti tega vetra pri tleh so do 15 m/s (54 km/h), izjemoma do 25 m/s (90 km/h). Ko nad morjem in ob obali piha jugo, je tudi v notranjosti Slovenije vetrovno, vendar je prizemni veter nad kopnim zaradi večje hrapavosti šibkejši. Največje hitrosti doseže na grebenih, ki ležijo pravokotno na južno in jugozahodno smer.

– Burja je najizrazitejši in najmočnejši veter na Slovenskem. Po prehodu hladne fronte sredozemskega ciklona se okoli vzhodnega roba Alp nad osrednjo Slovenijo zgrne hladen zrak. Burja se začne nenadoma s prvimi sunki in nasploh je burja sunkovit veter. Njena hitrost se v kratkem času lahko poveča ali zmanjša za desetkrat. Burja je veter iz severovzhodne (vzhodne, severne) smeri in v zahodnem delu Slovenije (Primorska, Obala in Notranjska) reden pojav (nekaj deset dni na leto), občasno pa je burja zelo močna. Burja je tako pogost veter, da se kaže tudi v klimatskih prikazih,

učinke burje pa lahko ugotavljamo tudi na podlagi trajnih deformacij drevja. Izjemno močna burja se pojavlja redko (enkrat do dvakrat na leto), skupno okoli 100 ur. Takrat hitrosti burje v sunkih presežejo 40 m/s (150 km/h). Takšna burja na Vipavskem lomi drevje, odkriva strehe in onemogoča promet. Močna burja je regionalen pojav, ki pa je najbolj izrazit na pobočjih in tik pod njimi ter tam, kjer se vetrovi stekajo in pospešujejo. Znana območja močne burje so vzdolž roba Trnovskega gozda in Nanosa (posebno izrazito še na sedlih Predmeja, Col in Razdrto), v Vipavski dolini (na njenih severnih pobočjih in pod njimi), izrazito najmočnejša od Rebernic do Vipave; na Krasu (od Razdrtega proti Vremščici in naprej proti Sežani) in na Kraškem robu (Črni kal). Po notranjskih planotah in dolinah (Bloke, Postojna, Ilirskobistriška dolina, Javorniki, Brkini) ob takšnem vremenu piha močan severovzhodnik, ki pa ni tako sunkovit kot burja na Primorskem. Burja piha tudi na Goriškem in v Slovenskem primorju, vendar je tam manj močna. Ob burji ponavadi tudi v notranjosti Slovenije pihajo severni do vzhodni vetrovi. Ti so tedaj posebej izraziti nad ravninskim svetom vzhodne Slovenije, okrepljeni pa so tudi nad nedinarskimi grebeni, ki ležijo pravokotno na smer vetra.

– Karavanški fen je v primerjavi z burjo precej redkejši pojav, zgodi se morda enkrat ali dvakrat na leto, večinoma v hladni polovici leta, izrazito vetrovno neurje te vrste pa le vsakih nekaj let. Močan severni veter zajame južna pobočja Karavank in Kamniško-Savinjskih Alp in doline pod njimi. Veter je enakomeren, razmeroma topel in suh. Tako kot burja je tudi karavanški fen padajoč veter. Največje hitrosti se pojavijo v dolinah, ki so pravokotne na greben Karavank, saj tam prihaja tudi do stekanja (Mošenik in Tržiška Bistrica, Kokra, Kamniška Bistrica). Karavanški fen seže tudi v Julijske Alpe in Ljubljansko kotlino.

– Termično pogojeni lokalni vetrovi imajo izrazit dnevni hod in se pojavljajo ob jasnem vremenu. Ob obali tako piha podnevi veter z morja nad kopno (maestral), ponoči pa veter s kopnega nad morje (burin). Oba vetrova sta razmeroma hladna (bolje rečeno sveža). V gorskem svetu pa se ob jasnem vremenu menjavajo pobočni vetrovi čez dan navzgor in ponoči navzdol po pobočjih. Nočni pobočni vetrovi so izrazitejši, saj so hladni in prihaja do stekanja po dolinah. Posebno izraziti so ti vetrovi na iztokih z visoko ležečih planot. Nočni pobočni vetrovi so izrazitejši v zimskem času (ko so dolge, jasne noči), dnevni vzgorniki pa poleti, ko je sonce najmočnejše. Plast pobočnih vetrov je debela le nekaj deset metrov.

– Konvektivno pogojeni lokalni vetrovi so posledica stekanja, dviganja in raztekanja zraka ob oblakih vertikalnega razvoja, plohad in nevihtah. Čim bolj je nevihta intenzivna, močnejši so ti vetrovi. V nevihtnem oblaku se pogosto pojavi tok zraka, ki pada proti tlom, kjer se nato spremeni v hladen nevihtni piš in se razteče pod bazo oblaka. Nevihtni piši se pojavljajo ob nevihtah pravzaprav po vsem območju Slovenije. Hitrosti vetra lahko dosežejo 100 ali celo 200 km/uro, veter pa piha na razmeroma majhnem območju vzdolž poti nevihte in malo časa. Nevihtni piši posebej ob pobočjih, kjer se še dodatno kanalizirajo, lomijo veje in debela ter ruvajo drevesa, lomijo poljščine (koruza, hmelj) in odkrivajo strehe.

6.2 Meritve vetra

V petnajstletnem obdobju od začetka 1990 do konca 2004 je v Sloveniji delovalo 43 meteoroloških postaj z registriranimi (večinoma elektronskimi) anemometri. Deset postaj je delovalo le nekaj časa v tem intervalu. V letu 2004 je delovalo 32 takšnih postaj. Med postajami, ki so delovale do leta 2004, je bilo 14 takšnih, ki imajo 10- ali večletni niz meritev, naslednjih 12 je takšnih, ki so tedaj imele le 5- do 10-letni kontinuirani niz. Skupaj je bilo postaj z nizi daljšimi od 5 let, le 26. Večina postaj ima podatke arhivirane v polurnih intervalih (povprečna vektorska hitrost), na večini postaj je hitrost vetra merjena 10 metrov nad tlemi.

Tako kot pri drugih meteoroloških meritvah lahko tudi pri meritvah vetra ugotovimo, da so meritve po višinah reliefa Slovenije porazdeljene neenakomerno, saj je izrazito premalo meritev v višjih delih reliefa glede na njegovo zastopanost v celotni površini Slovenije. Razen tega so glede na nadmorsko višino postaje z meritvami vetra v reliefu Slovenije postavljene neenakomerno.

Od vseh meritev na meteoroloških postajah smo jih izbrali nekaj za podrobnejšo predstavitev: za postaje v Ajdovščini, na Brniku, v Celju, na Kredarici, na Lisci, v Ljubljani, v Mariboru – na letališču, v Murski Soboti, Novem mestu, Portorožu – na letališču, v Ratečah, na Rogli in v Šmartnem pri Slovenj Gradcu. Podrobno je opisana topografija lokacije in njene okolice, za posamezna leta so podani: povprečna hitrost po mesecih in za vse leto, povprečna hitrost vetra po urah v dnevu za posamezne mesece in za leto, vetrna roža, to je pogostnost vetra iz posameznih smeri po razredih hitrosti ter graf relativne frekvence hitrosti vetra ne glede na smer. Na tretji strani pa je za vsako od merilnih postaj podan t. i. klimatski odtis vetra.

6.3 Modeliranje vetrovnosti

Pri izbiri metode za oceno vetrovnosti po vsej Sloveniji bi imeli načelno dve možnosti – statistični pristop z obdelavo točkovnih meritev vetra in izdelavo kart s pomočjo geostatističnih metod ali pa dinamični pristop – kartiranje s pomočjo računalniške simulacije vremenskih procesov za daljše časovno obdobje. Ker pa meritev vetra v Sloveniji ni dovolj za to, da bi kar na osnovi izmerjenih vrednosti lahko naredili ocene za vetrovnost po vsem slovenskem prostoru, smo uporabili dinamični pristop. Dinamični meteorološki modeli, ki se v današnjem času v meteoroloških službah uporabljajo za kratkoročno napovedovanje vremena, namreč lahko služijo tudi za klimatske študije, kakršna je ocena potenciala vetra. Za potrebe klimatoloških študij tedaj s temi modeli računamo več let ali desetletij.

Osnovni vir podatkov je bil v našem primeru arhiv reanaliz vremena Evropskega centra za srednjeročne prognoze (ECMWF) – ERA-40. To je arhiv meteoroloških polj, ki so ga ustvarili s pomočjo bogate, 40-letne zbirke

podatkov in najsodobnejših računalniških meteoroloških orodij. Žal pa je njihova prostorska ločljivost precej slaba – nad Evropo znaša razdalja med mrežnimi točkami približno 120 km. Slaba prostorska ločljivost podatkov je bila glavni razlog, da smo nad omejenim območjem izračune v nekem smislu ponovili – polja ERA-40 so služila kot začetni in stranski robni pogoji za model ALADIN. Izračuni, izvedeni z modelom ALADIN-30 so služili kot ponovni vhod v model ALADIN – tokrat nad manjšim območjem in z manjšo razdaljo med računskimi točkami (približno 10 km). Sledila je še dinamična adaptacija vetra z modelom DADA z ločljivostjo 2,5 km, ter še zadnji korak, tj. obdelava z masnokonsistentnim modelom z ločljivostjo 1 km.

Z modeli smo veter blizu tal izračunavali pravzaprav iz vetra v višinah – na podlagi arhiva shranjenih meteoroloških polj –, in to ne samo vetra, temveč vseh meteoroloških spremenljivk.

6.4 Rezultati

Rezultate smo preverjali s pomočjo regresijskih zvez z izmerjenimi podatki in s histogrami porazdelitev vrednosti in to v točkah, za katere imamo na razpolago podatke o izmerjenem vetru. Ker pa so modelske ločljivosti pri ALADIN-u 10 km in pri modelu DADA 2,5 km, pa pomeni, da predvsem z modeloma ALADIN in DADA le težko ujamemo v modelu točno tisto točko, kjer so meritve. Do razlik v primerjavi z meritvami pride tudi zaradi tega, ker dajejo modeli vrednosti, ki veljajo približno za celotno območje njihove mrežne ločljivosti (100 km², 6,25 km² in 1 km²), za meritve pa velja, da odražajo značilnost samega merilnega mesta. Če je lega postaje zelo dobro izbrana, veljajo njene meritve dokaj dobro tudi v okolici merilnega mesta, velikokrat pa imamo meritve na izrazito izpostavljenih legah (npr. na vrhu hriba in je samo nekaj deset metrov proč veter lahko že povsem drugačen), predstavimo pa jih na kartah hitrosti vetra na višini 10 in 50 m nad tlemi ter kartah gostote moči vetra na višini 50 m nad tlemi.

Regresijske primerjave med povprečnimi hitrostmi pokažejo, da osnovni model ALADIN na splošno močno podcenjuje hitrost vetra – seveda, saj njegova prostorska ločljivost le zelo približno razpozna obliko reliefa, poleg tega pa pri interpolaciji na višino 10 m nad tlemi ALADIN uporablja parameter hrapavosti, ki je značilen za veliko skalo in je zato za konkretno lokacijo veliko prevelik. Model DADA z boljšo ločljivostjo se meritvam že bolj približa, delno tudi zato, ker pri interpolaciji na 10 m nad tlemi uporabimo za lokalne razmere primeren parameter hrapavosti $z_0 = 1$ cm. DADA očitno glede povprečij preceni vetrove po nižinah in podceni tiste v višjih legah (regresijska premica ne gre skozi izhodišče in je tudi preveč položna). Model Aiolos pa glede povprečij hitrosti daje sorazmerno dobro ujemanje z meritvami.

Porazdelitve po razredih hitrostih pokažejo, da ALADIN povsod in sistematično podcenjuje pogostnost visokih hitrosti. DADA ima na splošno spekter nekoliko širši, še širšega (ki torej daje visoke hitrosti – npr. nad

9 m/s) pa daje model Aiolos. Toda ob tem je težišče pri DADA kljub vsemu na splošno pri višjih hitrostih kot pri Aiolosu. Spekter modela DADA se bolje sklada z meritvami na Lisci in na Rogli, čeprav nekoliko podcenjuje najvišje razrede hitrosti. Aiolos pa je po širini spektra najboljši v dolinskih Ratečah in v ravninski Murski Soboti, vendar nekoliko preveč teže daje najnižjemu razredu hitrosti vetra pod 1 m/s.

Na osnovi teh primerjav ne moremo zanesljivo reči, kateri model je najboljši: vsekakor to ni osnovni ALADIN (tudi če ne upoštevamo splošne tendence k podcenjevanju hitrosti, ki je posledica njegove slabe prostorske ločljivostjo). Od drugih dveh pa Aiolos na splošno bolje ponazarja porazdelitve po nižinah, DADA pa nekoliko bolje nad hribi.

Na osnovi vseh opravljenih primerjav lahko ocenimo, da smo vetrovnost v Sloveniji kljub zelo posrednemu pristopu preko modeliranja kar dobro zadeli. Pri tem je namreč treba upoštevati, da smo modelirali veter »od zgoraj navzdol«, tako da smo vetrove v višini za vsak dan posebej, v daljšem časovnem obdobju, modelsko dinamično in kinematično prilagajali razmeram, ki veljajo v bližini tal. Upoštevati je treba tudi to, da je naša prostorska ločljivost pri modelu DADA 2,5 km, pri modelu Aiolos pa 1 km, medtem ko so konkretne lokacije v naravi izpostavljene tudi manjšim reliefnim zanjilnostim: v naravi »štrlijo« navzgor posamezni ostri vrhovi in »vrezane« so nekatere strme in globoke grape – tega naši modeli pač ne zajamejo. Modeli tudi ne zajamejo dobro pospeševanja hladnih katabatičnih tokov (kot je npr. burja) navzdol po pobočjih – kar vpliva na podcenitev naših modelskih vetrov npr. na Vipavskem – glede na meritve so torej vrednosti v Vipavski dolini podcenjene.

Karte povprečnih modelskih hitrosti vetra po modelih DADA in Aiolos na višinah 10 m in 50 m od tal so podane za območje Slovenije po mesecih in za celo leto. Model DADA daje na splošno precej višje hitrosti kot model Aiolos. Na višini 10 m nad tlemi daje model DADA na najbolj izpostavljenih lokacijah – na grebenih alpsko-dinarske gorske pregrade, ter Julijskih in Kamniško-Savinjskih Alp povprečne mesečne hitrosti od 6 do 7 m/s v zimskih mesecih (od novembra do marca), sicer pa od 4 do 5 m/s. Po nižinah je marsikje povprečni veter le šibak: 1–2 m/s. Model Aiolos pa daje predvsem boljše predstavo o regionalizaciji vetrovnosti, območja najvišjih hitrosti so zato bistveno manjša, pa tudi sama hitrost je za en razred nižja. Po nižinah daje Aiolos vetrove na posameznih območjih v najnižjem razredu pod 1 m/s, česar pri modelu DADA zaradi slabše resolucije ni. Na višini 50 m nad tlemi je po modelu DADA veter na izpostavljenih grebenih v zimskem času v povprečju med 7 in 8 m/s, po modeli Aiolos pa en razred nižje – med 6 in 7 m/s. Nad nižinami pa so tudi na tej višini nad tlemi še vedno območja povprečne hitrosti pod 1 m/s.

Iz podatkov modelov DADA in Aiolos lahko izračunamo tudi povprečne tretje potence (kube) hitrosti vetra in iz tega povprečno moč vetra. Karte za gostoto moči podajamo samo za višino 50 m nad tlemi, saj so sodobne vetrnice za izrabo vetrne energije vsaj tako visoke ali pa še višje. Vrednosti po modelu DADA spet veljajo na širših območjih in obsegajo pozimi devet razredov: od manj kot 100 Wm^{-2} do preko 800 Wm^{-2} , poleti pa ne

sežejo preko 400 Wm^{-2} . Rezultati po modelu Aiolos z boljšo prostorsko ločljivostjo spet dajejo več informacij o podrobnejši prostorski porazdelitvi območij različnih vetrovnosti. Zanimivo pa je, da – za razliko od hitrosti – sedaj tudi Aiolos daje pozimi gostote moči preko 800 Wm^{-2} in poleti na posameznih manjših lokacijah celo višje kot model DADA, seveda na območjih največje izpostavljenosti vetru. To je posledica razlik v spektrih – hitrostnih porazdelitvah vetra, ko kljub nižjim povprečjem pride do izraza pomen razredov višjih hitrosti. Ti so sicer relativno slabo zastopani, a pri potenciranju na tretjo potenco prispevajo h gostoti moči očitno pomemben delež.

Ker žal nimamo dovolj podatkov za primerjavo z neposrednimi meritvami, ne moremo s popolno gotovostjo trditi, kateri model daje rezultate, ki so najbližji tistim v naravi. Vseeno lahko na podlagi primerjave z mesečnimi povprečji po meritvah Elektra Primorske (interno pridobljeni podatki) in na podlagi primerjave s povprečji po meritvah v okviru projekta WEP1 (ENH, 2003) (poglavje 5.1.5) sklepamo, da so vsaj na grebenih in vrhovih povprečne hitrosti po modelu DADA (ki so višje od hitrosti, ki jih daje Aiolos), bližje razmeram v naravi. Rezultati po modelu Aiolos s prostorsko ločljivostjo $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ pa v primerjavi z rezultati po modelu DADA (ločljivost samo $2,5 \text{ km} \times 2,5 \text{ km}$) dajejo precej več informacij o podrobnejši prostorski porazdelitvi območij z bolj ali manj močnim vetrom – same vrednosti pa so najverjetneje podcenjene. Glede gostote moči pa modela dosegata približno primerljive vrednosti – toda Aiolos na bistveno manjših območjih na samih vrhovih gorskih grebenov.

Naše karte vetrovnosti je torej treba obravnavati v skladu z vsemi navedenimi omejitvami. Ujemanje z razmerami v naravi ni povsod enako dobro. Posamezne napake, ki se pojavljajo pri hitrosti vetra in so pri tej kar sprejemljivo majhne, so pri moči vetra seveda sorazmerno večje – zaradi potenciranja na tretjo potenco. Zato kart vetrovnosti ni smiselno jemati povsem kvantitativno (točno tolikšna ali tolikšna hitrost oz. moč vetra), temveč bolj kvalitativno – v smislu regionalizacije bolj ali manj vetrovnih območij v Sloveniji. Pri tem ocenjuemo, da so karte za povprečno hitrost vetra po modelu DADA kvantitativno boljše za gorske grebene in vrhove, karte po modelu Aiolos pa za doline in nižine.

Na koncu lahko ugotovimo, da smo se z modeli precej približali rezultatom tako drugih študij kot rezultatom meritev meteoroloških postaj, ki so večinoma po nižinah. Tudi primerjava z rezultati nekaterih meritev na izpostavljenih legah – na nekaterih višinskih meteoroloških postajah in primerjava z rezultati posebnih merjenj za potrebe izrabe vetrne energije (ki pa so nam večinoma nedostopni) kaže, da smo hitrost vetra kljub zelo posrednemu modelskemu pristopu dokaj dobro ocenili tudi na vetru izpostavljenih lokacijah.

7 VIRI IN LITERATURA

ALADIN, npr. Hagel E, Horanyi, 2007: The ARPEGE/ALADIN limited area ensemble prediction system: the impact of global targeted singular vectors, *Meteorol. Z.* **16**, 653–663.

Alpine Windharvest 2001–2006: <http://www.alpinespace.org/alpinewindharvest.html>

ARSO, 2008: http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/podnebne_razmere_Slo71_00.pdf

Betz, A., 1926: Wind-Energie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen, ponatis Ökobuch Verlag, 1994, ISBN 3-922964-11-7

Dobesch, H. and G. Kury, 1997: *Wind Atlas for the Central European countries Austria, Croatia, Czech Republic, Hungary, Slovak Republic and Slovenia. Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik*, (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien) **16**, 105 pp.

ECMWF, 2008: http://www.ecmwf.int/research/era/ERA-40_Atlas/index.html

ENH, 2003: *Wep1 – Study of wind potential in five European regions*. EHN Navarra in sod. (med njimi tudi Občina Vipava), 129 str.

Hess, G.D., 1973: On Rossby-number similarity theory for a baroclinic planetary boundary layer. *J. Atmos. Sci.*, **30**, 1722–1723.

Ishikawa, H., 1994: Mass-consistent wind model as a meteorological pre-processor for tracer transport models. *J. Appl. Meteorol.*, **33**, 733–743.

Lalas, D. P., 1996: *Introduction to Athin*. in: Lalas, D. P. and Ratto C. F. (eds.): *Modelling of atmospheric flow fields*, Singapore etc.: World Scientific, xiv+753 pp.

Petkovšek, Z., 1987: Main bora gusts – a model explanation. *Geofizika (Zagreb)*, **4**, 41–50.

- Petkovšek, 1991: Bases and algorithm for nowcasting of the bora. *Meteorol. atmos. phys.*, **46**, 169–174.
- Petkovšek, Z. in B. Paradiž 1976: *Bora in the Slovenian coastal region*. v: Yoshino, m. m. (ur.) *Local wind bora*. Tokyo: University of Tokyo Press, pp. 135–144.
- Poje, D. and B. Cividini, 1988: Assessment of Wind Energy Potential in Croatia. *Solar energy* **41**, 543–554.
- Pristov, N., Z. Petkovšek in J. Zaveršek, 1989: Some characteristics of Bora and its beginings in Slovenia. *Razprave-Papers* **30**, 37–52.
- Rakovec, J., 1990: *Naravni viri v Sloveniji – Viri iz ozračja oz. iz vesolja: sončno obsevanje, temperatura in padavine, veter*. Ljubljana: Univ. v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Katedra za meteorologijo, 1990. 72 str.
- Rakovec, J., 1986: *Locally induced flow in mountainous terrain*. 19th ITAM. Rauris, 1-6 Sept. 1981.6. Tagungsbericht, herseg. v.d. Oesterr. Ges. f. Meteorol. Wien 1987, 457 s.
- Rakovec, J. in G. Gregorič, 2000: *Vetrovna polja pri tleh v Ljubljanski kotlini*. Ljubljana: Univ. v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Katedra za meteorologijo, 2000. 26 str.
- Rakovec, J. in N. Pristov, 1994: *The reliability of the wind field analysis*. Internationale Tagung für Alpine Meteorologie: vom 1.5. bis 9. September 1994 in Lindau, (*Annalen der Meteorologie* (Offenbach am Main: Deutscher Wetterdienst), **30**, 192–191).
- Rakovec J., G. Gregorič, R. Bertalanič, m. Dolinar, T. Cegnar in B. Zupančič, 2001: *Veter na Primorskem*. Ljubljana, FMF in ARSO, 107 str.; v Brečević D. in sod, 2001, *Analiza prostorskih potencialov na Primorskem za postavitev vetrnih elektrarn – privlačnost in ranljivost prostora* – Ljubljana: Inštitut za raziskave v energetiki, ekologiji in tehnologiji, 1 zv. (loč. pag.).
- Rakovec J. in T. Vrhovec, 2007: *Osnove meteorologije za naravoslovce in tehnike, (Matematika – fizika, 39)*. 3. izd. Ljubljana: DMFA – založništvo, 2007. 313 str.
- Sasaki, Y., 1958: An objective analysis based on the variational method. *J. Met. Soc. Japan* **36**, 1–12.
- Tennekes, 1973: *Similarity laws and scale relations in planetary boundary layer*. in D.A. Haugen (ed.): *Workshop on Micrometeorology*, American Meteorology Society, Boston, pp. 177–216.

Troen I., Petersen E.L., 1989: *European wind atlas*. Risø National Laboratory, Roskilde, for the Commission of the European communities, 656 pp.

Trontelj, m. in B. Zupančič, 1987: Ujma 23. avgusta 1986 na Notranjskem – kako je nastal tornado. *Ujma*, **1**, 15–18.

Vrhovec, T., 1991: *Mezometeorološki model vetrovnih in temperaturnih polj v razgibanem reliefu*. Disertacija. Ljubljana: 101 str.

Weibull, W. 1951: A statistical distribution function of wide applicability. *J. Appl. Mech.-Trans. ASME* **18**(3), 293–297; glej tudi: Mortensen, N. G., L. Landberg, I. Troen et al.: *Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP)*, Risø National Laboratory, Roskilde, Danska (1993, 1996, 1999).

Žagar m. and Rakovec, J., 1999: Small-scale surface wind prediction using dynamic adaptation. *Tellus, Ser. A Dyn. meteorol. oceanogr.*, **51**, 489–504.

Žagar, N., m. Žagar, J. Cedilnik, G. Gregorič and J. Rakovec, 2006: Validation of mesoscale low-level winds obtained by dynamical downscaling of ERA40 over complex terrain. *Tellus, Ser. A Dyn. meteorol. oceanogr.* **58A**, 445–455.

8 POVZETEK

Publikacija prinaša podatke o izmerjenem vetru na nekaterih izbranih meteoroloških postajah, mesečne in letne geografsko referencirane karte izračunane povprečne hitrosti vetra 10 m in 50 m nad tlemi in mesečne in letne karte izračunane gostote moči vetra 50 m nad tlemi. Na koncu je tudi kritična primerjava med modelskimi vrednostmi ter nekaterimi meritvami po nižinah z nekaterimi drugimi študijami vetrovnosti pri nas in v naši širši okolici ter z nam dostopnimi (izrazito redkimi) meritvami vetra na gorskih grebenih.

Precej bralcev in uporabnikov bo pričujočo publikacijo vzelo v roke zato, da bi v njej iskalo podatke zaradi morebitne izrabe vetrne energije. V tej knjigi žal ne moremo postreči neposredno s podatki meritev vetra na najbolj prevetrenih gorskih grebenih. Podatki meteoroloških postaj, ki so javni in torej uporabljeni tudi v tej študiji, so namreč merjeni predvsem po nižinah, po bolj prevetrenih višjih legah pa jih je prav malo: javno so dostopni pravzaprav samo merjeni podatki po publikaciji Wep 1 (ENH, 2003), ko so v okviru projekta Wep1 ocenili tako vetrovnost kot ustreznost lokacij za izrabo vetrne energije za pet evropskih regij – med njimi tudi za našo Primorsko. Vse druge meritve, ki jih dalj časa izvajajo potencialni graditelji vetrnih elektrarn na gorskih grebenih alpsko-dinarske pregrade v Sloveniji, pa so njihova poslovna skrivnost in niso splošno dostopni. Tako smo se pri naši študiji znašli v zagati glede tega, kako pravilno oceniti vetrovnost na takih izpostavljenih lokacijah. Zato smo se lotili ocene vetrovnosti na alternativni način – ne neposredno iz podatkov, ampak prek določanja vetra z meteorološkimi modeli, takimi, ki se sicer uporabljajo za napovedovanje vremena. Računali smo prek časovnega obdobja osmih let 1994–2001. Kako, je podrobneje opisano v 3. poglavju, kratek povzetek metode pa je v temle povzetku podan malo kasneje.

Vetrovi v Sloveniji so glede na razmere drugod po Evropi (Troen in Petersen 1989) večinoma šibki, kadar pa so močni, so časovno in prostorsko omejeni. Nanje bistveno vplivajo Alpe, saj je Slovenija v njihovem zavetju kadar pihajo zahodni, severozahodni ali severni vetrovi. Splošni vetrovi iz vzhodnih kvadrantov pa so pri nas redkejši. Od močnejših vetrov naj posebej omenimo dokaj enakomeren jugozahodnik, precej bolj sunkovito burjo in viharji, a k sreči le občasno se pojavljajoči karavanaški fen. Hitrosti jugozahodnika nad morjem, kjer se mu reče jugo, so pri tleh do 15 m/s (54 km/h), izjemoma do 25 m/s (90 km/h). Jugo ne seže dlje kot do kraškega roba. Ko nad morjem in ob obali piha jugo, je tudi v notranjosti Slovenije

vetrovno, vendar je prizemni veter nad kopnim zaradi večjega trenja ob tla šibkejši. Največje hitrosti doseže na grebenih, ki ležijo pravokotno na južno in jugozahodno smer. Trajanje juga je omejeno in večinoma ni daljše od dveh dni. Na leto je takšnih situacij okoli 20. Burja, veter iz severovzhodne smeri, je najizrazitejši in najmočnejši veter na Slovenskem. Po prehodu hladne fronte sredozemskega ciklona se okoli vzhodnega roba Alp v panonski bazen in ob tem tudi nad osrednjo Slovenijo zgrne hladen zrak, ki se prek dinarskih gorskih planot (Trnovski gozd, Nanos, Javniki, Snežnik, Kras) po njihovih zahodnih in južnih pobočjih pospešuje navzdol proti Jadranu. Burja se začne nenadoma s prvimi sunki (Petkovšek 1987 in 1991, Pristov 1989) in je tudi sicer sunkovita: njena hitrost se v kratkem času lahko poveča ali zmanjša za desetkrat. Burja je v zahodnem delu Slovenije (Primorska, Obala in Notranjska) reden pojav (nekaj deset dni na leto) in občasno je zelo močna. Burja je tako pogost veter, da se v naravi kaže npr. s trajnimi deformacijami drevja, pa tudi v klimatskih prikazih. Karavanški fen je v primerjavi z burjo dosti redkejši pojav, zgodi se morda enkrat ali dvakrat na leto, večinoma v hladni polovici leta, izrazito vetrovno neurje te vrste pa le vsakih nekaj let. Veter je enakomeren, razmeroma topel in suh. Tako kot burja, je tudi karavanški fen padajoč veter. Največje hitrosti se pojavijo v dolinah, ki so pravokotne na greben Karavank, saj tam prihaja tudi do stekanja (Mošenik in Tržiška Bistrica, Kokra, Kamniška Bistrica). Karavanški fen seže tudi v Julijske Alpe in Ljubljansko kotlino.

Neprekinjenih meritev vetra, ki bi trajale daljše obdobje, je v Sloveniji le malo. Zato se glede meritev naslonimo na petnajstletno obdobje od začetka 1990 do konca 2004, ko je v Sloveniji delovalo 43 meteoroloških postaj z registrirnimi (večinoma elektronskimi) anemometri. Tako kot pri drugih meteoroloških meritvah lahko tudi pri meritvah vetra ugotovimo, da so meritve po višinah reliefa Slovenije porazdeljene neenakomerno: Slovenija je z meritvami vetra razmeroma enakomerno pokrita do nadmorske višine okoli 500 metrov (to ustreza približno povprečni višini reliefa Slovenije, ki je 557 m), nad to višino pa je pokritost z merjenji razmeroma slaba. Statistično obdelane podatke za nekatere izbrane merilne postaje podajamo v poglavju 2.5 v obliki podrobnih tabel in v grafični obliki. Za vsako od njih so na prvih dveh straneh predstavljeni topografski opis lokacije in njene okolice, tabelarični podatki po urah, mesecih in za leta ter vetrna roža. Na tretji strani pa je za vsako od merilnih postaj podan t. i. klimatski odtis vetra. Ta je povzet po metodologiji, ki je bila uveljavljena v Evropskem atlasu vetra (Troen in Petersen, 1989); za razumevanje tega tipa grafične predstavitve je na začetku poglavja 2.5 podrobnejša razlaga.

Za izpostavljene lege neposrednih podatkov o vetru nimamo, pa tudi sicer jih ni dovolj za npr. statistični pristop k izdelavi kart s geostatističnimi metodami s podatki iz točkovnih meritev vetra. Zato smo uporabili dinamični pristop, ki je na meritve vezan le posredno, prek vhodnih podatkov vseh meteoroloških količin (ne le vetra) v veliki prostorski skali celotnega ozračja. Ko poznamo razmere v veliki prostorski skali, se lotimo podrobnejšega modeliranja na območju celotne Evrope, potem pa še vse podrobneje nad vse manjšimi območji nad Slovenijo in njeno okolico. Prilagoditve

polja vetra na manjšo prostorsko skalo izračunamo s pomočjo dinamičnih meteoroloških modelov, ki se v današnjem času v meteoroloških službah uporabljajo za kratkoročno napovedovanje vremena, ki lahko služijo tudi za klimatske študije – če z njimi simuliramo dogajanja skozi več let ali celo desetletij – v našem primeru smo računali za osem let: 1994–2001. Osnovni vir podatkov je bil v našem primeru arhiv reanaliz vremena Evropskega centra za srednjeročne prognoze (ECMWF) – ERA-40. To je arhiv meteoroloških polj, ki so ga ustvarili s pomočjo bogate, 40-letne zbirke podatkov in najsoodobnejših računalniških meteoroloških orodij. Žal pa je njihova prostorska ločljivost precej slaba – nad Evropo znaša razdalja med mrežnimi točkami približno 120 km. Zato smo nad omejenim območjem izračune v nekem smislu ponovili – polja ERA-40 so služila kot začetni in stranski robni pogoji za modeliranje v boljši ločljivosti. Začeli smo z modelom ALADIN s 30-kilometrsko ločljivostjo po horizontali. Izračuni, izvedeni z modelom ALADIN-30, so služili kot ponovni vhod v model ALADIN – tokrat nad manjšim območjem (Slovenija in sosednje dežele – rdeči rob na sliki 3.1 v poglavju 3.1.2) in z manjšo razdaljo med računskimi točkami (približno 10 km). Sledila je še dinamična adaptacija vetra z modelom ALADIN z ločljivostjo 2,5 km, adiabatno modelsko fiziko in manj računskimi nivoji po vertikali. To metodo smo poimenovali DADA. Veter na višini 10 m nad tlemi dobimo v tem modelu iz vetra na 50 m po logaritemskem profilu vetra s hrapavostjo $z_0 = 1$ cm. Za višino 50 m smo se odločili zato, ker je to višina, na kateri prav tako rišemo karte klimatologije vetra v Sloveniji ter na kateri predpostavimo, da je modelski veter najboljše, s čimer ta hip razpolagamo. Dodatno smo izračunali tudi polja vetra s kinematičnim masno-konsistentnim modelom Aiolos v ločljivosti 1 km. Opozoriti moramo, da so glede na meritve vrednosti v Vipavski dolini podcenjene, saj niti DADA niti Aiolos ne zmoreta dobro simulirati pospeševanja toka burje po pobočjih navzdol.

Karte povprečno modelske hitrosti vetra in gostote njegove moči so osrednji del te publikacije. V njih podajamo rezultate po modelu dinamične adaptacije DADA in po masnokonsistentnem modelu Aiolos na višinah 10 m in 50 m od tal (poglavje 4) na območju Slovenije po mesecih in za celo leto. Hitrosti so razdeljene v razrede po 1 m/s. Višje hitrosti se na višini 50 m nad tlemi seveda pojavljajo veliko pogosteje kot na višini 10 m. Vedno je to na najbolj izpostavljenih legah in večkrat se to zgodi pri jesenskih in zimskih mesečnih povprečjih (npr. od novembra do marca). Model DADA, ki je model z dinamičnim odzivom na delovanje sil, daje na splošno precej višje hitrosti kot model Aiolos, ki samo kinematično preusmerja vetrove okrog in prek reliefnih ovir. Na višini 10 m nad tlemi daje model DADA na najbolj izpostavljenih lokacijah – na grebenih alpsko-dinarske gorske pregrade ter Julijskih in Kamniško-Savinjskih Alp hitrosti 6–7 m/s v zimskih mesecih (od novembra do marca), sicer pa do 4–5 m/s. Po nižinah je pogosto veter 1–2 m/s. Model Aiolos pa daje predvsem boljšo predstavo o regionalizaciji vetrovnosti, območja najvišjih hitrosti so zato bistveno manjša, pa tudi sama hitrost je za en razred nižja. Tudi po nižinah daje Aiolos vetrove na posameznih območjih v najnižjem razredu pod 1 m/s,

česar pri DADA zaradi slabše resolucije ni. Na višini 50 m nad tlemi je po modelu DADA veter na izpostavljenih grebenih v zimskem času v povprečju 7–8 m/s, po modelu Aiolos pa en razred nižje – 6–7 m/s – nad nižinami pa so še vedno območja hitrosti pod 1 m/s tudi na tej višini nad tlemi. Iz podatkov modelov DADA in Aiolos lahko izračunamo tudi povprečne tretje potence (kube) hitrosti vetra in iz tega povprečno gostoto moči vetra. Razultati za Slovenijo so predstavljeni tudi kartografsko, in sicer za višino 50 m nad tlemi, saj so sodobne vetrnice za izrabo vetrne energije vsaj toliko visoke, ali pa še višje. Komentar je v nekem smislu podoben kot za povprečno hitrost: vrednosti po modelu DADA, ki so na splošno višje, veljajo na širih območjih. Vrednosti segajo pozimi prek devet razredov: od manj kot 100 Wm^{-2} do prek 800 Wm^{-2} , poleti pa ne sežejo prek 400 Wm^{-2} . Rezultati po modelu Aiolos s boljšo prostorsko ločljivostjo pa spet dajejo več informacij o podrobnejši prostorski porazdelitvi območij različnih vetrovnosti. Zanimivo pa je, da – za razliko od hitrosti – sedaj tudi Aiolos daje pozimi gostote moči prek 800 Wm^{-2} in poleti celo višje kot model DADA, seveda pa le na ozkih območjih največje izpostavljenosti vetru. To je posledica razlik v spektrih – hitrostnih porazdelitvah vetra, ko kljub nižjim povprečjem pride do izraza pomen razredov višjih hitrosti. Te so sicer relativno slabo zastopani, a pri potenciranju na tretjo potenco prispevajo h gostoti moči očitno pomemben delež.

Ker pa žal nimamo dovolj podatkov za primerjavo z neposrednimi meritvami v višjih legah, ne moremo s popolno gotovostjo trditi, kateri model daje na teh vetrovnih območjih rezultate, ki so najbližji tistim v naravi. Vseeno lahko na podlagi primerjave z mesečnimi povprečji po meritvah Elektra Primorske (manjši niz podatkov za interne primerjave) in na podlagi primerjave s povprečji po meritvah v okviru projekta WEP1 (ENH, 2003) (poglavje 5.1.5) sklepamo, da so vsaj na grebenih in vrhovih vrednosti hitrosti po modelu DADA, ki so višje, bližje razmeram v naravi. Rezultati po modelu Aiolos s prostorsko ločljivostjo $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ pa v primerjavi z rezultati po modelu DADA (ločljivost samo $2,5 \text{ km} \times 2,5 \text{ km}$) dajejo precej več informacij o podrobnejši prostorski porazdelitvi območij z bolj ali manj močnim vetrom – same vrednosti pa so najverjetneje podcenjene. Glede gostote moči pa modela dosejata približno primerljive vrednosti – toda Aiolos na bistveno manjših območjih na samih vrhovih gorskih grebenov.

Najmočnejši modelski veter v ločljivosti $2,5 \text{ km}$ (to je po modelu DADA) ne glede na to, kdaj v obdobju osmih let 1994–2001 se je pojavil, je na višini 10 m nad tlemi med 20 in 25 m/s – pretežno na lokacijah, ki so tudi v povprečju najbolj vetrovne. To ne pomeni, da nikjer po Sloveniji ni na tej višini še močnejših vetrov: seveda se lahko pojavijo – ali ob splošnem vetrovnem vremenu na izrazito izpostavljenih lokacijah (ki jih prostorska ločljivost $2,5 \text{ km}$ ne razpozna) ali pa ob kakih nevihtnih neurjih, ki jih naš modelski prostop sploh ne zajema. To pomeni: vetrove do 25 m/s na višini 10 m nad tlemi lahko pričakujemo ob močnem splošnem vetru na lokacijah, katerih reliefne značilnosti so tudi v naravi blizu tistim, ki jih v modelu razpozna ločljivost $2,5 \text{ km}$. Na višini 50 m nad tlemi pa so

tudi maksimalni vetrovi seveda močnejši: tudi močnejši od 25 m/s – in na prav majhnem območju v pogorju Snežnika (jugovzhodno od Ilirske Bistrice) tudi prek 30 m/s. Ocenimo o tem, kako pogosto se pojavljajo močni vetrovi, dobimo s povprečnim številom dni v letu z vetrom nad neko mejno hitrostjo – npr. nad 7 m/s. Tako kot pri povprečjih spet izstopajo lokacije na alpsko-dinarskem gorskem grebenu: od Trnovskega gozda do Nanosa ter od Vremščice prek Snežnika proti Gorskemu Kotarju na Hrvaškem: na teh lokacijah je veter 10 m nad tlemi tudi več kot 60 dni v letu močnejši od 7 m/s – kar je približno ena šestina vsega časa.

Naše karte vetrovnosti je torej treba obravnavati v skladu z vsemi navedenimi omejitvami. Ujemanje z razmerami v naravi ni povsod enako dobro. Posamezne napake, ki se pojavljajo pri hitrosti vetra in so pri tej kar sprejemljivo majhne, so pri moči vetra lahko seveda sorazmerno večje – zaradi potenciranja na tretjo potenco. Zato karte vetrovnosti ni smiselno jemati povsem kvantitativno (točno tolikšna ali tolikšna hitrost oz. moč vetra), temveč bolj kvalitativno – v smislu regionalizacije bolj ali manj vetrovnih območij v Sloveniji. Pri tem ocenjuemo, da so karte za povprečno hitrost vetra po modelu DADA kvantitativno boljše za gorske grebene in vrhove, karte po modelu Aiolos pa za doline in nižine.

9 WIND CONDITIONS IN SLOVENIA (Extended Abstract)

EA.1 Introduction

The main part of this book examines wind climatology in the territory of Slovenia as regards both wind speed and wind energy potential. Wind power is related to the cube of the wind speed and, of course, turbine efficiency, which is theoretically limited to 59.3% (Betz, 1926).

Winds in Slovenia are generally weak, except in areas of high terrain, in some areas near mountain slopes (e.g. on the southern side of the Karavanke massif) and in the Primorska region, due to the gusty NE wind called bora. Elsewhere, stronger winds mainly come from the SW and NE. Of course, locally the wind direction can be substantially influenced by small-scale terrain, urban structures and vegetation. Strong winds also accompany thunderstorms, mainly occurring in the warm season.

As a representative result of wind analysis in Slovenia prior to our study, a so-called wind rose is shown for one location, namely Cerklje Airport, in Fig. P.1 in the preface. The small amount of observational wind data in combination with Slovenia's mainly complex terrain hinders the production of any sensible spatial analysis of wind conditions. Therefore, in this study we resort to numerical modelling as the main vehicle for producing a spatially consistent wind analysis. Two types of models are employed: a dynamical one, typical of so-called NWP applications, and a kinematical one, based on the assumption of incompressibility.

Wind is a direct consequence of the force resulting from spatially varying air pressure. The force

$$\vec{f}_{\text{gr}} = -\frac{1}{\rho} \nabla_{\text{h}} p.$$

is called a pressure gradient force and points in the direction opposite to the pressure gradient vector. The pressure gradient force steadily accelerates air and would eventually become, in the absence of other forces, balanced by internal or external turbulent friction. However, on the rotating Earth an additional system force acts on every moving object. This force

$$\vec{f}_{\text{Cor}} = -f\vec{k} \times \vec{v};$$

is called the Coriolis force and acts perpendicular to the direction of motion, towards the right in the northern hemisphere. Parameter f is called the Coriolis parameter and is proportional to the geographical latitude φ and the angular velocity of the Earth's rotation Ω : $f = 2\Omega \sin \varphi$. Due to the Coriolis force the wind slowly deviates and eventually, in the absence of any other forces, blows along the isobars. It is called geostrophic. Winds in the free atmosphere are usually almost or very close to geostrophic. A geostrophic balance is achieved within a couple of hours from a standstill. A geostrophic wind can then be expressed as

$$\vec{v}_g = -\frac{1}{f\rho} \vec{k} \times \nabla_h p.$$

Typical wind speed caused by the pressure gradient of 1hPa/100km and close to the surface but above the boundary layer is around 10 m/s, in mid-latitude. Highest speeds are observed in the jet-stream regions at high altitudes, up to and beyond 100 m/s.

The net effect of the turbulent friction in the boundary layer acting upon atmospheric motions is a downward flux of momentum into the surface, where the wind's kinetic energy is dissipated into heat. The resulting vertical wind profile can be classified in four distinct categories (Fig. EA.1):

- the laminar layer, the nearest couple of millimetres above the surface;
- the turbulent boundary layer (also known as the logarithmic layer), where the wind speed follows:

$$v(z) = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z - \delta}{z_0},$$

where z is the height above the surface, δ is the displacement height to properly consider eventual canopy, $k \approx 0.4$ is the Von Kármán constant, $u_*^2 = -(\overline{v'_h w'})$ is the friction velocity, equal to the magnitude of the covariance of the turbulent perturbations to the horizontal and the vertical wind, also known as the turbulent momentum flux. This flux is constant with height in the surface layer, which is also known by the name constant flux layer for this reason. The parameter z_0 is called friction length, and corresponds roughly to one-tenth of the vertical size of the mean roughness elements, i.e. around one centimetre for grass, one millimetre for short grass and 0.1 of a millimetre for water surface without significant waves. Fig. 1.2 in Chapter 1 illustrates how the wind speed profile in the surface layer is dependent on the static stability of this layer; - the Ekman layer, where the wind approaches the geostrophic one in both speed and direction (Fig. 1.3 in Chapter 1); and - the free atmosphere, described earlier.

- Ekman layer, where the wind approaches the geostrophic one in speed as well as in direction (Fig. 1.3 in chapter 1)

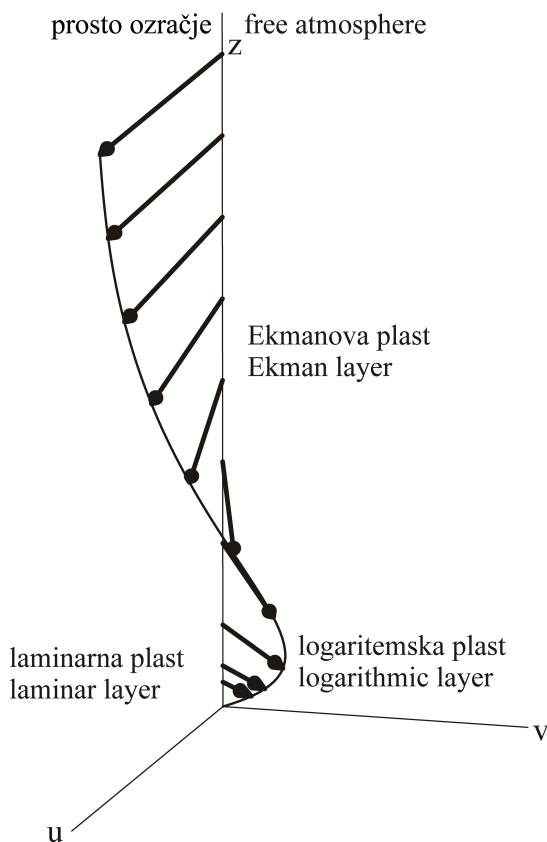


Figure EA.1 Vertical wind profile in PBL: a thin laminar layer just over the ground, above it over the homogeneous terrain is some 100 to 150 m thick *logarithmic layer* in which the wind velocity increases, but its direction does not change, above that up to some 1500 m is the *Ekman layer* in which both velocity and direction approach the wind in *free atmosphere*.

- the free atmosphere, described earlier.

Of course, the classification in separate layers is more complicated in reality, especially above a non-flat surface and in the presence of a complex terrain. In the latter case, the atmospheric parameters such as the temperature and stability are also horizontally non-homogeneous, causing greater mixing in the vertical as well as other features in the wind field, such as rotors. Wind in a complex terrain is also generally weaker than above plains. However, locally stronger winds can result from local forcing, such as downslope wind storms, thermal circulations, channelling etc.

The approach taken to analysing the wind in a complex terrain significantly depends on the desired spatial and temporal scale of the analysed results. Due to the nonlinear character of atmospheric motions we cannot realistically describe all the dimensional scales at the same time.

Wind power is proportional to the cube of the wind speed and to the

density of air. This is an important aspect of our study and similar studies since wind harvesting as an alternative to traditional energy sources has become more and more popular. Instantaneous power is expressed as

$$P = \frac{S\rho v^3}{2},$$

where S is the cross-section area, for example $S = \pi r^2$ if r is the length of a windmill blade. The average power obviously cannot be computed from the average wind speed, since $\overline{v^3} \neq (\overline{v})^3$. For the probability density of the wind speed $\mathcal{P}(v)$, it is often assumed that it can be described with a Weibull distribution:

$$\mathcal{P}(v) = \frac{k}{A} \left(\frac{v}{A}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{A}\right)^k}.$$

With parameters A and k computed from the available data, the average power can also be computed analytically:

$$\overline{P} = \frac{1}{2}\rho A^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right).$$

In reality, the wind speed distribution rarely follows Weibull's except in particularly idealised conditions. Errors in the specification of the parameters influence the computed average power and therefore this approach is not always satisfactory. Accordingly, in this study we obtained the average wind power by simply computing the arithmetic average of instantaneous values.

EA.2 Winds in Slovenia

Wind conditions in Slovenia are characterised by the country's geographical location within the belt of mid-latitude westerlies, albeit efficiently shielded by the Alpine ridge. The strongest winds occur in the cold season when the polar jet region shifts towards the south. In anticyclonic situations it is not uncommon for weak winds to persist for weeks. In general, weather systems which cause significant wind influence the weather in Slovenia about one-third of the time. The wind regime is more or less bimodal with prevailing southwesterly and northeasterly directions. Local deviations from this regime appear due to terrain and/or thermal forcing.

A few regional winds should be described due to their impact on the statistical analysis of the country's wind conditions. The jugo (sirocco) is a southeasterly to southwesterly wind occurring in the southeastern part of Atlantic weather systems, i.e. in front of large amplitude wave troughs. Offshore, the jugo wind typically reaches a speed of 15 - 25 m/s and its

speed and direction are affected by the shape of the coastline due to the usually stable stratification caused by warm air advection over a cooler sea surface. Inland, a southwesterly wind blows in these situations.

Burja (bora) is potentially a hurricane force and a gusty northeasterly/easterly wind occurring when the northeasterly airflow of colder air streams into the Mediterranean basin around the eastern flanks of the Alps. This flow is accelerated by the nonlinear interaction of gravity waves with a ridge/downslope terrain configuration. A weaker bora wind can also be of the katabatic type, i.e. when the air flowing towards the coast is so cold that it remains cooler than the environment despite its adiabatic descent. Radiation cooling near the ground can also play a minor role, but it is important to stress that a strong bora cannot result from the katabatic mechanism, not least because the maximum speed in a strong bora is observed at hundreds of metres above the surface while the height of the maximum speed in katabatic winds is in the order of a few metres above the surface. Inland, northeasterly winds typically blow in weather situations with the bora near the coast. The frequency of the occurrence of jugo and bora is similar, both being linked to the same synoptic processes.

Although the bora wind has a significant resemblance to the foehn wind, it is also worth mentioning the foehn winds in the lee of inland mountain ridges, especially the Karavanke foehn, blowing in the northern part of the Ljubljana basin in a specific situation with a northerly general airflow.

Other local winds include thermal local circulations, valley winds, convective local winds and strong outflows from thunderstorms. While the former two regimes can significantly influence local wind statistics, the latter two cannot.

EA.3 Observational data and statistics

Forty-three meteorological observational stations with a registering anemometer were active in Slovenia between 1990 and 2004. However, the data series is uninterrupted for a duration of at least 10 years at just 14 of these stations, while 26 of them have an at least 5-year-long uninterrupted data series. Wind data is usually recorded every second hour. Tables 2.1 and 2.2 in Chapter 2 list these stations by name and altitude, while their locations can be seen in Fig. EA.2. The distribution of stations by altitude in comparison to the percentage of area is heavily skewed towards the lower altitudes. The reason for this is most likely the population density since most weather stations unfortunately focus on ordinary people, not scientists and their desires to obtain useful data.

Figures 2.3 - 2.15 in Chapter 2 summarise the statistics for wind measurements at 12 locations: Ajdovščina, Brnik airport, Celje, Kredarica, Lisca, Ljubljana, Maribor airport, Murska Sobota, Novo Mesto, Portorož airport, Ratece, Rogla, and Šmartno near Slovenj Gradec. For each of these stations, first the terrain in the vicinity of the station is presented and the data are presented in both tables and graphical form. The format

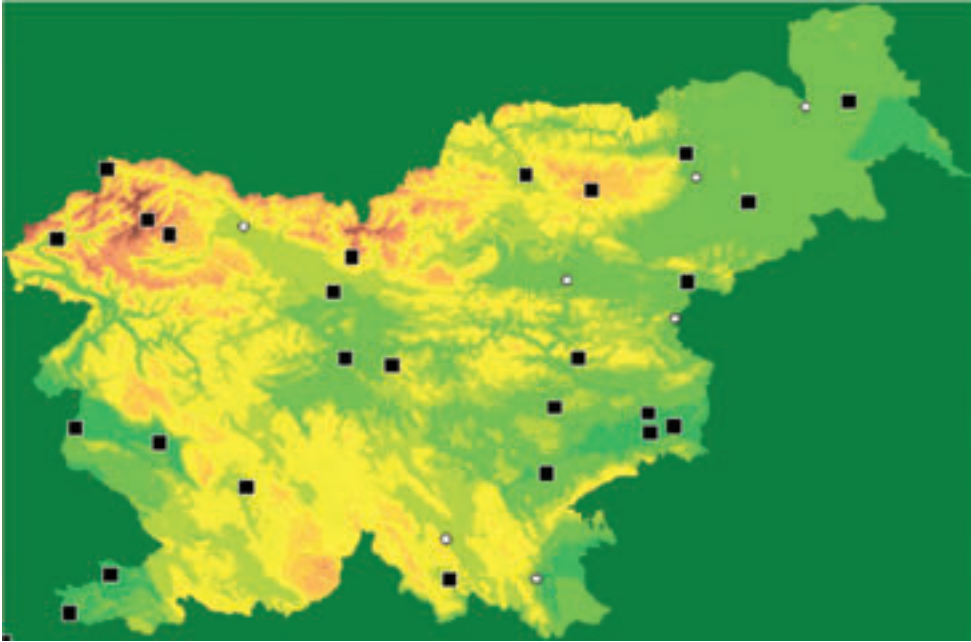


Figure EA.2 Relief of Slovenia with positions of stations measuring wind. Black squares: at least five years of measurements, including 2004; white circles: newer stations measuring for less than 5 years, but including 2004.

of the graphics in plate c) of each figure is chosen to correspond to the methodology of the European Wind Atlas (Troen and Petersen, 1989). The average yearly and daily evolution of wind speed and power are shown. The wind roses present three parameters for each of 12 directional sectors: the proportion of the occurrence of wind from the sector, participation in total speed, and participation in total power. The numbers in the box attached to the rose represent the percentage at the outer ring. The spectrum to the right of the rose shows the proportion of total variance for each of the temporal spectral components, from one year to half an hour. Finally, a graphical representation of the deviations of monthly means from the total mean is plotted at the bottom, for wind speed (full line) and power (dashed).

EA.4 Numerical modelling

As is evident, the sparse observational coverage of Slovenia prohibits any spatially consistent wind analysis based on measurement. We therefore applied a numerical modelling approach. At its foundation is the 40-year reanalysis of the European Centre for Medium Range Weather Forecasting, which provides the best available spatially and temporally consistent

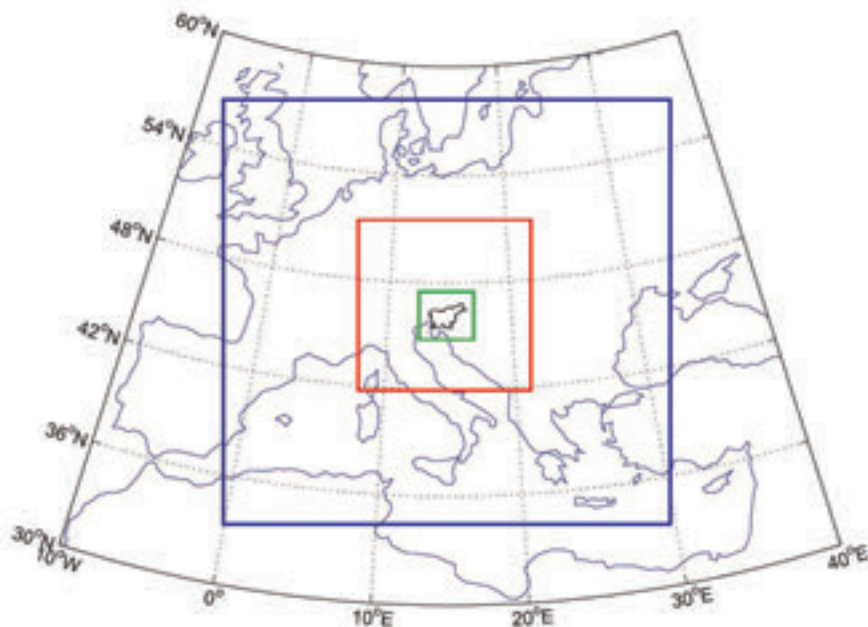


Figure EA.3 The models' domains. Blue frame: computing domain of the ALADIN model with a horizontal spatial resolution of approx. 30 km (ALADIN-30), nested into the ERA 40 meteorological fields. Red frame: computing domain of the ALADIN model with a horizontal spatial resolution of approx. 10 km, nested into the ALADIN-30. Green frame: computing domain of the DADA dynamic adaptation model. The ERA 40 meteorological fields for 1994–2001 were prepared over the domain of the blue frame with a horizontal resolution of approx. 30 km – ALADIN-30.

analyses of the atmosphere. However, the resolution of these analyses is around 120 km which is much too coarse for describing a wind regime in regions with a complex topography. Hence, we used several consecutive dynamic adaptation models and a mass consistent model to obtain the final result, namely, maps of wind speed and power at a 2.5 km and 1 km horizontal resolution. For the dynamical model used in this study we chose ALADIN. This is a spectral limited area NWP model with the dynamical core of the ECMWF model and is therefore more than suitable for the dynamical downscaling of the ECMWF analyses. ALADIN was run in three configurations (Fig. EA.3). First, a 30 km grid spacing configuration covering most of Europe ensured the proper adjustment of the ECMWF solution to the ALADIN space. Next, a 10 km grid spacing of ALADIN was used to basically cover the Alpine region and, finally, a 2.5 km adiabatic dynamical adaptation model DADA, following the method of Žagar and Rakovec (1999), was applied to cover Slovenia. Each of the higher resolution configurations was nested into the previous, lower resolution solution.

The ECMWF analysis for the purpose of providing boundary data

was used with a 6-hour frequency, while the reinitialisation of the 30 km ALADIN by the ECMWF analysis was performed every 48 hours. The integration itself was 60-hours long in order to have a 12-hour overlapping period to allow a proper spin-up of the model, during which the results were not used for computing the wind statistics. The coupling of the 10 km model into a 30 km one was performed with a 3-hour frequency. The final result of the dynamical adaptation was also obtained every three hours, therefore supplying the statistical database with the model data with 8 values per day. In addition, the 1 km mass consistent model was run on the 2.5 km dynamical adaptation results every three hours. The mass consistent model AIOLOS (Lalas, 1996) was used with certain modifications, allowing better initialisation from the 2.5 km DADA results instead of a horizontally homogeneous wind field.

The 10 m wind in the ALADIN model is internally computed from the lowest model level wind, which is around 30 m above the surface, using the similarity theory. The atmospheric parameters from the model itself were used in this computation, i.e. the vertical atmospheric stability functions were computed using the model's solution of the temperature and humidity profile. On the other hand, the roughness parameter z_0 , which significantly affects the velocity profile, was taken from a fixed value database for a particular land class. In ALADIN the values of z_0 especially in the mountains also include part of the sub-grid terrain variability in order to efficiently model the orographic drag. For this reason, z_0 in ALADIN is usually not physically meaningful and can reach several metres. Physical values are closer to a millimetre range. We therefore recomputed the 10 m wind from ALADIN's lowest level to 10 m using a generic value of z_0 , 1 cm and thereby obtained physically justifiable wind speeds in the surface layer, especially in hilly regions while the wind in flat terrain is not significantly affected by this operation. The wind speed at 50 m was still taken directly from ALADIN since this level is higher than the lowest model level and the z_0 based extrapolation was not used at all in the first place.

The modelled wind field was verified against the observed data at a few representative stations for the coast, flat terrain, hilly terrain and mountains. Three sets of verification results are presented here, for the 10 km and 2.5 km ALADIN and for the mass consistent model. In general, where possible the most representative grid point from a model for the terrain within the vicinity of the observation station was chosen for verification. This is important because, due to the model's representation of topography, the geographically closest model grid point often does not topographically correspond to the one in reality. One should also bear in mind that the modelled wind is representative of the average of the grid box area, which ranges from 100 km² in the 10 km ALADIN, 6.25 km² in the 2.5 km DADA to 1 km² in the mass consistent model, while the observation is representative of that geographical location alone and its fetch area.

First, general information about the quality of the different models can be obtained by consulting the scatter plots of the average modelled wind speed against the observed one (Fig. EA.4), and the same for the power

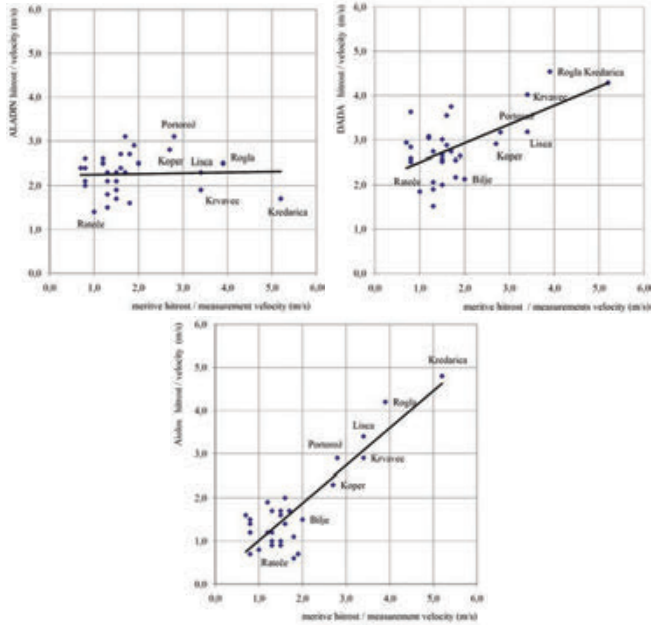


Figure EA.4 Comparison of average wind velocities at selected locations computed with the ALADIN, DADA and Aiolos models with measurements for the whole modelling time period.

(Fig. EA.5). Ideally, the line in the scatter plots should cross the origin and its slope should be 45° . It can be seen that the 1 km mass consistent model reproduces the observed average well, meaning two things: that the driving input from the 2.5 km dynamical adaptation DADA model captures all the important wind features at its own resolution and that the terrain configuration in Slovenia is such that it necessitates as high as a 1 km model resolution to properly describe the spatial variability of the wind field.

A more in-depth verification was also performed using a frequency distribution of different wind speed classes. For several measuring stations histograms were prepared comparing the models' results with the observed data (Chapter 3). Two of them are reproduced here: for Lisca on top of a hill, and for Portorož airport on the coast (see Figs. EA.6 and EA.7). It can again be seen that the dynamical models tend to over-represent the higher velocity classes in lowlands but, on the other hand, provide a very good wind distribution in the mountains. The 1 km model is, of course, the only one to capture the no-wind conditions in the sharp narrow valley.

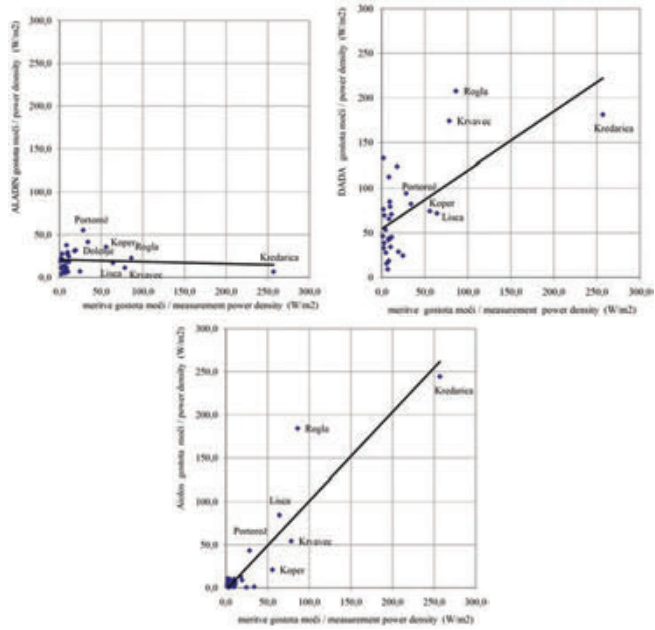


Figure EA.5 Comparison of average wind power density at selected locations computed with the ALADIN, DADA and Aiolos models with measurements for the whole modelling time period.

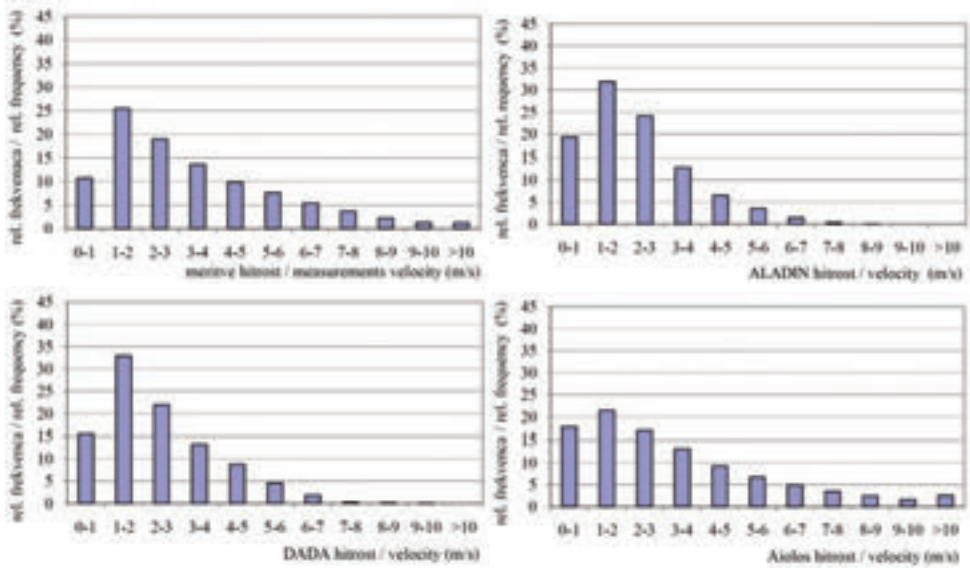


Figure EA.6 Histograms of average wind velocity measured at Lisca and modelled with the ALADIN, DADA and Aiolos models.

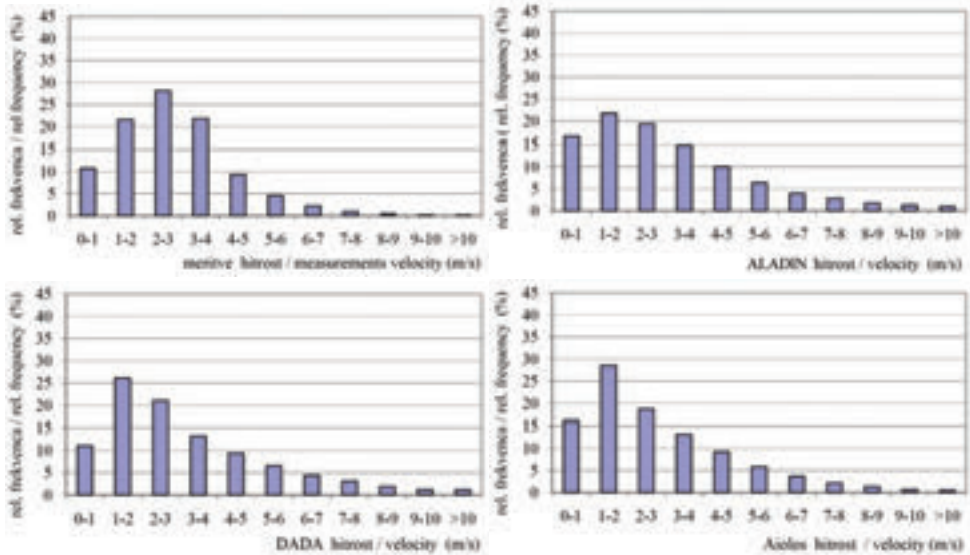


Figure EA.10 Histograms of average wind velocity measured in Portorož and modelled with the ALADIN, DADA and Aiolos models.

EA.5 Results and discussion

The main results of this study are the maps of wind speed at 10 m (Figs. 4.1 - 4.26 in Chapter 4) and 50 m (Figs. 4.27 - 4.52 in Chapter 4), at two distinct horizontal resolutions, 2.5 km and 1 km, and which were obtained using two distinct approaches. We note that the dynamical approach also provided background information for the kinematical approach used in the mass consistent model. The maps show monthly averages for every month and a yearly average. Wind speed is shown in classes of 1 m/s up to 7 m/s, and one class for the wind speed above that. In this extended abstract we reproduce four of them for yearly averages: Figs. EA.8 to EA.11. In general, it is obvious that the wind speed in the DADA model is higher than in the mass consistent model. The latter is able to capture more details in the flow, although the regions of higher winds near the mountain tops and ridges are probably unrealistically narrow. It is also evident that the cold season is the time of more pronounced winds, while the winds in summer are extremely weak, except near the coast to some extent due to the diurnal circulation of a large enough scale so that it is captured in the 10 km model.

Power density is only shown at 50 m above the surface in classes of 100 Wm^{-2} up to 800 Wm^{-2} , and one class above that, in Figs. 4.79 - 4.104 in Chapter 4. Here we again reproduce two maps for yearly averages (Figs. EA.12 and EA.13). The conclusions are the same as for the wind speed: that the wind speed in the DADA model is higher than in the mass consistent model, but the latter is able to capture more details in the flow with the regions of higher winds near the mountain tops and ridges probably being unrealistically narrow.

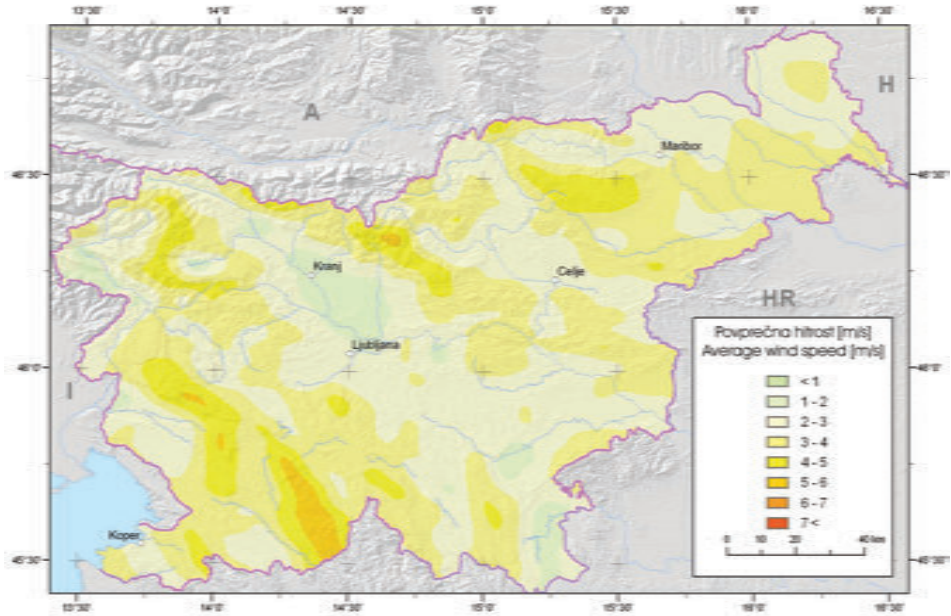


Figure EA.8 Average yearly wind velocity at a height of 10 m according to the DADA model.

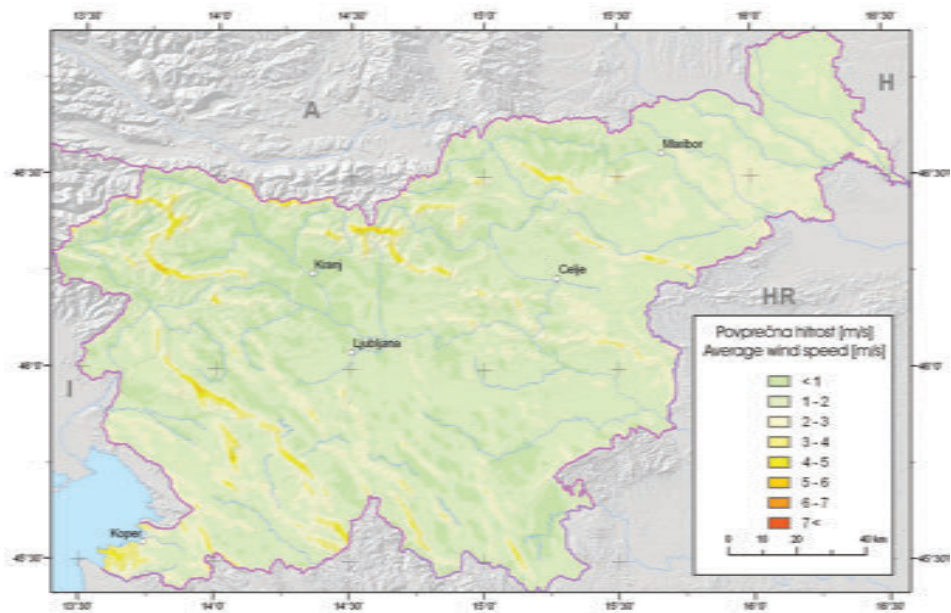


Figure EA.9 Average yearly wind velocity at a height of 10 m according to the Aiolos model.

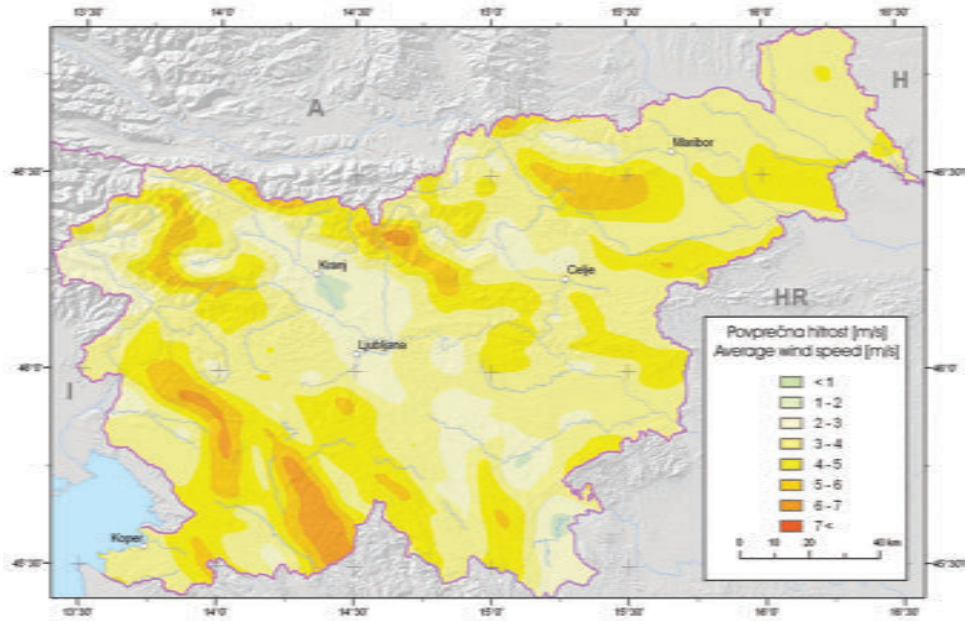


Figure EA.10 Average yearly wind velocity at a height of 50 m according to the DADA model.

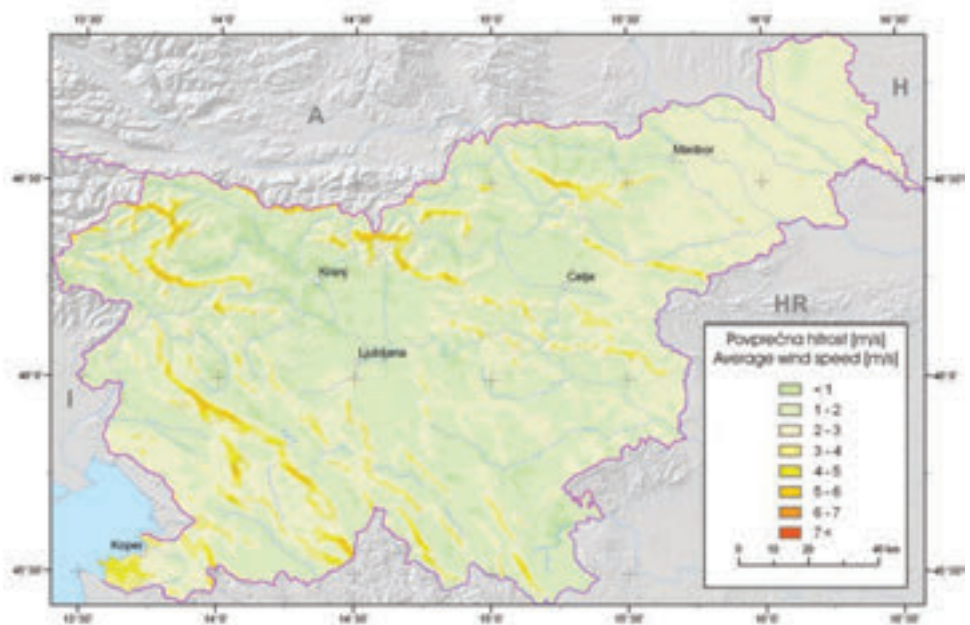


Figure EA.11 Average yearly wind velocity at a height of 50 m according to the Aiolos model.

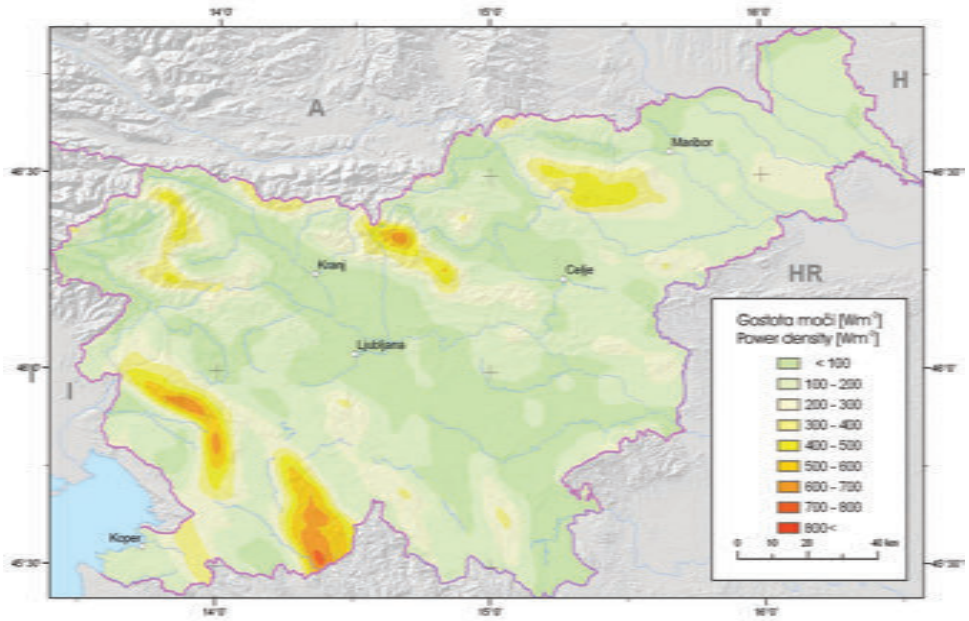


Figure EA.12 Average yearly wind power density at a height of 50 m according to the DADA model.

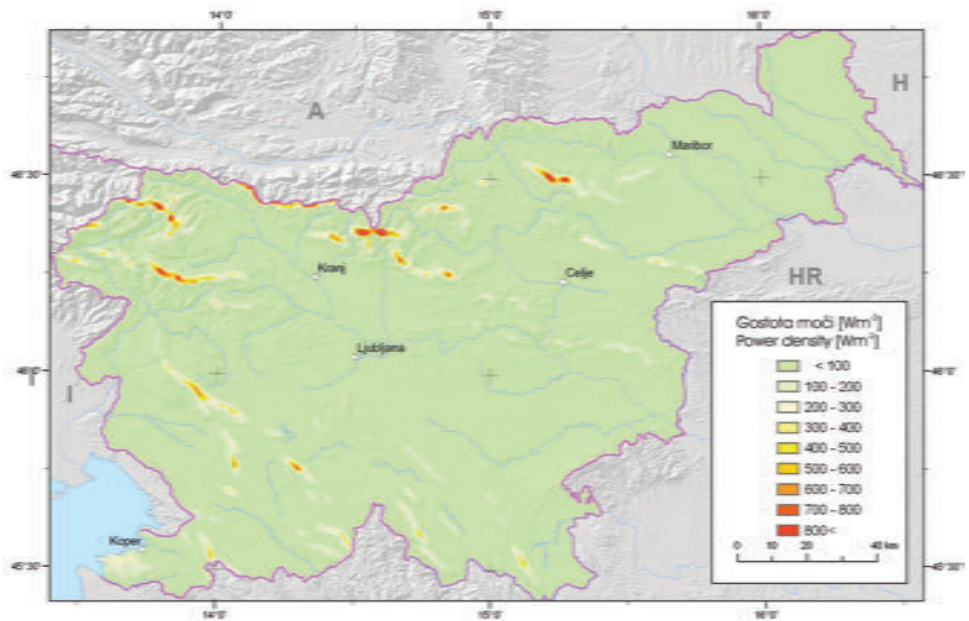


Figure EA.13 Average yearly wind power density at a height of 50 m according to the Aiolos model.

The absolute maximum wind speed – regardless of when it was simulated in the 1994-2001 period is at a height of 10 m between 20 and 25 m/s and at a height of 50 m over 30 m/s, while the number of days with wind stronger than 7 m/s at a height of 10 m exceeds 60 days yearly (Figures 4.105 to 4.107) – mostly at locations that also have the strongest average winds. Of Course, this result and the locations are model-resolution dependant: in our case, this is 2.5 km in the horizontal.

In comparison to other existing estimations of wind energy potential, this is the first time that a comprehensive and dynamical numerical modelling study was performed for Slovenia. For example, the European Wind Atlas (Troen and Petersen, 1989) used a geographical extrapolation of local observations in order to achieve a meaningful coverage of a 200 km radius from the particular observation. While this might be true for the plains, the usefulness of this Atlas for hilly and mountainous regions is very limited. Something similar can be said about another project, Alpine Windharvest (in the framework of the Interreg IIIb project), even though a statistical approach was used there. Another measurement campaign should be mentioned here, namely the WEP1 project, meant to provide estimates of wind energy potential for SW Slovenia. We have been provided with observations from one location for the purposes of this study only. The location is on top of Slatna mountain and the histograms for its observations and those obtained using our models are shown in Fig. EA.14. There is a pronounced peak in the class of wind speed above 10 m/s, which is actually also reproduced in the mass consistent model. This indicates that this is an isolated location under the influence of terrain features of an extremely small scale. Our results also indicate that the high speeds are largely a consequence of NE wind situations, when the bora wind can be extremely strong and gusty.

The main limitations of the presented study are: i) the dynamical model resolution that is too low to be able to properly also model smaller wind features, known to influence wind statistics; ii) the lack of observations to verify the modelling results; and iii) the heavy amplification of errors in wind speed in the case of wind power. We conclude that the DADA results better correspond to reality in the hills and mountains, while the mass consistent model better describes the wind in the valleys. Nevertheless, this study presents a useful and homogeneous estimation of local wind conditions in Slovenia.

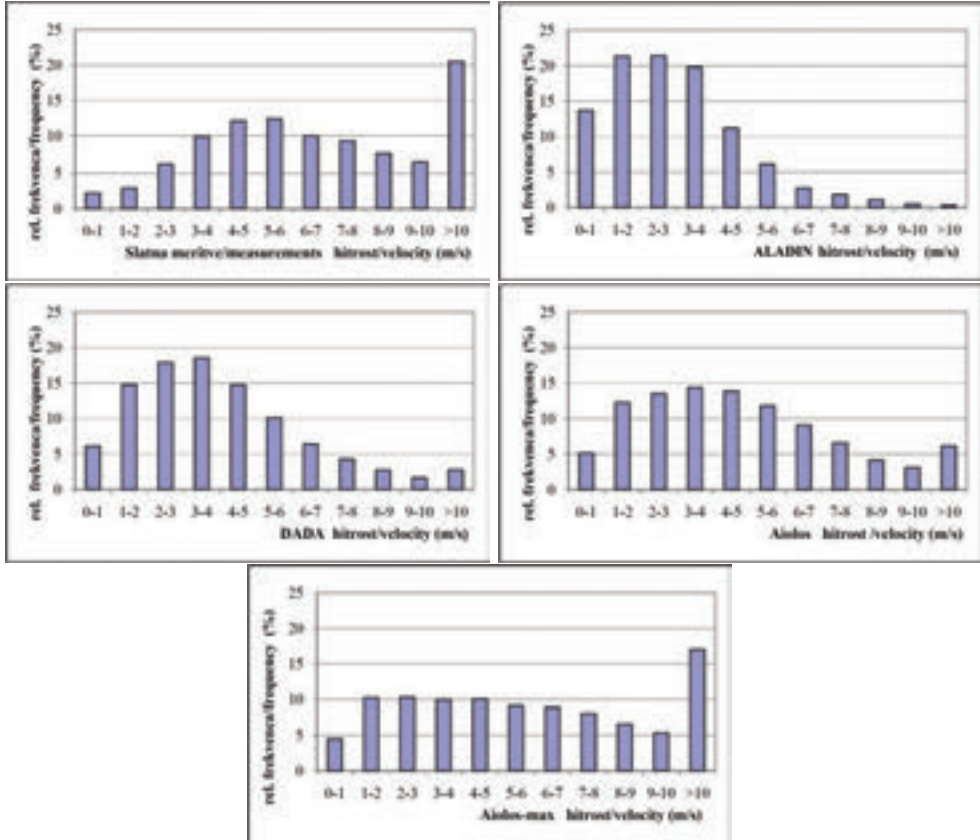


Figure EA.14: Histogram of wind velocity 15 m above the surface at Slatna (after EHN, 2003) and histograms of wind velocities 10 m above the surface at Slatna according to the ALADIN, DADA and Aiolos models. For Aiolos a histogram with a good spatial resolution is also given at the model point most exposed to the wind and which is still close to the exact position of Slatna.

Iz recenzij:

Pričujoča knjiga bo zelo dobrodošla številnim bralcem. Ima tako strokovno kot pedagoško vrednost. Koristna je za strokovnjake s področja klimatologije, meteorologije, energetike in razne prostorske planerje. Nujno pa je potrebna zlasti za potencialne investitorje v vetrne elektrarne, kakor tudi za vse, ki se ukvarjajo z obnovljivimi energetske viri. Ti bodo lahko uporabljali pri svojem delu tako modelske izračune kot pregledne vetrovne karte Slovenije. Te so izdelane po mesecih in za leto kot celoto. Uporabna vrednost rezultatov za oceno energetskega potenciala vetra v Sloveniji je toliko večja, ker so tako karte kot modelski izračuni narejeni na podlagi elektronskih baz podatkov, ki so v osnovi na razpolago v koordinatnem sistemu. To bo strokovnjakom in zainteresirani javnosti omogočilo opredeliti področja, ki imajo boljši energetski potencial vetra in kjer je smiselno načrtovati gradnjo vetrnih elektrarn.

red. prof. dr. Lučka Kajfež Bogataj

Publikacija je sistematično urejeno delo, v katerem avtorji predstavljajo napoved lastnosti vetrov v Sloveniji. Pri tem gre za naravni vir energije, za katerega je napovedovanje, v primerjavi z nekaterimi drugimi viri, na primer sončno energijo, zahtevnejše. Zato avtorji kritično ovrednotijo ustreznost treh izbranih orodij (Aladin, DADA in Aiolos) na podlagi primerjave z izmerjenimi vrednostmi v razpoložljivih prostorskih točkah. ... Glede na dejstvo, da je namen publikacije opredeliti energijski potencial energije vetra v Sloveniji, so z znanstvenega in aplikativnega vidika pomembne tudi karte hitrosti in moči vetra, ki so izdelane v krajevni in časovni skali. Ugotovitve avtorjev so pomembne za razmislek o smotrnosti izkoriščanja vetrne energije pri nas. Z vidika vključevanja Slovenije v mednarodne baze potencialov obnovljivih virov energije je pomembna je tudi primerjava rezultatov avtorjev z rezultati drugih mednarodnih študij in baz podatkov, ki jih publikacija tudi ustrezno in smiselno dopolnjuje.

izr. prof. dr. Sašo Medved

Slovenija je na Evropskih vetrovnih atlasih, ki so se izdelovali za potrebe ocene energetskega potenciala, bela lisa, saj pri njihovem nastajanju v glavnem ni sodelovala. Monografija *Vetrovnost v Sloveniji* je zato zelo dobrodošla in ima pomembno strokovno, pedagoško in uporabno vrednost. Vsestransko bo koristna za strokovnjake s področja meteorologije, energetike in okolja, študente, planerje prostorskih aktov, načrtovalce in potencialne investitorje vetrnih elektrarn, kakor tudi za širšo zainteresirano strokovno in drugo javnost s področja obnovljivih virov energije.

Franko Nemac, univ. dipl. inž.

ISBN 978-961-254-160-6



9 789612 541606

<http://zalozba.zrc-sazu.si> 18,70 €