



Pokrajinski sekretarijat za
energetiku i mineralne sirovine
Izvršno veće AP Vojvodine
Novi Sad



Fakultet tehničkih nauka
Univerzitet u Novom Sadu
Novi Sad

Studija

ATLAS VETROVA AP VOJVODINE

**U sklopu projekta:
„Atlas vetrova na teritoriji AP Vojvodine“**

Rukovodilac projekta

Prof. dr Vladimir Katić

Dekan

Prof. dr Ilija Čosić

**Novi Sad
Decembar 2008**

Ova studije je rađena u sklopu projekta «Atlas vetrova na teritoriji AP Vojvodine», koji je finansirao Pokrajinski sekretarija za energetiku i mineralne sirovine AP Vojvodine.

Broj ugovora: 401-01359/2007

Realizator projekta:

Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Nosilac projekta:

Prof. dr Vladimir Katić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Glavni obrađivači:

- Zlatica Popov, dipl.meteor., Republički hidro-meteorološki zavod Srbije (RHMZS) – Meteorološka opservatorija, Novi Sad
- Zoltan Čorba, dipl.ing., FTN, Novi Sad
- Mr Boris Dumnić, dipl.ing., FTN, Novi Sad
- Mr Vlado Porobić, dipl.ing., FTN, Novi Sad

Stručni konsultanti:

- Prof. dr Borivoj Rajković, Fizički fakultet, Beograd
- Prof. dr Nikos Hatzigiorgiou, Nacionalni tehnički univerzitet u Atini (NTUA), Atina, Grčka
- Potpuk. Nikola Babić, dipl.ing.geod., Vojno-geografski institut, Beograd

Ostali učesnici:

- Albert Ruman, dipl.fiz.met., RHMZS – Meteorološka opservatorija, Novi Sad
- Vesna Nenadov, dopl.met., RHMZS – Meteorološka opservatorija, Novi Sad
- Belić Dana, met.tehn., RHMZS – Meteorološka opservatorija, Novi Sad
- Ivanković Damjan, inz geod., Geodetski zavod, Novi Sad
- Drašković Mijomir, dipl.met., RHMZS, Beograd

**Novi Sad,
Dec. 2008.**

Projekat:

ATLAS VETROVA ZA TERITORIJU AP VOJVODINE

Projektni zadatak:

1. Cilj projekta

U sklopu analize mogućnosti iskorišćenja energije obnovljivih izvora u AP Vojvodini, a posebno u cilju utvrđivanja ekonomski isplativog potencijala energije vetra i određivanja lokacija sa najpovoljnijim karakteristikama radi izgradnje vetroelektrana, potrebno je uraditi projekat čiji glavni rezultat će biti studija **Atlas vetrova AP Vojvodine (Wind Atlas)**.

Potreba za ovakvim projektom proizilazi iz osnovnog strateškog cilja koji je sadržan u Strategiji razvoja energetike u Republici Srbiji, odnosno u strategiji razvoja energetike u AP Vojvodini, kao i u Programu ostvarivanja ove strategije. Ovaj projekat se uklapa i u strateška opredeljenja Evropske unije, kojim je definisano da se do 2010. god. mora obezbediti 12% energije iz obnovljivih izvora, odnosno 22% potrebne električne energije. Na današnjem stepenu tehnološkog razvoja, najekonomičnija je proizvodnja električne energije iz energije vetra, koja je raspoloživa na teritoriji AP Vojvodine, a koja je u ranijem istorijskom periodu korišćena za pokretanje mlinova.

Da bi se uspešno realizovala ovakva studije potrebno je primeniti metodologiju zasnovanu na rezultatima dugotrajnih, periodičnih merenja meteoroloških parametara vetra. Međutim, ove veličine su raspoložive za visine od 10m nad tлом, što nije povoljno za računanje energetskog potencijala, odnosno projektovanje vetroelektrana, jer današnje jedinice imaju turbine na visinama od 50m i više metara. Iz tog razloga je potrebno poznavati rezultate za visine od 50m i više metara nad tлом. Oni se mogu dobiti na dva načina:

1. merenjem, koje je potrebno da traje bar godinu dana i zahteva specijalne merne stubove, opremljene odgovarajućom instrumentacijom, ili
2. preračunavanjem raspoloživih dugoročnih rezultata merenja iz hidro-meteoroloških stanica u Vojvodini, korišćenjem proverenih softverskih alata (WAsP program).

Drugi metod omogućuje znatno brže dobijanje željenih rezultata i danas se široko primenjuje u svetu. Primeniti ovaj metod korišćenjem proverenog i verifikovanog softvera WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) poznatog danskog instituta za izučavanje obnovljivih izvora energije Risoe National Laboratory, Roskilde (Danska). Ovaj softver je već iskorišćen i verifikovan u nizu zemalja, naročito u onim gde je korišćenje energije vetra najviše odmaklo (Danska, Holandija, Nemačka i dr.) i sa kojim je načinjen i poznati „Atlas vetrova Evropske Unije“. Da bi se povećala verodostojnost i tačnost rezultata, pored brojnih podataka iz redovnih merenja hidro-meteoroloških stanica u AP Vojvodini, kao podlogu za simulacije uključiti i raspoložive rezultati specijalizovanih merenja brzine vetra, koja se sprovode na nekoliko lokacija u AP Vojvodini u poslednjih godinu dana, a pod patronatom Saveta za obnovljive izvore energije Pokrajinskog sekretarijata za energetiku i mineralne sirovine.

Cilj izrade projekta je višestruk. Pored studije sa detaljnim mapama vetrova u Vojvodini – *Atlasa vetrova AP Vojvodine*, što je primarni rezultat, koji omogućava dalje sprovođenje strategije korišćenja obnovljivih izvora u Vojvodini, u sklopu izrade nabaviti oficijelnu licencu za pomenuti softver, obučiti istraživače za njegovo trajno korišćenje i izvršiti formiranje digitalne baze

meteoroloških podataka za dalja istraživanja. Time bi se i formirao tim za dalja buduća istraživanja, koji bi bio podrška naporima za brzo osvajanje savremenih tehnologija za iskorišćenje energije vetra.

Kao podlogu za realizaciju koristiti rezultate do sada urađenih studija za Pokrajinski sekretarijat za energetiku i mineralne sirovine, koje su tretirale problematiku korišćenja energije vetra, kao i na rezultate ranijih studija urađenih za Elektroprivredu Srbije i Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine, te javno publikovane, dostupne naučne i stručne radove.

2. Realizacija projekta:

Projekat realizovati u 4 faze:

1. Nabavka WASP softvera prema EU normama:
2. Osposobljavanje stručnog kadra za korišćenje softvera.
3. Unos i obrada meteoroloških podataka za sva merna mesta.
4. Izrada atlasa vetrova (WIND atlasa).

3. Rezultati projekta:

Rezultati projekta treba da budu:

1. Studija „Atlas vetrova AP Vojvodine“ urađena u 6 ukoričenih primeraka, kao i u elektronskoj formi na CD-u.
2. Obučen tim stručnjaka za rad na licenciranom softveru WASP.
3. Digitalna baza podataka o vetru na teritoriji AP Vojvodine
4. Veb-sajta stranica na portalu Pokrajinskog sekretarijata za energetiku i mineralne sirovine posvećena ovoj problematici, gde će biti istaknuti najvažniji rezultati studije.

SADRŽAJ

1. UVOD	7
2. GEOGRAFIJA I KLIMA AP VOJVODINE	13
2.1. Geografski položaj AP Vojvodine.....	13
2.2. Reljef i klima.....	14
2.3. Saobraćajna i elektroenergetska infrastruktura u Vojvodini.....	16
2.4. Teritorijalna organizacija Vojvodine.....	17
3. ENERGETSKA POLITIKA U SRBIJI	18
3.1. Dokumenti Ministarstva rudarstva i energetike.....	18
3.2. Pravci razvoja do 2015.....	19
3.3. Plan korišćenje obnovljivih izvora.....	20
3.4. Strategija korišćenje obnovljivih izvora u AP Vojvodini.....	21
3.5. Stanje korišćenja energije vetra.....	21
4. ISTRAŽIVANJA ENERGIJE VETRA	23
4.1. Potencijal energije vetra.....	23
4.2. Izučavanje vetra u AP Vojvodini i Srbiji.....	24
4.3. Korišćenje energije vetra u Vojvodini.....	28
4.4. Stanje u odnosu na druge države u regionu.....	28
5. ENERGIJA VETRA	30
5.1. Energetski sadržaj vetra.....	30
5.2. Gustina snage vetra (Wind Power Density).....	33
5.3. Određivanje “klasa vetra”.....	33
5.4. Energetski potencijal vetra.....	34
5.5. - Turbulencija i uzroci nastajanja.....	36
5.6. Trag efekat.....	36
5.7. Park efekat.....	37
6. KONVERZIJA ENERGIJE VETRA U MEHANIČKU ENERGIJU	38
6.1. Strujna cev.....	38
6.2. Održanje mase.....	39
6.3. Održanje impulsa sile.....	39
6.4. Održanje momenta.....	40
6.5. Održanje energije.....	40
6.6. Radni parametri turbine i optimum performansi.....	41

6.7. Kriva snage i kriva performansi	44
6.8. Delovi vetroelektrane	44
7. METOD IZRADA MAPE VETROVA	46
7.1. Definicija vetra	46
7.2. Izvori podataka o vetru	46
7.3. Merenje parametara vetra u Vojvodini	48
7.4. Klimatologija vetra	49
7.5. Weibull-ova raspodela	49
7.6. Metodologija procene vetra i izrada mapa vetrova	50
7.7. Podaci o vetru	51
7.8. Aerodinamička dužina hrapavosti.....	52
7.9. Prepreke	52
8. MAPE VETROVA VOJVODINE.....	54
9. ZAKLJUČAK.....	65
10. LITERATURA.....	66
11. PRILOZI.....	68

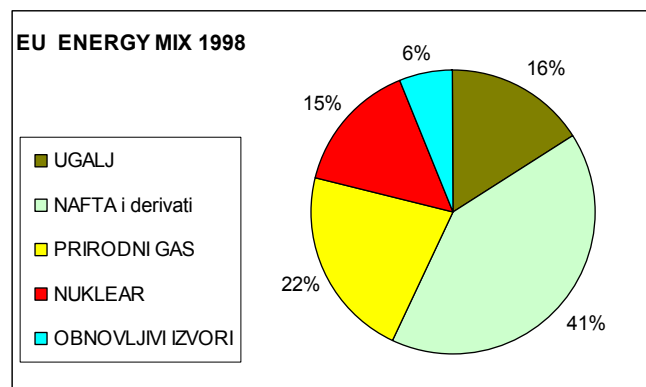
1. UVOD

Početak XXI veka obeležen je intenzivnim porastom potrošnje svih vidova energije u svetu, a naročito fosilnih goriva, nagoveštavajući da bi ona uskoro mogla biti potpuno iscrpna. To je dovelo do nastavka rasta cena nafte, gasa i drugih energenata, koji je započeo u zadnjoj deceniji XX veka, ali i do globalne zabrinutosti za buduće izvore energije i razvoj čovečanstva.

Druga karakteristika ovog perioda je nastavak povećanja koncentracije štetnih gasova u atmosferi (prvenstveno CO₂), kao posledice intenzivnog korišćenja fosilnih goriva, uprkos opšte prihvaćenom sporazumu o smanjenju emisije – Kjoto protokolu iz 1997. god.

Ova dva trenda, konstantan rast potrošnje i cena i intenziviranje posledica efekata staklene bašte, uz ograničenje ili zabranu korišćenja atomske energije, navele su razvijene zemlje, a pre svega zemlje Evropske unije, da se na samom kraju XX veka okrenu širem korišćenju obnovljivih izvora energije. U tom periodu Evropska Unija je koristila tek 6% energije dobijene iz obnovljivih izvora (uglavnom hidro energija i bio masa), dok je čak 79% bilo iz fosilnih izvora - nafta i derivati 41%, gas 22 % i ugalj 16% (slika 1.1).

Kao posledica takve orijentacije, donešena je direktiva Evropske Unije 2001/77/EC [2], koja je polazeći od stanja 1998. god. zacrtala da se do 2010. god. udeo „zelene“ energije u ukupnoj potrošnji energije poveća sa 6% na 12%. Ova odluka bila je od ključnog značaja za nagli razvoj korišćenja svih vidova obnovljivih izvora.

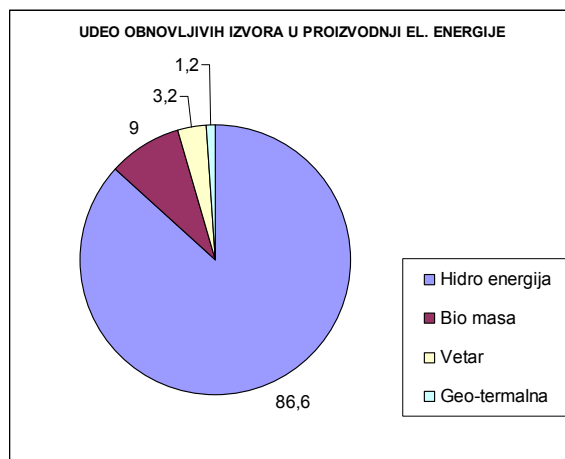


Slika 1.1 - Raspodela primarnih izvora energije u EU (1998.god.)

Upotreba obnovljivih izvora za proizvodnju električne energije od posebnog je interesa, s obzirom da je ona najpogodniji i najkvalitetniji oblik za korišćenje. U vreme donošenja pomenute direktive EU (1998), učešće obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije u 15 zemalja EU bio je između 1,1% (Belgija) i 70% (Austrija), s tim da je prosečno učešće bilo 14%. Direktiva je propisala da se ovaj udeo poveća na 22% do 2010. god. Sa slike 1.2 vidi se da je najveći deo proizvedene električne energije poticao od hidro energije, odnosno od velikih hidro-elektrana. Drugi oblici su učestvovali u manjem procentu, a vetar tek sa 3,2%.

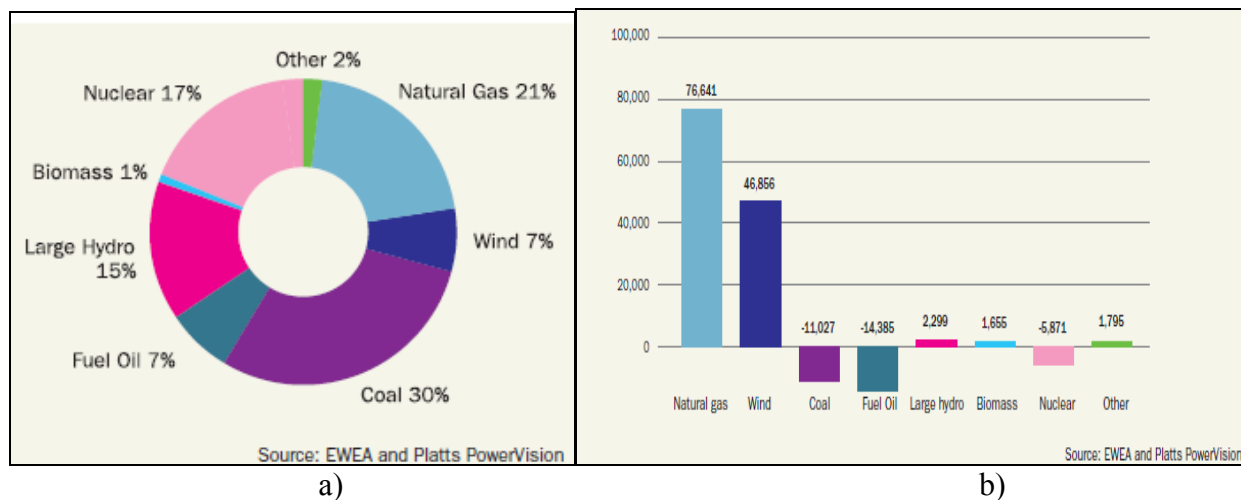
Međutim, mogućnosti za povećanje korišćenja hidro energije izgradnjom velikih hidro-elektrana su bile veoma ograničene iz prostog razloga što su svi značajniji rečni tokovi već bili iskorišćeni ili njihovo korišćenje nije bilo isplativo, zbog ekonomskih, ekoloških ili drugih razloga. To je bio razlog zašto se pažnja istraživača, konstruktora, industrijalaca, investitora i drugih okrenula ka energiji vetra i sunca, kao oblika kod kojih efikasnost pretvaranja i razvijena tehnologija pružaju najpovoljnije uslove, ali i do sada zanemareni malim rečnim tokovima, brzim potocima, kanalima za postavljanje malih hidro-elektrana. Kao rezultat te orijentacije došlo je do

intenzivnog razvoja tehnologije, pre svega, vetroelektrana, po stepenu, koji je jedino poredljiv sa progresom u računarskoj industriji.



Slika 1.2 - Udeo obnovljivih izvora u proizvodnji elek. energije.

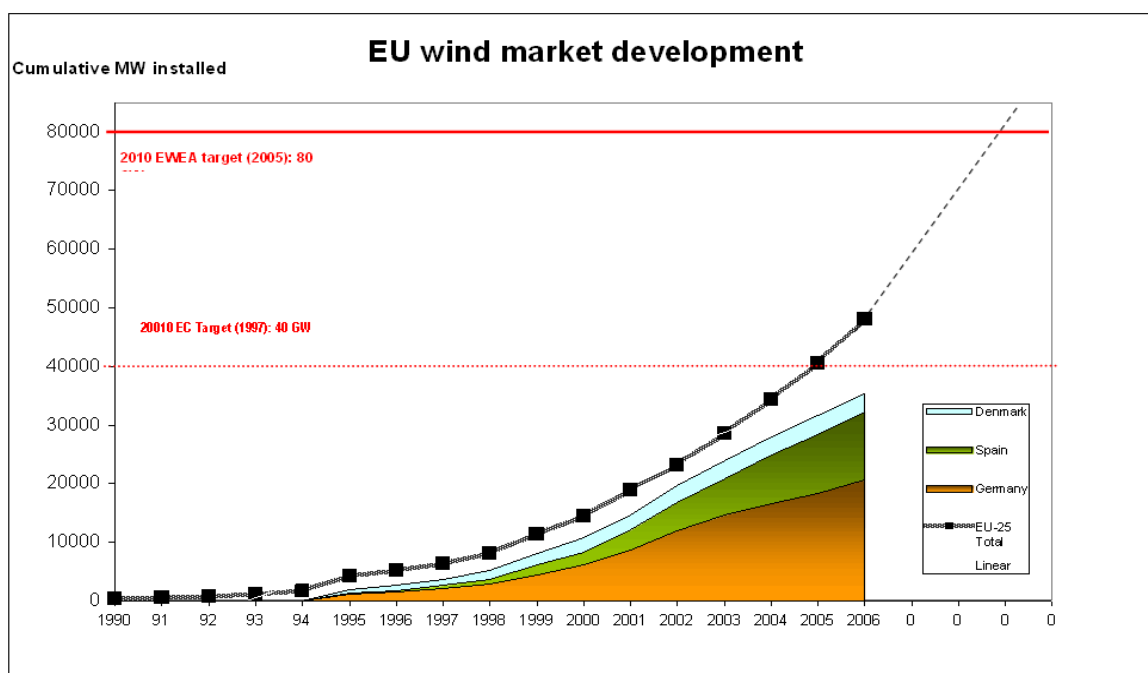
Deset godina kasnije, krajem 2007. god., udeo obnovljivih izvora u ukupnoj potrošnji energije u EU od 775 GW, značajno se popravio (slika 1.3) [22]. Dve godine pre postavljenog cilja od 22%, obnovljivi izvori premašuju plan, odnosno učestvuju već sa 23%. I dalje najveći udeo imaju velike hidroelektrane (15%), ali sada ozbiljan izvor postaju i elektrane na vetar (7%). Ostali obnovljivi izvori imaju veoma skromno učešće (biomasa 1%, sunce u grupi ostalih izvora). U periodu 2000-2007. god. najveći rast instalisanih kapaciteta imaju elektrane na gas (76,6 GW), pa vetroelektrane (46,8 GW), dok kapaciteti termoelektrana, elektrana na mazut i nuklearnih značajno opadaju (ukupno 32,2 GW).



Slika 1.3 – a) Udeo primarnih izvora energije za proizvodnju električne energije u EU (kraj 2007.), b) Neto promena instalisanih kapaciteta u MW 2000-2007. god. [22]

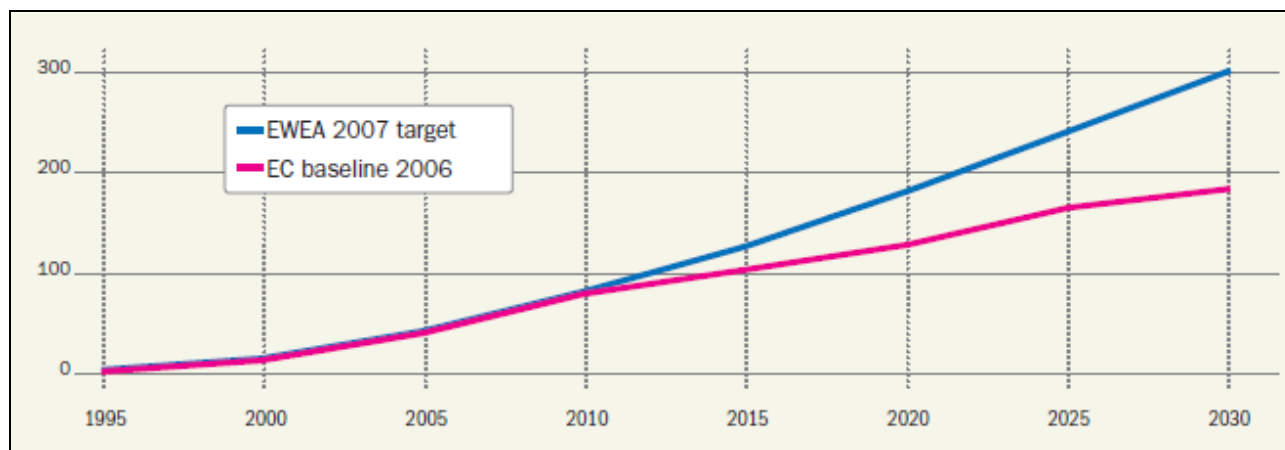
Kao još jedan primer naglog rasta u vetroenergetici, na slici 1.4 dato je stanje tržišta vetroelektrana od 1990. god. do 2006. god., sa perspektivama do 2010. god. Može se uočiti da ciljevi razvoja postaju sve ambiciozniji. Tako je Evropska komisija 1997. god. zacrtala da se do 2010. god. postavi 40 GW vetroelektrana, ali je taj cilj premašen već 2005. god. Nova lestvica je 2005. godine podignuta na čak 78,8 GW, s tim da je udruženje EWEA (European Wind Energy Association [7]) taj cilj postavilo na 80GW. Međutim, ako se nastavi sadašnji tempo razvoja i ovo će biti dostignuto znatno pre roka, tj. već tokom 2009. god. Ovakav rast se može porediti samo sa

rastom računarske industrije ili nuklearne industrije ('60-'70-tih god. XX veka), tako da je industrija vetroelektrana jedna od najpropulzivnijih.



Slika 1.4. Razvoj tržišta vetroelektrana u EU 1990-2006 sa trendom do 2010. god.

I posle 2010. god. se predviđa intenzivan rast ove industrije u EU. Projekcije, koje su postavljene do 2030. god. ukazuju da se očekuje nastavak ovakvog trenda (prema projekcijama EWEA) ili blago usporavanje (prema Evropskoj komisiji) [22].



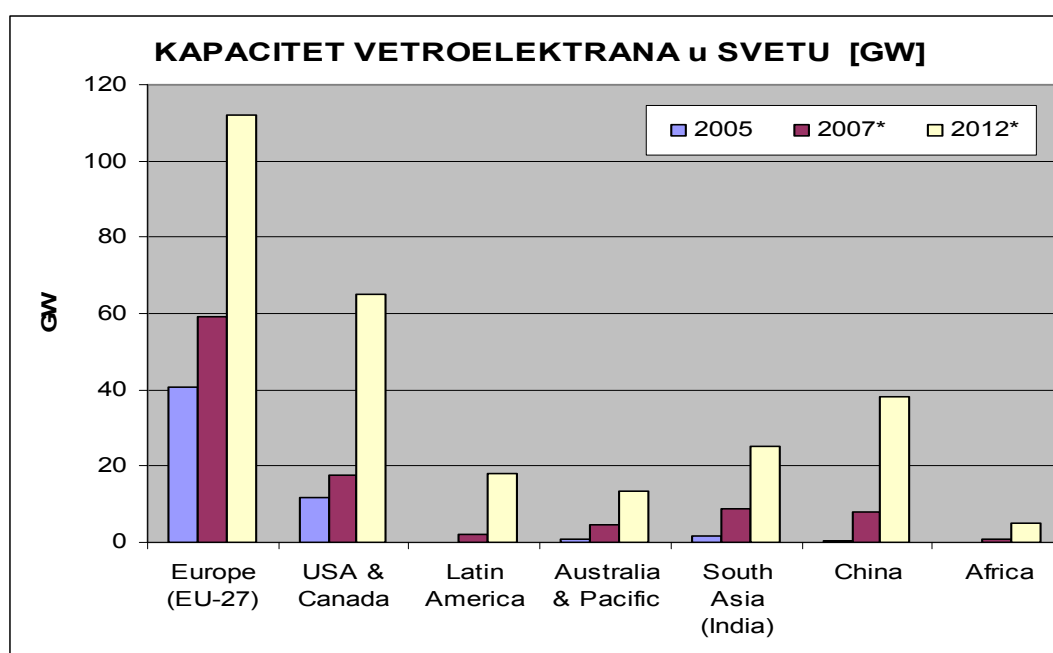
Slika 1.5 – Projekcije rasta instalisane snage vetroelektrana u EU po Evropskoj komisiji (crvena linija) i po udruženju EWEA (plava linija) [22].

Najnoviji planovi razvoja energetike u EU do 2020. god. na bazi odluke šefova zemalja EU na sastanku u Briselu 9. decembra 2008. god. i iskazani u „Climate-energy legislative package“ direktivi o obnovljivim izvorima energije, prikazani su u tabeli 1.1) [23]. Može se uočiti značajan porast udela vetroelektrana sa 14% u 2005 na 35% u 2020., ali i nagli rast kapaciteta solarnih elektrana sa zanemarljivih 0,3% u 2005. na značajnih 13,1% u 2020. god. Ovakav rast korišćenja obnovljivih izvora energije (OIE) u proizvodnji električne energije treba da poveća udeo OIE sa 15,2% u 2005. na čak 40% u 2020. god.

Tabela 1.1 – Doprinos OIE u potrošnji električne energije u EU – projekcija do 2020 prema EU Renewable Energy Directive. [23]

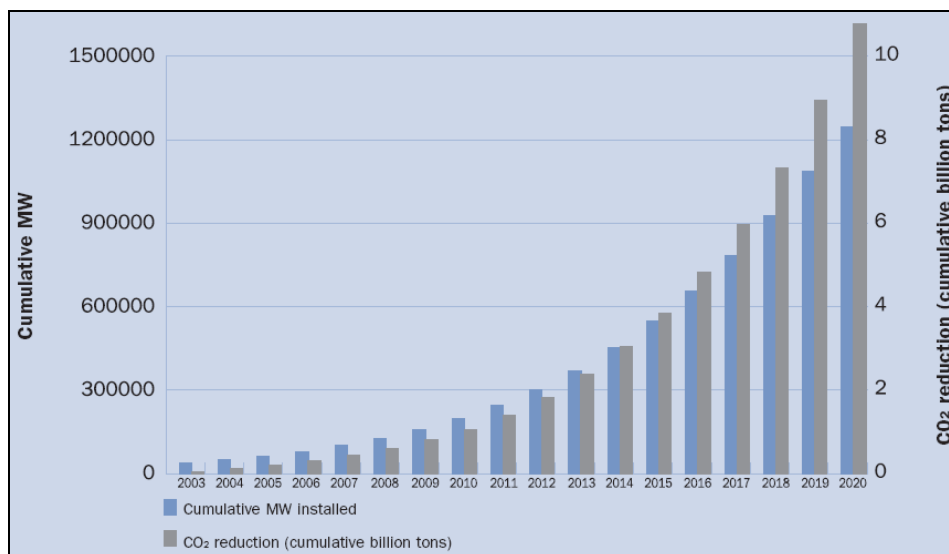
Renewables' contribution to EU electricity consumption up to 2020				
Type of energy	2005 Eurostat TWh	2006 Eurostat TWh	2010 Projections TWh	2020 Targets TWh
Wind	70.5	82	176	477 (34.8%)
Hydro	346.9	357.2	360	384 (28%)
Photovoltaic	1.5	2.5	20	180 (13.1%)
Biomass	80	89.9	135	250 (18.3%)
Geothermal	5.4	5.6	10	31 (2.3%)
Solar thermal elect	-	-	2	43 (3.1%)
Ocean	-	-	1	5 (0.4%)
Total RES	504.3	537.2	704	1370
Total Gross Electricity Generation EU-27	3320.4	3361.5		
(Trends to 2030-baseline)			3568	4078
(Combined RES and EE)				3391
Share of RES	15.20%	16.00%	19.70%	33.6-40.4%

U svetu, takođe se ubrzano podižu kapaciteti za dobijanje električne energije iz energije vetra. Taj rast je eksponencijalnog karaktera i praćen je velikim ulaganjima, kako država tako i privatnih investitora. Na slici 1.6 je predstavljeno trenutno stanje u svetu, kao i projekcija do 2012. god. Može se uočiti nagli razvoj u narednih pet godina kada svetski kapaciteti treba da se utrostruče!



Slika 1.6 - Razvoj kapaciteta vetroelektrana u svetu (*predviđanja) [7].

U daljem periodu, očekuje se nastavak ovakvog trenda. Na slici 1.7. predstavljen je trend porasta instalisane snage vetroelektrana u posljednjih par godina, sa projekcijom do 2020. godine i uticajem na smanjenje emisije CO₂. Vidi se da se značajniji uticaji naha smanjenje emisije CO₂, kao glavnog uzroka globalnog zagrevanja, očekuje tek u narednom periodu, kada kapaciteti vetroelektrana postanu značajniji, a njihova upotreba ustali.

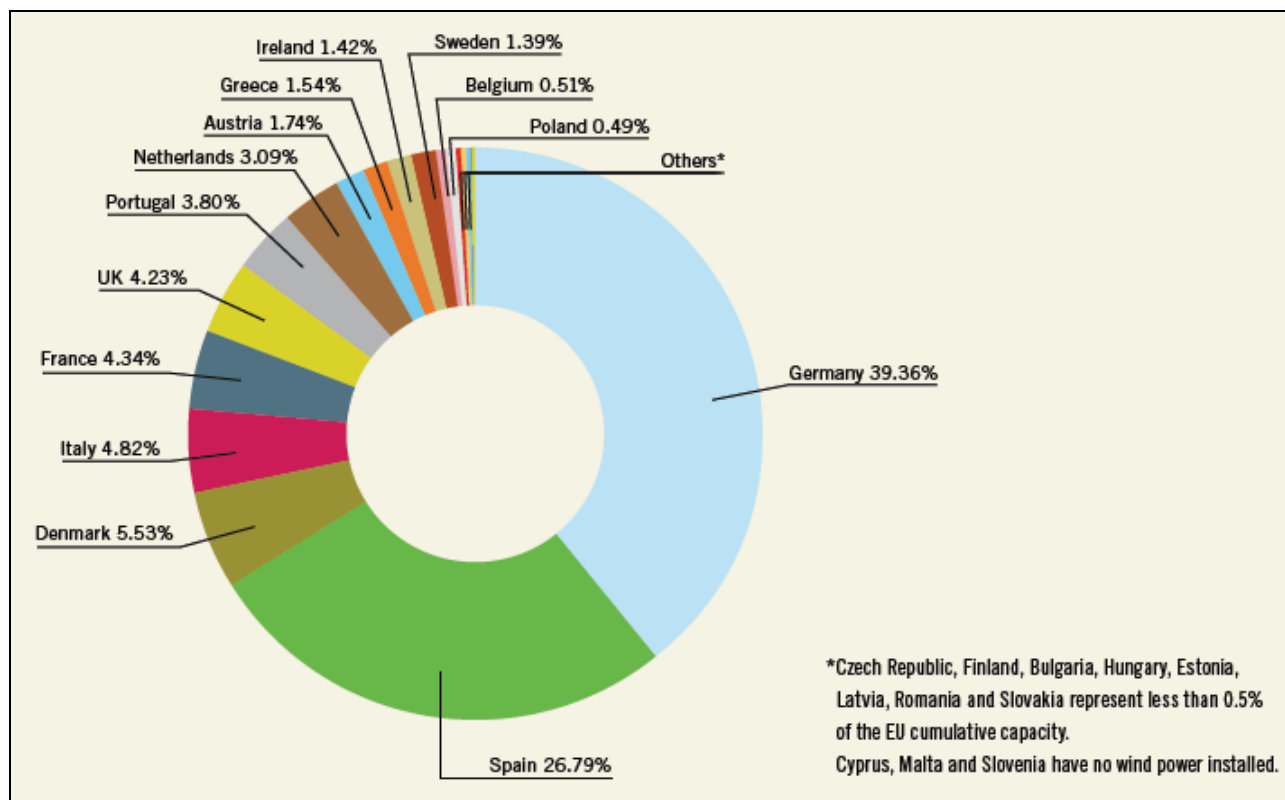


Slika 1.7 - Instalirana snaga vetroelektrana u EU sa projekcijom rasta do 2020. god. i uticaj na smanjenje emisije CO₂ [3].

Stanje instaliranih kapaciteta u Evropi sa podacima sa kraja 2007. god., prikazano je na slici 1.8 i ono iznosi preko 56 GW. Prikaz po zemljama je dat na slici 1.9. Može se uočiti da najviše vetroelektrana (skoro 40%) ima u Nemačkoj, pa u Španiji (27%), a da u ovom pogledu prednjače još i Danska, Italija, Francuska, Velika Britanija, Portugalija, Holandija, Austrija i Grčka. Takođe, vidi se i da u zemljama zapadnog Balkana nema ni jednog instaliranog vetrogeneratora, ali i u nekim zemljama EU (na Kipru, Malti i u Sloveniji).



Slika 1.8 - Instalirani kapaciteti vetroelektrana u Evropi (kraj 2007) [7]



Slika 1.9 - Udeo instalisani kapaciteta vetroelektrana po zemljama (kraj 2007) [7]

U Srbiji, pa tako i u Vojvodini. u ovom trenutku (2008. godina), nema ni jedne ozbiljnije vetroelektrane, koja bi proizvodila električnu energiju iz energije vetra. Međutim, u toku su pripremni radovi za definisanje lokacija, razrade pravnih okvira i preciziranja finansijskih i nefinansijskih uslova realizacija izgradnje vetroelektrana. U tome inicijativu imaju Ministarstvo rudarstva i energetike, Agencija za energetska efikasnost, Pokrajinski sekretarijat za energetiku i mineralne sirovine APV, kao i zainteresovane institucije – Republički hidrometeorološki zavod, SANU, OSCE, Elektroprivreda Srbije, te lokalne samouprave. Pojavljuje se i određen broj privatnih investitora, koji ove radove obavljaju za specifične lokacije.

Izrada ove studije predstavlja jedan korak u uključivanju AP Vojvodine, kao evropske regije, u aktuelne trendove EU, odnosno posavljanje osnovnih pretpostavki intenzivnijem prilivu investicija u cilju instalisanja kapaciteta za korišćenje energije vetra, za koju je u ranijim studijama zaključeno da postoji i to u isplativim iznosima.

Cilj izrade studije je da se analizira mogućnost utvrđivanja ekonomski isplativog potencijala energije vetra i određivanje prostora na teritoriji AP Vojvodine sa najpovoljnijim karakteristikama za izgradnju vetroelektrana.

2. GEOGRAFIJA I KLIMA AP VOJVODINE

2.1. Geografski položaj AP Vojvodine

Autonomna Pokrajina Vojvodina čini severni deo Republike Srbije, države, koja se nalazi u Jugoistočnoj Evropi, odnosno na zapadnom delu Balkanskog poluostrva. Smeštena je na južnom delu Panonskog basena i kao takva predstavlja prirodni most između srednje i zapadne Evrope sa jedne strane, Balkanskog poluostrva i Bliskog istoka sa druge strane (slika 2.1).



Slika 2.1 – Geografski položaj AP Vojvodine.

AP Vojvodina je autonomna pokrajina Republike Srbije i obuhvata teritoriju od 21.506 km² (24,34% Republike Srbije). Po popisu iz 2002. god. Vojvodinu su nastanjivala 2.031.992 stanovnika. AP Vojvodina je članica Saveta evropskih regija pri Parlamentu EU, kao prva, i zasad jedina regija koja je to postala, a da matična država nije u tom trenutku bila član EU ili Saveta Evrope. Takođe, suosnivač je i član Regionalnog saveta euroregije DKMT (Dunav-Kereš-Moriš-Tisa), koga čine Vojvodina i nekoliko županija iz Mađarske i Rumunije, sa ciljem međusobnog

pomaganja u privrednom, kulturnom i ekološkom razvoju, kao i da zajedničkog nastupa na teritoriju EU.

Reke Dunav, Tisa i Sava dele Vojvodinu na tri dela: Banat na istoku, Bačku na zapadu i Srem na jugu (slika 2.2). Sva tri regiona karakteriše raspolaganje visokorodnim obradivim zemljištem, relativno visokim stepenom ekonomskog i kulturnog razvoja, gustom naseljenošću i demografskom raznovršnošću.



Slika 2.2 – Sub-regioni Vojvodine.

Glavni grad Vojvodine je Novi Sad, koji ujedno ima i najveći broj stanovnika (215.659), dok su ostali veći gradovi Vojvodine: Subotica (99.471), Zrenjanin (79.545), Pančevo (76.110), Sombor (50.950), Kikinda (41.825), Sremska Mitrovica (39.041), Vršac (36.001), Ruma (32.125), Bačka Palanka (29.431), Indija (26.244), Vrbas (25.887), Bečej (25.703), Senta (20.363), Kula (19.293), Apatin (19.289) i Temerin (19.143).

2.2. Reljef i klima

Teritoriju Vojvodine, većim delom čini dno nekadašnjeg Panonskog mora. Iz tog razloga reljef Vojvodine je izrazito ravničarski i na niskoj nadmorskoj visini (slika 2.3). Karakterističan je po prostornim uzdignutim stepenastim površinama - lesnim zaravnima, peščarama, lesnim terasama i nižim zemljištem - aluvijalnim ravnima. Javljaju se i niske planine, Fruška gora u severnom delu Srema i Vršačke planine u jugoistočnom Banatu. U južnom Banatu između Tamiša, Dunava i Belockrvanske kotline prostire se Deliblatska peščara. Prema Mađarskoj i na jugu prema Telečkoj

je Subotička peščara. Gudurički vrh (641 m) najviši je vrh u Vojvodini i nalazi se na Vršačkim planinama, dok je Crveni čot (539 m) najviši vrh na Fruškoj gori.

Vojvođanska ravnica spušta se u vidu stepenastih površina do reka. Tokom milenijuma vetar je nanosio prašinu i tako je veliki deo Vojvodine prekriven debelim lesnim naslagama. Na mnogim mestima izdvajaju se u ravničarskom pejsažu lesne zaravni, od kojih su veće Titelski breg i Telečka u Bačkoj, Banatska lesna zaravan, južno od Zrenjanina u Banatu i Sremska, oko Dunava i ispod južnih padinama Fruške gore u Sremu.

Peskom, koji je u novije vreme većim delom „umrtvljen“ sađenjem šuma i drugog rastinja, prekrivene su peščare. Deliblatska peščara (Banatski pesak) u južnom Banatu zahvata površinu od oko 300 kvadratnih kilometara, dok je Subotička peščara manja, a pruža se severno od Subotice i prema istoku do Tise.

Aluvijalne ravni, poznatije kao ritovi, u kojima su reke usekle svoja široka i plitka korita, niže su desetak metara od lesnih terasa - njihova nadmorska visina je od 66 do 85 metara.



Slika 2.3 – Reljef Vojvodine

Pošto je Vojvodina pokrivena lesom, najrasprostranjeniji tipovi zemljišta su černozemni i livadske crnice, a u vlažnim predelima ritske crnice i slatine. Černozemni, koji zahvataju 60% obradivog zemljišta, odlikuju se velikom plodnošću, a na njima, kao i na livadskim crnicama, najveće površine koriste se za pšenicu, kukuruz, šećernu repu, suncokret, soju i drugo industrijsko i krmno bilje.

Na padinama Fruške gore i Vršačkih planina nalaze se listopadne šume, u kojima preovlađuju hrast, lipa, grab i drugo drveće. Na nižim planinskim stranama šume su pretežno iskrčene i tu su pašnjaci, vinogradi i voćnjaci. Na aluvijalnim zemljištima nalaze se vrbove i topolove šume, kao i livade. Na meliorisanim terenima gaje se biljke koje zahtevaju više vlage, kao što su šećerna repa, suncokret, kukuruz, povrće. Na slatinama, koje su najmanje plodne, prostiru se pašnjaci, a na nekim mestima stvoreni su ribnjaci.

Klima Vojvodine je umereno kontinentalna sa izvesnim specifičnostima. U Vojvodini su leta topla i zime hladne, a proleće i jesen traju kratko. Letnje temperature su u proseku između 21°C i 23°C, a zime u proseku oko -2°C. Ekstremne temperature, međutim, mogu biti vrlo velike, pa razlike između najviših i najnižih temperatura nekad su i 70°C i više stepeni.

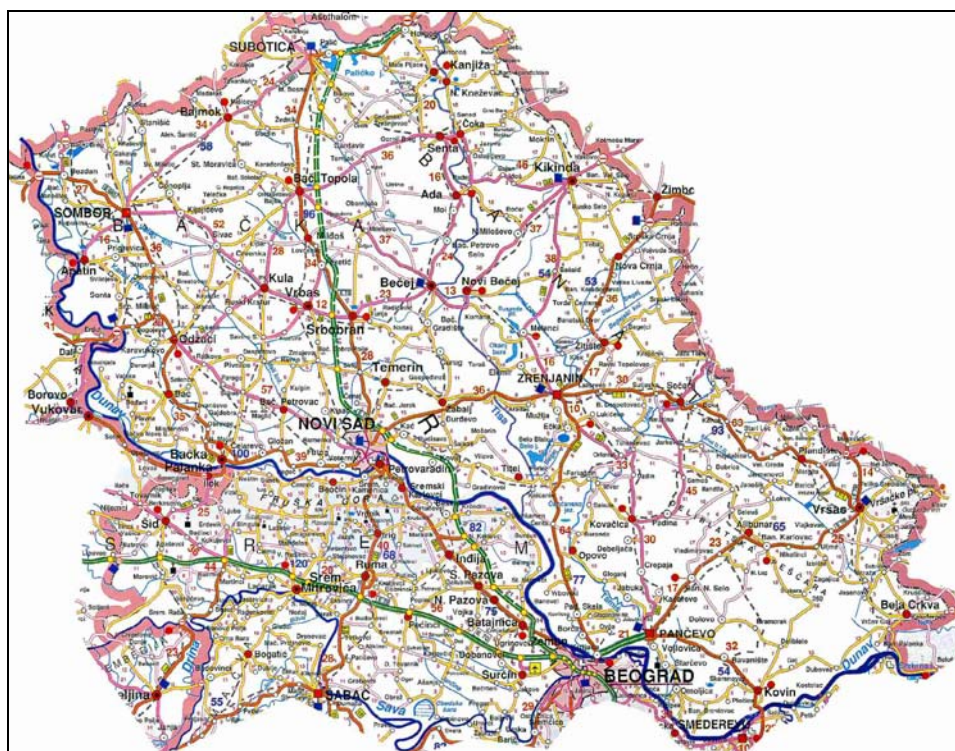
Režim padavina u Vojvodini nosi delom obeležje srednje-evropskog, tj. podunavskog režima raspodele padavina, sa vrlo velikom neravnomernošću raspodele po mesecima. Količina padavina je relativno mala. Srednja godišnja vrednost se kreće od 550 - 600 mm/m², gde se mogu izdvojiti izrazito kišni periodi početkom leta (jun) i periodi bez ili sa malom količinom padavina (oktobar i mart). Leti su moguće kratke letnje oluje sa gradom i obilnim padavinama. Najviše padavina je na Fruškoj gori (više od 750 mm/m² u proseku) i na Vršačkim planinama, zatim u zapadnoj Bačkoj (650 do 750 mm/m²), dok je najmanje kiše na severu i na istoku pokrajine. U toku godine ima prosečno 18 dana kada pada sneg, ali se snežni pokrivač održava relativno kratko (do 30-tak dana).

U Vojvodini duvaju uglavnom četiri vetra. Najsnažniji su "košava", koja nastaje usled vazdušnih strujanja iz južnih delova Rusije prema Sredozemnom moru, dolazi dolinom Dunava i prolazi kroz Đerdapsku klisuru. To je hladan i jak vetar, koji u sebi ima veliki energetski potencijal i može predstavljati dominantni pogon vetroelektrana u Banatu. "Severac" je hladan vetar, koji zimi oštro briše ravnicom, "južni" je topli vetar, dok je "zapadni" najšišći i donosi padavine kišu ili sneg.

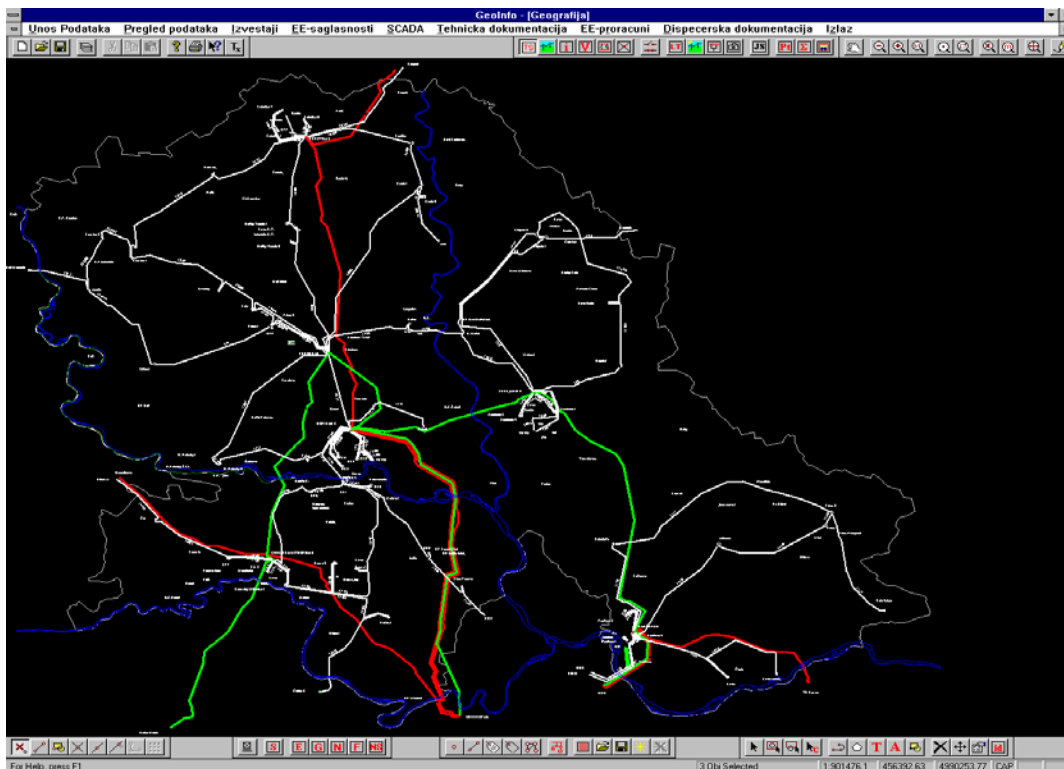
2.3. Saobraćajna i elektroenergetska infrastruktura u Vojvodini

Za iskorišćavanje energije vetra, jedan od važnih faktora je i postojeća putna i željeznička struktura i pristupačnost terena na kom se planira postavljanje vetroelektrana. Takođe važan faktor je i postojanje i pokrivenost teritorije sa srednje i visoko naponskom elektroenergetskom mrežom. U takve infrastrukturne faktore, neophodne za uspešno priključenje vetroelektrana, spada i postojanje odgovarajućih transformatorskih stanica i mogućnost povezivanja na njih.

Teritorija AP Vojvodine je uglavnom ravničaskog karaktera sa razvijenom mrežom puteva i pruga. Dodatna pogodnost je postojanje plovnih puteva i teretnih luka, što omogućuje jeftiniji transport teških i gabaritnih tereta. Na slici 2.4 prikazane su drumske, željezničke i plovne komunikacije u AP Vojvodini, dok je na slici 2.5 predstavljena elektroenergetska mreža visokog napona.



Slika 2.4 – Auto i željeznička karta Vojvodine



Slika 2.5 – Karta elektroenergetske mreže Vojvodine.
(400 kV – crvene linije, 220 kV zelene linije, 110 kV bele linije)

2.4. Teritorijalna organizacija Vojvodine

Kod planiranja postavljanja vetroelektrana, kao velikih elektroenergetskih objekata, potreban je čitav niz dokumenata, dozvola mišljenja, odobrenja, saglasnosti i sl. Mnoge od njih izdaju lokalne samouprave, pa je za investitore važna i organizaciona šema u Vojvodini. Na slici 2.6 predstavljeni su regioni i opštine u AP Vojvodini.



Slika 2.5 - Regioni i opštine u AP Vojvodini

3. ENERGETSKA POLITIKA U SRBIJI

Osnovu energetske politike u Republici Srbiji čini okvir koji je doneo *Zakon o energetici* 2005. god. [1]. Njime su otvorene mogućnosti za demonopolizaciju energetskog sektora, kao i za intenzivno korišćenje obnovljivih izvora električne energije.

Dokument *Strategija dugoročnog razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine* [2], saglasno *Zakonu o energetici*, donosi osnovne ciljeve nove energetske politike, utvrđuje prioritetne pravce razvoja u energetskim sektorima i odobrava program donošenja odgovarajućih instrumenata, kojim se omogućuje realizacija ključnih prioriteta u radu, poslovanju i razvoju celine energetskog sistema (u sektorima proizvodnje i potrošnje energije) Srbije. Osnovna premisa pri izboru ciljeva, utvrđivanju prioriteta i odgovarajućih instrumenata, zasnovana je na političkom opredeljenju zemlje za racionalno usklađivanje razvoja celine energetike sa privredno-ekonomskim razvojem zemlje i njenom uključivanju u evropske integracije. Radi ostvarivanja promovisanih ciljeva energetske politike i realizacije prioriteta strategije, ovim dokumentom se predlaže i dinamika donošenja odgovarajućih instrumenata, kako bi sve ukupne promene u energetskim delatnostima bile ostvarene u saglasnosti sa odgovarajućim političkim, socio-ekonomskim, energetskim i ekološkim opredeljenjima zemlje.

U okviru nove kategorije *Obnovljivi izvori energije*, u koje spadaju biomasa, hidropotencijali malih vodnih tokova (sa objektima do 10 MW), geotermalna energija i energije vetra i sunčevog zračenja, navedeno je da u Srbiji postoje posebne pogodnosti i potrebe za njihovo organizovano korišćenje u tzv. decentralizovanoj proizvodnji toplotne (sagorevanjem biomase i "sakupljanjem" sunčevog zračenja) i električne energije (izgradnjom mini hidroelektrana, snage do 10 MW i vetrogeneratora, pojedinačne snage oko 1 MW), za zadovoljenje potreba lokalnih potrošača, kao i isporuke viškova električne energije lokalnoj mreži u okviru elektroenergetskog sistema Srbije. Procenjeno je da je energetski potencijal ovih obnovljivih izvora veoma značajan i da iznosi iznosi preko 3 M t.en. godišnje.

3.1. Dokumenti Ministarstva rudarstva i energetike

Ratifikacijom Ugovora o osnivanju energetske zajednice, Srbija je, između ostalog, prihvatila obavezu primene direktive 2001/77/EC [4] o promovisanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i direktive 2003/30/EC [6] o promovisanju korišćenja biogoriva i drugih goriva iz obnovljivih izvora energije u sektoru saobraćaja.

Ključne teze, koje se postavljaju u Direktivi 2001/77/EC su da ona definiše obnovljive izvore energije (OIE) kao nacionalni cilj za proizvodnju električne energije, da daje program mera za njihovo dostizanje, garancije o poreklu - za električnu energiju proizvedenu iz OIE (zeleni sertifikati), da pojednostavljuje pravni okvir za izgradnju i eksploataciju postrojenja OIE, da iskazuje obavezu za operatera prenosa i distribucije da preuzimaju i transportuju električnu energiju iz OIE i da definišu uslove i tarife za priključenje na mrežu [4].

Srbija je do sada donela sledeću pravnu regulativu u oblasti obnovljivih izvora energije, kojom su postavljeni ciljevi:

- o Zakon o energetici
- o Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine
- o Program ostvarivanja strategije razvoja energetike Srbije od 2007-2012. godine

Da bi se postavljeni ciljevi ostvarili, neophodno je dopuniti postojeću regulativu sa sledećim podzakonskim aktima, koji će omogućiti realizaciju planova u ovoj oblasti:

- Uredbom o definisanju statusa povlašćenih proizvođača

- Podsticajnim merama za proizvođače, koji imaju status povlašćenih proizvođača (feed-in tarife)

Očekuje se da će ova podzakonska regulativa biti doneta sa sledećim vremenskim planom aktivnosti: Izmene i dopune Zakona o energetici i Uredba o minimalnom udelu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora i kogeneracije do 1. jula 2008.

Najznačajniji dokument, odnosno podzakonski akt koji treba doneti je „Sistem podrške korišćenju OIE (podsticaji)“. Ovaj dokument se očekuje do 1. jula 2009.

Da bi se podstakli investitori i ubrzale pripreme za podizanje vetro-turbina ili vetro parkova, Ministarstvo za rudarstvo i energetiku Republike Srbije donelo je pravnu proceduru za izgradnju vetroelektrana i dobijanje svih potrebnih dozvola, kao i za izdavanje energetske dozvole (izdaje je ovo ministarstvo), koje su objavljene na veb sajtu ministarstva (www.mem.sr.gov.yu).

Od ostalih aktivnosti, vezanih za promociju OIE, treba spomenuti da je Ministarstvo rudarstva i energetike je u januaru 2007. godine potpisalo sporazum sa Vladom Kraljevine Španije o saradnji u oblasti korišćenja energije vetra. U okviru tog projekta su odabrana 3 mesta za jednogodišnja merenja brzine vetra (na visinama od 10, 30 i 50 metara), a po završetku merenja će se za jednu odabranu lokaciju izraditi detaljna studija izvodljivosti za postavljanje vetrogeneratora.

Tokom 2008. godine su potpisani i protokoli o saradnji u realizaciji projekata:

- Vetropark Bavanište (Investitor: Wellbury Wind Energy d.o.o)
- Vetropark Bela Crkva (Investitor: VPBC Vetar)
- Vetropark Dolovo (Investitor: Loger d.o.o)

3.2. Pravci razvoja do 2015.

Globalni ciljevi nove Energetske politike i Strategije razvoja energetike Srbije, promovisani u Zakonu o energetici, proistekli su iz namere da se, u novim okolnostima u zemlji i okruženju, u okviru odabranih Prioritetnih razvojnih aktivnosti u celini energetskog sistema, uspostave kvalitativno novi uslovi rada, poslovanja i razvoja proizvodnih energetskih sektora i sektora potrošnje energije, koji će podsticajno delovati na privredno-ekonomski razvoj zemlje, zaštitu životne sredine i međunarodne integracije, uključujući i brže uključjenje naše zemlje u EU [3].

U tom svetlu, u narednom kratkoročnom periodu, 6 do 7 godina, sigurnost i ekonomičnost snabdevanja privrede i građana električnom i toplotnom energijom, može se obezbediti pre svega sa uspešno sprovedenim programima tehnološke modernizacije proizvodnih objekata za ova dva vida energije, a zatim programima za racionalnu upotrebu energenata i povećanje energetske efikasnosti od proizvodnje do mesta potrošnje, uključujući i programe za intenziviranje selektivnog korišćenja novih obnovljivih izvora energije, kojima Srbija objektivno raspolaže.

Kao logistička podrška ovim instrumentima predviđeno je donošenje specifičnih programa, kao što su Programi Energetske efikasnosti, Novih obnovljivih izvora energije, Zaštite životne sredine, Naučno-istraživačkog i tehnološkog razvoja, Usmerenog obrazovanja i usavršavanja kadrova za postojeće i sasvim nove aktivnosti u energetskim delatnostima, uključujući i uvođenje savremenog Sistema energetske statistike i donošenje dodatne-specifične energetske regulative za obavljanje energetskih delatnosti u novim uslovima, kako u zemlji tako i u okruženju. Navedeni Programi predstavljaju osnovne premise kako za ostvarivanje ciljeva Politike/Strategije razvoja energetike Srbije, tako i za stvaranje ambijenta za dostizanje samoodrživog socio-ekonomskog razvoja zemlje.

Saglasno promovisanim ciljevima energetske politike Srbije i osnovnim premisama za utvrđivanje Strategije razvoja energetike Srbije, odabrano je pet osnovnih Priritetnih programa, koji su raznorodni po programskim sadržajima ali komplementarni sa stanovišta usklađivanja rada i razvoja celine energetskog sistema, tj. energetskih proizvodnih sektora i sektora potrošnje energije i postupnog ali doslednog ostvarivanja promovisanih ciljeva u narednom periodu realizacije ove Strategije.

- **Prvi-osnovni Prioritet kontinuiteta tehnološke modernizacije** postojećih energetske objekata/sistema/izvora, u sektorima: nafte, prirodnog gasa, uglja; sa površinskom i podzemnom eksploatacijom, sektora elektroenergetike; sa proizvodnim objektima: termoelektrane, hidroelektrane i termoelektrane-toplane i prenosnim sistemom odnosno distributivnim sistemima, i sektor toplotne energije-gradske toplane i industrijske energane.
- **Drugi-usmereni Prioritet racionalne upotrebe kvalitetnih energenata** i povećanja energetske efikasnosti u proizvodnji, distribuciji i korišćenju energije kod krajnjih korisnika energetske usluga.
- **Treći-posebni Prioritet korišćenja NOIE** (novih obnovljivih izvora energije) i novih energetske efikasnijih i ekološko prihvatljivih energetske tehnologija i uređaja/opreme za korišćenje energije.
- **Četvrti-opcioni Prioritet za vanredna/urgentna ulaganja u nove elektroenergetske izvore**, sa novim gasnim tehnologijama (kombinovano gasno-parno termoenergetsko postrojenje).
- **Peti-dugoročno razvojni i regionalno strateški Prioritet**, gradnje novih energetske infrastrukturnih objekata i elektroenergetskih i toplotnih izvora u okvirima energetske sektora Srbije, kao i kapitalno-intenzivne energetske infrastrukture, u okvirima regionalnih i panevropskih infrastrukturnih sistema povezanih sa našim sistemima.

Prva tri Prioritetna programa prepoznati su i pre utvrđivanja energetske potreba do 2015. godine, saglasno odabranim scenarijima ekonomskog i industrijskog razvoja Srbije. Oni predstavljaju preduslov ekonomski izvesnom, energetske efikasnom i ekološki prihvatljivom razvoju energetike Srbije u narednom periodu. Sadržaj programa, dinamika realizacije i obim ulaganja u nove elektroenergetske izvore (saglasno četvrtom Prioritetu), odnosno sadržaj programa/projekata, obim ulaganja i dinamika pripreme za gradnju novih energetske infrastrukturnih objekata i novih elektroenergetskih izvora (saglasno petom Prioritetu), uslovljen je dinamikom privredno-ekonomskog razvoja i s tim u vezi obimom i strukturom energetske potreba, kao i ekonomsko-energetskim okolnostima u okruženju, posebno sa stanovišta razvoja regionalnog i panevropskog tržišta električne energije i prirodnog gasa.

3.3. Plan korišćenje obnovljivih izvora

Kako je definisano *Zakonom o energetici*, energetska politika u Srbiji sprovodi se realizacijom Strategije razvoja energetike Republike Srbije, programom ostvarivanja te strategije i energetske bilansom [1]. Takođe, članom 6, predviđeno je da se Program ostvarivanja strategije uradi za teritoriju AP Vojvodine u skladu sa sopstvenim energetske bilansom, a koji čini sastavni deo Programa ostvarivanja Strategije razvoja energetike Republike Srbije.

Nacrtom Programa ostvarivanja Strategije razvoja energetike Republike Srbije predviđeno je u tački 13 izgradnja i korišćenje obnovljivih izvora električne energije, između kojih i energije vetra [3]. Procenjeno je da energetske potencijal obnovljivih izvora energije u Republici Srbiji iznosi preko 3,83 miliona toe godišnje (toe - tona ekvivalentne nafte), od čega se oko 5% (0,19 miliona toe god.) iznosi udeo energije vetra.

U programu su predviđena 3 cilja, koji definišu kreiranje podsticajnog regulatornog okvira za veće korišćenje OIE (obnovljivih izvora energije), donošenje i sprovođenje finansijskih i nefinansijskih mera i aktivnosti radi podsticanja korišćenja OIE. U tom sklopu neke aktivnosti se direktno odnose na energiju vetra, kao aktivnosti u sklopu trećeg cilja: „Utvrdjivanje realnog potencijala energije vetra“, „Formiranje baze podataka i katastra OIE“, „Stvaranje stručnjaka u oblasti OIE“, ali i indirektno „Rad na harmonizaciji domaćih propisa, koji se odnose na oblast OIE sa propisima EU“, „Zakon o poljoprivrednom zemljištu“, „Uredba o povlašćenim proizvođačima električne i toplotne energije i biogoriva“ i dr.

Na kraju, programom je dat plan izgradnje kapaciteta i proizvodnje energije i biogoriva u postrojenjima, koja koriste OIE u kom se predviđa izgradnja prvih vetroelektrana u 2009. godini kapaciteta 2 MW i zatim dalja izgradnja po 8 MW/god. do 2012. god., odnosno ukupno 26 MW.

Ovim planom je zacrtana izgradnja ukupno 87 MW novih kapaciteta do 2012. god. za proizvodnju električne energije iz OIE (26 MW vetroelektrana i 61 MW malih hidroelektrana), što bi doprinelo dobijanju oko 486 GWh/god. od 2012. god. (~110 GWh/god. iz vetra i ~375 GWh/god. iz vode), odnosno činilo oko 0,8% potrošnje električne energije u 2012. god. (ako se pretpostavi godišnji rast potrošnje od 7%/god., tj. sa postojećih oko 40.000 GWh u 2006. god. na oko 60.000 GWh u 2012. god.).

Međutim, u Srbiji postoji ozbiljan, ali neiskorišćen energetska potencijal u energiji vetra. Vetar se po važećim kriterijumima za ekonomičnu eksploataciju, može eksploatirati na površini od oko 500 km². Pri stepenu razvoja tehnologije iz 2002. god., mogu se instalirati vetrogeneratori ukupnog kapaciteta oko 1.300 MW, što je oko 15% ukupnog energetska kapaciteta Srbije. Ovi kapaciteti mogu da proizvode oko 2,3 TWh električne energije godišnje [8].

3.4. Strategija korišćenje obnovljivih izvora u AP Vojvodini

Za teritoriju AP Vojvodine je u skladu sa zakonom donešena „*Strategija razvoja energetike Srbije i programa njenog ostvarivanja u AP Vojvodini (2007. do 2012. godina)*“, kao dokument od velike važnosti za racionalno korišćenje energije i planiranje razvoja u ovoj oblasti [24]. Dokument je napravljen u vidu niza modula, koji pokrivaju sve energetske sektore. Podloge za izradu modula činile su raspoložive baze podataka i planovi razvoja energetska subjekata i preduzeća, studije i drugi dokumenti kojima je obrađivana problematika energetike na teritoriji AP Vojvodine. Program je urađen u skladu sa metodologijom Ministarstva rudarstva i energetike i istovetnom podelom po modulima. Ovaj dokument daje procenu potencijala AP Vojvodine u oblasti energetike, predloge prioriteta u realizaciji programa unapređenja svih energetska sektora i procenu potrebnih investicija.

Oblasti obnovljivih izvora energije posvećen je modul 13 u kom su obrađene svi važni izvori obnovljive energije, koji se mogu koristiti u Vojvodini. Za energiju vetra je navedeno da postoje dobri potencijali i da izvori na bazi ove energije treba da predstavljaju okosnicu razvoja elektroenergetike u ovom periodu. Predviđeno je da se do 2012. godine dostigne proizvodnja, prvenstveno iz vetrogeneratora u iznosu od 10% potrošnje električne energije u AP Vojvodini, što se procenjuje na oko 1200 GWh/god. Na osnovu ovog podatka, procenjeno je da je potrebo podići oko 600 MW vetroelektrana, što je veliki zadatak, s obzirom da u ovom trenutku (kraj 2008. god.) nema instalisanog ni jednog MW ovih izvora.

3.5. Stanje korišćenja energije vetra

U Srbiji, pa tako i u Vojvodini. u ovom trenutku, nema ni jedne ozbiljnije vetroelektrane, koja bi proizvodila električnu energiju iz energije vetra.

Međutim, u toku su pripremni radovi za definisanje lokacija, razrade pravnih okvira i preciziranja finansijskih i nefinansijskih uslova realizacija izgradnje vetroelektrana. U tome inicijativu imaju Ministarstvo rudarstva i energetike, Agencija za energetska efikasnost, kao i zainteresovane institucije – Republički hidrometeorološki zavod, SANU, OSCE, Elektroprivreda Srbije, te lokalne samouprave. Pojavljuje se i određen broj privatnih investitora, koji ove radove obavljaju za specifične lokacije.

U dosadašnjim aktivnostima urađeno je sledeće:

- Realizovane su 5 većih studija i jedna ocena mogućnosti korišćenja energije vetra u Srbiji [8-13] u kojima je procenjen energetska potencijal, ali na bazi rezultata merenja iz hidrometeoroloških stanica u Srbiji.
- Dobijena je ili nabavljena oprema za merenja parametra vetra na visinama 50m i većim.
- urađeno je adekvatno merenje, ali na svega nekoliko lokacija.
- Pripremljena je osnovna pravna regulativa (Zakon o energetici, Strategija razvoja energetike)

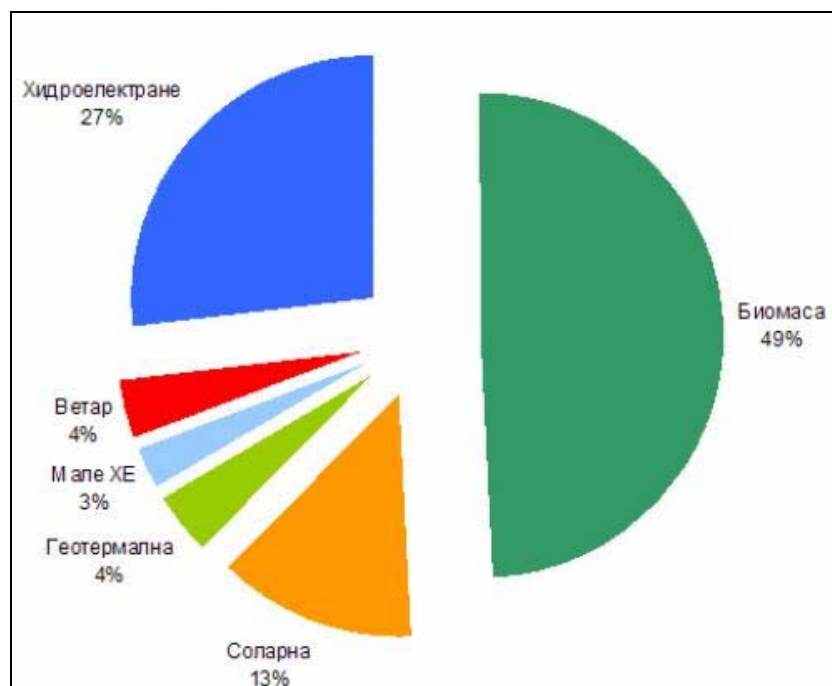
- Osnovana je Agencija za energetska efikasnost pri Ministarstvu rudarstva i energetike, koja treba da vodi aktivnosti oko OIE u Srbiji.
- Donešen je Program ostvarivanja Strategije razvoja energetike Republike Srbije
- U toku je nekoliko naučnih projekata, koji treba da doprinesu jednostavnijem korišćenju i priključenju vetroelektrana u EES Srbije.

Pored toga u AP Vojvodini se organizovano pristupilo procesu instalisanja obnovljivih izvora energije osnivanjem Saveta za obnovljive izvore i njegovim aktivnim radom u saradnji sa Pokrajinskim sekretarijatom za energetiku i mineralne sirovine i stalnom koordinacijom sa aktivnostima Ministarstva za rudarstvo i energetiku RS. Na sednicama saveta se razmenjuju najnoviji podaci o stanju razvoja primene energije vetra, kao i iznose aktuelni problemi, te predlažu praktična rešenja. Kao rezultat ovih aktivnosti, ali i napora i zainteresovanosti potencijalnih investitora, napravljeni su pomaci i izvršen niz pripremnih radova za podizanje prvih turbina. Očekuje se da se po objavljivanju paketa podsticajnih mera za OIE, koji se očekuju do jula 2009. god., krene s intenzivnom izgradnjom vetroelektrana u parkovima do 100MW.

4. ISTRAŽIVANJA ENERGIJE VETRA

Smatra se da Srbija ima potencijal da godišnje iz obnovljivih izvora proizvede 4,89 miliona toe. Ukoliko se ima u vidu da je domaća proizvodnja energije u 2007. godini iznosila 8,79 miliona toe, može se zaključiti da bi Srbija polovinu primarne energije mogla da proizvede iz obnovljivih izvora [20].

Godišnje se iz obnovljivih izvora proizvede 0,86 miliona toe, odnosno iskorišćava se samo 18% od ukupnih potencijala. To se gotovo u potpunosti odnosi na proizvodnju električne energije u velikim hidroelektranama (instalirane snage preko 10 MW). Na slici 4.1 prikazan je potencijal korišćenja obnovljivih izvora energije u Srbiji u procentima. Vidi se da se najviše može očekivati od biomase, hidro i solarne energije.



Slika 4.1 – Učešće mogućnosti korišćenja pojedinih izvora obnovljive energije u Srbiji [20].

Međutim, ako se uzmu u obzir samo oni izvori obnovljive energije, kojima se primarna obnovljiva energija pretvaraju u električnu, a pri tom izuzmu velike hidroelektrane, tada se vidi da je potencijal veoma skučen i da se svodi samo na energiju vetra i malih hidroelektrana. Mada je potencijal solarne energije značajan, ekonomski faktori za sada nisu povoljni.

4.1. Potencijal energije vetra

Prethodnim istraživanjima [8-12] pokazano je da u Republici Srbiji postoje pogodne lokacije za izgradnju vetrogeneratora, na kojima bi se u perspektivi moglo instalirati oko 1.300 MW vetrogeneratorskih proizvodnih kapaciteta i godišnje proizvesti oko 2.300 GWh električne energije. Najpogodnije lokacije za korišćenje energije vetra su:

1. Panonska nizija, severno od Dunava i Save. Ova oblast pokriva oko 2000 km² i pogodna je za izgradnju vetrogeneratora jer je izgrađena putna infrastruktura, postoji električna mreža, blizina velikih centara potrošnje električne energije i slično.
2. Istočni delovi Srbije - Stara Planina, Vlasina, Ozren, Rtanj, Deli Jovan, Crni Vrh itd. U ovim regionima postoje lokacije čija je srednja brzina vetra preko 6 m/s. Ova oblast prostorno

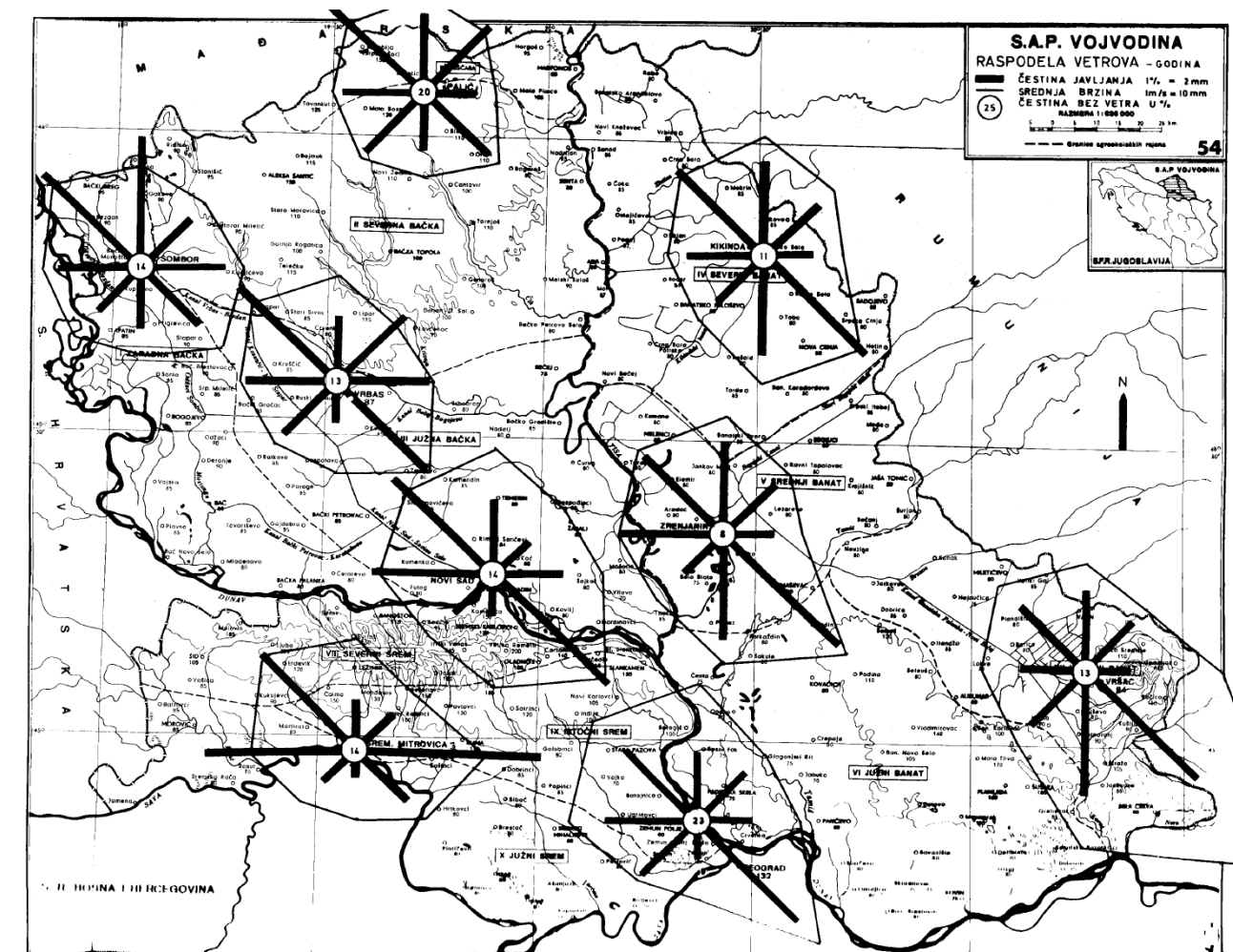
pokriva oko 2000 km² i u njoj bi se perspektivno moglo izgraditi značajne instalisane snage vetrogeneratora.

3. Zlatibor, Kopaonik, Divčibare su planinske oblasti gde bi se merenjem mogle utvrditi pogodne mikrolokacije za izgradnju vetrogeneratora. Očekuje se da se ovoj oblasti takođe mogu instalirati veći kapaciteti vetrogeneratora.

4.2. Izučavanje vetra u AP Vojvodini i Srbiji

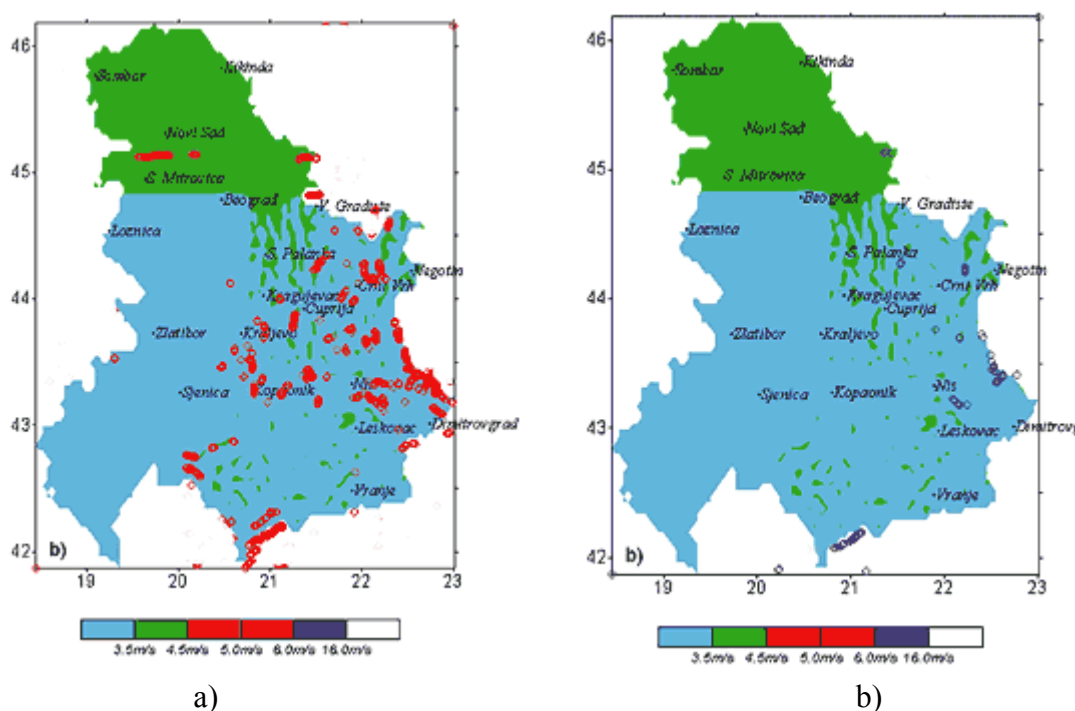
Do gornjih pokazatelja došlo se nakon niza studija i projekata, koji se u poslednjih 10-tak godina urađena u Srbiji i Vojvodini. Ovde će biti samo ukratko naveden pregled najvažnijih rezultata ovih istraživanja, koji su javno dostupni preko Interneta ili izloženi/publikovani na stručnim i naučnim konferencijama.

Merenje parametara vetra se sistematski sprovodi preko mreže meteoroloških stanica više od 50 godina. Međutim, tačnost merenja u ranijim periodima nije uvek adekvatna današnjim standardima, a deo zapisa nije dostupan zbog neadekvatnog čuvanja ili drugih razloga. Jedna od retkih publikacija, gde su sumirani i obrađeni dugogodišnji rezultati merenja vetra je „Klima AP Vojvodine“, čiji cilj nije bilo istraživanje povoljnih lokacija za postavljanje vetrogeneratora, već prikaz karakterističnih parametara klime u AP Vojvodini. U atlasu „Klima karte SAP Vojvodine“, koja predstavlja prilog publikaciji „Klima SAP Vojvodine“ dat je prikaz godišnji prikaz raspodele vetrova [17]. Prikaz je urađen i po godišnjim dobima, kao i po drugim parametrima i daje pregledne podatke o čestini javljanja, srednjoj brzini i broju dana bez vetra (slika 4.2).



Slika 4.2 – Prikaz raspodele vetrova (godišnji) na 10m [17].

Studija, koja je rađena za potrebe Elektroprivrede Srbije (EPS) 2002. godine, imala je za cilj da se utvrdi energetska potencijal energije vetra u Srbiji [8]. To je bila prva ovakva studija u Srbiji. U svrhu analize napravljen je numerički model, kojim se rekonstruisalo polje vetra. Korišćen je numerički trodimenzionalni nehidrostatički klimatski mezo model, koji je potvrđen i u našim uslovima. Pri formiranju modela korišćeni su rezultati merenja iz 20 meteoroloških stanica u periodu 1991-2000. godine. Obraden je izuzetno veliki broj merenja sa značajnom kompletiranošću po godinama. Rezultati su dali detaljne proračune mogućih kapaciteta i lokacija vetroelektrana i pokazali da u Srbiji postoji značajan potencijal u energiji vetra. Na slici 4.3 predstavljeni su neki rezultati iz ove studije, koji su ukazali na najpogodnije lokacije u Srbiji za postavljanje vetroelektrana. Ako se posmatraju rezultati, vezano za teritoriju AP Vojvodine, može se primetiti da su uzeti u obzir rezultati merenja brzine vetra u samo 4 meteorološke stanice (Sombor, Kikinda, Novi Sad – R.Šančevi i Sr. Mitrovica). Nedostatak stanica u centralnom i južnom Banatu, u oblasti gde je najintenzivniji vetar, delimično ograničava preciznost rezultata, mada ne toliko opšte zaključke i proračune.

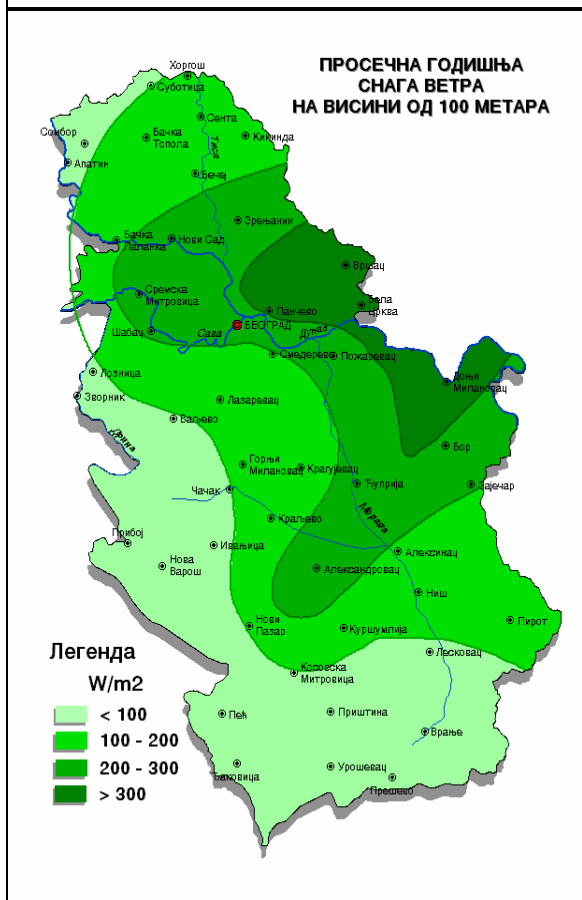
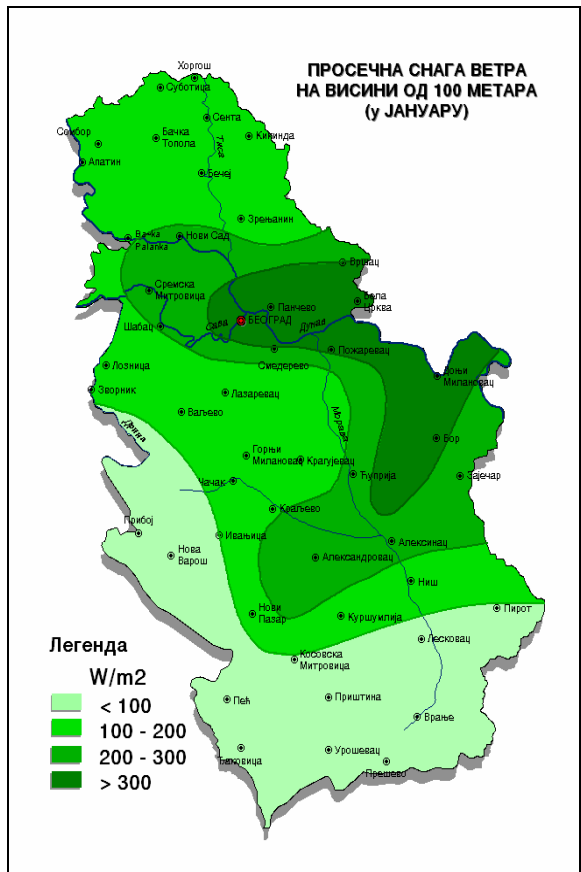
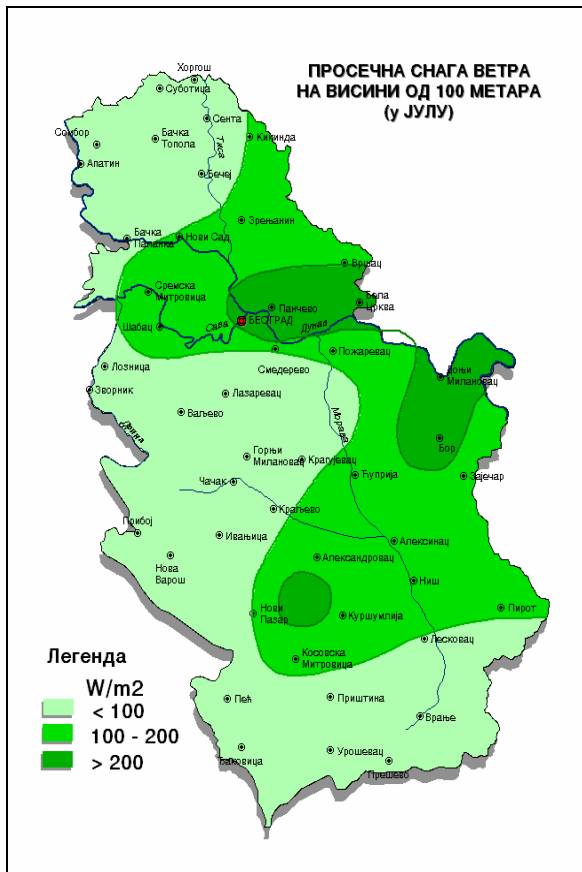


Slika 4.3 – Karta lokacija u Srbiji sa godišnjim srednjim brzinama vetra:
 a) od 5 do 6 m/s i b) većim od 6 m/s, određeni na bazi 10-min srednjih brzina na visini od 50 m iznad tla [8]

Projekat urađen u sklopu Nacionalnog programa energetske efikasnosti Ministarstva nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije - Studija EE704-1052A iz 2005. god. dao je mape vetroenergetskog potencijala Srbije (slika 4.4) [25]. Mape su generisane korišćenjem metodologije Evropskog atlasa vetrova i standardnih meteoeroloskih podataka za period 1971 – 1990 [9,10,25] i predstavlja korak dalje u kvalitetu ulaznih podataka i načinu softverske obrade.

Na slici 4.4 prikazani su rezultati dobijeni za vrednosti prosečne godišnje gustine snage vetra na visini od 100m od tla. Vidi se da se mape nešto razlikuju od rezultata iz 2002. god. (slika 4.3), odnosno da se planianske oblasti u istočnoj Srbiji, sad ne pojavljuju, kao oblasti sa intenzivnim vetrom.

S druge strane, vetrovi u Vojvodini su detaljnije prikazani. Međutim, uočavaju se neke nelogičnosti u prikazima, koje umanjuju poverenje u rezultate. Na primer, za oblast oko Zrenjanina je prikazano da je u zoni 100-200 W/m² u doba najslabijih i najintenzivnijih vetrova, odnosno za jun i januar (slika 4.4, gore), ali je u godišnjem prikazu u zoni veće gustine snage – 200-300 W/m² (slika 4.4, dole). To ukazuje da je potrebno detaljnije obraditi vetrove na teritorije AP Vojvodine.



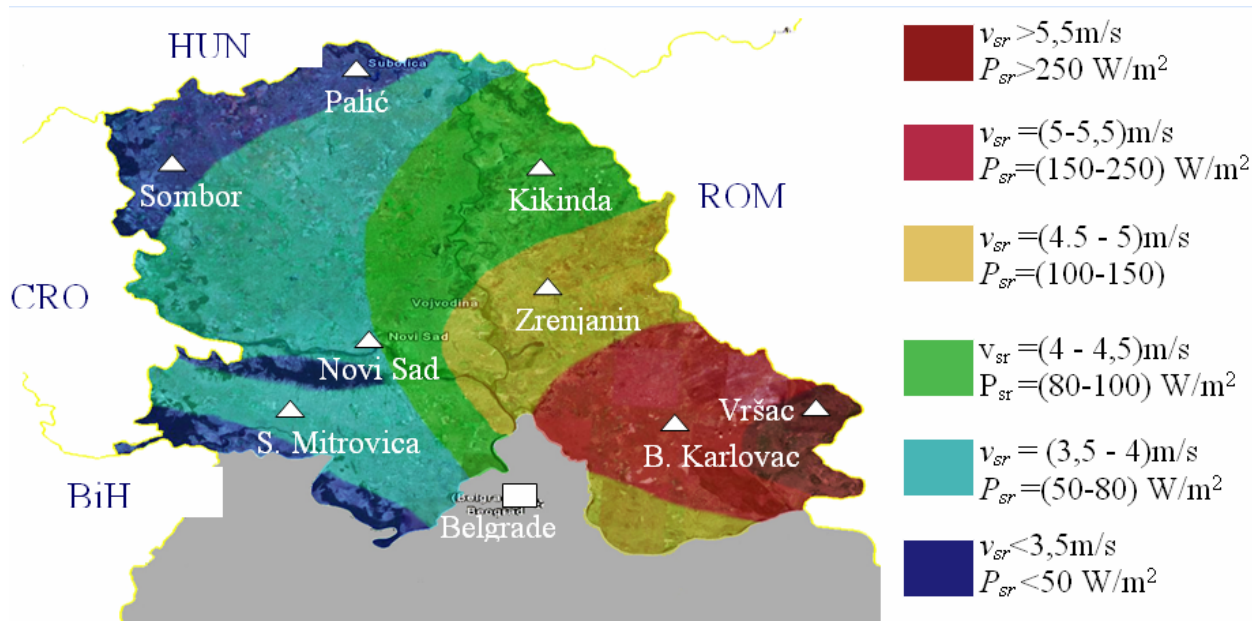
Slika 4.4 - Prikaz energetskeg potencijala vetra Srbije na visini 100m u W/m² [25].

Poslednjih godina istraživanja se koncentrišu na teritoriju Vojvodine i istočne Srbije. Niz mernih stubova je postavljen tokom 2006. i 2007. godine sa ciljem da se izmere brzina, pravac i ostali parametri na specifičnim lokacijama. Na slici 4.5 prikazane su lokcije na kojima je najintezivnije merenje [18].



Slika 4.5 - Mesta gde se sprovode merenja brzine vetra u 2008. god. [18]

Rezultati merenja na pojedinim lokacijama su podstakli investitore ili pojedine privatne organizacije, koje se bave poslovima vetro energetike, da povećaju pritisak ka kvalitetnijim podacima o energetskom potencijalu vetra u Vojvodini. Korišćenjem WAsP programa i uz saradnju sa stručnjacima sa Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, napravljen je niz istraživanja uz korišćenje raspoloživih podataka. Rezultati su prikazani u nekoliko publikovanih radova, od kojih je najdetaljniji [19] - raspored brzine i srednje snage vetrova iz ovog rada dat je na slici 4.6.



Slika 4.6 - Prikaz brzine i energetskog potencijala vetra na visini 50m u W/m^2 [19].

4.3. Korišćenje energije vetra u Vojvodini

Rezultati ranijih studija [8] pokazuju da je teritorija Vojvodine u zoni gde je brzina vetra od 3,5 – 4,5 m/s. Na pojedinim mestima (Fruška gora, Vršački breg, južni Banat) brzina vetra je od 4,5 – 6 m/s, a na Vršačkom bregu su definisane dve lokacije sa brzinama preko 6 m/s. Sa savremenim tehnologijama vetroturbina, koje omogućuju isplativi rad i pri manjim brzinama, već iznad 3m/s, moguće je postaviti veće kapacitete, pa se može reći da je potencijal značajan.

Trenutna potrošnja električne energije u APV je blizu 10.000 GWh godišnje, dok je prema [13] godišnji potencijal gustine energije vetra na 80 m od oko 1700 kWh/m² god. u zoni sa brzinama 3,5-4,5 m/s do oko 4300 kWh/m² god. u zoni sa brzinom oko 6 m/s. Radi dobijanja detaljnije projekcije mogućnosti proizvodnje električne energije iz energije vetra, potrebno je uraditi odgovarajuća merenja i projekte, tj. odgovarajuću studiju.

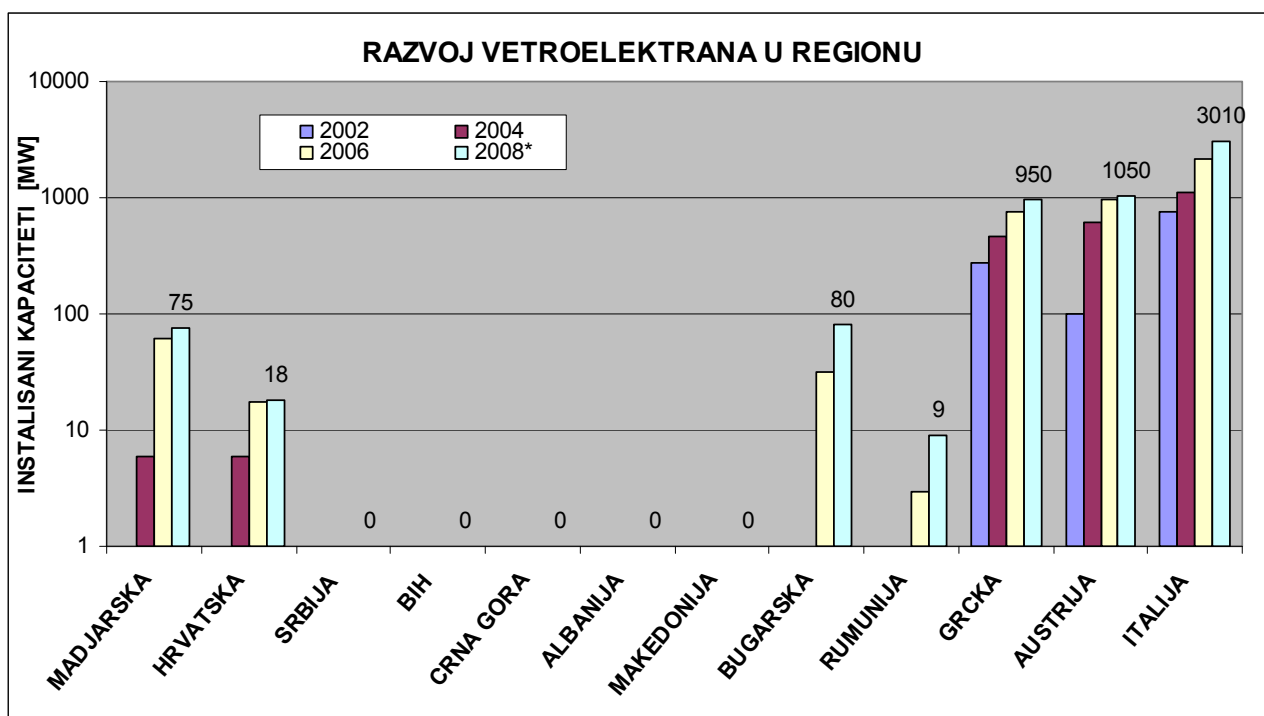
Strani i lokalni investitori počeli su pripremne radnje za podizanje više vetroelektrana na nekoliko lokacija u Vojvodini. Agencija za energetske efikasnost Srbije je u julu 2007. god. godine u opštini Titel, u blizini Šajkaša i Đurđeva, postavila prvi stub za merenje potencijala vetra. Drugi i treći stub za merenje potencijala vetra su u opštinama Veliko Gradište i Negotin. Visina mernih stubova je 50 metara, a njihovo podizanje omogućuje jednogodišnji program merenja parametara vetra (brzina, pravac, frekvencija i jačina udara) na odabranim lokacijama posle čega će biti izrađena studije opravdanosti. Nakon završetka merenja, koje se predviđa u drugoj polovini 2008. godine, precizno će se odrediti lokacija na kojoj bi mogla da se proizvede najveća količina energije kako bi tu bila izgrađena prva farma vetrenjača. Skoro je izvesno da će ona biti na nekoj lokaciji u priobalju Dunava, koje je poznato po jakim udarima košave i velikom broju vetrovitih dana u godini. Procenjuje se da će prva srpska, odnosno vojvođanska farma vetrenjača imati kapacitet oko 20 MW, a njena izgradnja će, prema preliminarnim proračunima, koštati oko 16 miliona evra. Ekološki značaj korišćenja energije vetra je ogroman i zbog izbegavanja emisije ugljendioksida. Izgradnjom vetrenjača, Srbija neće emitovati oko 100.000 tona ugljendioksida, koji će moći da izveze na tzv. „tržište CO₂ (tona ugljendioksida košta u proseku oko 20 evra, sa tendencijom daljeg povećanja cene).

U Vojvodini postoji razvijena industrija proizvodnje delova za vetroelektrane. U Subotici je veoma aktivna firma „Flender-Loher“ sa 100% stranim kapitalom, koja se bavi proizvodnjom generatora za vetroelektrane i koja je jedna od najvećih u regionu. I za ostale delove elektro-sklopa postoje značajna industrijska preduzeća, koja mogu učestvovati u izradi ovih delova, kao što su „Novkabel“, „Južna Bačka“ i dr.

4.4. Stanje u odnosu na druge države u regionu

U ovom trenutku značajni kapaciteti su instalisani u Mađarskoj, Hrvatskoj, Rumuniji i Bugarskoj, a zemlje šireg regiona - obližnja Grčka, Austrija, Italija i dr. su i predvodnice u korišćenju energije vetra. Sa slike 4.7 se vidi da u zemljama zapadnog Balkana (Srbija, BiH, Crna Gora, Makedonija i Albanija) u ovom trenutku (kraj 2008. god.) nema ni jedne instalisane vetroelektrane, mada su početne aktivnosti u punom jeku.

Međutim, treba primetiti da se situacija brzo menja, što pokazuje i situacija u regionu od pre par godina (2002. god.) i trend razvoja do 2008. god. Treba uočiti da su u Mađarskoj, Bugarskoj, Hrvatskoj ili Austriji povećani instalisani kapaciteti za više od 10 puta, dok se na zapadnom Balkanu apsolutno ništa nije promenilo.



Slika 4.7 - Instalirani kapaciteti vetroelektrana u regionu od 2002 – 2008. god. [7] *(2008. – procena).

5. ENERGIJA VETRA

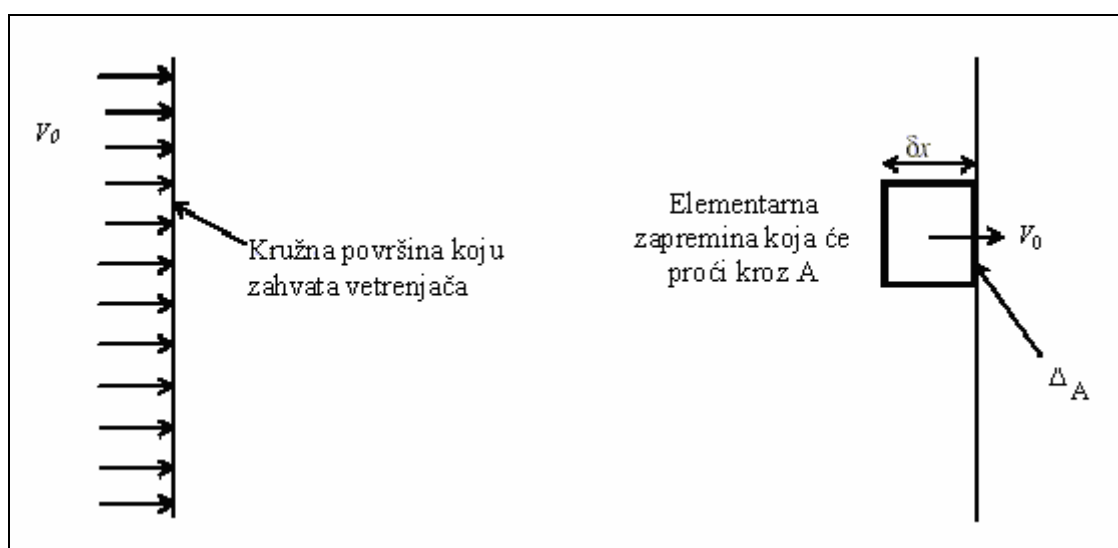
U cilju iskorišćenja energije vetra potrebno je odrediti mikro lokaciju, tj. mesto na kome vetar ima najviše raspoložive energije i na kom će vetroenergetski sistem najviše te energije prevesti u upotrebljiv oblik. S obzirom da tehnički uslovi omogućuju korišćenje vetra na visini do 150m od tla, problem određivanja mikro lokacije je veći zbog izražene turbulencije i pratećih efekata.

Da bi se počelo sa eksploatacijom energije vetra potrebno je proceniti najbolje lokacije za postavljanje vetrenjača. Normalno, lokacije će biti na mestima sa najkvalitetnijim vetrom u smislu njegove brzine odnosno snage i čestine. Takva mesta nije jednostavno odrediti. Potrebno je vršiti brojna merenja i proračune. Kako idealna merenja pa i merenja karakteristika vetra nisu moguća, to se vrlo malo karakteristika može predstaviti tačnim fizičkim zakonima, pa se za njihovo određivanje koriste empirijske i statističke metode.

U daljem izlaganju prikazaću kako izgledaju neki proračuni za ocenu kvaliteta vetra. Pokazaću kako se izračunava energija vetra, od čega zavisi, kao i prateće pojave koje utiču na ukupno iskorišćenje energije vetra (zavisnost od gustine vazduha, visine stuba, turbulencije itd.).

5.1. Energetski sadržaj vetra

Osnovni cilj vetroturbine je pretvaranje kinetičke energije vetra u mehaničku energiju, pa u sledećoj transformaciji u električnu. Iz tog razloga bitan parametar je količinu korisne energije vetra. Neka vetar duva s leva na desno brzinom v_0 , kao što je pokazano na slici 3.11. Radi uprošćenja neka je vetar stalan, tj. Neka su pravac i brzina vetra konstantni. Vazduh je konstantne gustine ρ . Na temperaturi 20°C gustina na nultoj nadmorskoj visini je oko $1,2\text{ kg/m}^3$ i ovu vrednost se može koristiti u većini slučajeva. Većina savremenih vetrenjača su sa horizontalnom osom rotacije, koja je paralelna ili skoro paralelna sa pravcem vetra. Ako je prečnik kruga koji opisuju elise R , tada je površina koju zahvata vetrenjača: $A = \pi R^2$.



Slika 5.1 - Energetski tok kroz površinu rotora.

Sada se može odrediti količinu kinetičke energije vetra, koja prolazi kroz površinu zahvatanja u jedinici vremena, što predstavlja snagu koja je bitna kod projektovanja vetrenjača.

Na desnoj strani slike 3.11 prikazana je elementarna zapremina vazduha, koja će proći kroz zamišljenu površinu A (površinu rotora). Elementarna zapremina je proizvod površine, ΔA , i dužine normalne na nju, δx , tako da je njena masa $\rho \Delta A \delta x$, pa je kinetička energija:

$$E_k = \frac{1}{2} \rho \Delta A \delta x v_0^2 \quad (5.1)$$

Vreme prolaska elementa kroz površinu A je δt , pa je $\delta x = v_0 \delta t$. Promena kinetičke energije koju unosi element za vreme δt je:

$$\delta(\Delta E_k) = \frac{1}{2} \rho \Delta A v_0 \delta t v_0^2 \quad (5.2)$$

Sumiranjem svih elemenata po površi A dobija se ukupna promena kinetičke energije kroz površ A ,

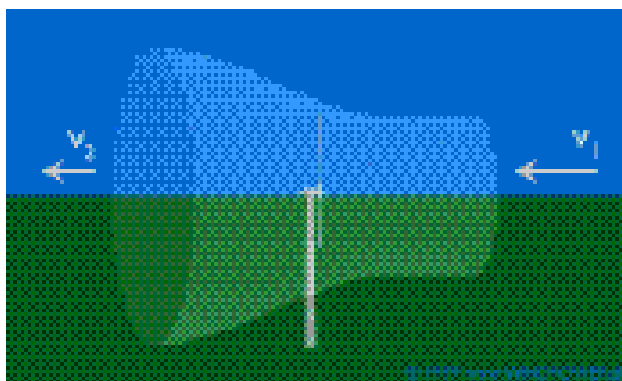
$$\delta E_k = \frac{1}{2} \rho A v_0^3 \delta t \quad (5.3)$$

Kada δt teži nuli dobija se:

$$dE_k / dt = W_w = \frac{1}{2} \rho A v_0^3 \quad (5.4)$$

gde je snaga vetra W_w , promena kinetičke energije u vremenu. Ova jednačina je izuzetno važna, jer pokazuje da snaga zavisi od kuba brzine vetra.

Kada bi se vazduh iza turbine zaustavio tada bi turbina preuzela svu energiju tj. snagu vetra. Međutim, vazduh ima neku brzinu pri izlasku, energija se delimično gubi na trenje te turbina iskorišćava samo jedan deo te energije, u najboljem slučaju razliku kinetičkih energija ispred i iza turbine.



Slika 5.2 - Brzina vetra kod turbine

Dobijena snaga je u stvari:

$$W = \frac{1}{2} c_p \rho A v_0^3 \quad (5.5)$$

gde je c_p koeficijent snage koji zavisi od brzine i turbulencije. Teorijska vrednost koeficijenta snage za idealnu turbinu je 0,593 i to je Betz-ova granična vrednost.

Treba primetiti da se deljenjem snage sa površinom rotora, dobija izraz koji ne zavisi od veličine rotora:

$$W_w / A = WPD = \frac{1}{2} \rho v_0^3 \quad (5.6)$$

Dakle, W_w/A zavisi samo od gustine vazduha i brzine vetra. Količnik snage i površine rotora W_w/A naziva se gustina snage vetra **WDP (Wind Power Density)** i dat je u W/m^2 .

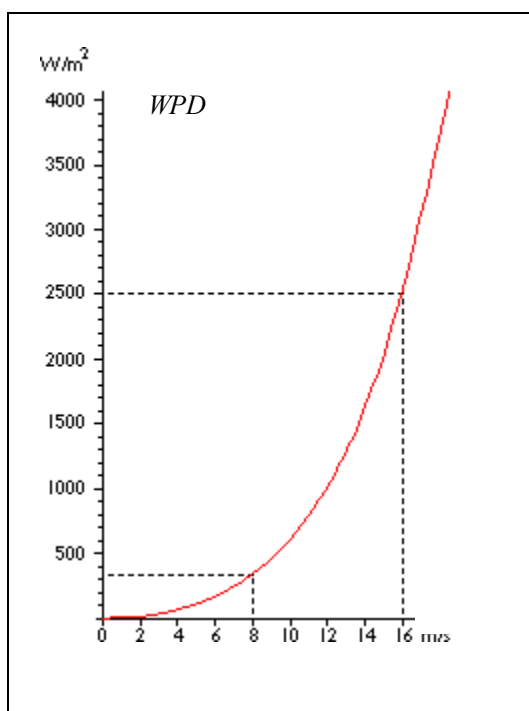
Kao što je pokazano u (5.6), gustina snage vetra (*WPD*) je direktno srazmerna gustini vazduha ρ , koja je definisana kao

$$\rho = m / V \quad (5.7)$$

Kinetička energija pokretnih tela srazmerna je njihovoj masi (težini). Kinetička energija vetra zavisi od gustine vazduha, tj. mase u jedinici zapremine. Drugim rečima, što je vazduh "teži", turbina dobija više energije.

Na normalnom atmosferskom pritisku i na 15°C gustina vazduha je 1,225 kg/m³, s tim da ona neznatno opada sa povećanjem vlažnosti. Takođe, što je temperatura niža to je vazduh gušći. Na većim visinama, u planinama, vazdušni pritisak je manji, pa je gustina vazduha manja.

Brzina vetra je izuzetno važna za količinu energije koju vetrenjača može pretvoriti u električnu energiju. Energetski sadržaj vetra varira sa kubom prosečne brzine vetra, npr. ako je brzina vetra dva puta veća to i sadrži 2³, tj. osam puta više enerije.



Slika 5.3 - Zavisnost WDP od brzine vetra

Slika 5.3 pokazuje da pri brzini vetra od 8m/s dobijamo snagu (energija u sekundi) od oko 315W/m² pod pretpostavkom da vetar dolazi iz pravca koji je normlan na površinu rotora. Tabela 5.1 predstavlja tabelarni prikaz slike 5.3 i data je za gustinu vazduha od 1,225 kg/m³, koja odgovra suvom vazduhu pri normalnom atmosferskom pritisku na nultoj nadmorskoj visini i temperatururi od 15° C.

Tabela 5.1 - Vrednosti WPD za različite brzine vetra.

m/s	W/m ²	m/s	W/m ²	m/s	W/m ²
0	0	8	313,6	16	2508,8
1	0,6	9	446,5	17	3009,2
2	4,9	10	612,5	18	3572,1
3	16,5	11	815,2	19	4201,1
4	39,2	12	1058,4	20	4900,0

5	76,2	13	1345,7	21	5672,4
6	132,3	14	1680,7	22	6521,9
7	210,1	15	2067,2	23	7452,3

5.2. Gustina snage vetra (Wind Power Density)

U izrazu (5.6), pretpostavljeno je da vetar duva konstantnom brzinom v_0 . U stvarnosti, varijacije brzine vetra zahtevaju složenije izračunavanje prave vrednosti. Da bi se dobila što preciznija procena gustine snage vetra, mora se izvršiti sumiranje niza podataka izmerenih u vremenu, kao što sledi.

$$WPD = 0.5 \cdot \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n (\rho_j v_j^3) \quad (5.8)$$

gde je n broj očitavanja brzine vetra a ρ_j i v_j su j -ta očitavanja gustine vazduha i brzine vetra.

Kako se gustina vazduha ρ i brzina vetra v menjaju pri svakom očitavanju, najprecizniji rezultat bi zahtevao računanje pri svakom očitavanju. Na primer, da bi izračunali najtačniju vrednost za WPD na datoj lokaciji za celu godinu, potrebno je izvršiti izračunavanje za ρ i v 105120 puta (što odgovara očitavanju na 5 min).

Međutim postoje dva načina za dobijanje prihvatljivih proračuna za WPD bez svih gore pomenutih izračunavanja:

Jedna mogućnost je da se za izračunavanje WPD koriste rezultati iz raspodele verovatnoće brzine vetra (histogram – tabela čestine vetra uzeta iz meteoroloških stanica). Koristeći takvu raspodelu, može se uraditi sledeće sumiranje:

$$WPD = 0.5 \cdot \sum_{j=1}^n [\rho \cdot (\text{usrednjena } v^3 \text{ iz klase } j) \cdot (\text{čestina u klasi } j)] \quad (5.9)$$

Za to je potrebno raspolagati gotovim podacima iz meteoroloških stanica i izvršiti niz računanja. U praksi, takvo računanje nije uvek lako izvesti ili podaci nisu raspoloživi u pogodnom obliku (obično su rezultati merenja vetra dati u analognom obliku), pa se traže jednostavnija rešenja.

Jednostavnija metoda, kojom se može adekvatno proceniti WPD na određenoj lokaciji, je ako se pretpostavi raspodela brzine vetra u dijagramu frekvencije pojavljivanja vetra. U tom slučaju WPD se može aproksimirati na sledeći način:

$$WPD = 0.5 \cdot K \cdot \rho \cdot (\text{srednja brzina})^3 \quad (5.10)$$

gde je K vrednost određena oblikom krive raspodele za datu brzinu vetra.

Na raspolaganju su različite funkcije raspodele, koje su više ili manje pogodne za ovakvu aplikaciju [13]. Za procenu WDP pokazala se najpogodnija Weibulova raspodela. Na osnovu poznavanja srednje brzine vetra i visinske razlike (procenjene gustine vazduha), i mogu se dobiti prihvatljive procene gustine snage vetra WPD na datoj lokaciji. Više detalja o ovom postupku je dato je kasnije u tekstu.

5.3. Određivanje “klasa vetra”

Geografska područja su često opisana rangiranjem po “klasama vetra”, pre nego po gustini snage vetra WPD ili po srednjim brzinama vetra. Tabela 5.2 pokazuje opsege za gustinu snage vetra

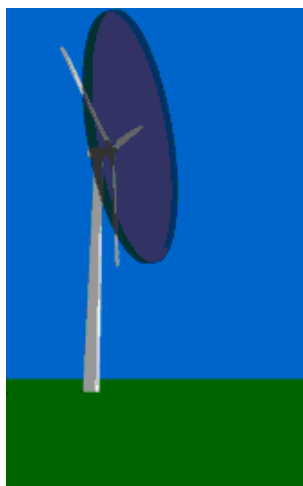
WPD, kojima su pridružene klase, na visini 10m¹ od površine tla i na visini od 50m². Treba primetiti da tabela takođe daje opsege srednje brzine vetra za svaku klasu. Ove klase se obeležavaju i bojama, što se koristi za vizuelno prikazivanje u tkzv. mapama vetrova.

Tabela 5.2 - Klase snage vetrova (Wind Power Classes)

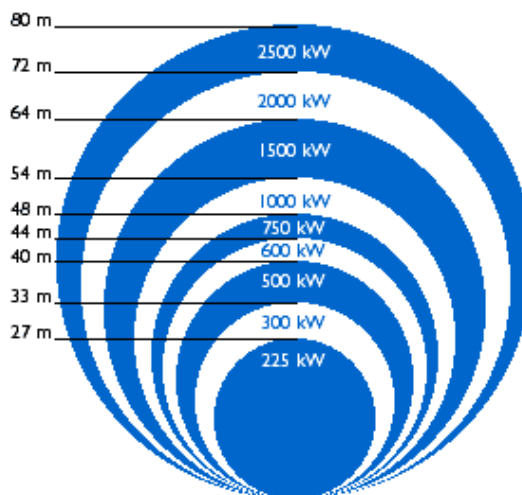
Wind Power Class	10(m)		50(m)	
	Wind Power Density (W/m ²)	Mean Speed (m/s)	Wind Power Density (W/m ²)	Mean Speed (m/s)
1	<100	<4.4	<200	<5.6
2	100-150	4.4-5.1	200-300	5.6-6.4
3	150-200	5.1-5.6	300-400	6.4-7.0
4	200-250	5.6-6.0	400-500	7.0-7.5
5	250-300	6.0-6.4	500-600	7.5-8.0
6	300-400	6.4-7.0	600-700	8.0-8.8
7	>400	>7.0	>800	>8.8

5.4. Energetski potencijal vetra

Količina energije koju vetar donosi na elise rotora zavisi od gustine vazduha i brzine vetra i površine rotora. Slika 5.4 pokazuje cilindričan isečak vazduha širine 1m koji prolazi kroz površinu rotora od 1500m² na vetrenjači snage 600kW . Ako je prečnik 43m svaki isečak vazduha teži oko 1.9 tona.



Slika 5.4 - Isečak vetra na vetrenjači



Slika 5.5 - Prečnik rotora i snaga turbine

Površina diska koju pokriva rotor (Slika 5.5) i naravno brzina vetra, određuje koliko energije iz vetra možemo pokupiti u toku godine. Neka, 600kW-na vetrenjača ima prečnik rotora od 39 –

¹ 10m - standardna visina merenja brzine vetra i visina malih vetrenjača

² 50m - industrijski standardizovan nivo za određivanje WPD-a za velike vetrenjače

48m, tj. površina rotora je oko 1500m². Kako se površina rotora povećava sa kvadratom prečnika, turbina koja je dva puta veća će dobiti 2², tj. četiri puta veću energiju.

Prečnik rotora može varirati od slučaja do slučaja jer mnogi proizvođači prilagođavaju njihove mašine lokalnim uslovima vetra. Veći generator naravno zahteva više snage (jake vetrove), za njeno pokretanje. Ako postavimo vetrenjaču u područje sa slabim vetrom, mi ćemo u stvari maksimizirati godišnju proizvodnju time što ćemo upotrebiti srazmerno manji generator za datu veličinu rotora (ili veći rotor za dati generator). Razlog zbog koga možemo dobiti više energije sa relativno manjim generatorom u oblastima sa slabim vetrom je taj da će vetrenjača imati više sati proizvodnje električne energije tokom godine.

Efekat visine rotora (visine h) postavljenom na stubu takođe utiče na nivo snage. Tipične vrednosti visina h se kreću u opsegu oko 50m, i stoga, one su male u poređenju sa nadmorskim visinama na kojima se osobine vazduha značajnije menjaju. U tom slučaju se mogu zanemariti promene osobina vazduha u razmatranjima o visini stuba vetrenjače. Međutim, kod savremenijih turbina, koje se postavljaju na visine preko 80m, na pr. 100m i više, ovi efekti se moraju uzeti u obzir.

Postoje dva glavna izraza koja se koriste za opisivanje zavisnosti visine od srednje brzine vetra. Jednostavniji (5.11.levo), gde h_r označava "referentnu visinu" (obično 10m), a m je eksponent koji zavisi od grubosti terena, i složeniji, ali precizniji (5.11.desno):

$$v(h) = v(h_r) \left(\frac{h}{h_r} \right)^m \qquad v(h) = v(h_r) \left(\frac{\ln(h/z_0)}{\ln(h_r/z_0)} \right) \qquad (5.11)$$

U oba slučaja, sa z_0 je označena »dužina hrapavosti« terena (*Roughness Lengths*). Tipične vrednosti za m i z_0 su date u tabeli 5.3. Klase grubosti su definisane *European Wind Atlas*-om na bazi dužina grubosti z_0 u metrima, što predstavlja visinu iznad zemlje gde je brzina vetra teoretski jednaka nuli.

Tabela 5.3. Zavisnost z_0 i m od tipa terena

Tipovi terena	z_0 [m]	m
voda	0.0001	0.01
brisani prostor	0.02	0.12
obrađive površine sa malo rastinja	0.05	0.16
obrađive površine sa gustim rastinjem, šume itd., sela	0.3	0.928

Klasa grubosti se računa na sledeći način:

ako je $z_0 \leq 0.03$	ako je $z_0 > 0.03$
klasa = $1,699823015 + \ln(z_0) / \ln(150)$	klasa = $3,912489289 + \ln(z_0) / \ln(3,3333333)$

Tabela 5.4. Klase grubosti i dužine

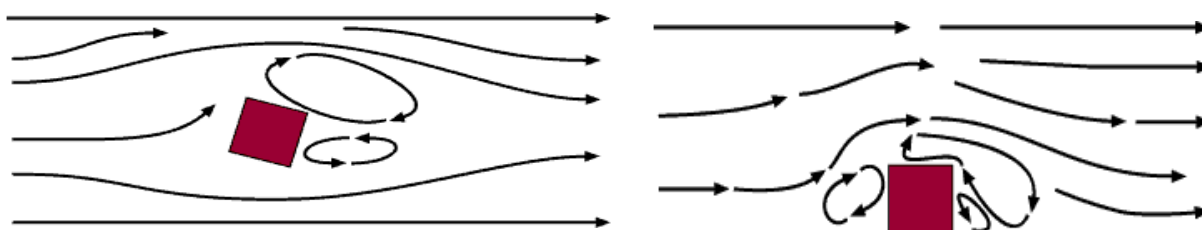
Klasa grubosti	Dužina grubosti [m]	Energetski indeks (%)	Tip terena
0	0.0001	100	Voda
0,5	0,0024	73	Potpuno brisan prostor sa klatkom površinom, avionske piste...
1	0,03	52	Otvorena polja, brežuljci
1,5	0,055	45	Njive sa kućama na razdaljinama 1250m, žbunje
2	0,1	39	Njive sa malo kuća na razdaljinama 500m,
2,5	0,2	31	Njive sa više kuća na razdaljinama 250m, žbunje
3	0,4	24	Sela, varoši, visoko žbunje, šume, i veoma grubo tereni

3,5	0,8	18	Gradovi sa visokim zgradama
4	1,6	13	Veliki gradovi sa zgradama i oblakoderima

Srednja vrednost za m je oko $1/6$, stoga, ako je snaga vetra srazmerna brzini ($W \sim v^3$), tada W grubo raste kao $h^{1/2}$. To znači da dvostrukim povećanjem visine stuba postizemo povećanje izlazne snage za 40%. U praksi, zavisnost brzine vetra od visine je dosta složenija pa $v(h)$ može dosta zavistiti od pravca vetra i doba dana a evidentno je da m takođe zavisi od $v(h_r)$.

5.5. - Turbulencija i uzroci nastajanja

U oblastima sa veoma neravnim površinama, iza objekata, kao što su zgrade, stvara se puno turbulencije, sa veoma haotičnim kretanjem vetra, često kao kovitlanje ili uvijanje. Zona turbulencije je oko tri puta duža od visine prepreke. Turbulencija umanjuje mogućnost iskorišćenja energije vetra pomoću vetrenjače. Takođe povećava habanje vetrenjače. Stubove vetrenjača treba praviti dovoljno visoko da bi se izbegla turbulencija koja potiče od vetra koji je bliži površini zemlje.



Slika 5.6 - Turbulencija

Vetar retko duva stalanom brzinom, uglavnom brzina varira u vremenu što može biti izmereno intenzitetom turbulencije definisanog terminom efektivne vrednosti fluktuacije brzine (*Root Mean Square*). Da bi kvantifikovali ovu relaciju, pretpostavimo da je brzina vetra u bilo kom trenutku t , suma srednje brzine v , i promene brzine $v(t)$. Treba primetiti da srednja vrednost $v(t)$ je nula. Intenzitet turbulencije je definisan kao

$$I_v = \frac{\sqrt{v^2}}{v} = \frac{1}{v} \left[\int_0^T v^2 \cdot dt \right]^{1/2} \quad (5.12)$$

gde je T period očitavanja brzine. U praksi, izlaz iz anemometra (koji meri $v+v(t)$) se očitava obično u konstantnim vremenskim intervalima i integral (5.12) se aproksimira sumom. Perioda T treba da bude dovoljno velika tako da brza dinamika ne remeti vrednost I_v . U praksi, ovo je manje prihvatljivo i po dogovoru se, za standardno T kod vetrenjača, uzima $T=10min$.

Intenzitet turbulencije zavisi od m i z_0 , povećavajući se od 0,1 (10%) za ravne terene do 0,2 (20%) ili više za neravne terene na dužini z_0 . Turbulencija takođe zavisi od visine, obično opada sa povećanjem h . Takođe, ona ima uticaj na određivanje snage turbine, i ima veliki efekat na opterećenje turbine.

5.6. Trag efekat

Energetski sadržaj vetra iza vetrenjače mora biti manji od onog ispred vetrenjače. Ovo proizilazi direktno iz činjenice da se energija uzima, a ne predaje vetru. Sama vetrenjača se uvek ponaša kao senka vetra za sve objekte iza nje. U stvari, doći će do pojave traga iza vetrenjače,

stvaranja repa sa turbulencijom i usporavanjem vetra. Trag efekat se lepo može videti ako se pusti dim kroz krilca vetrenjače, kao na slici 5.7.



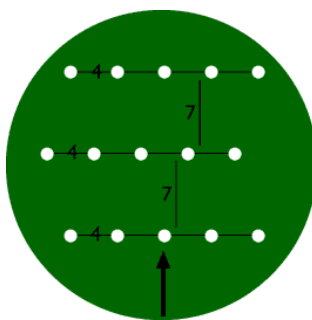
Slika 5.7 - Trag efekat (wake effect)

5.7. Park efekat

Na bazi trag efekta, svaka vetrenjača usporava vetar iza sebe izvlačeći energiju iz vetra. U slučaju formiranja parka vetrenjača, trag efekat utiče na određivanje lokacija pojedinačnih jedinica.

U idealnom slučaju, vetrenjače treba postaviti što dalje jednu od druge za glavni pravac vetra. S druge strane, odabrana lokacija i cena povezivanja vetrenjača sa električnom mrežom ograničava postavljanje što bliže jednu drugoj.

Vetrenjače u parku su obično postavljene na razmaku od 5 do 9 prečnika rotora u pravcu glavnog vetra i 3 do 5 prečnika rotora u pravcu normalnom na pravac glavnog vetra. Na slici 5.8 postavljena su tri reda sa po pet vetrenjača u svakom redu. Vetrenjače (beli kružići) su postavljani na razmaku od 7 prečnika rotora u pravcu glavnog vetra i 4 prečnika u pravcu normalnom na pravac glavnog vetra.



Slika 5.8 - Raspored vetrenjača u parku

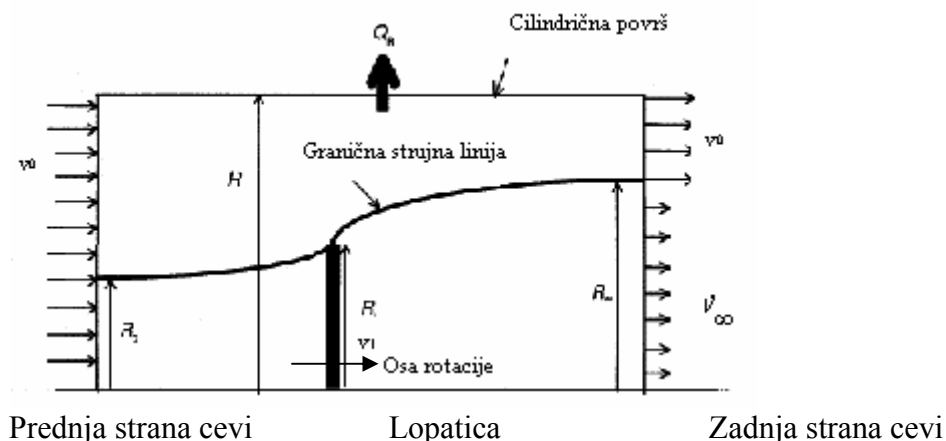
Poznavajući oblik elisa, ruže vetra, raspodelu verovatnoće brzine vetra i hrapavost terena u različitim pravcima proizvođači ili projektanti mogu izračunati gubitke energije usled park efekta. Tipično, gubici energije su negde oko 5 procenata.

6. KONVERZIJA ENERGIJE VETRA U MEHANIČKU ENERGIJU

Kinetička energija vetra nije pogodna za direktno konvertovanje u električnu energiju, već se mora prvo svesti na oblik, koji se može upotrebiti za proizvodnju električne energije. Svi konvencionalni električni generatori kao ulazni oblik energije, koriste mehaničku energiju obrtnih masa. Iz ovoga sledi da je energiju vetra potrebno prevesti u mehaničku energiju, koristeći turbine na vetar. Osnovi elementi turbine su lopatice, od čijeg oblika zavise sile, koje se razvijaju na turbini, a samim tim i stepen korisnosti turbine. Pošto se brzina vetra često menja, a cilj je maksimalna iskoristivost turbine u širokom opsegu brzina vetra, potrebno je kontrolisati izlaznu snagu. Jedan od najčešće korišćenih načina kontrole, kod velikih turbina, je zakretanje lopatica (pitch control), kao i sam oblik lopatica (stall control). Naravno, ključna osobina turbina, posebno sa aspekta ekonomske opravdanosti upotrebe vetrenjača, je količina energije vetra koja se može iskoristiti.

6.1. Strujna cev

Pri konverziji energije vetra u mehaničku energiju, osnovna stvar je prelazak vetra preko turbine vetrenjače i uticaj turbine na strujanje vazduha. Za ovu analizu poslužiće strujna cev. To je zamišljeni cilindar, koji obuhvata turbinu i čiji je poluprečnik R daleko veći od poluprečnika same turbine R_1 , s tim da se osa cilindra i osa rotacije turbine poklapaju (slika 6.1). Prednja strana strujne cevi je dovoljno udaljena od lopatica tako da one, u tom delu, nemaju uticaja na tok vazduha. Smatra se da je brzina vazduha, v_0 jednaka brzini vetra, a pritisak je jednak atmosferskom pritisku. Pošto se konverzija energije vetra zasniva na oduzimanju kinetičke energije vetru, to za posledicu ima da je brzina vetra iza turbine, v_∞ , manja nego brzina ispred turbine. Zbog razlike u brzinama vazduha, koji prolazi kroz turbinu i vazduha koji je obilazi, javlja se granična strujna linija čiji je poluprečnik na zadnjoj strani cevi R_∞ . U analizi se pretpostavlja da je granična strujna linija oštra, i da predstavlja prepreku za vazduh. Može se primetiti da se granična strujna linija širi pre same turbine, i to je jedan od razloga zašto turbina ne može da konvertuje svu kinetičku energiju vetra, koji bi prošao kroz oblast turbine kada ona ne bi postojala. U nastavku će se smatrati da su brzina i pritisak na zadnjoj strani cevi uniformni, i da nema kovitlanja vazduha unutar strujne cevi. Takođe pretpostavka je da je vazduh nestišljiv, što znači da u cevi nema akumulacije mase, impulsa sile, momenta i energije.



Slika 6.1 - Presek strujne cevi.

6.2. Održanje mase

Na osnovu jednačine za konstantan protok

$$\int v dA = 0 \quad (6.1)$$

gde je dA vektor elementarne površine strujne cevi, koji je normalan na površinu strujne cevi i usmeren je od strujne cevi. Strujnu cev se posmatra kao zatvoren sistem bez mogućnosti akumulacije energije i mase, što znači da količina vazduha koja uđe u cev, u jedinici vremena, mora biti ista sa količinom vazduha koja napusti cev u istom vremenskom intervalu. Brzina vazduha na prednjoj strani strujne cevi je konstantna i jednaka v_0 , i usmerena je u cev. Pošto je vektor površine dA usmeren nasuprot brzini strujanja vazduha, njihov proizvod $v dA$ će biti negativan i imaće skalarnu vrednost $-v_0 dA$. Doprinos ovog proizvoda u integralu je $-v_0 \pi R^2$. Slično ovome, doprinos kroz zadnju stranu cevi je $v_0 \pi (R^2 - R_\infty^2) + v_\infty \pi R_\infty^2$. Ovi članovi imaju brojnu jedinicu (m^3/s) što je u suštini protok (Q). Na osnovu ovoga jednačina za konstantan protok daje:

$$-v_0 \pi R^2 + v_0 \pi (R^2 - R_\infty^2) + v_\infty \pi R_\infty^2 = -(v_0 - v_\infty) \pi R_\infty^2 \quad (6.2)$$

Vidi se da postoji razlika u protoku kroz prednju i zadnju stranu strujne cevi. Ovo ukazuje da postoji protok i kroz cilindričnu površ strujne cevi. Ako se sa Q_R obeleži ta razlika, važi:

$$-v_0 \pi R^2 + v_0 \pi (R^2 - R_\infty^2) + v_\infty \pi R_\infty^2 + Q_R = 0 \quad (6.3)$$

$$\text{gde je } Q_R = (v_0 - v_\infty) \pi R_\infty^2 \quad (6.4)$$

Ovim je zadovoljen uslov da je suma protoka kroz zatvorenu površ strujne cevi jednaka nuli. Q_R se javlja usled postojanja radialne brzine v_R . Srednja vrednost brzine v_R pomnožena sa površinom cilindrične površi daje Q_R . Ako je dužina strujne cevi x , površina cilindra je $2\pi R x$. Da bi Q_R ostalo konstantno v_R se može proizvoljno smanjivati uz povećanje R .

Jednačinu za održanje mase se može primeniti i na tok unutar granične strujne linije što daje:

$$Q_0 = v_0 \pi R_0^2 = v_1 = v_1 \pi R_1^2 = v_\infty = v_\infty \pi R_\infty^2 = Q \quad (6.5)$$

Odavde se vidi da prečnik granične strujne linije na zadnjoj strani strujne cevi R_∞ mora biti veći od prečnika na prednjoj strani strujne cevi R_0 , jer je brzina vazduha, v_∞ manja od brzine v_0 .

6.3. Održanje impulsa sile

Uvodeći i Newton-ov zakon u analizu strujne cevi, utvrđuje se da je sila kojom lopatice deluju na vazduh, F , istog intenziteta, ali suprotnog smera od sile kojom vazduh deluje na lopatice. Jednačina za F , u vektorskoj formi je:

$$F = -\rho \int v v dA \quad (6.6)$$

Pošto sila F deluje samo u pravcu vetra, jednačina prelazi u skalarnu u pravcu vetra. Kako je pritisak kroz celu strujnu cev isti, a brzina uniformna, jednačina za doprinos sile u pojedinim delovima strujne cevi je:

$$F = \rho v_0 v_0 \pi R^2 - \rho v_0 v_0 \pi (R^2 - R_\infty^2) - \rho v_\infty v_\infty \pi R_\infty^2 - \rho v_0 Q_R \quad (6.7)$$

i orijentisana je u smeru vetra. Najinteresantniji član u ovoj jednačini je poslednji, koji predstavlja iznešeni impuls sile, protokom (Q_R), iz strujne cevi. Uvrštavajući vrednost za Q_R , jednačina za F se može napisana u obliku:

$$F = \rho v_\infty \pi R_\infty^2 (v_0 - v_\infty) = \rho Q (v_0 - v_\infty) \quad (6.8)$$

Ova jednačina se može izvesti i razmatrajući protok kroz "disk" koji predstavlja rotirajuće lopatice. Ako se zamisli da se lopatice mogu biti zamenjene tankim diskom, kroz koji je brzina vazduha kontinualna, a pritisak nije, tada se F javlja usled razlike pritisaka

$$F = (p_1 - p_2) \pi R_1^2 \quad (6.9)$$

6.4. Održanje momenta

Moment na lopaticama je po intenzitetu jednak, a suprotnog smera od delovanja vazduha. Vektorska jednačina za moment I je

$$I = -\rho \int r \times v \cdot dA \quad (6.10)$$

Jednačinu (6.10) se može napisati u skalarnom obliku, jer je vektor momenta, koji deluje na lopatice, paralelan osi rotacije. Relevantniji podatak, za analizu, od same vrednosti momenta je koeficijent momenta C_I .

$$C_I = \frac{I}{\frac{1}{2} \rho v_0^2 \pi R_1^3} \quad (6.11)$$

gde je I moment koji se razvija na lopaticama.

Imenilac jednačine (6.11) predstavlja moment, koji bi postojao kada bi se sva energija vetra pretvorila u koristan moment. Sad je izlazna snaga, P data sa:

$$P = I\omega \quad (6.12)$$

Ona je saopštena lopaticama preko aerodinamičkih sila, nastalih usled protoka vazduha preko lopatica.

6.5. Održanje energije

Na osnovu izvođenja jednačine za održanje mase i impulsa sile, može se napisati

$$P = \frac{1}{2} \rho Q (v_0^2 - v_\infty^2) \quad (6.13)$$

Drugačiji oblik jednačine može se dobiti primenjujući Bernoulli-evu jednačinu na zonu ispred lopatica:

$$P_1 = \frac{1}{2} \rho (v_0^2 - v_1^2) \quad (6.14)$$

odnosno oblast neposredno posle lopatica pa do zadnje strane strujne cevi:

$$P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_1^2 - v_\infty^2) \quad (6.15)$$

Kombinujući ove dve jednačine sa (6.13) dobija se:

$$P = Q(P_1 - P_2) = v_1 (P_1 - P_2) \pi R_1^2 \quad (6.16)$$

Kombinujući jednačine dobija se:

$$P = F v_1 \quad (6.17)$$

što pokazuje da je snaga jednaka proizvodu sile na disk i brzine vazduha kroz njega. Ako se u poslednju jednačinu uvrste ranije dobijene vrednosti za F i P , dobija se:

$$v_1 = (v_0 + v_\infty)/2 \quad (6.18)$$

koji važi za idealan tok vazduha. Jednačina (6.18) pokazuje da se polovina (od ukupnog) širenja toka vazduha, dešava ispred turbine, jer je brzina vazduha na mestu turbine jednaka aritmetičkoj sredini brzina v_0 i v_∞ .

6.6. Radni parametri turbine i optimum performansi

Snaga vetra koji prolazi kroz turbinu je:

$$\frac{dEK}{dt} = \dot{W}_W = \frac{1}{2} \rho A v_0^3 = \frac{1}{2} \rho v_0^3 \pi R_1^2 \quad (6.19)$$

Iz vetra se ne može izvući sva snaga koju on nosi, jer bi to zahtevalo potpuno zaustavljanje vetra, što je praktično neizvodljivo. Najvažniji parametar turbine, koji govori koliki je procenat snage vetra pretvoren u korisnu snagu, je koeficijent snage, C_P .

$$C_P = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho v_0^3 \pi R_1^2} \quad (6.20)$$

Koeficijent snage vetra C_P je definisan kao odnos snage "uhvaćene" lopaticama i snage vetra. C_P je bezdimenzioni koeficijent, tako da se celokupna analiza može svesti na analizu u relativnim jedinicama.

Ako se krene od veoma uopštenog stava da snaga turbine zavisi od brzine vetra, gustine vazduha, prečnika turbine, brzine lopatica, ugaone brzine i kinematičke viskoznosti vazduha, može se napisati

$$f(P, v_0, \rho, R_1, w, \mu) = 0 \quad (6.21)$$

gde je f nepoznata funkcija. Kinematička viskoznost μ predstavlja viskozitet vazduha podeljen sa gustinom i ima jedinicu m^2/s .

Izraz (6.21) sadrži šest parametara ili varijabli i tri dimenzije, dakle očekuju se tri bezdimenzionalne grupe parametara kao rezultat analize.

C_P definisano izrazom (6.20), je prva od tih grupa koja sadrži tri "ponavljajuće promenjive" v_0 , ρ i R_1 . Ove ponavljajuće promenjive se mogu javiti u sve tri bezdimenzionalne grupe. Formirajući navedene grupe, izraz (6.21) može biti napisan u obliku:

$$f(C_P, wR_1/v_0, v_0R_1/\mu) = 0 \quad (6.22)$$

Druga od ovih grupa je odnos brzine vrha lopatice v_{tip} i brzine vetra v_0 i ima sopstvenu oznaku λ .

$$\lambda = wR_1/v_0 = v_{tip}/v_0 \quad (6.23)$$

Prilikom proučavanja aerodinamičkih sila koje deluju na lopatice, vidi se da je λ veoma važno za određivanje napadnog ugla lopatica. Pri optimalnom radu turbine, λ ima vredost između 7 i 10.

Treća grupa je poznata kao Reynolds-ov broj, Re , koji generalno opisuje efekte viskoziteta. Forma Reynolds-ovog broja bitna za ovaj rad proizilazi iz razmatranja ponašanja aeroprofila pri delovanju uzgonske i vučne sile na njih. Ovakav oblik Re -a sadži tetivu aeroprofila c (širina lopatice) i "totalnu brzinu" lopatice v_T .

$$Re = v_T c / \mu \quad (6.24)$$

Najviše snage se proizvede blizu vrha lopatice, pa se Reynolds-ov broj često daje za sam vrh lopatice. Za većinu velikih turbina (preko 100KW), C_P daleko više zavisi od λ nego od Re . Efekti Reynolds-ovog broja su značajniji kod malih turbina, posebno prilikom starta.

Poslednja veličina, koju treba razmotriti, je snaga potiska koja deluje na lopatice, F . Ova veličina je neophodna za određivanje horizontalne sile, koja deluje na vrh tornja vetrenjače, i skoro je jednaka sa P . Modifikacijom izraza (6.21) dobija se $f = (F, v_0, \rho, R_1, w, \mu) = 0$, iz čega sledi oblik za koeficijent potiska, C_F

$$C_F = \frac{F}{\frac{1}{2} \rho v_0^2 \pi R_1^2} \quad (6.25)$$

Slično kao za koeficijent snage, očekuje se da i koeficijent potiska C_F čvrsto zavisi od λ , ali ne i od Re .

Ako se preuredi izraz za koeficijent snage dat jednačinom (6.20) koristeći gornje izraze, dobija se:

$$C_P = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho v_0^3 \pi R_1^2} = 4v_1^2(v_0 - v_1)/v_0^3 = 4a(1-a)^2 \quad (6.26)$$

gde je a "aksijalni koeficijent slaganja" dat sa

$$a = 1 - v_1/v_0 \quad (6.27)$$

Za veće vrednosti a , veće je usporenje vazduha na lopaticama. Maksimalne performanse (maksimalan koeficijent snage) se očekuje za:

$$dC_p/da = 0 \quad (6.28)$$

Iz jednačine (6.26) sledi da je uslov (6.28) zadovoljen pri $a = 1/3$, pa sledi:

$$C_{P,max}=16/27 \approx 0.593, \quad \text{za } a=1/3, v_1/v_0 = 2/3 \text{ i } v_\infty/v_0 = 1/3 \quad (6.29)$$

za maksimalne performanse.

Dakle, turbina ne može uhvatiti svu kinetičku energiju koja bi protekla kroz disk u izostanku lopatica. Najviše što turbina može uhvatiti, vodeći se prethodnim rezultatom, je dve trećine vetra (član v_1/v_0) i konvertovati osam devetina te vrednosti u izlaznu snagu, $1-(v_\infty/v_0)^2=8/9$. Pod ovakvim uslovima dolazi do značajnog širenja toka vazduha. Površina poprečnog preseka toka vazduha na zadnjoj strani strujne cevi je duplo veća od površine koju zahvata turbina, a tri puta je veća od površine preseka toka na prednjoj strani cevi.

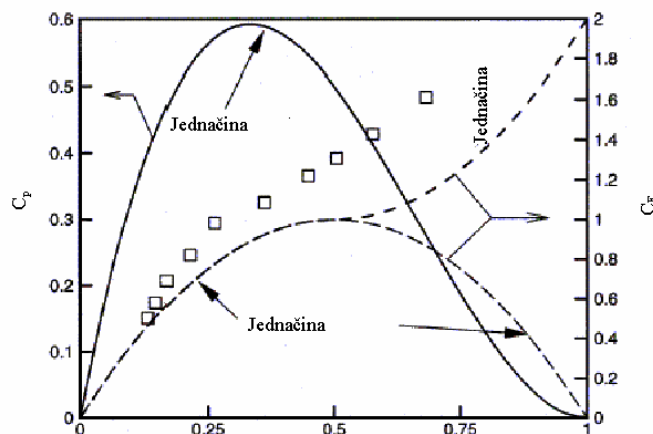
Gornja granica izlazne snage data izrazom se naziva Lanchester-Betz-ov limit. Budući da je izraz izveden bez ikakvog osvrta na same lopatice, glavni zadatak dizajnera turbine je da isprojektuju lopatice, koje će imati koeficijent snage blizak maksimalnom. Za savremene turbine maksimalna vrednost koefijenta snage, $C_{P,max}$, je oko 0,5.

Slično, kao pri prethodnom izvođenju, koeficijent potiska, C_F može biti izveden kao:

$$C_F = \frac{F}{\frac{1}{2} \rho v_0^2 \pi R_1^2} = 4a(1-a) \quad (6.30)$$

Vidi se da koeficijent potiska ima maksimalnu vrednost ($C_{F,max}=1$) pri $a=1/2$. U praksi, pri maksimalnim performansama, C_F se kreće oko 0,9. Međutim, merenjima je utvrđeno da C_F premašuje maksimalnu vrednost dobijenu na osnovu izraza (6.30), kada a uzima vrednosti veće od $1/3$. Rezultati merenja su prikazani kvadratićima na slici 6.2. Sva merenja u oblasti visokog potiska moraju biti razmatrana sa oprežnošću, jer ni a niti v_∞ ne mogu biti direktno mereni. Kompletna analiza, bazirana na Lanchester-Betz-ovom limitu i ranijim izrazima, je dovoljno tačna sve do tačke maksimalne proizvodnje snage ($C_{P,max}$). Postoji veliki broj načina za korekciju izraza (6.30), ali nijedan od njih nije zasnovan na prikladnim fizičkim zakonima. Uobičajen način korekcije se svodi na zamenu izrazom

$$C_F = 4a(a-1)+2 \quad \text{za } a > 1/2 \quad (6.31)$$

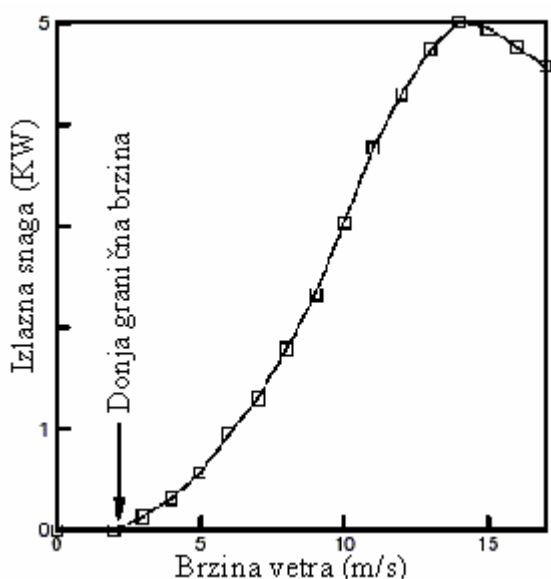


Slika 6.2 - Koeficijent snage i potiska

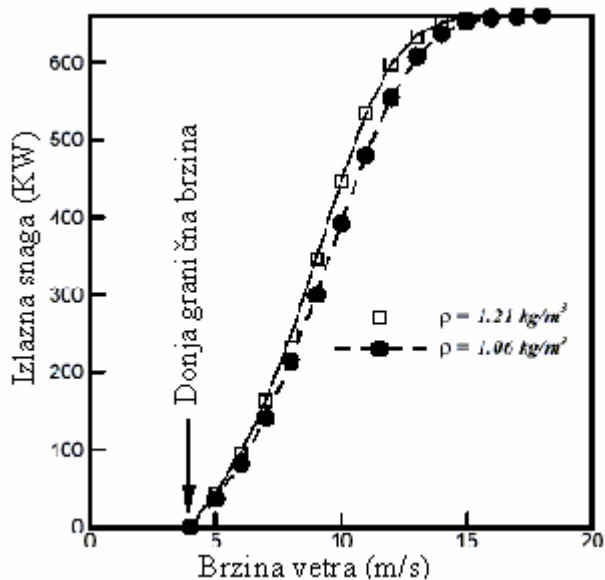
6.7. Kriva snage i kriva performansi

Većina aerodinamičara je zadovoljna upotrebom bezdimenzionih grupa parametara, za opis i analizu performansi turbina, ali vlasnici turbina su zainteresovaniji za zavisnost izlazne snage od brzine vetra. Ovakav podatak se daje krivom snage.

Na slici 6.3 vidi se kriva snage za 5kW turbinu, a na slici 6.4 krivu snage za 660 kW turbinu. Uočava se da na obe slike postoje donje granične brzine (cut-in), ispod kojih ne postoji proizvodnja energije. Takođe, vidi se i opseg brzina pri kojima se dobijaju maksimalne izlazne snage, što je za male turbine oko 13m/s, a za velike turbine 15m/s. Obe turbine imaju oblast brzine između 5 i 10m/s, gde izlazna snaga naglo raste sa kubnom zavisnošću. Nakon 10m/s izlazna snaga sporije raste, za obe turbine, iz istog razloga – bezbednosti. Važno je kontrolisati turbinu i na većim brzinama vetra, jer nema smisla uzimati veću snagu iz vetra od one koju generator može konvertovati. Pri previsokim snagama može doći do neželjenih naprezanja lopatica i drugih komponenti. Postoji mnogo načina kontrole turbine, a jedan od njih je kontrola napadnog ugla pomoću zakretanja lopatica (pitch control).



Slika 6.3 - Krive snage za 5kW turbinu



Slika 6.4 - Krive snage za 660kW turbinu

Za velike turbine postoji gornja granična brzina (cut-out), posle koje se turbina isključuje iz bezbednosnih razloga. Obično je to 25m/s. Na ovoj brzini kočnica se aktivira i ne otpušta dok brzina vetra ne opadne.

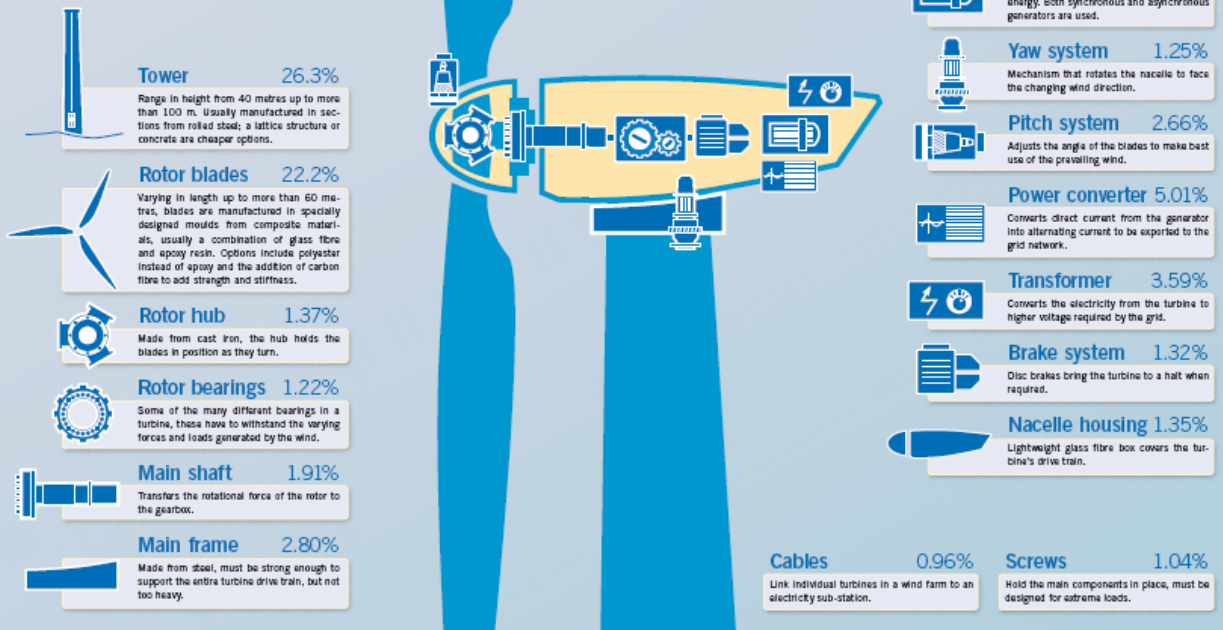
6.8. Delovi vetroelektrane

Vetroelektrana je složeni pogon, koji se sastoji od postolja i visokog stuba, koji nosi mehanički sklop vetroturbine i električni pogon generatora sa sklopovima za konekciju. Na slici 6.5 dat je šematski prikaz delova turbine, sa procentom učešća u ukupnoj vrednosti vetroelektrane. Svi delovi se grubo mogu podeliti na:

1. mehaničke: stub (26,3%), krila (elisa) (22,2%), nosač krila (elise) (1,3%), ležajevi (1,22%), glavna osovina (1,91%), glavno kućište (2,8%), multiplikator (12,91%), sistem zakretanja turbine (1,25%), sistem za zakretanje krila (2,66%), kočnica (1,32%), kućište pogona (1,35%), i
2. električne: generator (3,44%), energetski pretvarač (5,01%), transformator sa konekcijama (3,59%).

How a wind turbine comes together

A typical wind turbine will contain up to 8,000 different components. This guide shows the main parts and their contribution in percentage terms to the overall cost. Figures are based on a REpower MM52 turbine with 43.3 metre length blades and a 100 metre tower.



Slika 6.5 - Osnovni sklopovi vetroelektrane

7. METOD IZRADE MAPE VETROVA

7.1. Definicija vetra

Merenje vetra na bilo kojoj lokaciji otkriva njegovu veliku promenljivost, iako se osnovni mehanizam koji pokreće vetar menja prilično sporo, onoliko sporo koliko se vreme u sinoptičkom smislu menja. Razlog tome je što je kretanje vazduha u blizini tla, u planetarnom graničnom sloju turbulentno. Vetar se stoga strogo definiše kao trodimenzionalna vektorska veličina sa slučajnim fluktuacijama malih razmera u prostoru i vremenu koje su dodate na organizovani tok velikih razmera.

Za većinu potreba vetar se, međjutim, može definisati kao dvodimenzionalna vektorska veličina koju definišu dva broja: brzina i pravac, a intenzitet turbulencije dodatno se opisuje sa tri broja: udarom vetra i standardnim devijacijama brzine i pravca vetra.

Brzina vetra predstavlja put koji vetar predje u određenom vremenskom periodu i meri se u m/s. Taj vremenski period, period džepa Van der Hovenovog spektra, varira od nekoliko minuta do 1 sat. U meteorologiji je uobičajeno da se vetar „osrednjava“ na 10 minuta ili 1 sat, a zahtevana tačnost merenja prema standardima WMO-a je 0,5 m/s .

Pravac vetra predstavlja preovladjujući tj. dominantan pravac za onaj vremenski period za koji se osrednjava brzina vetra. Pravac vetra se meri u stepenima, u odnosu na geografski sever, i prema standardima WMO-a zahteva tačnost od 5°

Dizajniranje instrumenata za merenje standardne devijacije i udara vetra zavisi od potreba korisnika koji će interpretirati rezultate. U zavisnosti od učestalosti semlovanja uzorka, koje variraju od 0,25 do 2 sekunde udari vetra, se definišu od 1 do 3 sekunde, a standardne devijacije se računaju u odnosu na svaki sekundni ili dvosekundni „uzorak“.

7.2. Izvori podataka o vetru

U ovoj studiji korišćeni su podaci RHMZ-a Srbije prikupljeni sa 8 glavnih meteoroloških stanica (GMS) Vojvodine smeštenih u Novom Sadu (Rimski Šančevi), Paliću, Somboru, Zrenjaninu, Sremskoj Mitrovici, Kikindi, Banatskom Karlovcu i Vršcu.

Kao merni uređaj korišćen je mehanički Fuessov anemograf (slika 7.1), sa kog se očitavaju, kao kontinuirane, srednje satne brzine vetra sa pripadajućim pravcem. Brzine vetra, izražene u desetim delovima m/s i šifrovane po ruži vetra od 16 pravaca, očitavane su sa anemografskih traka ispisane u periodu od 2001 do 2007 godine. Samo su za GMS Banatski Karlovac nedostajali podaci za 2001 i 2002 godinu. Interpretacija rezultata za tu stanicu data za petogodišnji period, dok su vrednosti srednje brzine i snage vetra za konačne mape vetra za nedostajuće dve godine interpolisani iz podataka za Vršac i Zrenjanin.

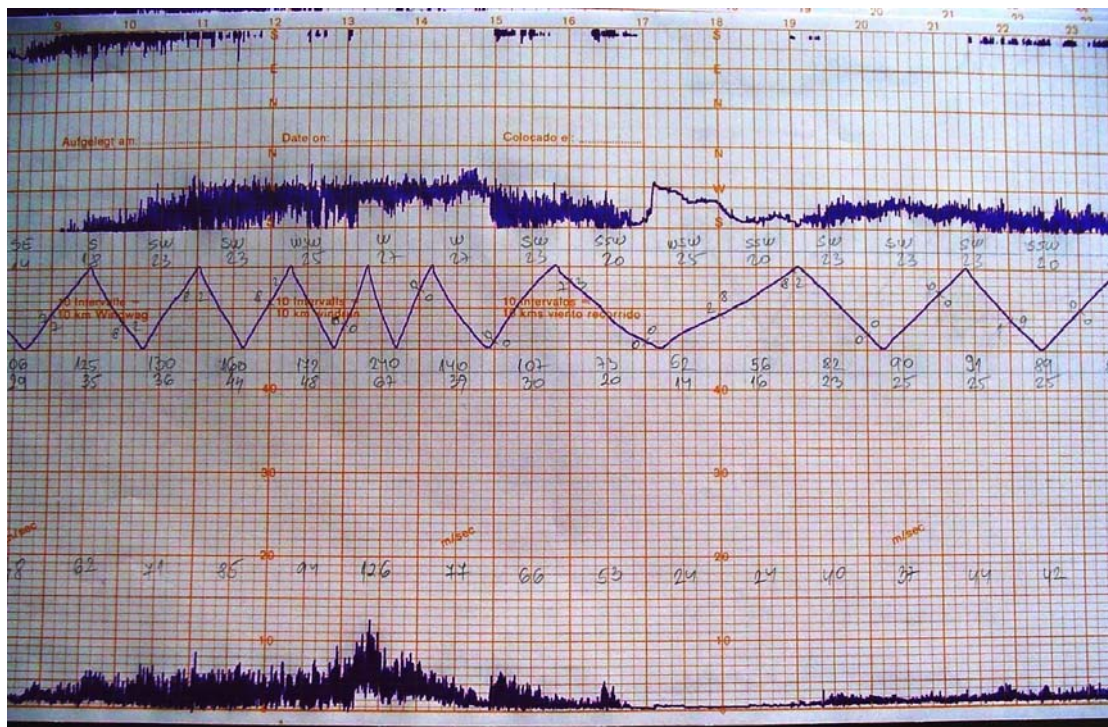
Na slici 7.2, prikazan je snimak uzorka merne trake na kom se vide očitani i rukom upisani brojni podaci o brzini i pravcu vetra. Ovi podaci su zatim prebačeni u digitalnu bazu podataka, koja je urađena u formatu pogodnom za učitavanje u WAsP softveru.

Obradivan je srednji satni kontinuirani uzorak, tokom 24h dnevno, 365 dana godišnje. U odnosu na optimalni srednji desetominutni kontinuirani uzorak, ovakav srednji satni uzorak zaostaje, kada je reč o gustini snage vetra, za 6 do 7 %.



Slika 7.1 - Fuessov anemograf, koji se koristi u GMS.

Bazi podataka RHMZ-a dostupne su i srednje desetominutne brzine vetra zaokružene na ceo broj m/s pripremljene za potrebe sinoptike, koje se svaka tri sata šalju u međunarodnu razmenu. Ovi podaci nisu korišćeni, jer su ocenjeni kao manje precizni. Pored činjenice da se radi o zaokruženim brojevima (tačnost 0,5m/s), treba napomenuti da se ovi podaci unose u dnevnik osmatranja GMS dok je traka još na instrumentu, pa su zbog toga njihove greške, u odnosu na optimalni uzorak višestruko veće.



Slika 7.2 – Izgled merne trake sa zapisom o brzini i pravcu vetra.

Ni jedan uzorak prikupljen s Fuessovog mehaničkog anemografa, nema informacije o standardnoj devijaciji pravca i brzine vetra, s obzirom da se radi o instrumentu s analognim zapisom. Intenzitet turbulencije ovde se opisuje „samo“ udarima vetra. Udari vetra se mere senzorom, koji radi na principu Pito cevi i ima veliku osetljivost.

7.3. Merenje parametara vetra u Vojvodini

Parametri vetra se sistematski mere u mreži glavnih meteoroloških stanica (GMS) Hidrometeorološkog zavoda Srbije. U Vojvodini, stanice su postavljene u Paliću, Somboru, Kikindi, Novom Sadu (Rimski Šančevi), Zrenjninu, Sremskoj Mitrovici, Banatskom Karlovcu i Vršcu. Na slici 7.3 prikazan je raspored ovih stanica u Vojvodini, a na slici 7.4 njihov izgled.



Novi Sad –
Rimski
Šančevi

Slika 7.3 - Raspored meteoroloških stanica u Srbiji



Kikinda



Palić



Sombor,



Zrenjanin



Sr.Mitrovica,



Ban.Karlovac

Slika 7.4 – Fotografije meteoroloških stanica u Vojvodini

7.4. Klimatologija vetra

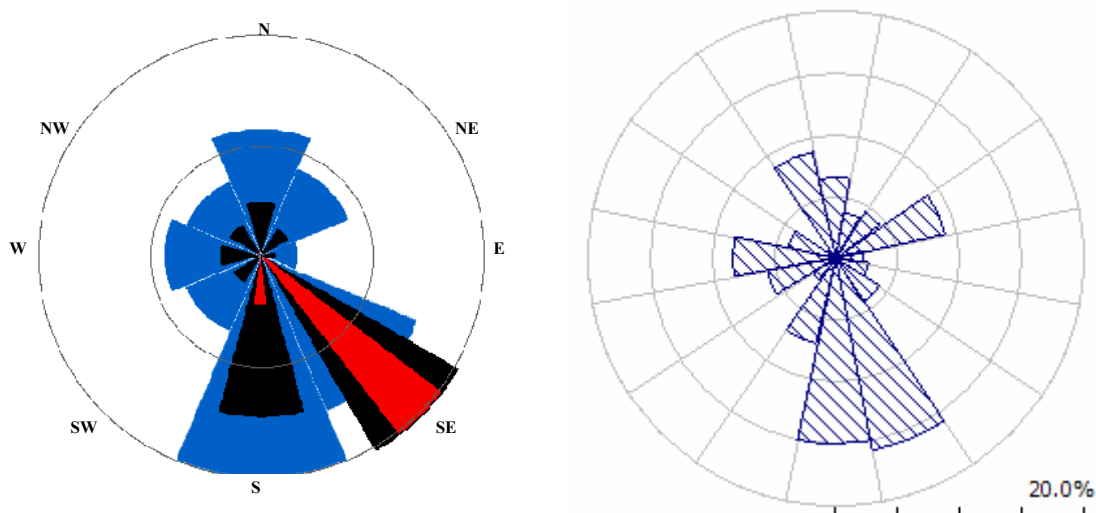
Klimatologija vetra opisuje se najčešće:

- ružom vetra,
- histogramom empirijske raspodele brzine vetra,

Ruža vetrova opisuje srednje brzine i učestalost vetra po pravcima i daje u obliku, kao na slici 7.5. Histogram raspodele vetra prebrojava koliko ima izmerenih podataka o vetru u nekom zatom intervalu brzina. Histogrami empirijske raspodele često se prave i po pravcima i za ceo uzorak.

U prilogu 1 data je raspodela frekvencija brzina vetra po pravcima i za ceo uzorak u promilima. Rezultati su dati za 16 pravaca u skladu sa načinom očitavanja pravca vetra: 0° , $22,5^\circ$, 45° , $67,5^\circ$, 90° , ... $337,5^\circ$. Pravcu od 0° odgovara geografski sever. Intervali brzine vetra imaju širinu 0,5 m/s. Dakle prebrojane su tišine i sve brzine u intervalima: 0,1-0,5, 0,6-1,0, 1,1-1,5,...itd. Osim toga u ovom prilogu mogu se naći i podaci o srednjoj brzini i gustini snage vetra po pravcima, kao i informacija o učestalosti pojedinih pravaca. To su podaci neophodni za izradu ruže vetra.

U isto vreme za svaki pravac određeni su i parametri Weibull-ove raspodele A i k. To su parametri, kojima se opisuju histogrami, odnosno raspodela frekvencija vetra za svaki pravac. Srednja brzina i gustina snage vetra, kao i parametri Weibull-ove raspodele A i k kojima se opisuju raspodela brzine i raspodela gustine snage vetra, dati su i za ceo uzorak.



Slika 7.5 – Ruža vetrova za grad Vršac: 8 pravaca (levo) i 16 pravaca (desno)

7.5. Weibull-ova raspodela

Veliki broj rezultata merenja brzine vetra na 10m visine, koji se svakog dana dobijaju u meteorološkim stanicama širom sveta, mogu se statistički obraditi po frekvenciji pojavljivanja pojedinih brzina. Uočeno je da se raspodele ovih frekvencija (anvelope) mogu aproksimirati raznim matematičkim krivama, odnosno raspodelama. Najkvalitetnija aproksimacija dobija se korišćenjem Weibull-ove raspodele, kao jedne od najopštijih.

Weibull-ova raspodela gotovo neizostavno prati sve empirijske raspodele učestalosti vetra, koje se rade u cilju procene mogućnosti korišćenja njegove energije. To je dvoparametarska raspodela čiji matematički izraz ima oblik:

$$f(v) = \frac{k}{A} \cdot \left(\frac{v}{A}\right)^{k-1} e^{-(v/A)^k} \quad (7.1)$$

gde je $f(v)$ teorijska frekvencija javljanja brzine v . Parametar A poznat je kao parametar razmere, a parametar k , kao parametar oblika. Na bazi vrednosti ovih parametara, mogu se dobiti jednostavniji izrazi raspodele, odnosno specijalni slučajevi Weibull-ove raspodele: Rayleigh-ova funkcija raspodele za $k=2$ (koristi se za opis brzina vetra, ako nisu raspoloživi precizniji podaci za pojedino mesto. Faktor $A=2v_m/\pi^{1/2}$ se određuje direktno iz brzine vetra) ili Gauss-ova raspodela (Normalna raspodela) za $k=3,5$.

Kumulativni oblik Weibull-ove raspodele daje verovatnoću da brzina vetra premaši vrednost zadate brzine u formuli:

$$F(v) = 1 - e^{-(v/A)^k} \quad (7.2)$$

Weibull-ova raspodela se veoma često primenjuje kada je reč o vetru, prvenstveno zbog toga što se ona može generalizovati na raspodelu neke veličine podignute na neki stepen. To uopštenje podrazumeva da ako se neka veličina v prilagođava Weibull-ovoj raspodeli s parametrima A i k , tada će se veličina v^m prilagođavati Weibull-ovoj raspodeli s parametrima A^m i k/m . S obzirom da je poznato da se u proračunima za energiju vetra brzina v pojavljuje s eksponentom 3, tj. kao v^3 , ovo je veoma značajna prednost.

Programski paket WASP parametre Weibull-ove raspodele određuje iz zahteva da vrednosti srednjeg kuba brzine vetra za teorijski i empirijski uzorak budu iste, kao i da kumulativne frekvence za brzine vetra iznad srednje brzine empirijskog uzorka, budu iste.

Gustina snage vetra srazmerna je trećem stepenu brzine vetra i gustini vazduha. Gustina vazduha zavisi u prvom redu od atmosferskog pritiska, zatim od temperature i vlažnosti vazduha. WASP-a gustinu vazduha tretira kao konstantu koja ima vrednost $\rho=1.225\text{kg/m}^3$.

7.6. Metodologija procene vetra i izrada mapa vetrova

Za izradu atlasa vetrova, odnosno mapa vetrova pojedinih teritorija, u Laboratoriji Riso u Danskoj razvijen je postupak, koji se sastoji iz 3 koraka. Postupak primenjuje WasP softver i sprovodi se u dva smera, prikazana na slici 7.6. Ovi postupci su se koristili kod izrade Evropskog atlasa vetrova (*European Wind Atlas*) [21].

Za slučaj realizacije ove studije, odnosno „*Atlasa vetrova AP Vojvodine*“, primenjen je pristup *bottom-up*, koji počinje prikupljanjem podataka o brzini i pravcu vetra na 10m visine iz meteoroloških stanica razbacanih po teritoriji za koju se izrađuje atlas.

Programski paket WASP učitava rezultate merenja pravca i brzine vetra u nizu od najmanje godinu dana na pojedinim lokacijama. Međutim, smatra se da ovakav niz podataka nije dovoljno pouzdan, pa se najčešće unose istorijski podaci od bar 7 godina. Niz rezultata meren u intervalu od 10 godina je pouzdaniji, jer može da pokrije eventualne varijacije intenziteta brzine vetra u vetrovitijim ili manje vetrovitim godinama. Još duži intervali daju veću sigurnost rezultata i doprinose pouzdanosti zaključivanju.

Sledeći korak je da se oko mernog mesta (oko meteorološke stanice) unese mini mapa terena sa detaljno unesenim (upisanim) preprekama - zgrada stanice, okolne kuće i drugi objekti, drveće i visoko žbunje i sl., kao i detaljnim informacijama o aerodinamičkoj dužini hrapavosti po pravcima po kojima se izrađuje atlas vetra.

Zatim se unose podaci o orografiji, tj. mapa reljefa, koja može da se prostire 20 km u poluprečniku oko stanice.

Na osnovu svih ovih podataka, WasP program formiranja Atlasu vetrova daje informacije o srednjoj brzini i gustini vetra, kao i Weibull-ovim parametrima A i k po svim pravcima i za ceo uzorak na sledećim visinama: 10, 25, 50, 100 i 200 metara. Atlas vetra izrađuje se za četiri klase hrapavosti terena: $z_0=0,0002$, $z_0=0,03$, $z_0=0,1$, $z_0=0,4$.

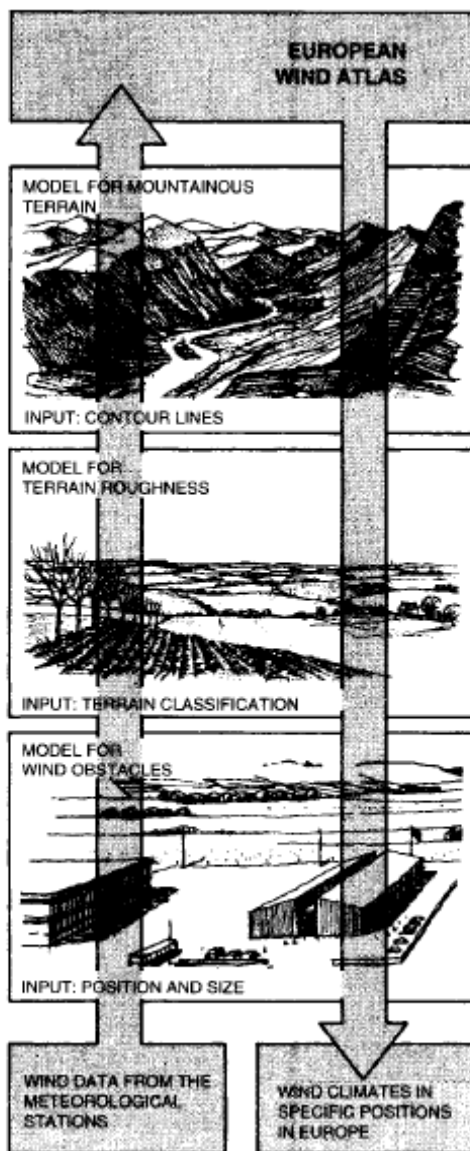
Primenom atlasa vetra na pomenutu digitalizovanu mapu reljefa možemo dobiti procena energetskog potencijala vetra i brzinu vetra na visini po izboru. Na toj karti prikazani su i uticaji

orografije, prepreka i hrapavosti terena na podatke o vetru, po svim pravcima. Atlas vetra za sve GMS u ovom projektu dat je u prilogu 2.

Osim toga u prilogu 3 su date i mape srednje brzine i gustine snage na 50 m iznad tla takodje za sve GMS. Rezolucija tih mapa je 1200 m.

I na kraju, prilog 4, dati su sumarni podaci atlasa vetra za dve situacije: a) Pod pretpostavkom da je anemograf na 10 m stubu, oko kojeg nema prepreka i da teren ima idealnu standardnu hrapavost terena od 0,03 m, i b) Pod realnim uslovima.

Sumarni podaci, prilog 4, za dve stanice Banatski Karlovac i Rimske Šančeve dati su još za jednu odnosno dve situacije koje će biti objašnjene u tekstu o preprekama.



Slika 7.6 – Metod izrade Atlasa vetrova.

7.7. Podaci o vetru

U toku rada na projektu ukupno je obradjeno je 468.712 podataka. Tačan broj obradjenih podataka za svaku stanicu je dat u tabeli 7.1.

Tabela 7.1: Obradjeni broj merenih podataka o brzini i pravcu vetra

B.Karlovac	Kikinda	Palić	R.Šančevi	S.Mitrovica	Sombor	Vršac	Zrenjanin
42.040	61.325	60.401	61.334	61.189	60.211	60.942	61.269

Za potrebe interpolacije podataka o srenjoj brzini i gustini snage vetra za svih 7 godina za GMS Banatski Karlovac korišćene su tabele 7.2 i 7.3. U njima su, kao primer, data prosečna odstupanja gustina snage vetra za svaku pojedinačnu godinu, za 7-mo godišnji i 5-to godišnji period.

Tabela 7.2: Odstupanje u % od prosečnih vrednosti gustine snage vetra (period 2001-2007)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	posek
Kikinda	108.6	108.6	94.3	97.1	82.6	102.9	102.9	100%
Palić	125.0	125.0	95.0	115.0	90.0	80.0	90.0	100%
R.Šančevi	119.4	125.8	103.2	103.2	83.9	80.6	77.4	100%
Sr.Mitrovica	124.1	127.6	103.4	96.6	82.8	82.8	79.3	100%
Sombor	114.3	104.8	119.0	104.8	95.2	85.7	85.7	100%
Vršac	119.8	123.0	103.2	119.8	89.7	70.6	74.6	100%
Zrenjanin	121.7	121.7	104.3	108.7	82.6	78.3	82.6	100%

Tabela 7.3: Odstupanje u % od prosečnih vrednosti gustine snage vetra (Period 2003-2007)

			2003	2004	2005	2006	2007	prosek	prosek
BKarlovac			89.4	120.2	106.7	85.6	96.2	100%	104
Kikinda	111.8	111.8	97.0	100.0	85.3	105.9	105.9	100%	34
Palić	131.6	131.6	100.0	121.0	94.7	84.2	94.7	100%	19
R.Šančevi	132.1	139.3	114.3	114.3	92.8	89.3	85.7	100%	28
Sr.Mitrovica	138.5	142.3	115.4	107.7	92.3	92.3	88.5	100%	26
Sombor	114.3	104.8	119.0	104.8	95.2	85.7	85.7	100%	21
Vršac	131.3	134.8	113.0	131.3	98.3	77.4	81.7	100%	115
Zrenjanin	133.3	133.3	114.3	119.0	90.5	85.7	90.5	100%	21

7.8. Aerodinamička dužina hrapavosti

Aerodinamička dužina hrapavosti po svim pravcima u dužini 10 km oko svakog anemografa određivana je na način, koji se preporučuje u programskom paketu WASP sa satelitskih snimaka GMS koje nudi *Google earth* (koordinate stanica su usklađene sa stvarnim). Aerodinamička dužina hrapavosti terena u Vojvodini varira od 0.001 za Palićko jezero, Dunav i Savu do 0.8 sa strogi centar Novog Sada.

7.9. Prepreke

Brzina vetra raste značajno sa visinom, naročito iznad terena čija je površina hrapava. Zbog toga se propisuje standardna visina merenja iznad tla na koju se obično izlaže instrument od 10 m. Kada je reč o pravcu vetra situacija je drugačija, jer se pravac vetra sa visinom neznatno menja i te se promene pri tlu mogu čak i ignorisati. Optimalna lokacija za merenje vetra je ona na kojoj je osmotreni vetar reprezentativan od najmanje nekoliko kilometara oko stanice ili se lako može korigovati da bude reprezentativan.

Površinska merenja vetra bez problema vezanih za izlaganje instrumenta teško da postoje. Teško je ispuniti zahtev da je teren na kom se meri vetar otvoren i ravan. Većina anemografa na kopnenim meteorološkim stanicama je pod uticajem topografskih efekata i objekata i flore koji pokrivaju tlo. Još češće su svi ti efekti udruženi.

Programski paket WASP ima jasnu proceduru kojom se objekti meteoroloških stanica i objekti u njenoj neposrednoj okolini uključuju u račun. Tačnu orijentaciju, visinu zgrade stanica i

tačnu visinu anemografskog stuba postavljenog ili na tlo ili na krov stanice, kao i rastojanje i tačan položaj objekata oko stanice, za potrebe ovog projekta odredjivao je geodetski zavod iz Novog Sada. Ali zbog obimnosti posla koji je za ovu instituciju bio veoma nestandardan, i kratkoće roka da se posao obavi, kao i činjenice da nam katastarski podaci s preciznim podacima o Gauss-Krugerovim koordinatama nisu bili dostupni, već smo ih odredjivali Garminovim GPS-om koji toleriše tačnost od 3cm do 3m, posao bi trebalo ponoviti preciznijim GPS-om ili podatke uporediti sa referentnom opštinskim katastrima. (Tokom obrade podataka o koordinatama uočila sam da je anemograf na GMS B. Karlovac lociran na južnijem delu kuće. Po sećanju on stoji na sredini kuće. Koliko to pomeranje od 1.5 do 2.5 m po krovu kuće utiče na rezultat prikazano je u prilogu 4 za B. Karlovac).

Dodatnu nesigurnost u ovaj deo posla unosi činjenica da je na dve GMS u Vojvodini: Rimski Šančevi i Kikinda, anemografski stub postavljen na nestandardno visokim i prostranim kućama, pa se smanjenje vetra iz tog razloga čini „preveliko“, ili se bar retko sreće u literaturi.

Osim toga većina stanica, u bar jednom ili dva pravca, u neposrednoj okolini stanice ima drvo ili drveće nedozvoljene visine, odnosno visine za koju WASP ne garantuje da ima precizan račun (Situacija je ponovo najkritičnija na Rimskim Šančevima. Takve situacije diskutovane su u Londonu na konferenciji o uključivanju ivica šuma u WASP projekte. Sumarni izveštaj neke od tih ideja dat je u prilogu 4 za Rimske Šančeve.

Kao poslednji u ovom prilogu komentarisani su sumarni izveštaji za atlas vetra po proceduri, koju za korekciju ekspoziturne instrumenta preporučuje WMO, ali WASP-ovim softverom.)

8. MAPE VETROVA VOJVODINE

Mape brzine vetrova u m/s i mape srednjih gustina snage vetrova u W/m^2 na 10m, 25m, 50m, 100m i 200m visine nad tlom su ključni rezultati obrade podataka sa 8 meteoroloških stanica u AP Vojvodini, koji su dobijeni korišćenjem WASP softverskog paketa.

Treba napomenuti, da programski paket WASP za svoje analize zahteva digitalizovane mape u razmeri od 1:25.000 do 1:100.000. U nedostatku odgovarajućih digitalnih mapa u ovom projektu je u WASP-u upotrebljena digitalizovana mapa, koja se koristi kao podloga u meteorološkim numeričkim modelima i koja ima korak $0,033^\circ$ geografske širine i dužine. Ova rezolucija bi mogla biti i veća, čime bi se dobila predstava sa više detalja, ali i u ovakvom obliku se dobija slika u skladu sa WasP-ovim standardima.

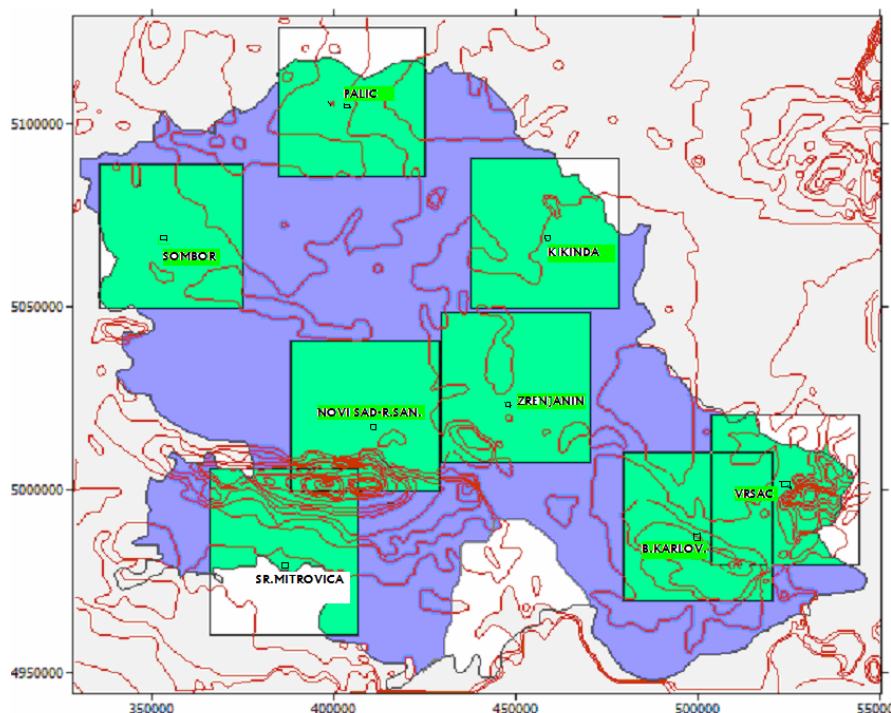
Prvo su za svaku GMS određene mape brzine i gustine vetrova za okolinu meteorološke stanice u površini od 40×40 km, s tim da je sama GMS pozicionirana u centru dobijenog kvadrata. Digitalizovana mapa i njeni segmenti oko 8 tretiranih GMS, koje pokriva obrada WasP-om, prikazani su na slici 8.1.

Zatim je vršeno njihovo interpoliranje, odnosno izračunavanje ovih mapa za kompletnu teritoriju AP Vojvodine. To je urađeno tako što su ovi WASP gridovi eksportovani u program Surfer, gde je primenjena interpolaciona funkcija, odnosno postupak uobičajen za ove analize i korišćen pri izradi i drugih atlasa vetrova.

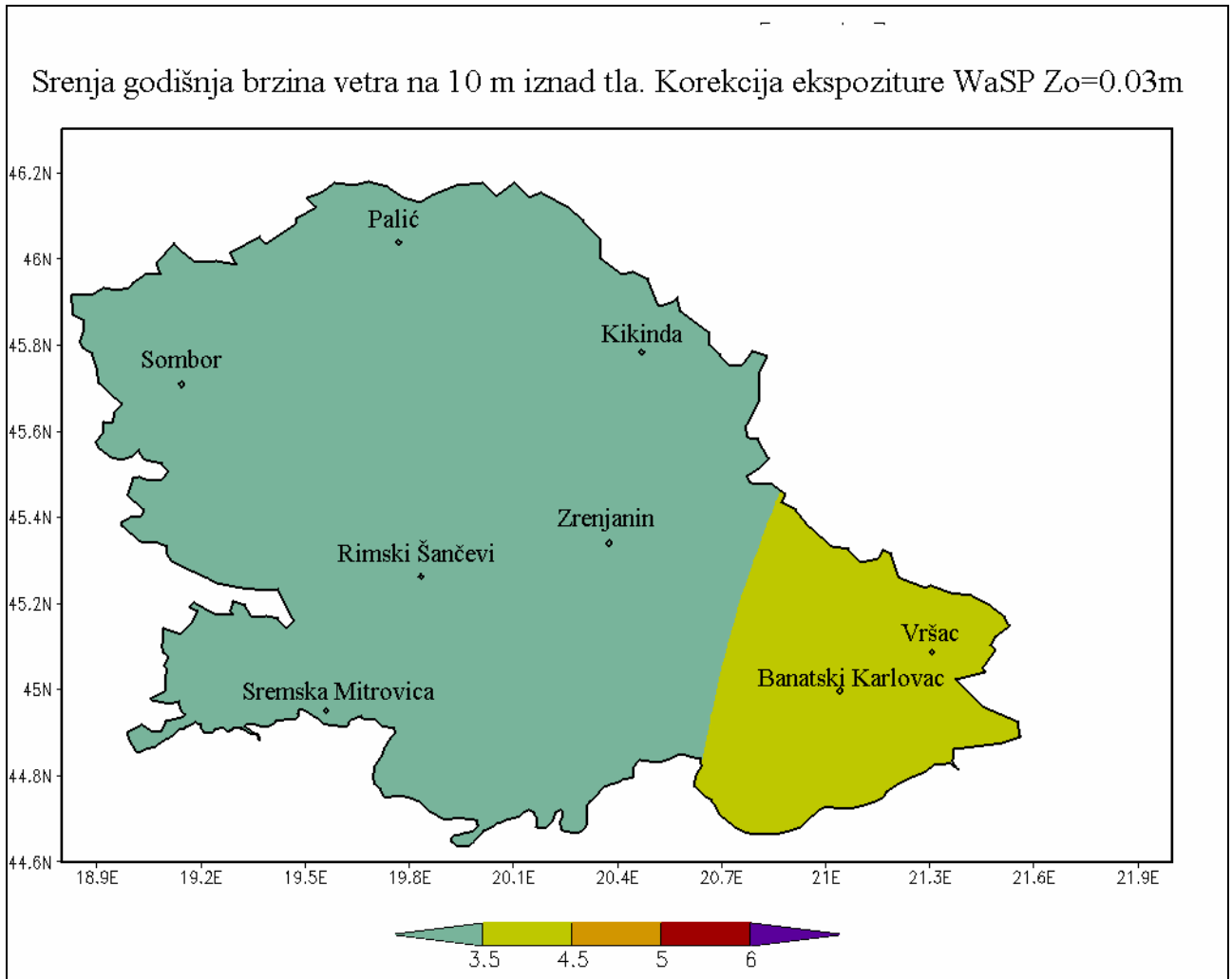
Na slikama 8.2 – 8.6 prikazane su mape srednje godišnje brzine vetrova u m/s za 10m, 25m, 50m, 100m i 200m visine nad tlom, respektivno, za posmatrani period 2000.-2007. god.

Na slikama 8.7 – 8.11 prezentovane su proračunate vrednosti srednje gustine snage vetrova u W/m^2 za 10m, 25m, 50m, 100m i 200m visine nad tlom, respektivno, za posmatrani period 2000.-2007. god.

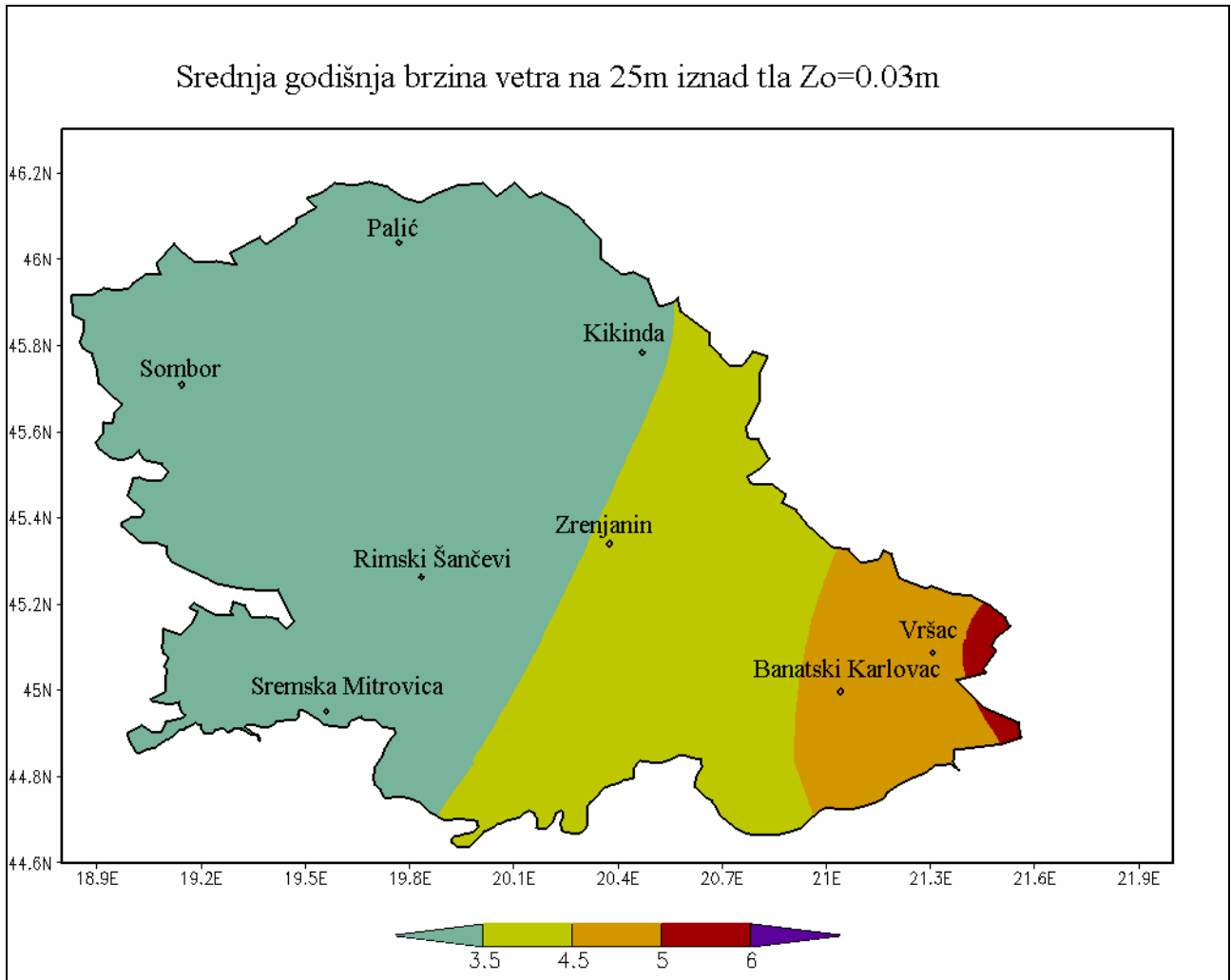
U prilogu 3 dati su detaljni rezultati WasP softvera, odnosno mape brzine vetrova u m/s i srednje gustine snage vetrova u W/m^2 i drugi relevantni podaci, sa prikazom položaja same stanice i lokalne ruže vetrova za sve obrađivane meteorološke stanice u Vojvodini.



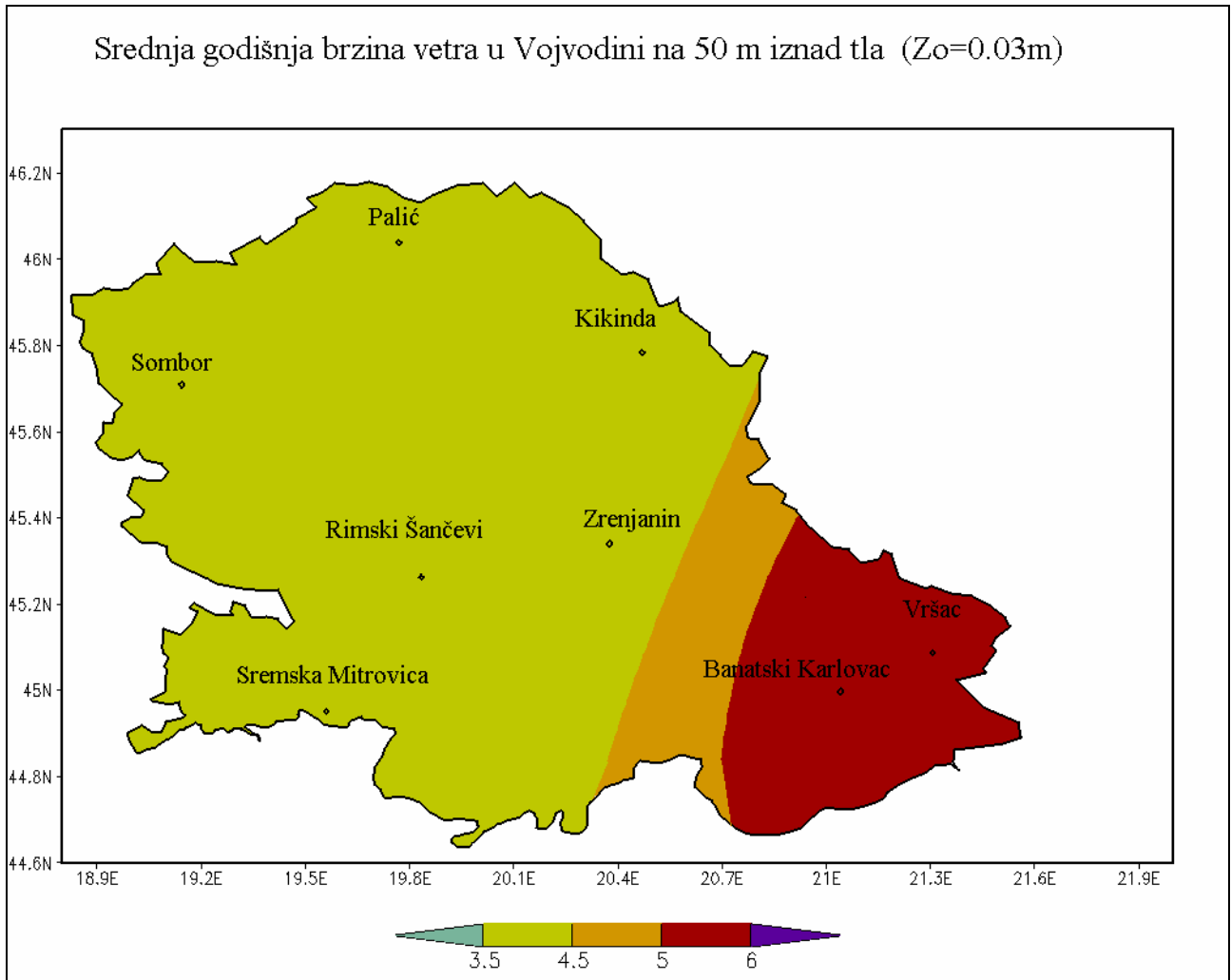
Slika 8.1 – Formiranje mape vetrova u Vojvodini



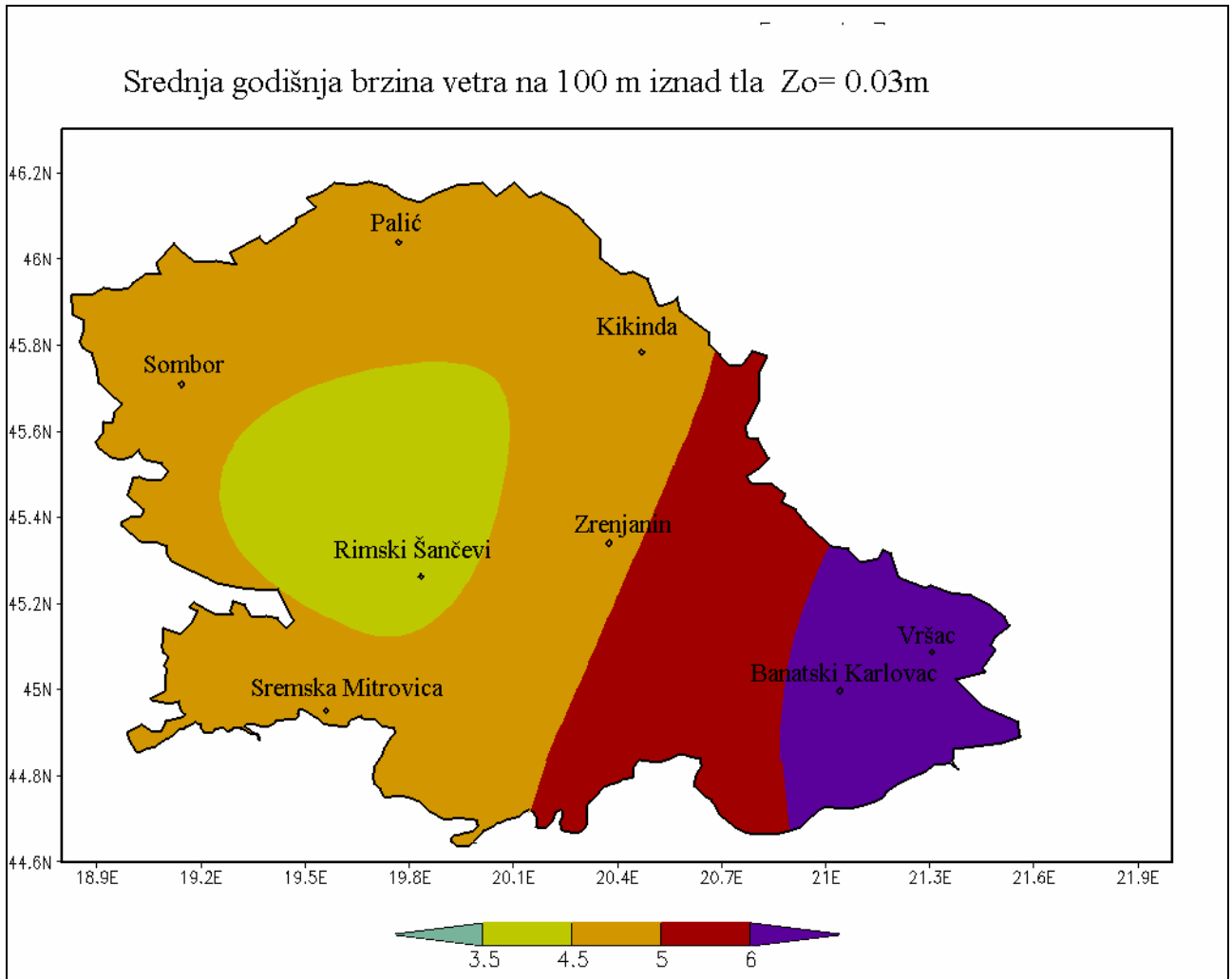
Slika 8.2 – Srednja godišnja brzina vetrova u Vojvodini u m/s na 10m iznad tla.



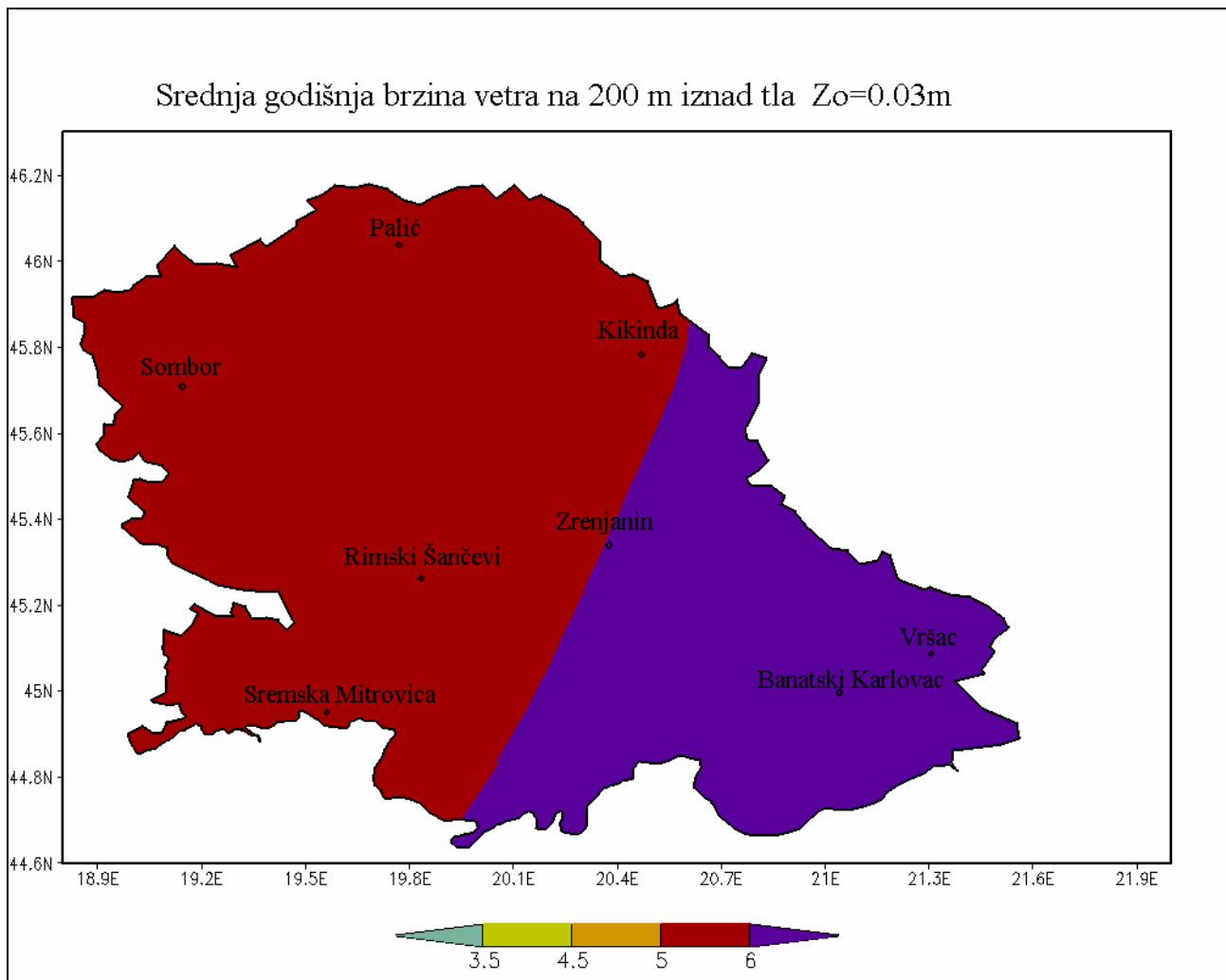
Slika 8.3 – Srednja godišnja brzina vetrova u Vojvodini u m/s na 25m iznad tla.



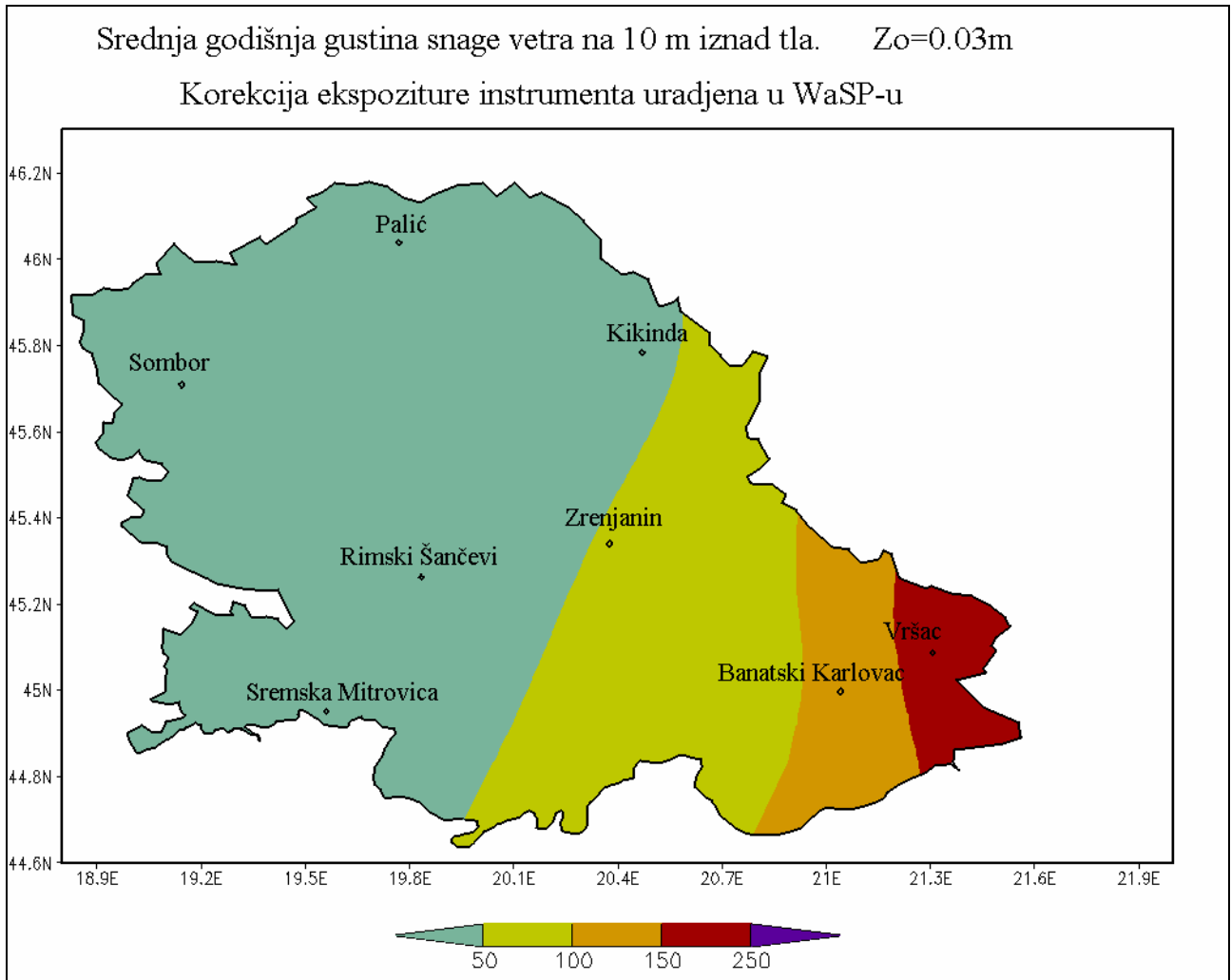
Slika 8.4 – Srednja godišnja brzina vetrova u Vojvodini u m/s na 50m iznad tla.



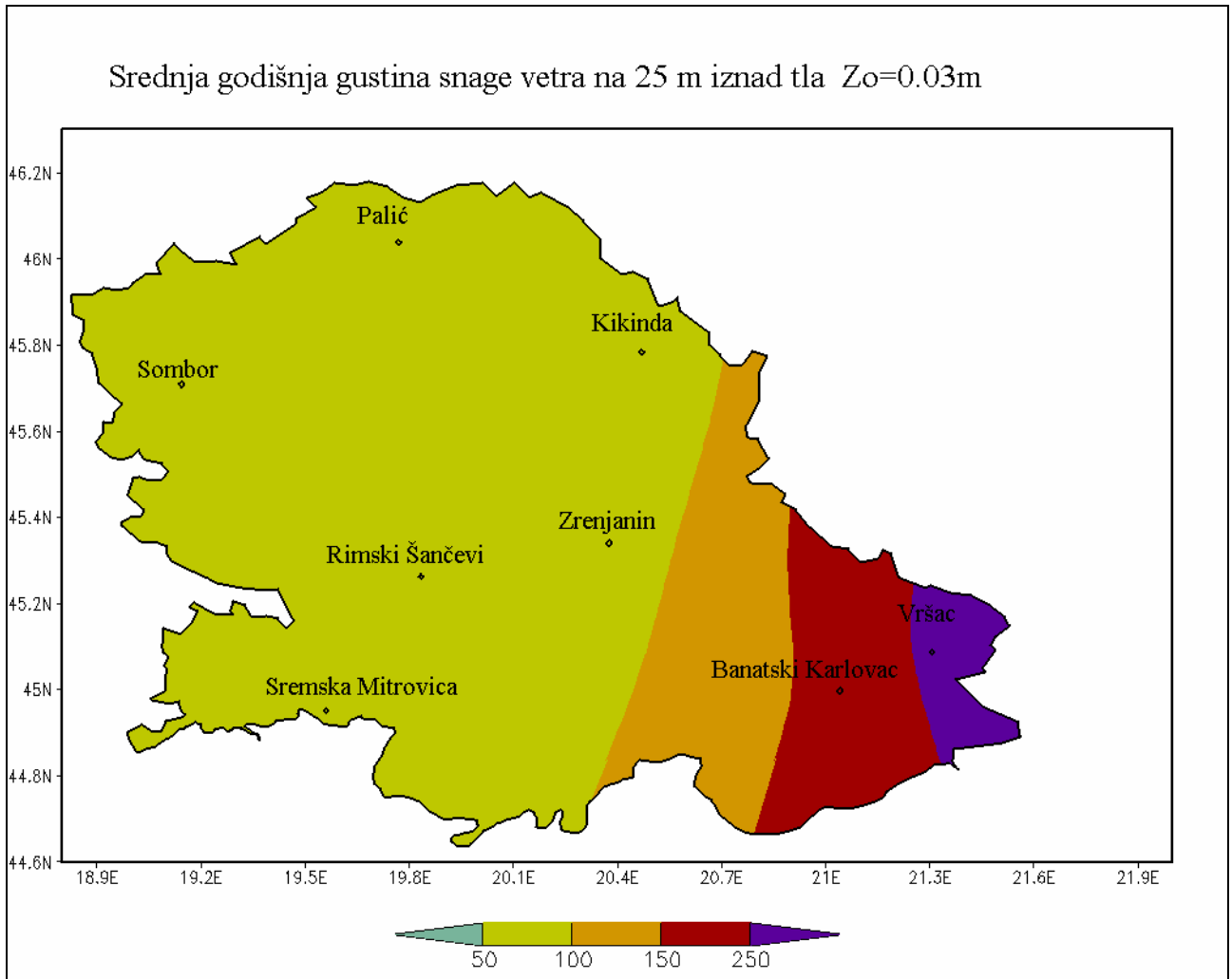
Slika 8.5 – Srednja godišnja brzina vetrova u Vojvodini u m/s na 100m iznad tla.



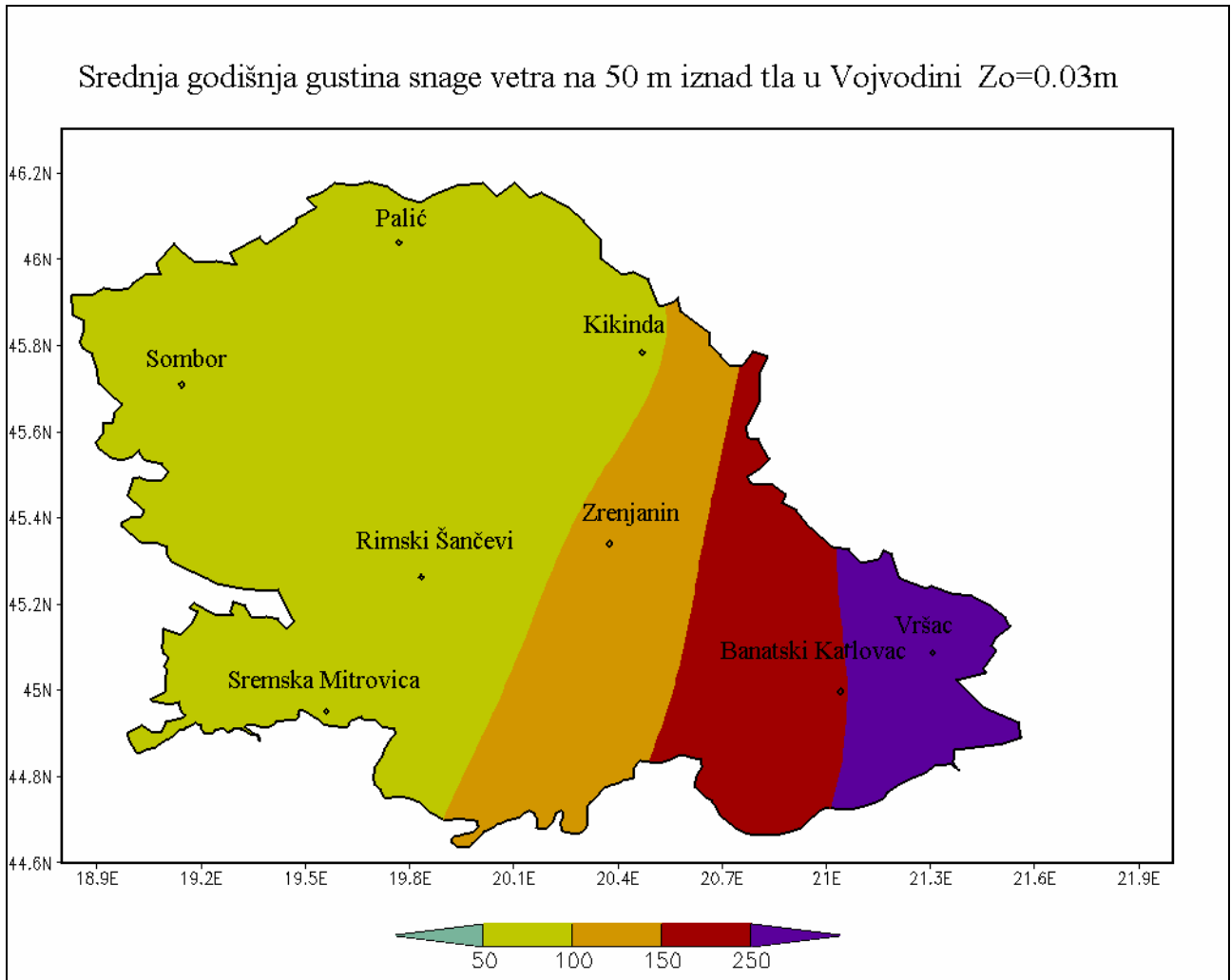
Slika 8.6 – Srednja godišnja brzina vetrova u Vojvodini u m/s na 200m iznad tla.



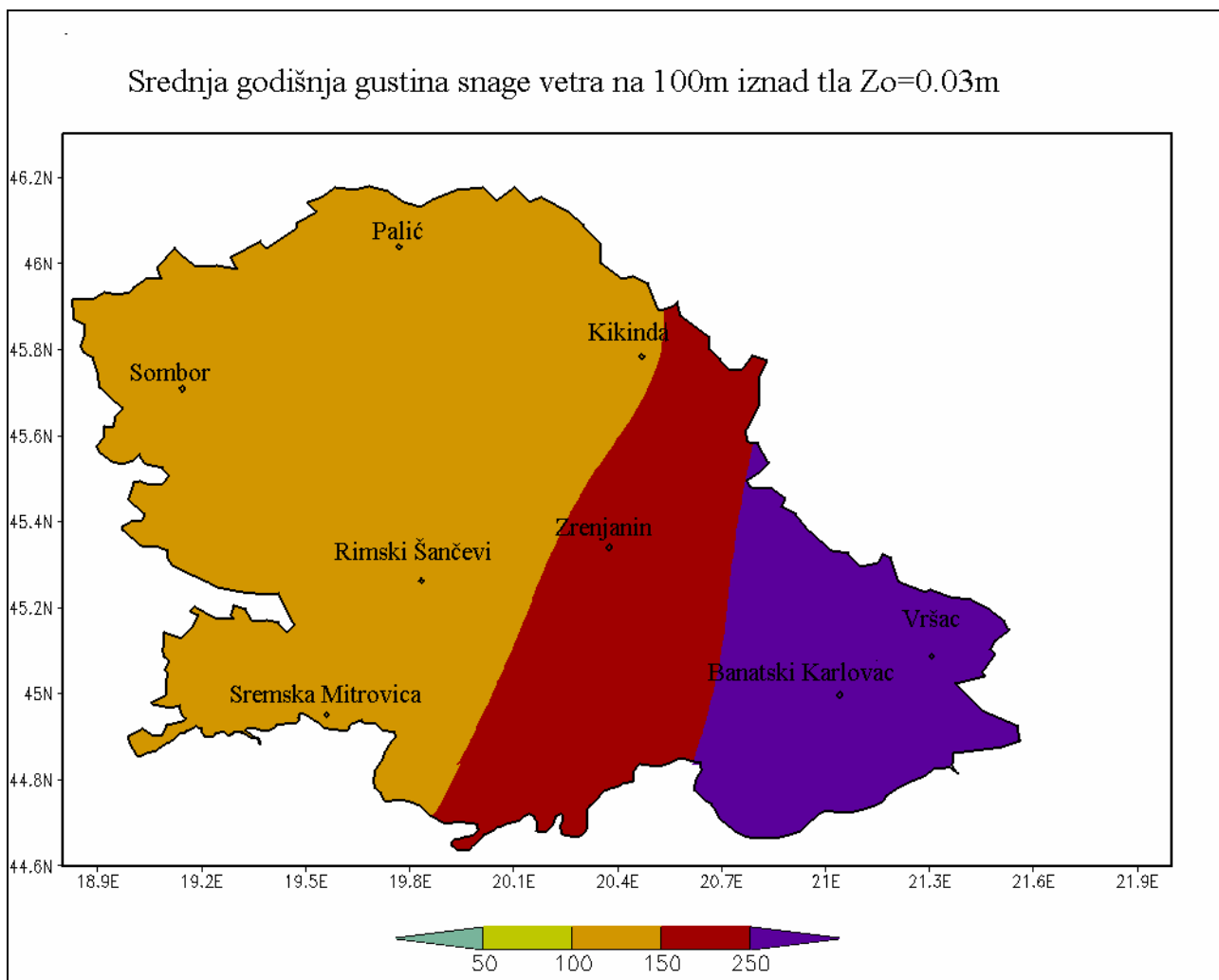
Slika 8.7 – Srednja godišnja gustina snage vetrova u Vojvodini u W/m^2 na 10m iznad tla.



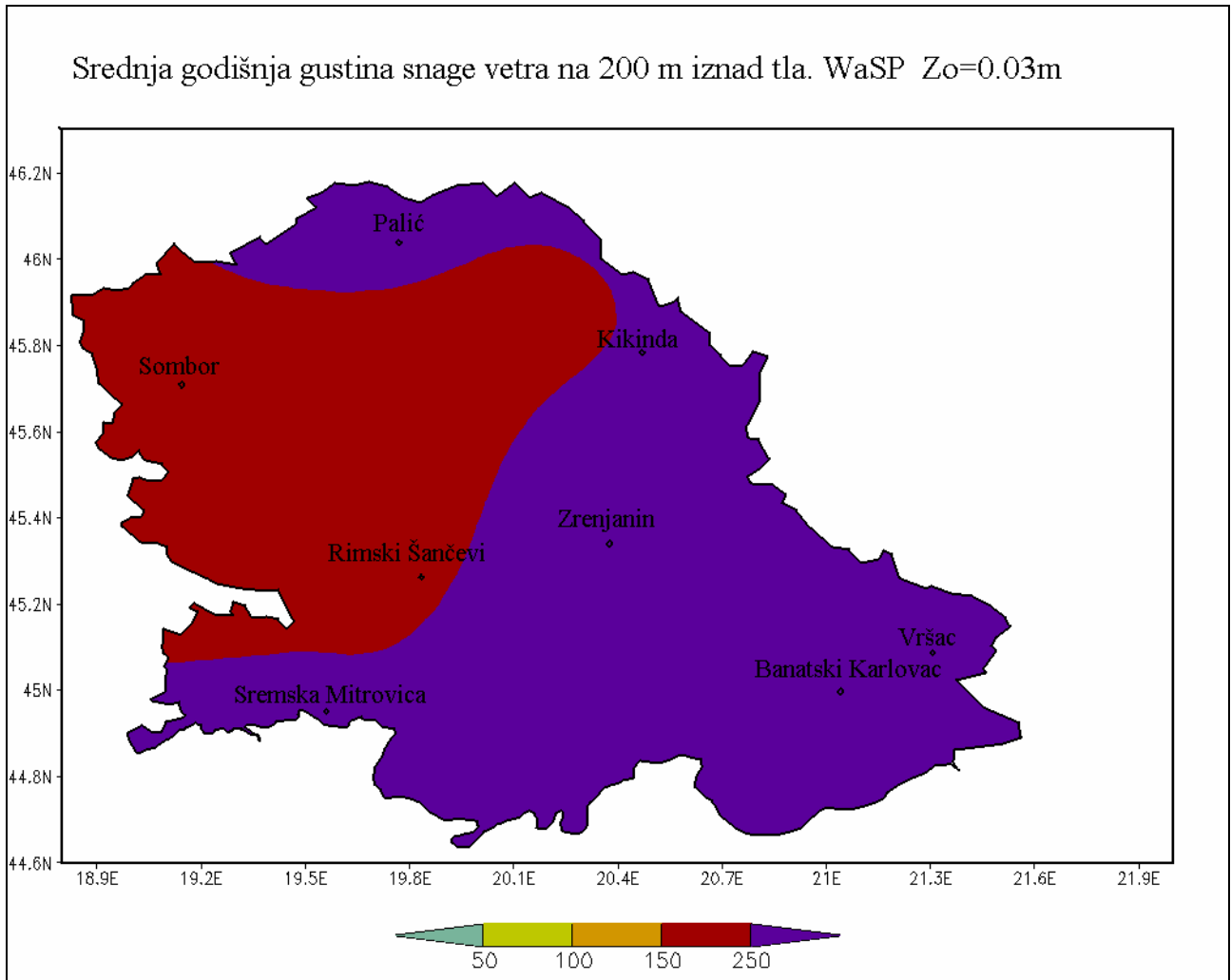
Slika 8.8 – Srednja godišnja gustina snage vetrova u Vojvodini u W/m^2 na 25m iznad tla.



Slika 8.9 – Srednja godišnja gustina snage vetrova u Vojvodini u W/m^2 na 50m iznad tla.



Slika 8.10 – Srednja godišnja gustina snage vetrova u Vojvodini u W/m^2 na 100m iznad tla.



Slika 8.11 – Srednja godišnja gustina snage vetrova u Vojvodini u W/m^2 na 200m iznad tla.

9. ZAKLJUČAK

Studija «Atlas vetrova AP Vojvodine» je detaljno analizirala stanje vetrova na teritoriji AP Vojvodine sa aspekta brzina i energetskog potencijala. Za analizu su korišćeni podaci o brzini i pravcu duvanja vetrova sa glavnih meteoroloških stanica (GMO) Hidro-meteorološkog zavoda Srbije, koje se nalaze u Vojvodini (8 stanica). Obraden je period od 2000-2007. godine i izvršena digitalizacija mernih rezultata. Ukupno je obraden i unešeno u posebno razvijenu bazu (datoteku) 468.712 podataka za brzinu vetra i isto toliko za pravac, odnosno ukupno 937.424 podatka. Ovi podaci su učitani od strane WasP programa, čija licenca je nabavljena tokom izrade projekta i za čiju primenu je izvršena obuka.

Rezultati obrade WasP softverom uključuju

1. Klimatologiju izmernog vetra na 10 m za 8 stanica,
2. Atlas ekstrapolisanog vetra na 50 m iznad tla i
3. Detaljne mape brzine vetrova u m/s i srednje gustine snage vetrova u W/m^2 za 8 stanica

Na osnovu ovih rezultata primenom metoda interpolacije i korišćenjem softvera Surfer, došlo se do detaljnih mapa brzine vetrova u m/s i srednje gustine snage vetrova u W/m^2 za celu teritoriju AP Vojvodine za 10m, 25m, 50m, 100m i 200m visine iznad tla.

Krajnji rezultati studije pokazuju da je Vojvodina bogata kvalitetnim vetrovima, posebno na visinama preko 50m iznad tla, a naročito preko 100m iznad tla, što odgovara savremenim vetroeletranama snaga 2-5 MW. Posebno se ističe oblast južnog i jugoistočnog Banata gde je eksploatacija energije vetra potpuno ekonomski isplativa (srednje godišnje brzine vetrova preko 6 m/s).

Prilikom izrade studije uočeno je da su se znatno precizniji rezultati mogli dobiti da su korišćenje kvalitetnije digitalne mape Vojvodine, te da su uzeti u obzir merni podaci u širem vremenskom intervalu (bar 10 god.) i sa još nekih meteoroloških stanica u okolini, odnosno mernih stubova na teritoriji AP Vovodine. Očekuje se da će se ova poboljšanja ostvariti u nastavku rada na studiji.

10. LITERATURA

1. ***, „Zakon o energetici“, Službeni glasnik RS, 84/04, www.parlament.sr.gov.yu
2. Ministarstvo rudarstva i energetike RS, „Strategija razvoja energetike u RS“, jul 2005, www.mem.sr.gov.yu
3. Ministarstvo rudarstva i energetike RS, „Program ostvarivanja strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine za period od 2007. do 2012. godine“, www.mem.sr.gov.yu
4. EU Direktiva 2001/77/EC, „Promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market“, Official Journal of European Community, L283/33, 2001.
5. EU Direktiva 2002/91/EC, „Direktiva 2002/91/EC Evropskog parlamenta i saveta od 16. decembra 2002. godine o energetskej efikasnosti zgrada“, Official Journal of European Community, L1/65, 2003.
6. EU Direktiva 2003/30/EC „Directive 2003/30/EC of the European parliament and of the council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport“, Official Journal of European Community, L123/42, 2003.
7. European Wind Energy Association, www.ewea.org
8. R. Putnik i sarad., „Mogućnost korišćenja energije vetra za proizvodnju električne energije“, Studija, Elektroprivreda Srbije, Beograd, 2002.
9. P.Gburčik i sarad., „Gustina aeroenergetskog potencijala u Srbiji“, Studija, Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd, 1984.
10. P.Gburčik i sarad., „Studija energetskeg potencijala Srbije za korišćenje sunčevog zračenja i energije vetra“, Studija, Centar za multidisciplinarne studije, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 2004.
11. T.Popović i sarad., „Ocena mogućnosti korišćenja energije vetra na teritoriji Republike Srbije“, Savezni hidrometeorološki zavod, Beograd, 1997.
12. Liber Perpetuum, „Energija, životna sredina, ekonomski razvoj - Modul energija vetra“, Studija, OSCE, www.skgo.org
13. B.Rajković, Z.Popov, «Procena brzine vetra na izabranim lokacijama», Studija za Pokrajinski sekretarijat za energetiku i mineralne sirovine, 2005, <http://www.psemr.vojvodina.sr.gov.yu>
14. Ministarstva energije SAD-a, Ured za analizu i predviđanje, „Izveštaj broj DE-97005344“, Vašington, April 1997.
15. F.Felix: „Stanje nuklearne ekonomije“, IEEE Spectrum, IEEE Press, USA, Nov. 1997.
16. M.Kaltschmitt, W.Streicher, A.Wiese, „Renewable Energy – Technology, Economics and Environment“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007
17. P.Katić, D.Đukanović, P.Đaković, „Klima karte SAP Vojvodine“, prilog publikaciji „Klima SAP Vojvodine“, Poljoprivredni fakultet, Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, 1979.
18. T.Papić, „Obnovljivi izvori energije – vetar“, Uvodno izlaganje, Tribina: „Obnovljivi izvori energije – biomasa i vetar“, Novi Sad, 5.11.2008., www.psemr.vojvodina.sr.gov.yu
19. Ž.Đurišić, M.Bubnjević, D.Mikičić, N.Rajaković, „Wind Atlas of Vojvodina, Serbia“, European Wind Energy Conference – EWEC 2007, Milano, 7-10. May 2007, www.ewec2007proceedings.info/
20. Ministarstvo rudarstva i energetike, <http://logic.dnsprotect.com/~learnint/mem/navigacija.php?IDSP=306>
21. European Wind Atlas, <http://www.windatlas.dk/Europe>
22. A.Zervos, C.Kjaer, „Pure Power – Wind Energy Scenario up to 2030“, European Wind Energy Association, March 2008, www.ewea.org
23. EU Directive 5421/08, „Climate-energy legislative package“, Dec.2008, www.ewea.org

24. Pokrajinski sekretarijat za energetiku i mineralne sirovine APV, „Program ostvarivanja strategije razvoja energetike Republike Srbije u AP Vojvodini (od 2007 do 2012. godine)“, April 2007, www.psemr.vojvodina.sr.gov.yu
25. P.Gburčik i dr., „Potencijali solarne i vetro energije u Srbiji“, Nacionalni program energetske efikasnosti, Ministarstva nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije - Studija EE704-1052A, 2005.

11. PRILOZI

11.1. Prilog 1: Klimatologija izmernog vetra na 10 m za GMO stanice:

1. Banatski Karlovac, 2. Kikinda, 3. Palić, 4. Novi Sad - Rimski Šančevi
5. Sombor, 6. Sremska Mitrovica, 7. Vršac, 8. Zrenjanin

11.2. Prilog 2: Atlas ekstrapolisanog vetra na 50 m iznad tla za GMO stanice:

1. Banatski Karlovac, 2. Kikinda, 3. Palić, 4. Novi Sad - Rimski Šančevi
5. Sombor, 6. Sremska Mitrovica, 7. Vršac, 8. Zrenjanin

11.3. Prilog 3: Detaljne mape brzine vetrova u m/s i srednje gustine snage vetrova u W/m^2 za GMO stanice:

1. Banatski Karlovac, 2. Kikinda, 3. Palić, 4. Novi Sad - Rimski Šančevi
5. Sombor, 6. Sremska Mitrovica, 7. Vršac, 8. Zrenjanin

11.4. Prilog 4: Sumarne vrednosti atlasa ekstrapolisanog vetra na 50 m iznad tla: a) za zamišljeni slučaj da su merenja vršena na stubovima 10 m iznad tla, da nema prepreka i da je hrapavost terena $z_0=0.03$, i b) za realne uslove za GMO stanice:

1. Banatski Karlovac, 2. Kikinda, 3. Palić, 4. Novi Sad - Rimski Šančevi
5. Sombor, 6. Sremska Mitrovica, 7. Vršac, 8. Zrenjanin