



ACTION C.3

ACTIVITY a)

ANALYSIS OF WIND CONDITIONS

LUKA HONZAK, BO – MO, d.o.o.

DR. MIHA JUKIĆ, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta

DR. MARINA PINTAR, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta

MAREC, 2017

KAZALO

1. UVOD	3
2. MERITVE VETRA V VIPAVSKI DOLINI	3
3. ANALIZA MERITEV VETRA.....	5
3.1 Bilje (ARSO).....	6
3.2 Dolenje (ARSO)	7
3.3 Strelišče Mlake (DARS)	8
3.4 Izpostava Vipava (DARS).....	9
3.5 Zemono (DARS).....	10
3.6 Nadvoz Ajdovščina (DARS)	11
3.7 Ribnik (DARS).....	12
3.8 Viadukt Selo (DARS)	13
3.9 Viadukt Lijak (DARS).....	14
4. PODNEBNE PROJEKCIJE	15
5. SKLEPI	16
6. ZAHVALA	16
7. LITERATURA.....	16

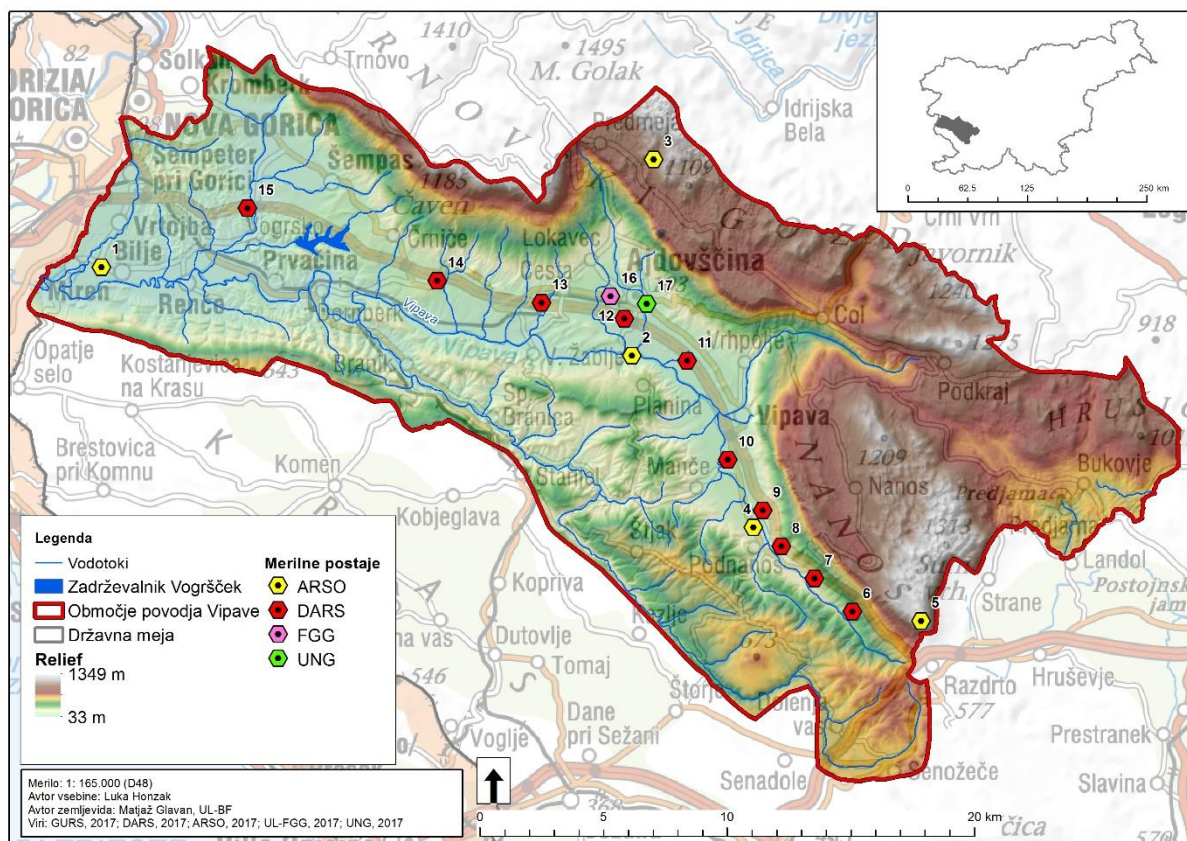
1. UVOD

Vipavska dolina leži v zahodnem delu Slovenije. Na zahodu se odpira proti Furlanski nižini, na vzhodu in severu jo omejujejo planote Nanos, Hrušica in Trnovski gozd, na jugu Kras in Vipavski griči. Topografija območja je raznolika, saj se nadmorska višina spreminja od 33 metrov do preko 1400 metrov. Za celotno območje je značilen močan veter, imenovan burja.

Burja je hladen, sunkovit veter severovzhodne smeri, prisoten v JZ Sloveniji in vzdolž hrvaške obale. Je najmočnejši veter v Sloveniji, znan predvsem po svoji sunkovitosti; lokalno lahko sunki presegajo 180 km/h. Pri nas do pojava burje pride, ko se hladen zrak iznad osrednje Slovenije po dvigu prek dinarskih gorskih planot pospešujoče spušča proti Jadranu. V Vipavski dolini v povprečju piha zmerna do močna burja 42 dni na leto. Najpogostejše se pojavlja pozimi, ko je tudi najmočnejša. Lokalno se lahko hitrost burje močno poveča zaradi stekanja vetrov nad reliefnimi oblikami, drugje pa nastanejo zatišne lege, kjer so večinoma postavljena naselja (Rakovec in sod. 2009). Vetrovi, podobni burji, so znani tudi drugod po svetu (Severna Amerika, Japonska itd.).

2. MERITVE VETRA V VIPAVSKI DOLINI

V Vipavski dolini se nahaja več kot 15 merilnih postaj različnih institucij, kjer se izvajajo stalne meritve vetra (Slika 1, Preglednica 1).



Slika 1: Karta merilnih postaj vetra v Vipavski dolini (ARSO = Agencija Republike Slovenije za okolje; DARS = Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji; FGG = Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo UL; UNG = Univerza v Novi Gorici).

Največjo merilno mrežo ima Družba za avtoceste v RS (DARS): ob hitri cesti imajo od leta 2011 postavljenih 10 postaj, s katerimi si pomagajo pri vodenju prometa. Dve od njih merita hitrost na dveh različnih višinah, ostale le na eni. Merilna mreža s časovno najdaljšim nizom podatkov je v lasti Agencije RS za okolje (ARSO). Na postajah Bilje pri Novi Gorici in Dolenje pri Ajdovščini se meritve

izvajajo že od začetka 90. let prejšnjega stoletja. V okviru projekta BOBER (Medmrežje 1, 2017) sta bili v zadnjih letih dodani merilni mesti Podnanos in Nanos. Fakulteta za znanosti o okolju Univerze v Novi Gorici (UNG) je leta 2015 postavila merilnik na streho Univerzitetnega središča v Ajdovščini (Medmrežje 2, 2016), Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani (UL FGG) pa v okviru projekta WindRisk (Medmrežje 3, 2017) od leta 2013 izvaja meritve vetra na ajdovskem stadionu.

Preglednica 1: Osnovni podatki o merilnih postajah vetra v Vipavski dolini.

Št.	Upravljaliec	Ime postaje	Višina meritev nad terenom	Inštrument	Tip inštrumenta	Začetek meritev
1	Agencija RS za okolje (ARSO)	Bilje	10 m	Vaisala WMT702	2D ultrazvočni	1991
2		Dolenje	10 m	Vaisala WAA 151, WAV 151	optoelektronski Robinsonov	1993
3		Otlica	10 m	Vaisala WMT702	2D ultrazvočni	2006
4		Podnanos	10 m	Vaisala WMT702	2D ultrazvočni	2015
5		Nanos	10 m	Vaisala WMT702	2D ultrazvočni	2016
6	Družba za avtoceste v RS (DARS)	viadukt Šumljak	3 m	Vaisala WS425	2D ultrazvočni	2011
			8 m	Vaisala WS425	2D ultrazvočni	2011
7		viadukt Lozice	3,5 m	Vaisala WXT520	2D ultrazvočni	2011
			8 m	Davis Vantage Pro 2	Robinsonov	
8		viadukt Tabor	8 m	Vaisala WS425	2D ultrazvočni	2011
9		strelišče Mlake	8 m	Vaisala WS425	2D ultrazvočni	2011
10		izpostava Vipava	10	Vaisala WS425	2D ultrazvočni	2011
11		Zemono	8 m	Vaisala WS425	2D ultrazvočni	2011
12		nadvoz Ajdovščina	12 m	Vaisala WS425	2D ultrazvočni	2011
13		viadukt Ribnik	8 m	Vaisala WS425	2D ultrazvočni	2011
14		viadukt Selo	8 m	Vaisala WS425	2D ultrazvočni	2011
15		viadukt Lijak	8 m	Vaisala WS425	2D ultrazvočni	2011
16	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (UL FGG)	Ajdovščina (stadion)	2 m nad streho	Gill Instruments WindMaster Pro	3D ultrazvočni	2013
17	Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju (UNG)	Ajdovščina (Univerzitetno središče)	Na strehi	Vaisala WMT702	2D ultrazvočni	2015

3. ANALIZA MERITEV VETRA

Za kmetijstvo je pomemben predvsem ravninski del Vipavske doline, zato smo se omejili na izbrane postaje DARS in ARSO (Preglednica 2) in analizirali meritve iz obdobja 2011-2016, ki je skupno vsem merilnim mestom. Meritve UL FG in UNG so manj zanimive, saj so pridobljene na urbanem območju in le za krajše časovno obdobje.

Postaje DARS zbirajo podatke v triminutnih intervalih. Za vsak interval sta na voljo povprečna hitrost s pripadajočo smerjo vetra ter največji sunek, ki smo mu pripisali isto smer kot povprečni hitrosti. Podatki ARSO postaj se beležijo vsake pol ure, za vsak interval pa smo uporabili t.i. terminsko hitrost vetra (povprečna hitrost vetra zadnjih 10 minut časovnega intervala), njeno smer ter največji sunek v polnem intervalu s pripadajočo smerjo.

Preglednica 2: Osnovna statistika za analizirane postaje za veter v Vipavski dolini.

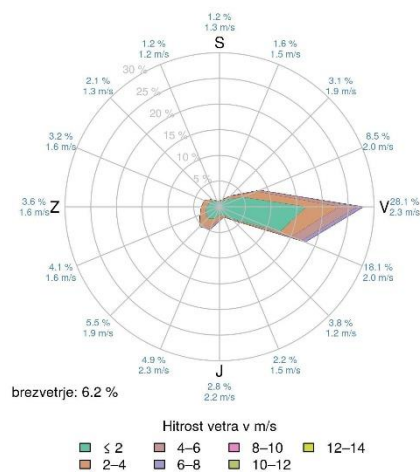
Št.	Upravljaliec	Ime postaje	Povprečna hitrost (m/s)	Največja hitrost (m/s)	Najmočnejši sunek (m/s)
1	ARSO	Bilje	1,87	12,2	31,4
2		Dolenje	1,52	20,9	35,9
9		strelišče Mlake	2,22	24,6	41,2
10		izpostava Vipava	3,05	26,9	56,0
11		Zemono	3,04	22,6	36,7
12	DARS	nadvoz Ajdovščina	2,93	28,6	42,8
13		viadukt Ribnik	2,34	25,0	39,1
14		viadukt Selo	2,46	35,7	51,9
15		viadukt Lijak	1,59	29,1	48,6

Hitra primerjava v preglednici 2 pokaže velike razlike med postajami. Povprečna hitrost se giblje od 1,5 m/s (Dolenje, viadukt Lijak) do več kot 3 m/s (izpostava Vipava, Zemono), največja od 12 m/s (Bilje) do več kot 35 m/s (viadukt Selo). Najmočnejši izmerjeni sunek na vseh postajah presega 30 m/s, najvišja vrednost (56 m/s) pa je bila dosežena na postaji izpostave DARS v Vipavi.

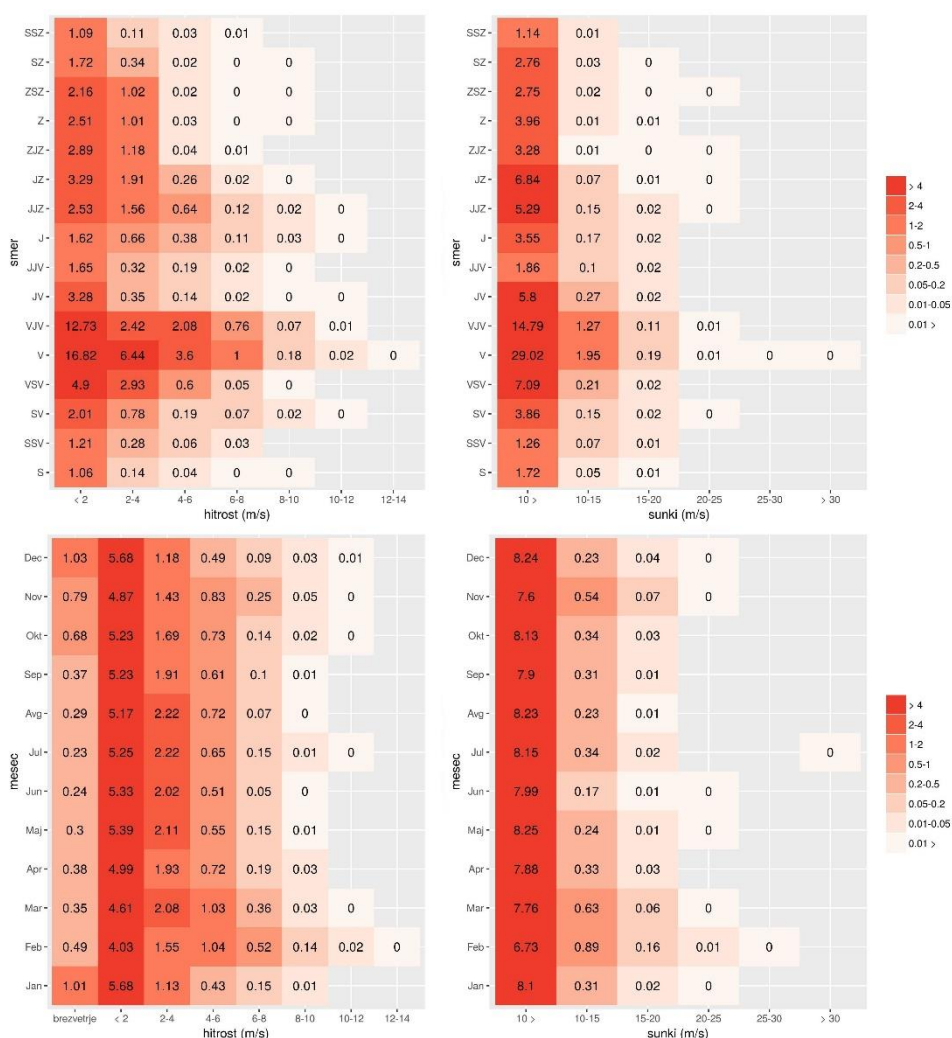
V podrobnejši analizi smo za vsako postajo narisali vetrovno rožo za hitrost in smer vetra ter izračunali relativno pogostost po hitrostnih razredih in smereh neba oz. mesecih v letu. Enako smo naredili tudi za sunke vetra. Veter s hitrostjo manjšo ali enako 0,3 m/s je obravnavan kot brezvetrje. Pri vetrovni roži številke po obodu kroga označujejo relativno frekvenco vetrov iz posameznih smeri in njihovo povprečno hitrost, barve pa označujejo kumulativno relativno frekvenco vetrov v posameznem hitrostnem razredu.

3.1 Bilje (ARSO)

Na merilni postaji Bilje sta prevladujoči smeri vetra V in VJV, ki pokrijeta približno polovico vseh meritev (V 28%, VJV 18%). Pričakovano so povprečne hitrosti nad 10 m/s najpogostejše dosežene ravno pri teh smereh. Spremljajoči sunki lahko presegajo hitrost 25 m/s, vendar so taki dogodki redki. Veter je najmočnejši pozimi, zlasti februarja.



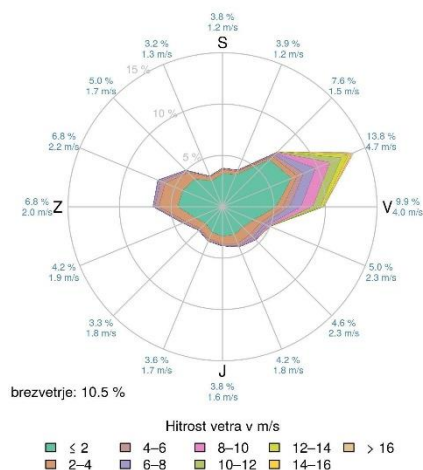
Slika 2: Vetrovna roža - Bilje.



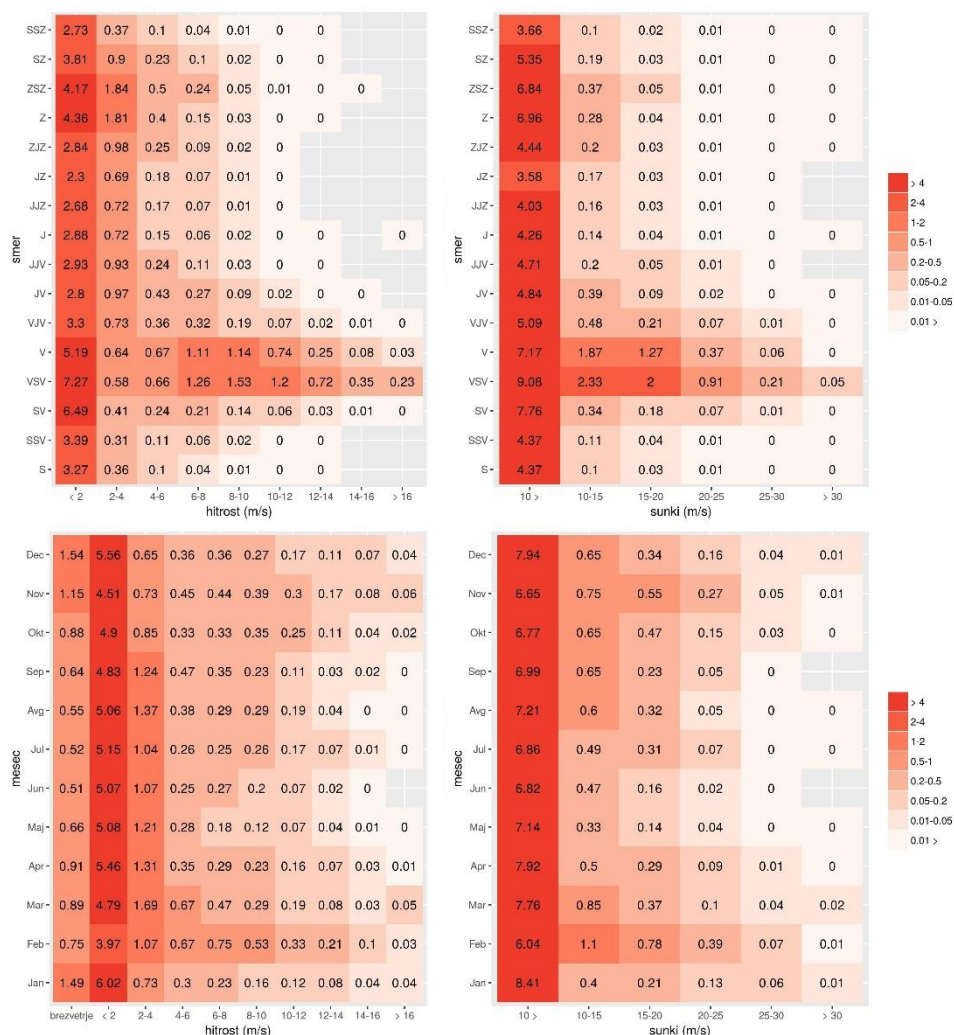
Slika 3: Relativna pogostost hitrosti vetra (levo) in sunkov vetra (desno) po smereh neba (zgoraj) oz. mesecih (spodaj) za merilno postajo Bilje.

3.3 Strelišče Mlake (DARS)

Zahodni veter večkrat nastopi tudi na strelišču Mlake (Z in ZSZ skupaj 14%), a je tudi tu bistveno močnejši in pogostejši veter iz smeri med V in SV (skupaj 31%). Hitrosti nad 14 m/s s spremljajočimi sunki nad 25 m/s se pojavljajo skozi vse leto, najpogosteje od oktobra do aprila in najizraziteje iz VSV.



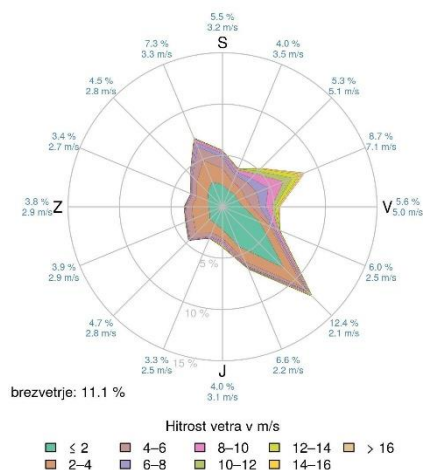
Slika 6: Vetrovna roža – strelišče Mlake.



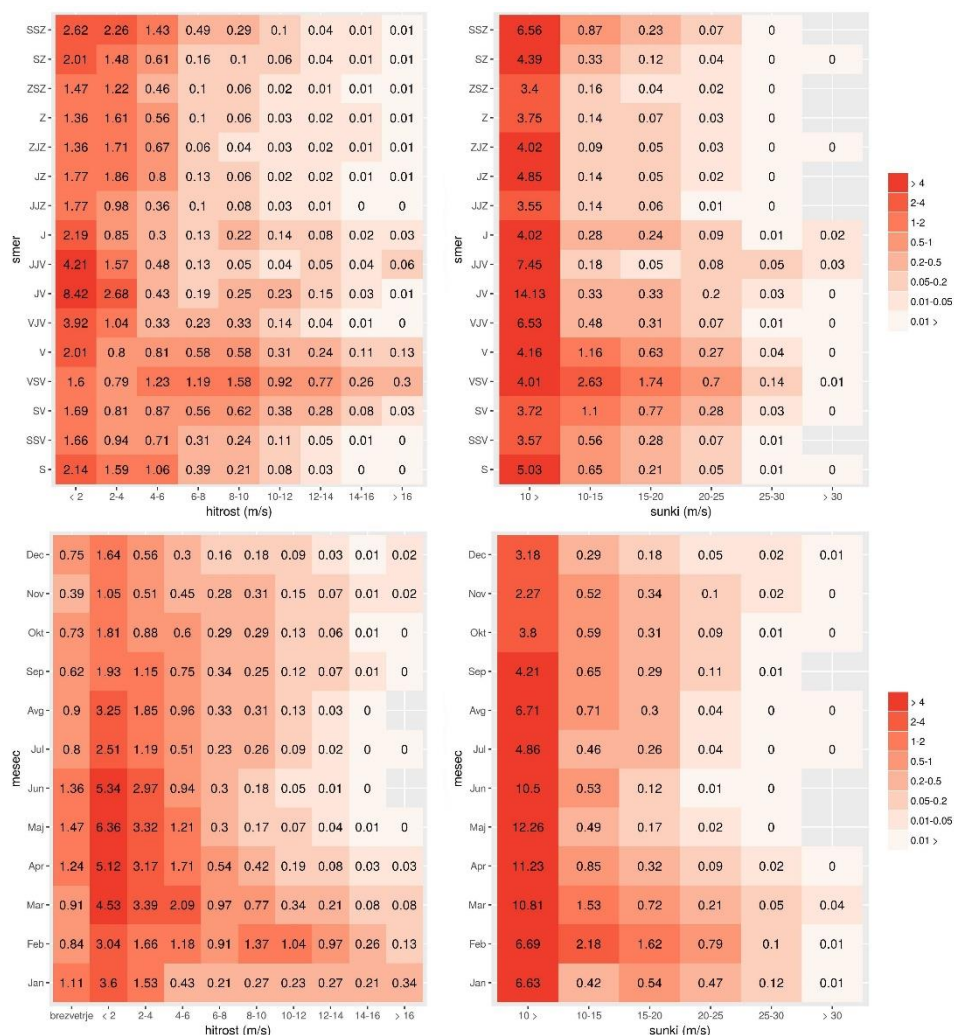
Slika 7: Relativna pogostost hitrosti vetra (levo) in sunkov vetra (desno) po smereh neba (zgoraj) oz. mesecih (spodaj) za merilno postajo strelišče Mlake.

3.4 Izpostava Vipava (DARS)

Na postaji DARS v Vipavi so zastopane vse smeri vetrov. Najpogostejše piha z jugovzhoda, a so hitrosti večinoma nizke. Močan veter s hitrostmi nad 14 m/s je značilen za zimske mesece, zlasti januarja, prihaja pa predvsem iz smeri VSV (povprečna hitrost skozi celotno obdobje 7,1 m/s), nekaj manj iz V in SV. Iz istih smeri in v istem obdobju se pojavljajo tudi najmočnejši sunki (nad 25 m/s), opazni pa so tudi iz smeri JJV.



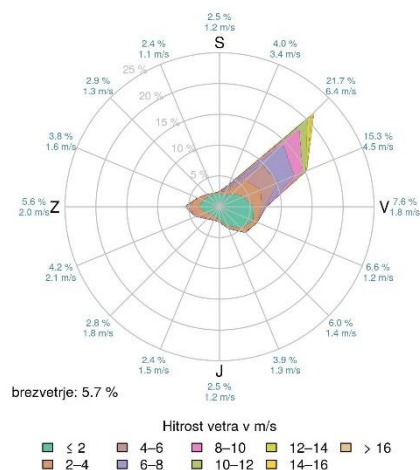
Slika 8: Vetrovna roža – izpostava Vipava.



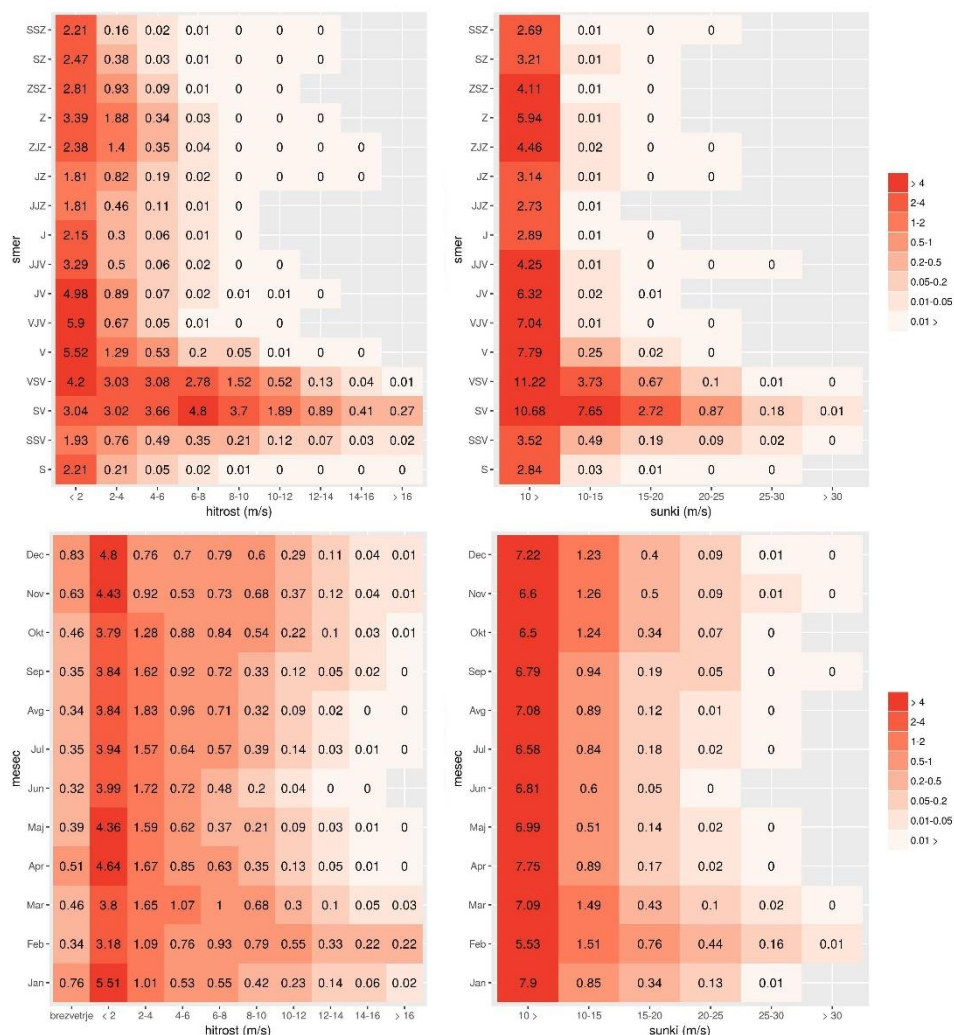
Slika 9: Relativna pogostost hitrosti vetra (levo) in sunkov vetra (desno) po smereh neba (zgoraj) oz. mesecih (spodaj) za merilno postajo izpostava Vipava.

3.5 Zemono (DARS)

V Zemonu prevladuje severovzhodni veter (SV 22%, VSV 15%), ki je tudi najmočnejši. Najvišje hitrosti (nad 14 m/s) dosega od oktobra do marca, najizraziteje februarja, ko so najmočnejši tudi sunki (25 m/s in več). Močno prevladujoča smer najvišjih hitrosti in sunkov je SV, omenimo lahko še VSV in SSV.



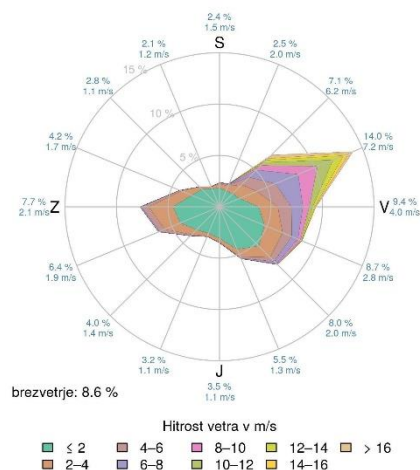
Slika 10: Vetrovna roža - Zemono.



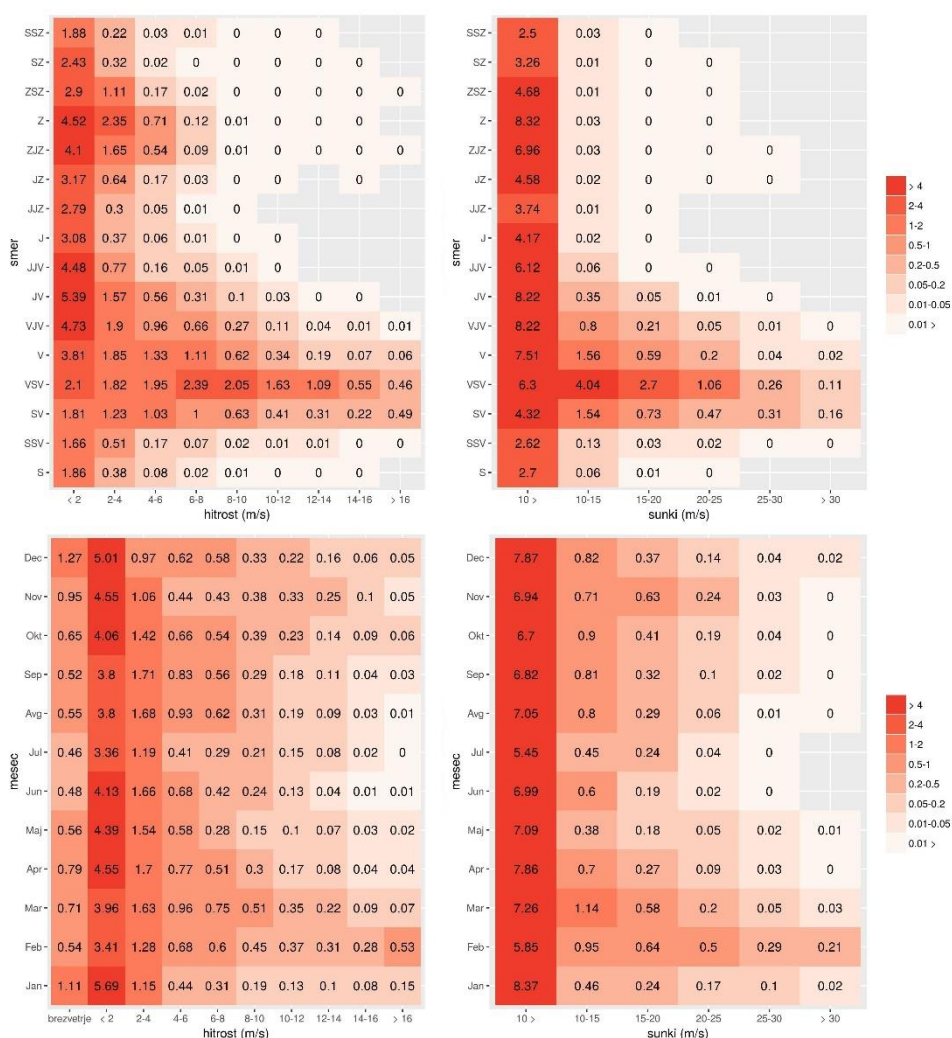
Slika 11: Relativna pogostost hitrosti vetra (levo) in sunkov vetra (desno) po smereh neba (zgoraj) oz. mesecih (spodaj) za merilno postajo Zemono.

3.6 Nadvoz Ajdovščina (DARS)

Na merilni postaji v Ajdovščini skoraj polovico časa piha iz smeri med JV in SV, pri čemer so hitrosti s severa bistveno večje od tistih z juga. Izmed vseh analiziranih merilnih mest tu najpogostejše nastopajo povprečne hitrosti nad 16 m/s. Pojavljajo se skozi vse leto, a so bistveno pogostejše februarja, poleti pa nastopijo le redko. Značilne so za smeri SV in VSV, spremljajo pa jih sunki, ki presegajo 30 m/s.



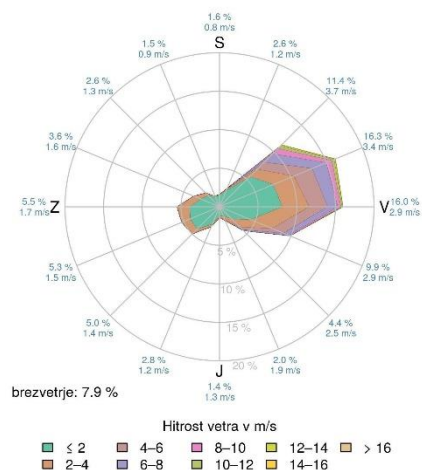
Slika 12: Vetrovna roža – nadvoz Ajdovščina.



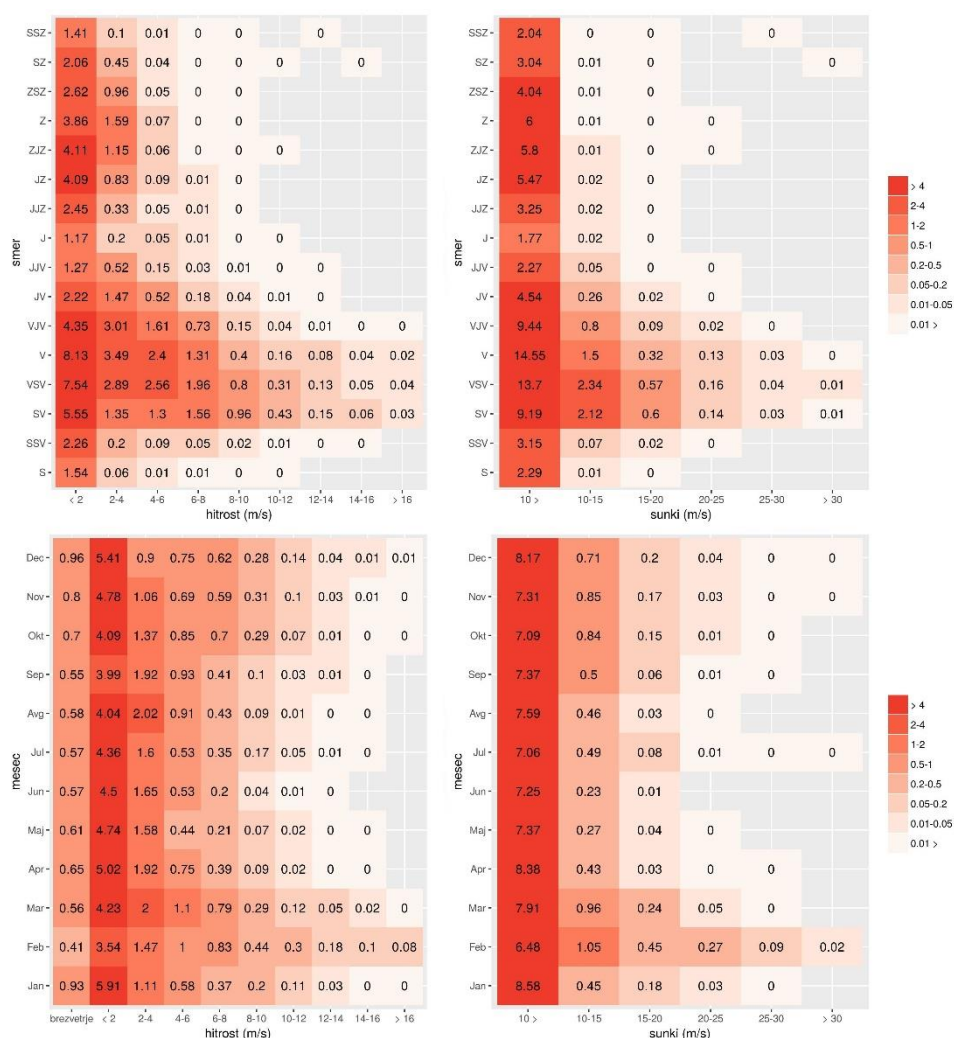
Slika 13: Relativna pogostost hitrosti vetra (levo) in sunkov vetra (desno) po smereh neba (zgoraj) oz. mesecih (spodaj) za merilno postajo nadvoz Ajdovščina.

3.7 Ribnik (DARS)

Na viaduktu Ribnik več kot polovico meritev odpade na vzhodne smeri vetra (SV 11%, VSV 16%, V16%, VJV 10%). Povprečne hitrosti nad 14 m/s ter spremljajoči sunki nad 25 m/s so vezani na smeri med V in SV, najpogostejši so februarja, v ostalem delu leta pa so bolj izjema.



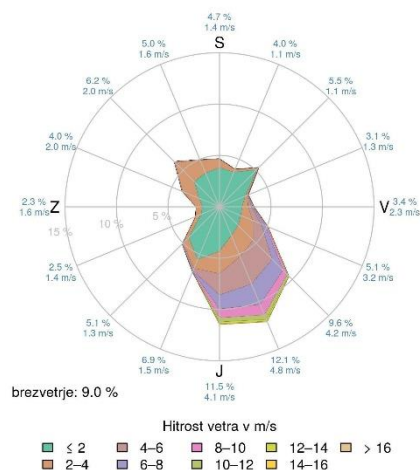
Slika 14: Vetrovna roža – Ribnik.



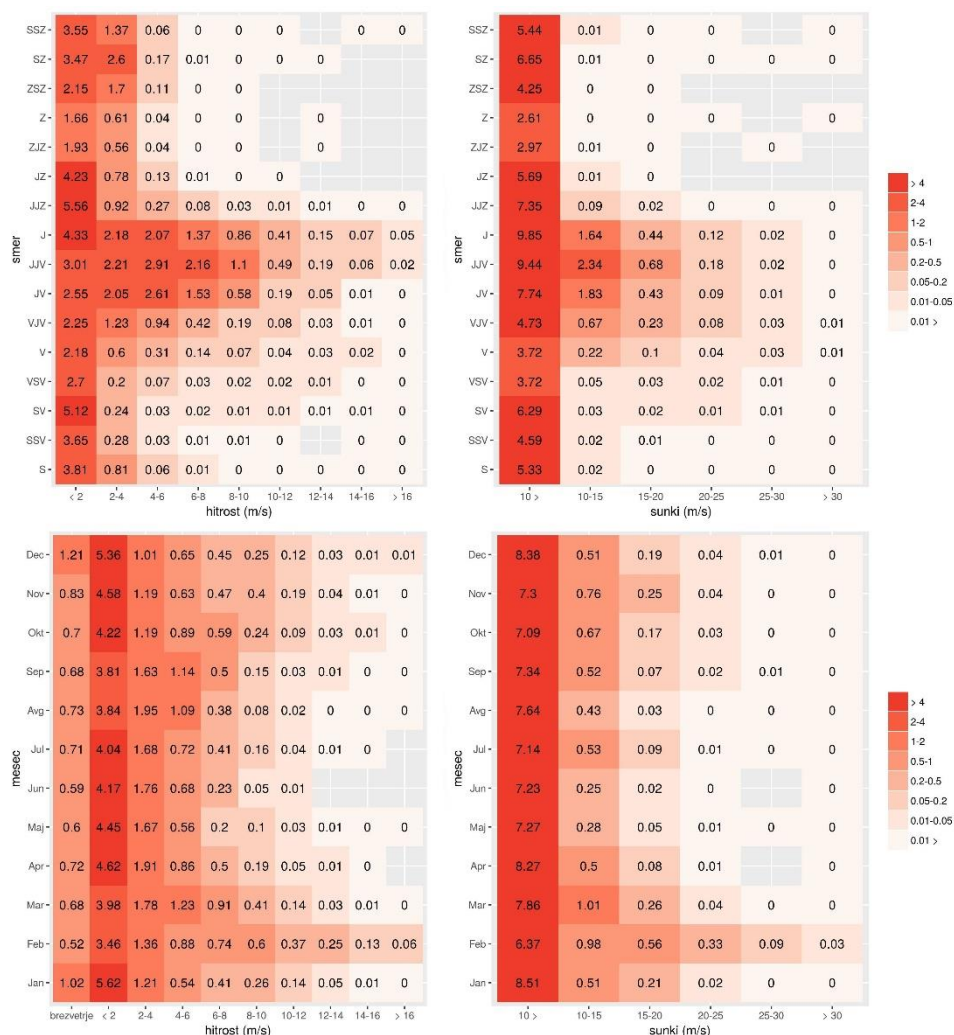
Slika 15: Relativna pogostost hitrosti vetra (levo) in sunkov vetra (desno) po smereh neba (zgoraj) oz. mesecih (spodaj) za merilno postajo Ribnik.

3.8 Viadukt Selo (DARS)

Viadukt Selo je edina od obravnavanih merilnih postaj, kjer prevladuje veter južnih smeri (J 12%, JJV 12%, JV 10%). Najvišje povprečne hitrosti so običajno zabeležene februarja iz smeri J in JJV. V istem času se pojavljajo tudi najmočnejši sunki, ki so dokaj enakomerno razporejeni na smeri med J in V, lahko tudi do SV.



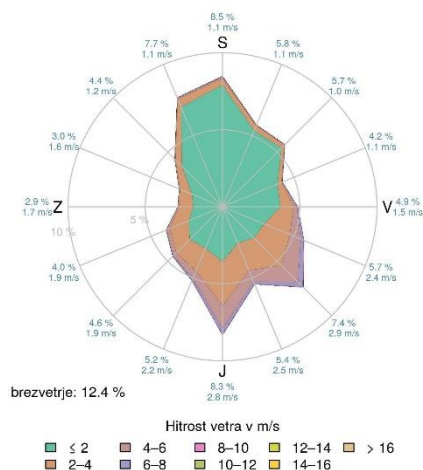
Slika 16: Vetrovna roža – viadukt Selo.



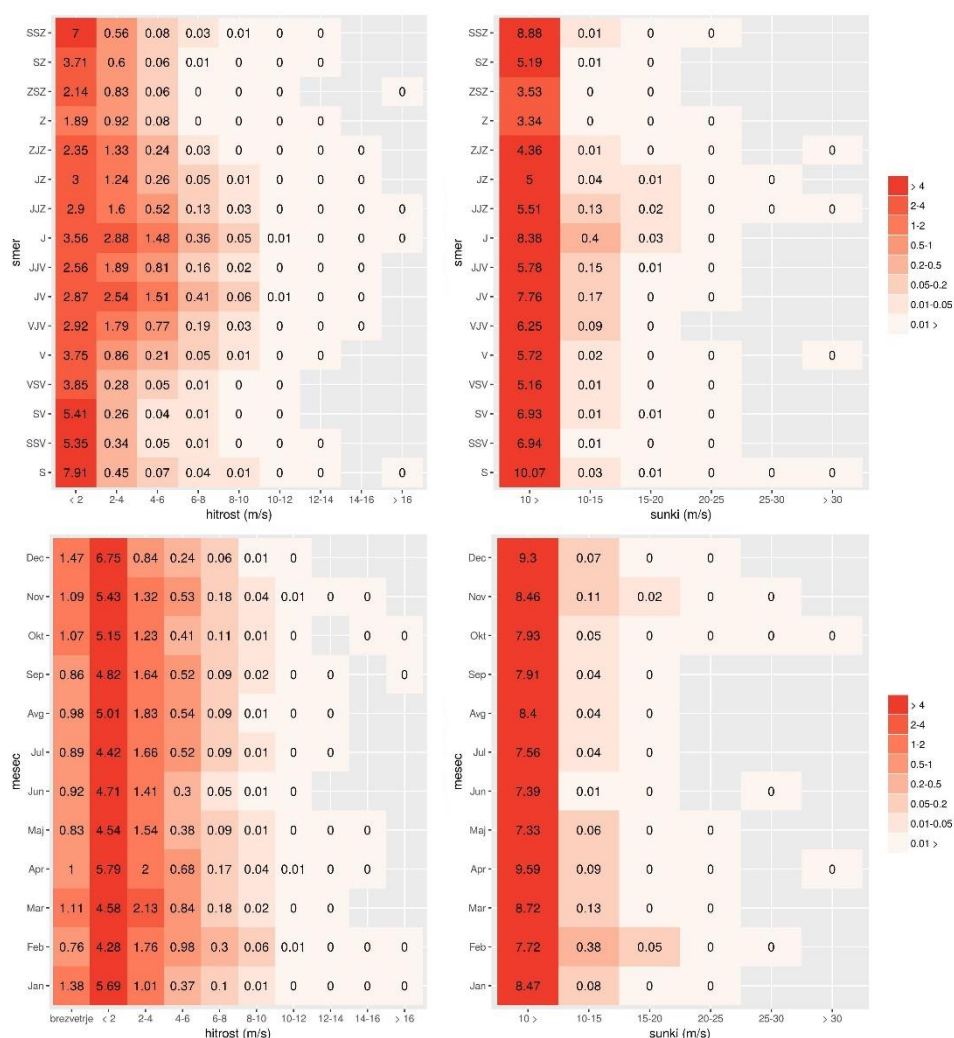
Slika 17: Relativna pogostost hitrosti vetra (levo) in sunkov vetra (desno) po smereh neba (zgoraj) oz. mesecih (spodaj) za merilno postajo viadukt Selo.

3.9 Viadukt Lijak (DARS)

Na viaduktu Lijak je težko izbrati prevladujočo smer vetra, saj so precej enakomerno zastopane, najvišji deleži pa odpadejo tako na severne (S 9%, SSZ 8%), kot tudi južne smeri (J 8%, JV 7%). Veter je v splošnem nekoliko močnejši, kadar piha z juga, a tudi takrat hitrosti niso izjemno velike. Hitrosti preko 10 m/s lahko nastopijo kadarkoli v letu in iz katerekoli smeri, vendar se to zgodi zelo redko. Podobno velja za močne sunke.



Slika 18: Vetrovna roža – viadukt Lijak.



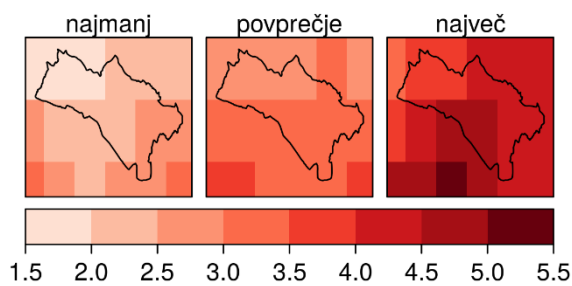
Slika 19: Relativna pogostost hitrosti vetra (levo) in sunkov vetra (desno) po smereh neba (zgoraj) oz. mesecih (spodaj) za merilno postajo viadukt Lijak.

4. PODNEBNE PROJEKCIJE

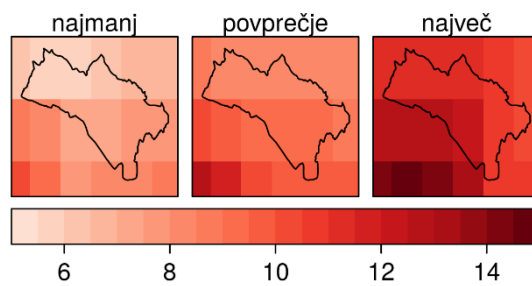
Pričakovane vetrovne razmere v prihodnosti smo ocenili z uporabo podatkov iz simulacij podnebnih modelov CORDEX (Giorgi in Gutowski, 2015; CORDEX 2016). V analizi projekcij smo uporabili rezultate šestih simulacij, ki so glede na arhivske podatke najboljše simulirali podnebne razmere na območju Slovenije (ARSO 2016, Honzak in sod., 2017). Uporabili smo t.i. zmerno optimistični scenarij RCP4.5 (van Vuuren in sod. 2011), kjer koncentracije toplogrednih plinov dosežejo maksimum okoli leta 2040.

Projekcije povprečne letne hitrosti vetra in 95. percentila maksimalne dnevne hitrosti vetra smo naredili za tri tridesetletna obdobja: bližnjo prihodnost (2011-2040), sredino 21. stoletja (2041-2070) in konec stoletja (2071-2100). Spremembe so prikazane kot odmik tridesetletnega obdobja od referenčnega obdobja 1981-2005. Na kartah je prikazana povprečna, najmanjša in največja vrednost odmika skupine izbranih šestih regionalnih modelov od referenčnega obdobja.

Povprečje modelov za povprečno letno hitrost vetra v Vipavski dolini je med 2,6 in 3,5 m/s (Slika 20), a so med modeli zelo velike razlike, med skrajnima modeloma do več kot 1,5 m/s. Povprečje modelov za 95. percentil maksimalne dnevne hitrosti vetra znaša med 8,3 in 10 m/s (Slika 21). Tudi v tem primeru so med modeli zelo velike razlike, do več kot 4,5 m/s med skrajnima modeloma.

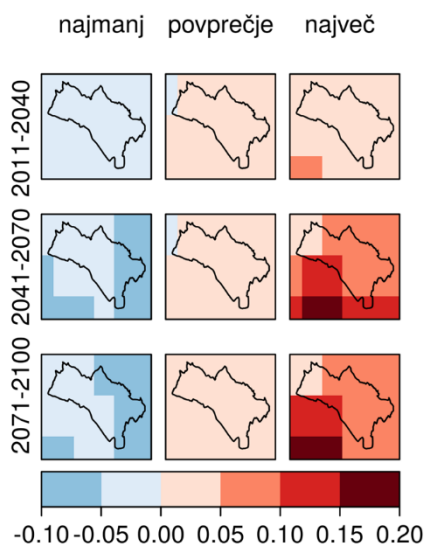


Slika 20: Povprečna letna hitrost vetra v m/s v Vipavski dolini za referenčno obdobje 1981-2005.

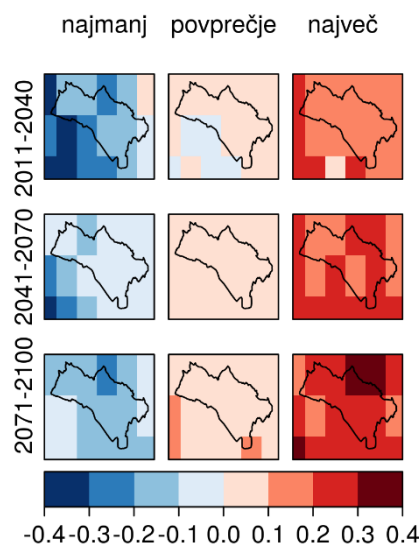


Slika 21: 95. percentil maksimalne dnevne hitrosti vetra v m/s v Vipavski dolini za referenčno obdobje 1981-2005.

Za prihodnost povprečje projekcij kaže na malenkostno povečanje povprečne letne hitrosti vetra (Slika 22), a je to zanemarljivo majhno (manjše od 0,1 m/s), poleg tega pa so razlike med modeli velike, od zmanjšanja za 0,4 m/s do povečanja za 0,4 m/s. Podobno velja za povprečje projekcij 95. percentila maksimalne dnevne hitrosti vetra, ki predvideva malenkostno povečanje v prihodnosti (Slika 23), a je to zanemarljivo majhno (manjše od 0,05 m/s), prav tako so razlike med modeli velike: od zmanjšanja za 0,1 m/s, do povečanja za 0,15 m/s.



Slika 22: Sprememba povprečne letne hitrosti vetra v m/s v Vipavski dolini glede na referenčno obdobje 1981-2005.



Slika 23: Sprememba 95. percentila maksimalne dnevne hitrosti vetra v m/s v Vipavski dolini glede na referenčno obdobje 1981-2005.

5. SKLEPI

Analizirali smo podatke za devetih merilnih postaj v Vipavski dolini za obdobje 2011-2016. Za večino obravnavanih postaj je prevladujoča smer vetra od SV do V, iz teh smeri je veter tudi najmočnejši. Pri nekaterih postajah, kot npr. Dolenje, Mlake, Ajdovščina, se pojavlja tudi zahodnik, vendar je šibkejši. Za postaji Selo in Lijak, ki ležita v spodnji Vipavski dolini, je veter močnejši z juga, v Selu tudi bolj pogost kot s severa. Vetrovi so najmočnejši v zimskih mesecih, zlasti v februarju, razen v Vipavi, ker so najmočnejši v januarju in na postaji Lijak, ker so enakomerni skozi vse leto. Velike hitrosti so najpogostejše v zgornji Vipavski dolini (postaje v Vipavi, Zemonu in Ajdovščini), v spodnji Vipavski dolini (postaje Bilje, Lijak, Selo) pa so hitrosti nižje.

Naredili smo tudi analizo projekcij podnebnih modelov. Povprečno dnevno hitrost in 95. percentil maksimalne dnevne hitrosti smo primerjali z obdobjem 1981-2005 in ugotovili, da se v 21. stoletju večjih sprememb ne pričakuje.

6. ZAHVALA

Agenciji RS za okolje (ARSO) in Družbi za avtoceste RS (DARS) se zahvaljujemo za podatke. Renatu Bertalanicu iz ARSO se zahvaljujemo za programsko kodo za izris vetrovnih rož.

7. LITERATURA

ARSO, 2016. Spremembe podnebja v Sloveniji do sredine 21. stoletja. Agencija RS za okolje, Ljubljana. http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/PSS/scenariji/letak_RCP45_2070.pdf (5. dec. 2016)

CORDEX, 2016. The Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX). International Project Office for CORDEX, Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI), Norrköping, Sweden. <http://www.cordex.org/> (5. dec. 2016)

- Giorgi, F. and Gutowski, W. J., 2015. Regional Dynamical Downscaling and the CORDEX Initiative. *Annual Review of Environment and Resources*, Vol 40, 40: 467-490.
- Honzak, L., Glavan, M., Pintar, M. 2017. Analiza podnebnih scenarijev za 21. stoletje na porečju Vipave. LIFE15 CCA/SI/000070 - LIFE ViVaCCAdapt. p. 23.
- Medmrežje 1: <http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/EU%20sofinancira/BOBER/> (15.2.2017)
- Medmrežje 2: <http://www.ung.si/sl/novice/1506/mocna-burja-v-vipavski-dolini/> (21.12.2016)
- Medmrežje 3: <http://www.windrisk.eu/> (10.1.2017)
- Rakovec, J., Žagar, M., Bertalanič, R., Cedilnik, J., Gregorič, G., Skok, G., Žagar, N.. 2009. *Vetrovnost v Sloveniji*. Ljubljana: Založba ZRC, ZRC SAZU, 177 str.
- van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S. J., Rose, S. K., 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109(1): 5.