

Vetrovnost v Sloveniji

Jože Rakovec¹, Renato Bertalanič², Jure Cedilnik², Gregor Gregorič^{1,2},
Gregor Skok¹, Mark Žagar^{1,2}, Nedjeljka Žagar¹

Povzetek

Predstavljeni so podatki o izmerjenem vetru na nekaterih izbranih meteoroloških postajah ter mesečne in letne geografsko referencirane karte izračunane povprečne hitrosti in izračunane gostote moči vetra 10 m in 50 m nad tlemi. Na koncu prikazujemo tudi kritično primerjavo med modelskimi vrednostmi ter nekaterimi meritvami po nižinah, z nekaterimi drugimi študijami vetrovnosti pri nas in v naši širši okolici, ter nam dostopnimi (izrazito redkimi) meritvami vetra na gorskih grebenih. Monografija z istim naslovom je v tisku pri ZRC SAZU [1].

Uvod

Precej uporabnikov se za vetrovnost zanima zaradi morebitne izrabe vetrne energije. V tem prispevku žal ne moremo postreči neposredno s podatki meritev vetra na najbolj prevetrenih gorskih grebenih. Podatki meteoroloških postaj, ki so javni in torej uporabljani tudi v tej študiji, so namreč merjeni predvsem po nižinah, javnih in uradnih podatkov o meritvah vetra na bolj prevetrenih višjih legah pa je prav malo: javno so dostopni pravzaprav samo merjeni podatki po publikaciji Wep 1 [2], saj so v okviru projekta Wep 1 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 v tej študiji lotili ocene vetrovnosti na alternativni način – nismo jih pridobili neposredno iz podatkov, ampak smo jih določili z meteorološkimi modeli, takimi, ki se sicer uporabljajo za napovedovanje vremena. Za izračun smo vzeli časovno obdobje osmih let 1994–2001. Kratek povzetek metode je podan v nadaljevanju.

Vetrovi v Sloveniji so glede na razmere drugod po Evropi [3] večinoma šibki, kadar pa so močni, so časovno in prostorsko omejeni. Nanje bistveno vplivajo Alpe, saj je Slovenija v njihovem zavetrju, kadar piha 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 viharni, a k sreči le občasno se pojavljajoči karavanški fen. Poleg teh se močan in kratkotrajen, le nekaj minut trajajoč piš pojavlja tudi ob nevihtah. Hitrosti jugozahodnika nad morjem, kjer piha kot 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

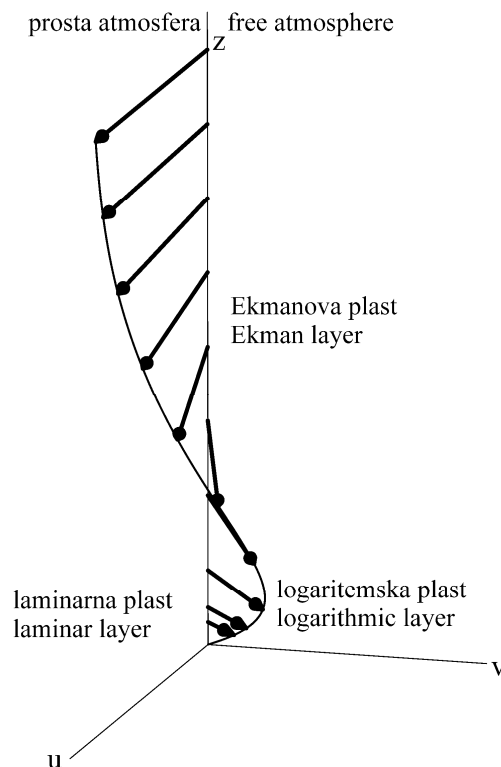
¹ Jože Rakovec, Gregor Skok in Nedjeljka Žagar, UL, Fakulteta za matematiko in fiziko, Katedra za meteorologijo

^{1,2} Mark Žagar in Gregor Gregorič, Agencija RS za okolje – ARSO in UL, Fakulteta za matematiko in fiziko, Katedra za meteorologijo

² Renato Bertalanič in Jure Cedilnik, Agencija RS za okolje – ARSO

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, sunkovit 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, Javorniki, Snežnik, Kras) po njihovih zahodnih in južnih pobočjih pospešuje navzdol proti Jadranu. Burja se začne nenadoma s prvimi sunki 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.

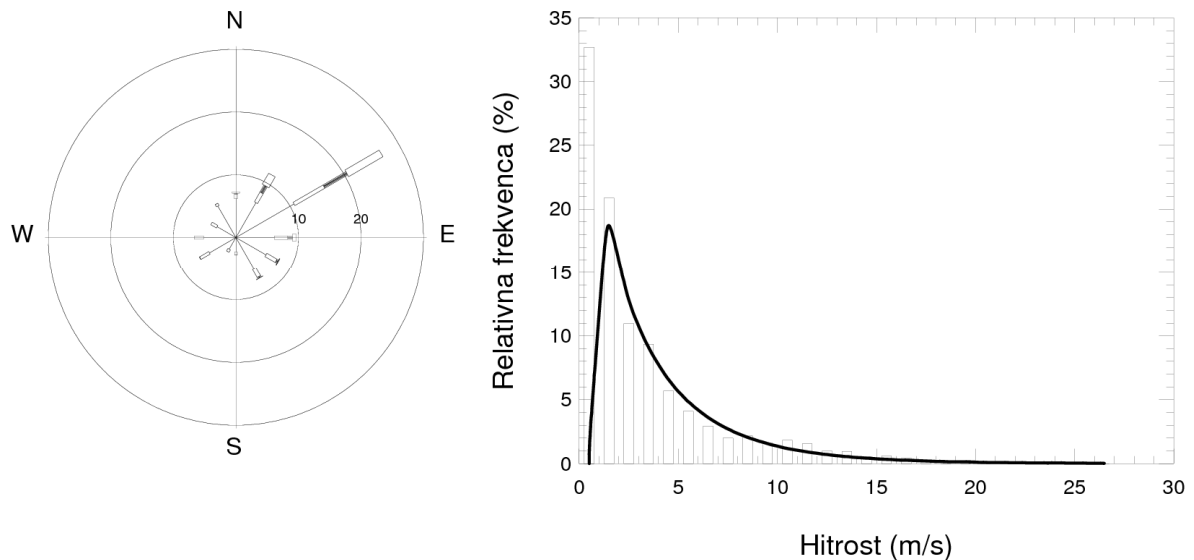
Veter blizu tal se z višino močno spreminja: nad homogeno pokrajino je prav blizu tal – na višini parametra hrapavosti z_0 je hitrost enaka nič, potem se do višine okrog 100 ali 150 povečuje samo hitrost – približno logaritmčno, od tam navzgor pa se spreminja tudi smer. V goratem svetu so razmere še mnogo bolj zapletene, saj se veter prilagaja reliefu: piha okrog hribov in skozi doline, preko sedel gorskih grebenov itd.



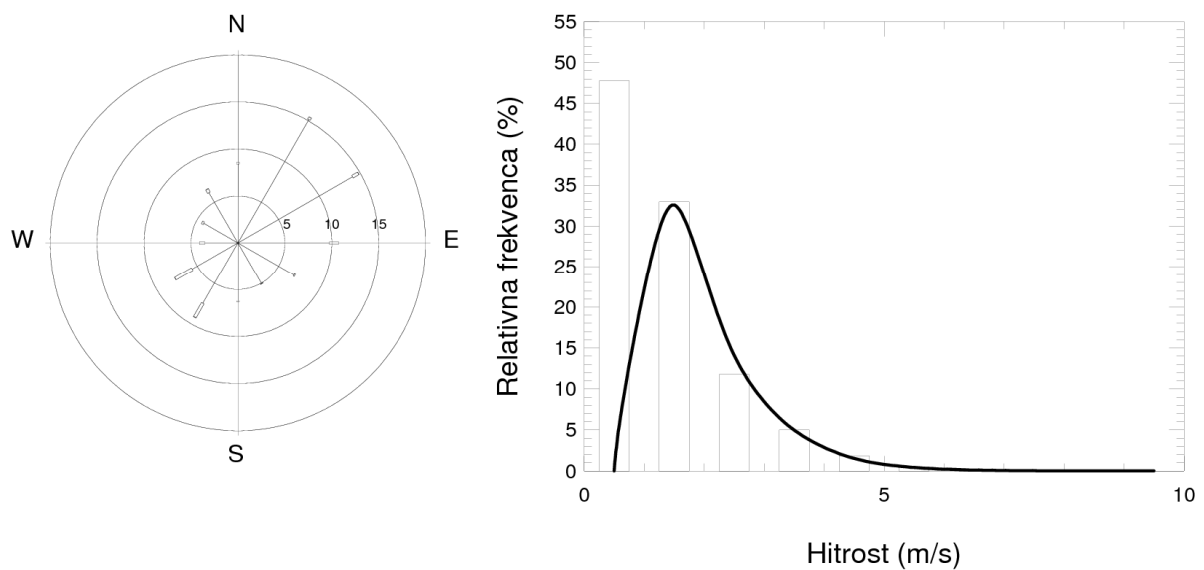
Slika 1: Potek vetra z višino nad homogenim terenom

Neprekinjenih meritev vetra, ki bi tudi 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 registriranimi (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 dve izbrani merilni postaji – Ajdovščino in Ljubljano – podajamo tukaj samo v grafični obliki: z rožo vetrov in s porazdelitvijo po razredih hitrosti.

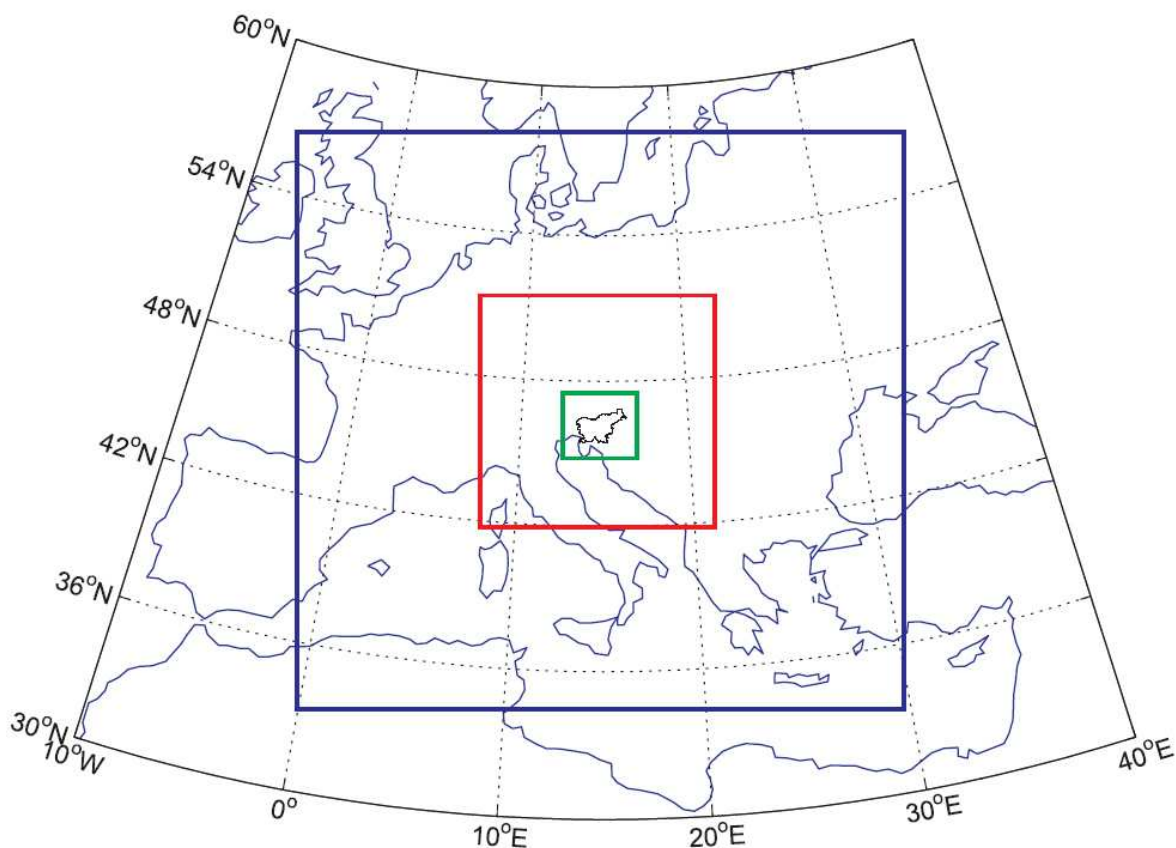


Slika 2: Izmerjeni podatki o vetru v Ajdovščini: roža vetrov (levo) in porazdelitev po hitrosti (desno)



Slika 3: Kot Slika 2, le za Ljubljano

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 numerični modelski pristop, ki je na meritve vezan le posredno: preko vhodnih podatkov vseh meteoroloških količin (ne le vetra) v veliki prostorski skali celotnega ozračja in ob koncu, ko izračunane vrednosti primerjamo z izmerjenimi v nekaterih točkah. Ko poznamo razmere v veliki prostorski skali, se lotimo podrobnejšega modeliranja na območju celotne Evrope, potem pa še čedalje podrobnejšega 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 in 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 objektivnih meteoroloških podatkov je bil v našem primeru arhiv reanaliz ozračja 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. 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 ALADIN-30 so služili kot ponovni vhod v model ALADIN – tokrat nad manjšim območjem (Slovenija in sosednje dežele – rdeč rob na Sliki 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 masnokonsistentnim 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 popolnoma realistično simulirati pospeševanja toka burje po pobočjih navzdol.

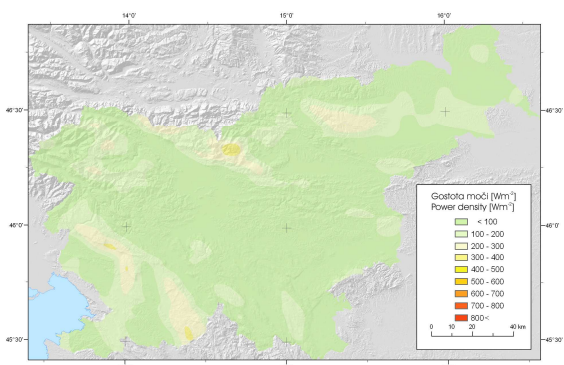


Slika 4: Območja, nad katerimi smo z meteorološkimi modeli računali polje vetra v celotnem ozračju od tal do višine okrog 30 km nad tlemi, v vse bolj in bolj podrobni prostorski ločljivosti.

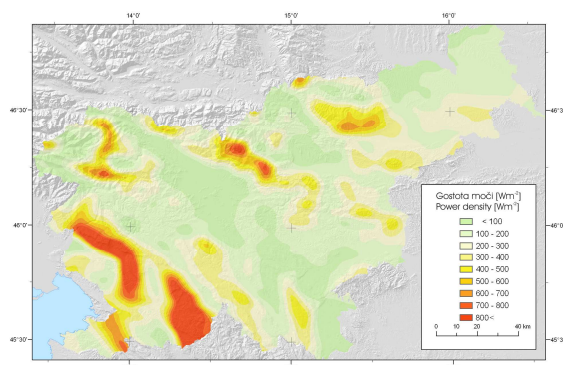
Višje hitrosti se višje nad tlemi seveda pojavljajo veliko pogosteje kot npr. na višini 10 m, kar je sicer standardna višina za meritve vetra na meteoroloških postajah. Vedno so hitrosti višje na najbolj izpostavljenih legah in večkrat se to zgodi pri jesenskih in zimskih mesečnih povprečjih (npr. od 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 preko reliefnih ovir. Npr. na višini 10 m nad tlemi so v modelu DADA na najbolj izpostavljenih lokacijah – na grebenih Alpsko-Dinarske gorske pregrade ter Julijskih in Kamniško-Savinjskih Alp – v zimskih mesecih (od novembra do marca) hitrosti 6–7 m/s, sicer pa do 4–5 m/s. Po nižinah je pogosto hitrost vetra le 1–2 m/s. Model Aiolos pa daje predvsem boljšo predstavbo o regionalizaciji vetrovnosti, območja najvišjih hitrosti so zato bistveno manjša, pa tudi sama hitrost je za en razred nižja. Na višini 50 m nad tlemi pa je po modelu DADA hitrost vetra na izpostavljenih grebenih npr. v zimskem času v povprečju 7–8 m/s: za en razred hitrosti večja kot na manj izpostavljenih grebenih.

Karte povprečne modelske hitrosti vetra in gostote njegove moči so glavni rezultat študije. Moč vetra je sorazmerna s tretjo potenco hitrosti vetra – njeno povprečje izračunamo tako, da vsako vrednost potenciramo in potem povprečimo te tretje potence. V publikaciji v pripravi [1] bodo podane karte na višini 10 m in 50 m nad tlemi po modelu DADA in po masno konsistentnem modelu Aiolos, in to za hitrost in za gostoto moči vetra. Tukaj podajamo samo

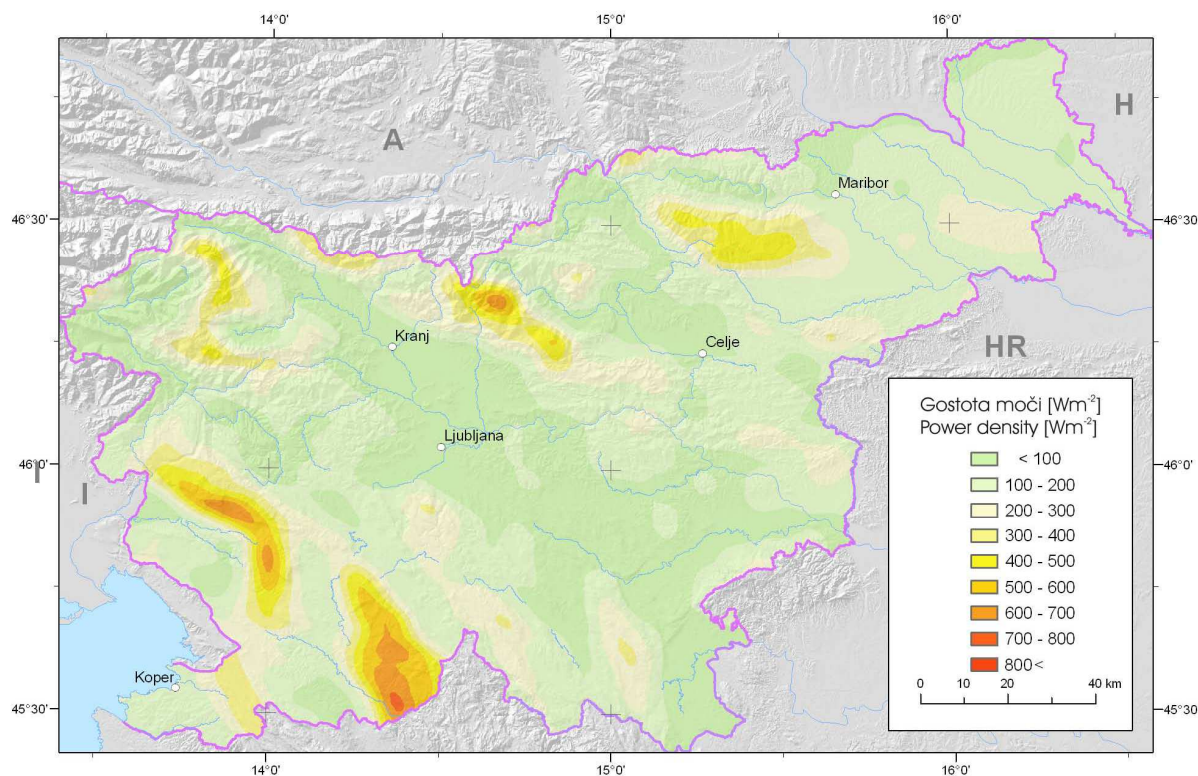
tri karte za gostoto moči na višini 50 m nad tlemi po modelu DADA – na tej višini zato, ker so sodobne vetrnice za izrabo vetrne energije vsaj tako visoke ali pa še višje.



Slika 5: Gostota moči vetra 50 m nad tlemi po modelu DADA junija, ki je eden najmanj vetrovnih mesecev.



Slika 6: Gostota moči vetra 50 m nad tlemi po modelu DADA decembra, ki je eden najbolj vetrovnih mesecev.



Slika 7: Letno povprečje gostote moči vetra 50 m nad tlemi po modelu DADA

Komentar je k tem kartam po tem, kar smo že povedali o hitrosti vetra, in zaradi grafične predstavitve lahko prav kratak: po modelu DADA vrednosti segajo pozimi od manj kot 100 Wm^{-2} do preko 800 Wm^{-2} , poleti pa ne sežejo preko 400 Wm^{-2} .

Ker pa žal nimamo kaj dosti podatkov za primerjavo z neposrednimi meritvami v višjih legah, ne moremo s popolno gotovostjo trditi, ali dajejo naši modeli na teh vetrovnih območjih rezultate, ki so primerljivi s tistim v naravi. Vseeno lahko na podlagi primerjave z mesečnimi povprečji po meritvah Elektro Primorske (manjši niz podatkov za interne primerjave) in na podlagi primerjave s povprečji po meritvah v okviru projekta Wep 1 [2] sklepamo, da rezultati po modelu DADA (ločljivost $2,5 \text{ km} \times 2,5 \text{ km}$) dajejo dokaj dobro

informacijo o prostorski porazdelitvi območij z bolj ali manj močnim vetrom – same vrednosti pa so najverjetneje podcenjene. Naše karte vetrovnosti je torej treba obravnavati v skladu s temi 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 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.

Zahvala

Raziskavo o sončni energiji v Sloveniji je finansirala Agencija Republike Slovenija za okolje po pogodbi 2523-04-300351.

Viri

- Jože Rakovec, Renato Bertalanič, Jure Cedilnik, Gregor Gregorič, Gregor Skok, Mark Žagar, Nedjeljka Žagar. Vetrovnost v Sloveniji (v pripravi za natis pri ZRC SAZU v začetku 2009, cca 166 str.).
- ENH, 2003: Wep 1 – Study of wind potential in five European regions. EHN Navarra in sod. (med njimi tudi Občina Vipava), 129 str.
- Troen I., Petersen E. L., 1989: European wind atlas. Risoe, National Laboratory, Roskilde, for the Commission of the European communities, 656 pp.