

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOFIZIČKI ODSJEK

Željka Pogačić

STATISTIČKA OBRADA EPIZODA BURE U
ZRAČNOJ LUCI DUBROVNIK

Diplomski rad

Zagreb, 2014.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOFIZIČKI ODSJEK

Željka Pogačić

Diplomski rad

**Statistička obrada epizoda bure u zračnoj
luci Dubrovnik**

Voditelj: prof. dr. sc. Branko Grisogono

Suvoditelj: dr. sc. Željko Večenaj

Zagreb, 2014.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Branku Grisogonu na mentorstvu, savjetima i kritikama. Također, veliko hvala suvoditelju dr. sc. Željku Večenaju na svim savjetima, prijedlozima i podršci.

Zahvaljujem se Hrvatskoj kontroli zračne plovidbe d.o.o. na ustupljenim podacima, posebno Jadranu Jurkoviću, dipl. ing. i Igoru Kosu, dipl. ing. na ideji za ovaj diplomski rad.

Veliko hvala mojim roditeljima i bratu na velikoj podršci i razumijevanju tijekom cijelog školovanja.

Zahvaljujem se svim svojim prijateljima i kolegama bez kojih studiranje ne bi bilo ni upola zabavno.

Hvala Tomislave na neizmjernoj podršci i ljubavi!

Sadržaj:

Popis kratica i relacija

1. Uvod	1
2. Podaci	5
2.1. Lokacija i karakteristike automatske mjerne stanice na zračnoj luci Dubrovnik (LDDU)	5
2.2. Kontrola kvalitete podataka	5
2.3. Kriteriji za definiranje bure	6
3. Osnovna statistička obilježja skupa podataka	9
3.1. SM bure	10
3.2. N bure	21
4. „Napredna“ statistička obilježja skupa podataka	28
4.1. Mjere pojedinačnih vrijednosti (eng. single value metrics)	28
4.2. Mjere višestrukih vrijednosti (eng. multiple value metrics)	29
4.3. Rezultati za uzorak SM bure	30
4.4. Rezultati za uzorak N bure	37
5. Sažetak i zaključak	42
6. Dodatak	45
7. Bibliografija	51

Popis kratica i relacija:

$\bar{v}_H$ – srednja desetominutna horizontalna brzina vjetra

v_{max} – maksimalna brzina unutar desetominutnog intervala

$\bar{\alpha}$ – srednji desetominutni smjer vjetra

$\bar{v}_{H,12,SM}$ – srednja desetominutna horizontalna brzina vjetra na pragu 12 za slučaj SM bure

$\bar{v}_{H,30,SM}$ – srednja desetominutna horizontalna brzina vjetra na pragu 30 za slučaj SM bure

$\bar{\alpha}_{12,SM}$ – srednji desetominutni smjer vjetra na pragu 12 za slučaj SM bure

$\bar{\alpha}_{30,SM}$ – srednji desetominutni smjer vjetra na pragu 30 za slučaj SM bure

$v_{max,12,SM}$ – maksimalna desetominutna brzina vjetra na pragu 12 za slučaj SM bure

$v_{max,30,SM}$ – maksimalna desetominutna brzina vjetra na pragu 30 za slučaj SM bure

$t_{poč,12,SM}, t_{kraj,12,SM}$ – vrijeme početka/kraja bure na pragu 12

$t_{poč,30,SM}, t_{kraj,30,SM}$ – vrijeme početka/ kraja bure na pragu 30

$\bar{v}'_{H,12,SM,i}$ – odstupanje srednje desetominutne od ukupne srednje desetominutne brzine na pragu 12 za slučaj SM bure

$\bar{v}'_{H,30,SM,i}$ – odstupanje srednje desetominutne od ukupne srednje desetominutne brzine na pragu 30 za slučaj SM bure

$v'_{max,12,SM,i}$ – odstupanje maksimalne desetominutne od srednje maksimalne desetominutne brzine na pragu 12 za slučaj SM bure

$v'_{max,30,SM}$ – odstupanje maksimalne desetominutne od srednje maksimalne desetominutne brzine na pragu 30 za slučaj SM bure

$$\bar{\Delta}_{SM} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\bar{v}_{H,12,SM,i} - \bar{v}_{H,30,SM,i})$$

$$\bar{\Delta}_{max,SM} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (v_{max,12,SM,i} - v_{max,30,SM,i})$$

$$\Delta \bar{\alpha}_{SM} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\bar{\alpha}_{12,SM,i} - \bar{\alpha}_{30,SM,i})$$

$$\bar{\Delta}_{30,SM} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (v_{max,30,SM,i} - \bar{v}_{H,30,SM,i})$$

Za slučaj N bure, u prethodnim kraticama i relacijama umjesto „SM“ stavljamo oznaku „N“.

1. Uvod

Jak, mahovit i relativno hladan vjetar koji sa sjeveroistoka puše okomito na smjer pružanja Dinarida zovemo burom (npr. Makjanić, 1978). Naziv dolazi od grčke riječi *boreas* što u prijevodu znači sjeverni vjetar. Javlja se tijekom cijele godine, a najčešće zimi. Dinarsko gorje koje se proteže iz smjera sjeverozapada prema jugoistoku (tzv. dinarski smjer) čini prirodnu mehaničku prepreku dotoku hladnog zraka sa sjevera ili sjeveroistoka. Najznačajnija osobina bure su snažni udari. Satne vrijednosti srednje brzine bure prelaze i 30 m s^{-1} , dok udari vjetra mogu premašiti brzine i od 60 m s^{-1} . Vjetar ovakvog tipa nalazimo i drugdje u svijetu: u Novorossijsku i na obali Crnog mora podno Kavkaza, u zaljevu Tehuantepec na pacifičkoj obali Meksika gdje je poznat kao Papagayos ili Tehuantepecers te u ravnici Kanto u Japanu poznat kao Oroshi ili Karakkaze (npr. Yoshino, 1976).

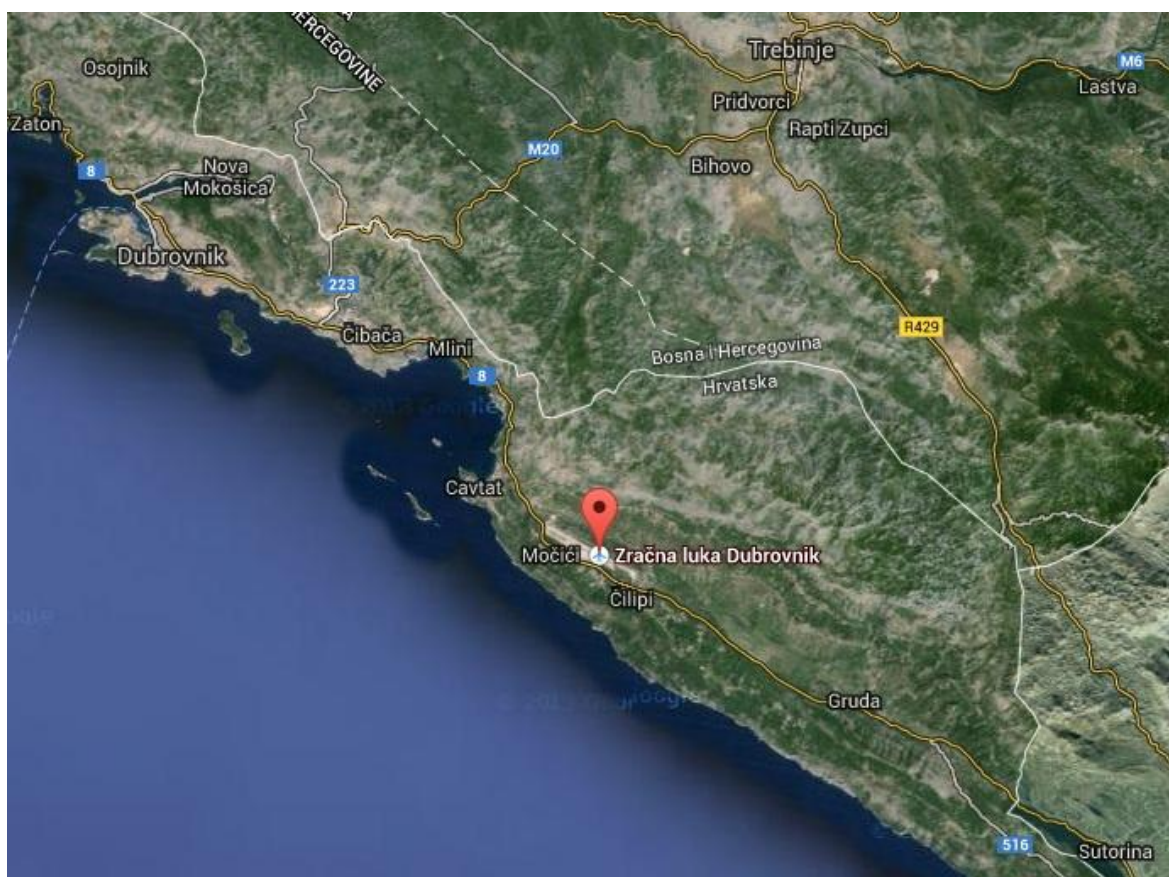
Ovisno o dominirajućim baričkim sustavima nad većim dijelom Europe, a tako i Jadranom, razlikujemo tri tipa bure (npr. Jurčec, 1988, Pandžić, 2002, Večenaj, 2005):

- Ciklonalna (mračna, škura) bura koja nastaje u hladnom sektoru ciklone, kad duboka ciklona zahvati veći dio Sredozemlja, popraćena oblačnim i nerijetko oborinskim vremenom.
- Anticiklonalna (jasna) bura koja puše pod dominantnim utjecajem polja visokog tlaka zraka nad većim dijelom Europe. Relativno je dugotrajna kao i sama stacionarna (npr. sibirski) anticiklona.
- Frontalna bura koja je povezana s prolaskom hladnog zraka iza hladne fronte i čije su glavne karakteristike nagli početak i kratko trajanje.

Bura je najintenzivnije istraživana na sjevernom Jadranu jer tamo s lakoćom postiže olujnu jakost. Zbog karakteristične mahovitosti i olujnosti, bura je uzrok poteškoćama u svim granama gospodarske djelatnosti, a posebice u prometu. Zbog jakosti može paralizirati kopneni, zračni i pomorski promet. Stoga nije čudno da postoji veliki interes za znanstvenim objašnjenjem dinamike bure u zadnjih gotovo pola stoljeća (npr. Grisogono i Belušić, 2009).

Slabije istraživana, ali itekako zanimljiva i bitna, je bura na južnom Jadranu. Pojava bure na južnom Jadranu općenito je povezana s ciklonom na Mediteranu i anticiklonom iznad srednje ili sjeverozapadne Europe (npr. Pandić, 2002). U hladnom dijelu godine, povezana je s prolaskom hladne fronte. Ukoliko se središte niskog tlaka zraka nalazi bliže području južnog Jadrana, prevladava škura bura. Premještanjem ciklone dalje prema jugoistoku, dominantan postaje utjecaj prateće anticiklone i bura poprima obilježja jasne bure.

Bura uzrokuje poteškoće i na zračnoj luci Dubrovnik gdje jak prizemni vjetar, nagle i učestale varijacije smjera i brzine vjetra na pojedinim dionicama uzletno-sletne staze (USS) uzrokuju probleme u fazi slijetanja i polijetanja zrakoplova. Zračna luka Dubrovnik smještena je pored mjesta Čilipi (slika 1), na visoravni prosječne visine 160 m. S jugozapada tu visoravan omeđuje obalna crta na udaljenosti otprilike 1,5 km. Otprilike 1 km sjeveroistočno proteže se Sniježnica Konavoska, najjužniji gorski greben Dinarskog gorja (zapadni ogranak visokog Orjena (1894 m)), koji se pruža smjerom sjeverozapad-jugoistok.



Slika 1. Geografski položaj zračne luke Dubrovnik. Položaj zračne luke označen je crvenim balončićem (izvor: *Google Earth*).

Uzletno-sletna staza¹ (USS) zračne luke Dubrovnik približno je paralelna s pravcem pružanja grebena i dužine je 3300 m (slika 2).



Slika 2. Pogled na zračnu luku Dubrovnik sa sjever-sjeverozapada (izvor: *Hrvatska kontrola zračne plovidbe d.o.o.*).

¹Uzletno-sletna staza (USS, eng. *runway*) je određena pravokutna površina namijenjena za uzlijetanje i slijetanje zrakoplova.

Na području zračne luke Dubrovnik uočena su dva različita tipa ponašanja prizemnog vjetra određena prije svega vertikalnom strukturom atmosfere (Drobac, 2006). Prvi tip bure naziva se SM (standardni model) i povezan je s dobro definiranim slojem bure u nižoj troposferi za razliku od drugog tipa tzv. N (otvorene, sjevernog smjera) bure u kojem se sjeverno strujanje proteže kroz gotovo cijelu troposferu. Najznačajnije prizemne razlike između ova dva tipa bure citirane su iz rada Drobac (2006):

- „SM-bura znatno je veće srednje brzine, nerijetko i olujne jakosti ($V > 17,2 \text{ m s}^{-1}$) i općenito je dugotrajnija.“
- „Srednje brzine kod N-bure su znatno manje, a ukoliko i dosegne olujnu jakost to je kratkotrajno, i relativno brzo slabi.“
- „Ekstremni udari vjetra kod N-bure mogu doseći vrijednosti usporedive s onim kod SM-bure unatoč znatno manjim razlikama u srednjim brzinama.“
- „Trenutne varijacije smjera vjetra znatno su veće pri N-buri nego pri SM-buri.“
- „To isto vrijedi i za trenutne varijacije brzina vjetra.“

Autor dalje navodi da postoje i značajne razlike u karakteristikama vjetra između praga² 12 i 30. Upućuje na zaključak da su uvjeti za odvijanje zračnog prometa, u okolnostima jake bure, značajno povoljniji na pragu 30 i to prvenstveno zbog topografskih karakteristika terena.

Cilj rada je testirati hipoteze iz rada Drobac (2006), a pomoću izračunatih razlika u mjerenom vjetru između praga 12 i praga 30 (i to posebno u slučajevima SM i N bure) s automatske meteorološke postaje (AMS) dati kvantitativne pokazatelje o upotrebljivosti praga 12 ili 30 u fazama slijetanja, odnosno uzlijetanja u okolnostima jake bure.

² Za obilježavanje USS koristi se prag staze označen uzdužnim linijama paralelnim na os staze (vidi sliku D3 u dodatku) koje služe kao pomoć u završnoj fazi prilaza zrakoplova pri slijetanju po danu i uz dobru vidljivost. Oznaka staze je u obliku dvoznamenkastog broja (u primjeru LDDU, to su oznake 12 i 30) i predstavlja smjer staze u desecima stupnjeva.

2. Podaci

2.1. Lokacija i karakteristike automatske mjerne stanice na zračnoj luci Dubrovnik (LDDU)

Senzori anemometra *Vaisala* (senzor brzine vjetra WAA151 i senzor smjera vjetra WAV151) postavljeni su neposredno pored dodirne zone³ USS (vidi slike D1 i D2 u dodatku). Anemometri su integrirani u sustav automatske meteorološke stanice (AMS) koja, između ostalog, prima, obrađuje i prikazuje podatke o prizemnom vjetru. Međusobna udaljenost anemometara je 2220 m. Mjerenja se obavljaju na visini 10 m iznad tla. Zbog nagiba terena, stup anemometra na pragu 30 je visine 15 m, a onaj na pragu 12 je visine 10 m.

2.2. Kontrola kvalitete podataka

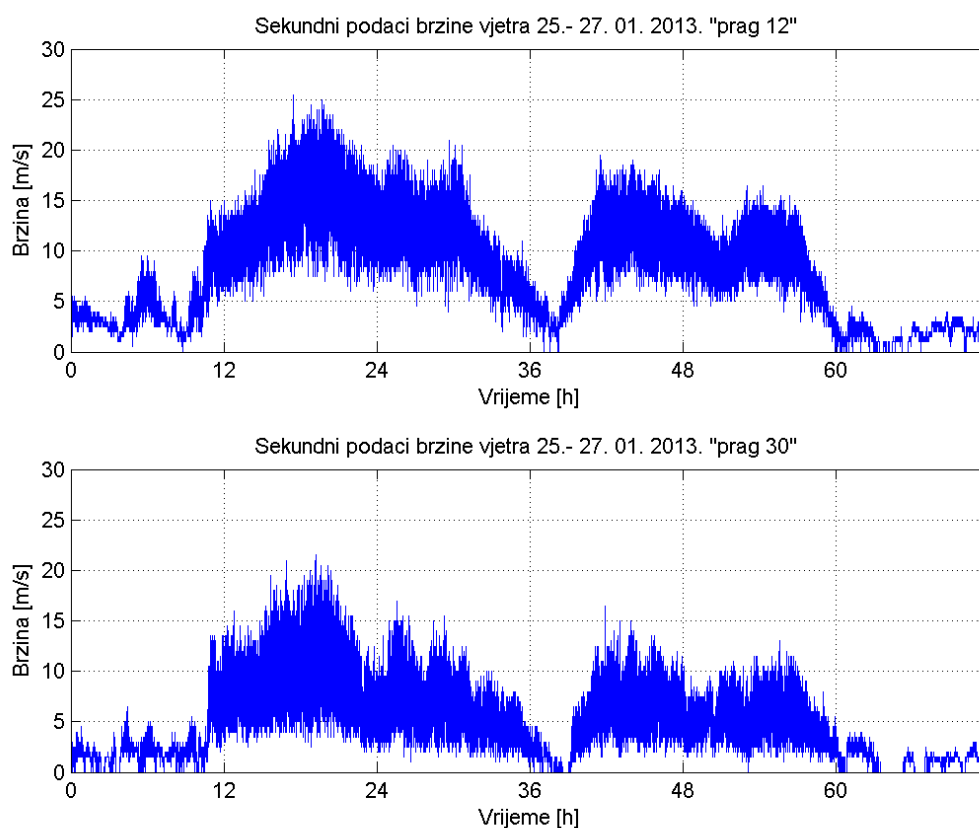
Za obradu i analizu bure na postaji zračna luka Dubrovnik korištena su mjerenja trenutnog vjetra u sekundnim intervalima s dva praga, 12 i 30, u razdoblju od 16. 1. – 31. 12. 2013. Ovi sekundni podaci dobiveni su usrednjavanjem podataka iz prethodne tri sekunde. Uzorkovanje je 4 Hz što znači da je spomenuti jedan sekundni podatak zapravo srednjak 12 podataka. Sirovi podaci spremljeni su u CSV (eng. *Comma Separated Values*) formatu, a obrađivani su programskim paketom Matlab®. Količina nedostajućih podataka u prosjeku nije veća od 0.01 %. Nakon popunjavanja nedostajućih podataka NaN-ovima⁴, podatke je bilo potrebno grafički prikazati (npr. slika 3 i 4) kako bi se vizualnom analizom obavila kontrola kvalitete podataka. Pokazalo se da u cijelom razdoblju nema potrebe za isključivanjem niti jednog podatka.

³ Zona dodira (eng. *touchdown zone*) je dio USS iza praga koju avion u slijetanju prvu dodirne.

⁴ NaN je skraćeni zapis programskog paketa MATLAB za podatke koji nedostaju.

2.3. Kriteriji za definiranje bure

Nakon obavljene kontrole kvalitete podataka, iz njih je potrebno izdvojiti sve događaje bure. Za početak puhanja bure na pragu 12 uzet je trenutak kada je trenutna brzina poprimila iznos veći od 10 m s^{-1} . Analogno tome, za kraj puhanja bure uzet je trenutak kada trenutna brzina padne ispod 10 m s^{-1} i ostane ispod 10 m s^{-1} naredna 3 h. Ako u događaju bure postoji period puhanja ispod 10 m s^{-1} duži od 3 h, taj događaj bure dijelimo na posebne epizode (npr., slika 3 pokazuje događaj bure koji se sastoji od dvije epizode). Uz već navedene uvjete za brzinu prizemnog vjetra, vodimo također računa da smjer vjetra „trajno“ ne izlazi iz I. i II. kvadranta. Ako i izlazi, trajanje iz tog smjera ne smije biti duže od jednog promatranog 10-minutnog intervala. Takve velike varijacije smjera dopuštamo shodno rezultatima prethodnih analiza s promatrane postaje (Drobac, 2006).



Slika 3. Vremenski niz trenutne brzine vjetra u sekundnim intervalima događaja bure 25. – 27. siječnja 2013. s dva praga 12 i 30. Primjer događaja bure s pauzom puhanja većom od 3 h.

Nakon prve iteracije kojom izdvajamo događaje bure i druge iteracije kojim događaje bure dijelimo na epizode, trećom iteracijom ih razdvajamo u dvije zasebne grupe. Jedna grupa odnosi se na SM, a druga na N buru sukladno analizi ALADIN-ovih (Horvath i sur., 2011) pseudotempova⁵ za LDDU⁶ i podataka iz METAR⁷ izvješća za LDDU u promatranom razdoblju (Keresturi, 2014). U većini se slučajeva lako uočavaju razlike između navedenih tipova bure. Spomenutim uvjetima obuhvaćeni su i složeniji događaji bure⁸ u kojima se izmjenjuje pojava N i SM bure. U takvim slučajevima prethodni uvjet za određivanje početka i kraja bure više nije dobar. Stoga u takvim situacijama promatramo varijabilnost brzine i smjera te subjektivnom procjenom odlučujemo gdje su početak i kraj epizode. Jedan takav primjer prikazan je na slici 4. Promotrimo li sliku 4a, jedna epizoda SM bure počinje oko 20:00 h i traje do 7:30 h drugog dana na koju se nadovezuje N bura koja traje do 18:30 istog dana. Druga epizoda SM bure u promatranom događaju traje do 6:30 h trećeg dana.

⁵ Vertikalni profili ALADIN modela u jednoj točki za jedan *run* u prognostičkom razdoblju (73 sata) na 38 ploha modela.

⁶ Identifikacija stanice. Načelno, prvo slovo je oznaka kontinenta ili grupe država u okviru kontinenta (L= jugoistočna Europa). Drugo slovo predstavlja državu u toj regiji (D = Hrvatska), a posljednja dva slova označavaju određeni aerodrom (DU = Dubrovnik).

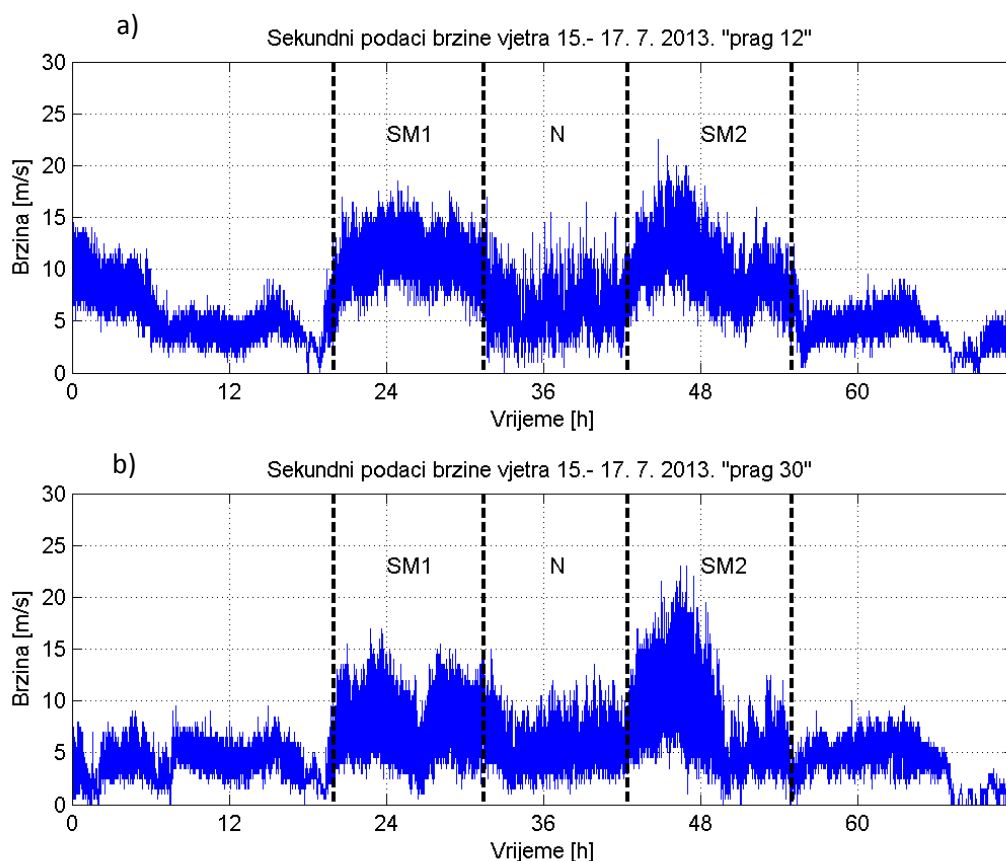
⁷ METAR(fra. *MÉTéorologique Aviation Régulière*) je oblik kodiranog meteorološkog izvješća i redovito je vremensko izvješće za zrakoplovstvo kojeg izdaje motritelj.

⁸ Drugim riječima, jedan događaj bure sastoji se od SM bure na koju se N bura nadovezuje ili obrnuto. Takvih složenijih slučajeva ima ukupno dva.

Podatke s praga 30 promatramo i analiziramo:

- a) u vremenskom intervalu u kojemu su zadovoljeni uvjeti za početak i kraj puhanja bure na pragu 12 bez obzira na iznos i smjer vjetra na pragu 30 - „slučaj 1“ (vidi Drobac, 2006);
- b) u vremenskom intervalu u kojem su zadovoljeni uvjeti za početak i kraj bure na pragu 30 bez obzira na početak i kraj puhanja bure na pragu 12 - „slučaj 2“,

stoga ćemo nazive „slučaj 1“ i „slučaj 2“ u daljem tekstu više puta koristiti.



Slika 4. Vremenski niz izmjerene trenutne brzina bure 15. -17. srpnja 2013. zabilježene na dva praga 12 (a) i 30 (b). Primjer složenog događaja bure koji se sastoji od dvije epizode SM bure (označene sa „SM1“ i „SM2“) i jedne epizode N bure (označene s „N“) razdvojene vertikalnim isprekidanim linijama.

3. Osnovna statistička obilježja skupa podataka

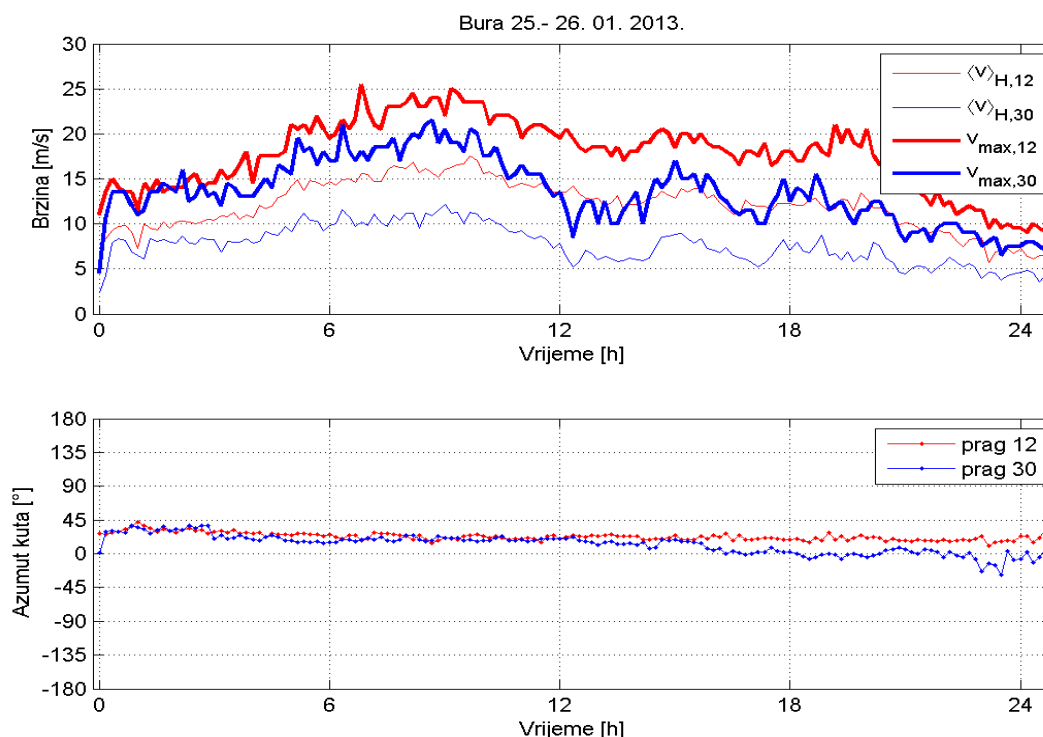
U promatranom razdoblju izdvojeno je ukupno 37 epizoda bure ukupnog trajanja 735,5 sati⁹. Od ukupnog broja, izdvojeno je 29 epizoda SM (78%) i svega 8 epizoda N bure (22%). Iako je učestalost¹⁰ bure tijekom 2013. godine slaba (prema riječima iskusnih dugogodišnjih operatera meteorologa na LDDU) ovakav omjer, s razlikom u svega nekoliko postotaka, nalazimo i u godinama s učestalijim epizodama bure na LDDU.

⁹ Od ukupnog broja podataka, epizode SM bure traju ukupno 575 sati, a epizode N bure 160,5 h.

¹⁰ Pritom se misli na učestalost pojavljivanja bure u zimskom/ proljetnom periodu. U promatranoj 2013. godini zabilježeno je (samo) dva puta više događaja bure u zimskom nego u ljetnom periodu (vidi tablicu 1, 2 i 3).

3.1. SM bura

Za svaku epizodu SM bure uspoređujemo srednje desetominutne brzine na pragu 12, $\bar{v}_{H,12,SM}$, s onima na pragu 30, $\bar{v}_{H,30,SM}$. Također uspoređujemo hodove maksimalnih desetominutnih brzina, $v_{max,12,SM}$ i $v_{max,30,SM}$. Paralelno prikazujemo i vremenski hod srednjeg desetominutnog smjera na pragu 12, $\bar{\alpha}_{12,SM}$, i 30, $\bar{\alpha}_{30,SM}$. Primjer je na slici 5.



Slika 5. Vremenski niz izmjerenih desetominutnih srednjaka brzine (tanke krivulje) i smjera, te maksimalne desetominutne brzine (deblje krivulje) vjetra epizode SM bure 25. – 26. siječnja 2013 za slučaj 1. Crvena krivulja predstavlja izmjerene veličine na pragu 12, a plave na pragu 30. Iznosi brzine vjetra prikazani su na gornjoj, a iznosi azimuta smjera vjetra na donjoj slici. Azimuti kutova radi jednostavnosti prikazani od -180° do 180° . Vrijeme predstavlja ukupno trajanje.

Na spomenutom primjeru vidljiva je relativno velika razlika u srednjim i maksimalnim brzinama između pragova. Srednji smjer vjetra ne varira značajno, odnosno zadržava relativno konstantni NNE smjer. Za objektivniju analizu računamo osnovne statističke veličine (srednjak i standardnu devijaciju) $\bar{v}_{H,12,SM}$, $\bar{v}_{H,30,SM}$, $v_{max,12,SM}$, $v_{max,30,SM}$, $\bar{\alpha}_{12,SM}$ i $\bar{\alpha}_{30,SM}$ dane u tablici 1 gdje ranije spomenute razlike između pragova dolaze jače do izražaja.

Tablica 1. Osnovna statistička obilježja registriranih epizoda SM bure za period mjerenja 1. siječnja do 31. prosinca 2013. godine na LDDU. Za svaki prag posebno izračunata je srednja horizontalna brzina $\bar{v}_H$ [m s⁻¹], srednja maksimalna brzina, $\bar{v}_{max}$ [m s⁻¹], srednji smjer $\bar{\alpha}$ [°], kao i njihove standardne devijacije za slučaj 1. U prvom je stupcu navedeno trajanje svake epizode bure u minutama, d , a zadnja dva stupca označavaju razlike u početku (Δt_p) i kraju (Δt_k) puhanja bure između pragova također u minutama.

		Epizode SM bure															
		PRAG 12							PRAG 30								
DATUM:	d	$\bar{v}_{H,12}$	$\sigma_{\bar{v}_{H,12}}$	$\bar{v}_{max,12}$	$\sigma_{\bar{v}_{max,12}}$	$\bar{\alpha}_{12}$	$\sigma_{\bar{\alpha}_{12}}$	$\bar{v}_{H,30}$	$\sigma_{\bar{v}_{H,30}}$	$\bar{v}_{max,30}$	$\sigma_{\bar{v}_{max,30}}$	$\bar{\alpha}_{30}$	$\sigma_{\bar{\alpha}_{30}}$	Δt_p	Δt_k		
1. 25.-26. sij. 13.	1500	12,07	2,76	17,57	4,02	22,86	5,11	7,61	2,13	13,46	3,67	14,58	12,61	10	250		
2. 26.- 27. sij. 13.	1080	10,65	1,42	15,06	2,14	19,15	2,85	5,83	1,05	10,55	1,97	0,81	4,89	80	20		
3. 3.- 4. velj. 13.	550	10,49	1,80	14,70	2,20	18,59	9,72	5,98	1,23	10,37	2,00	357,22	9,72	70	70		
4. 7. -8. velj. 13.	1080	11,93	1,68	17,49	2,03	18,65	4,29	7,59	1,18	13,40	2,15	7,67	6,12	30	30		
5. 14.- 16. ožu.13.	2360	12,81	2,56	18,86	3,59	23,51	6,09	9,44	2,18	16,08	3,42	13,63	7,80	40	0		
6. 22.- 23. ožu. 13.	520	9,44	2,45	13,75	2,85	25,61	14,34	6,00	1,80	10,11	2,59	8,93	9,96	20	140		
7. 6. – 8. tra. 13.	1900	12,02	2,43	17,68	3,46	25,63	7,46	8,16	2,82	14,45	4,68	22,94	19,83	110	120		
8. 15. -16. tra. 13.	550	8,98	1,37	12,86	1,90	29,24	7,78	5,31	2,32	9,75	3,66	30,40	22,59	0	50		
9. 12.- 14. svi. 13.	1940	10,07	2,71	15,44	3,35	21,15	16,08	7,42	2,01	12,86	3,14	13,88	9,72	10	100		
10. 11.- 12. lip. 13.	540	11,34	1,40	17,84	2,33	30,16	2,68	9,15	0,89	15,57	1,47	17,23	5,14	0	0		
11. 25. -26. lip. 13.	660	9,08	0,89	13,30	1,10	19,37	3,50	4,64	0,65	8,63	1,13	11,42	11,67	40	170		
12. 26.- 27. lip. 13.	840	9,81	1,23	14,14	1,69	22,00	6,09	4,94	1,16	8,94	1,92	15,97	13,86	50	490		
13. 30. lip.- 1. srp. 13.	800	11,45	1,97	17,31	2,81	27,55	5,25	8,61	1,43	14,76	2,13	17,83	4,87	10	20		
14. 5. -6. srp. 13.	820	10,16	1,47	15,12	1,69	26,70	4,43	7,31	1,13	13,03	1,83	24,27	6,03	10	20		
15. 15. -16. srp. 13.	680	11,14	1,10	15,52	1,28	25,42	3,85	7,58	1,30	13,24	1,68	20,44	9,74	0	0		

Tablica 2. Nastavak tablice 1. Na dnu tablice dana je suma trajanja svih epizoda SM bure (1. stupac) u minutama kao i srednje vrijednosti statističkih veličina uzorka SM bure (stupac 2. – 13.) za slučaj 1 (označeno s 1°) i za slučaj 2 (označeno s 2°).

		PRAG 12								PRAG 30							
	DATUM:	d	$\bar{v}_{H,12}$	$\sigma_{\bar{v}_{H,12}}$	$\bar{v}_{max,12}$	$\sigma_{\bar{v}_{max,12}}$	$\bar{\alpha}_{12}$	$\sigma_{\bar{\alpha}_{12}}$	$\bar{v}_{H,30}$	$\sigma_{\bar{v}_{H,30}}$	$\bar{v}_{max,30}$	$\sigma_{\bar{v}_{max,30}}$	$\bar{\alpha}_{30}$	$\sigma_{\bar{\alpha}_{30}}$	Δt_p	Δt_k	
16.	16. -17. srp. 13.	710	10,17	2,03	15,30	2,76	31,40	4,02	7,85	2,93	14,20	4,77	29,49	11,31	0	10	
17.	30. -31. srp. 13.	800	12,96	1,58	18,62	1,79	24,74	5,15	8,79	1,38	15,45	1,99	22,11	15,30	10	0	
18.	31.srp.-1.kol. 13.	810	11,53	1,91	16,66	2,48	31,77	7,03	7,20	2,43	12,80	3,99	31,07	27,67	0	130	
19.	10. -11. kol. 13.	530	10,78	2,46	15,75	3,20	19,42	3,19	5,53	2,32	10,60	3,96	14,27	33,45	40	180	
20.	19- 20. ruj. 13.	1030	9,10	1,25	13,17	1,65	18,79	5,96	5,19	0,94	7,33	1,46	0,58	13,67	30	100	
21.	20. -21. ruj. 13.	490	8,00	0,95	11,37	1,18	20,89	6,13	4,12	0,83	7,33	1,46	2,30	12,32	300	180	
22.	21. -23. ruj. 13.	2320	9,28	1,83	13,59	2,36	26,56	8,68	6,47	2,27	11,18	3,57	22,06	18,89	20	360	
23.	1. – 3. lis. 13.	2520	10,23	2,44	15,17	2,92	22,37	10,03	7,09	1,77	12,68	3,01	14,09	10,21	0	10	
24.	13. -14. stu. 13.	960	9,13	1,81	13,26	2,45	23,08	4,13	4,18	1,49	7,95	2,43	19,93	29,39	10	60	
25.	25. -27. stu. 13.	3270	11,82	2,76	17,47	3,88	25,84	8,20	7,92	2,88	13,97	4,82	19,15	11,70	190	140	
26.	30.stu.-3.pro.13.	3420	11,74	2,76	16,87	3,88	22,38	4,80	6,19	1,88	11,29	3,30	4,70	10,89	270	100	
27.	6.-7. pro. 13.	570	11,01	2,53	16,92	4,20	26,57	7,67	7,69	2,77	13,29	4,33	13,46	15,98	90	0	
28.	10-11.pro. 13.	630	9,09	1,67	13,27	2,55	16,43	5,72	4,53	1,45	8,79	2,39	3,96	9,57	0	10	
29.	15.- 16. pro. 13.	610	11,51	2,17	16,47	2,94	19,72	3,49	6,03	1,44	11,37	2,55	10,45	11,71	10	0	
Ukupno:																	
	1°	34500	10,90	2,53	15,54	2,58	23,69	8,25	6,99	2,42	11,84	2,81	15,25	16,69			
	2°	29850							7,52	2,23	12,69	2,24	15,97	14,09			

Da bismo dobili globalan uvid u razlike slučajeva SM bure na pragovima 12 i 30, promatramo statistička svojstva srednje i maksimalne desetominutne brzine svih epizoda SM bure zajedno i to posebno na pragu 12 i posebno na pragu 30. Odgovarajući histogrami prikazani su na slikama 6 i 7.

Pridružena Weibullova teorijska raspodjela pokazala se najprikladnijom za procjenu empirijske raspodjele čestina $\bar{v}_{H,12,SM}$ i $\bar{v}_{H,30,SM}$ (slika 6), a za uzorak $v_{max,12,SM}$ i $v_{max,30,SM}$ najboljim se pokazuju logaritamsko-normalna i Burrova teorijska raspodjela (slika 7). Funkcija gustoće vjerojatnosti logaritamsko-normalne, Weibullove i Burrove teorijske raspodjele (Burr, 1942, Vallinayagam, 2014) varijable x redom dane su relacijama (1) – (3):

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

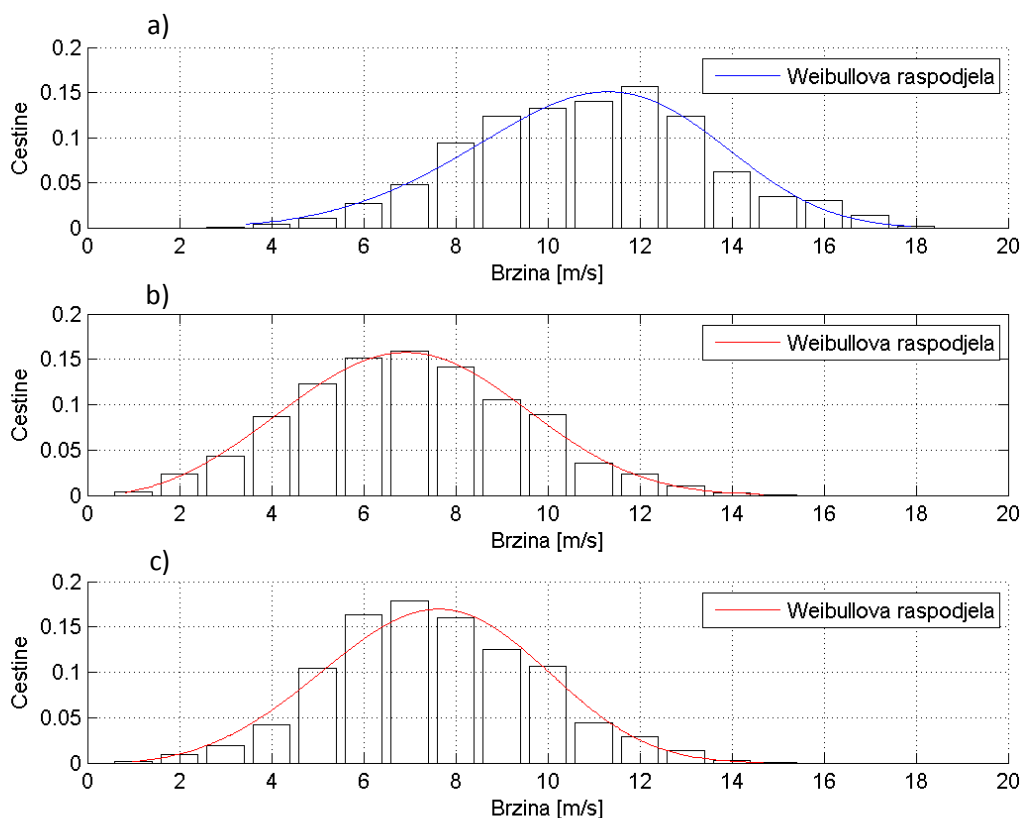
$$g(x; a, b) = \begin{cases} \frac{b}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b}, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0. \end{cases} \quad (2)$$

$$h(x; a, c, k) = \frac{\frac{kc}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{c-1}}{\left(1 + \left(\frac{x}{a}\right)^c\right)^{k+1}}. \quad (3)$$

Pritom a označava parametar skale, b , c , k parametar oblika, μ i σ procijenjeni srednjak, odnosno procijenjena standardna devijacija. Procjena parametara danih teorijskih raspodjela vrši se metodom maksimalne vjerodostojnosti, a iznosi parametara oblika i skale nalaze se u tablici 3.

Tablica 3. Procjena parametara teorijskih raspodjela metodom maksimalne vjerodostojnosti uzorka srednje desetominutne brzine, $\bar{v}_H$, i maksimalne desetominutne brzine, v_{max} , na pragu 12 i 30 (posebno za slučaj 1 i slučaj 2).

SM bura	Weibullova raspodjela $\bar{v}_H$		Lognormalna raspodjela v_{max}		Burrova raspodjela v_{max}		
	a	b	μ	σ	a	c	k
Prag 12	11,90	4,76	2,75	0,23	-	-	-
1° prag 30	7,81	3,16	-	-	25,43	3,66	10,10
2° prag 30	8,32	3,89	-	-	17,79	4,81	3,32

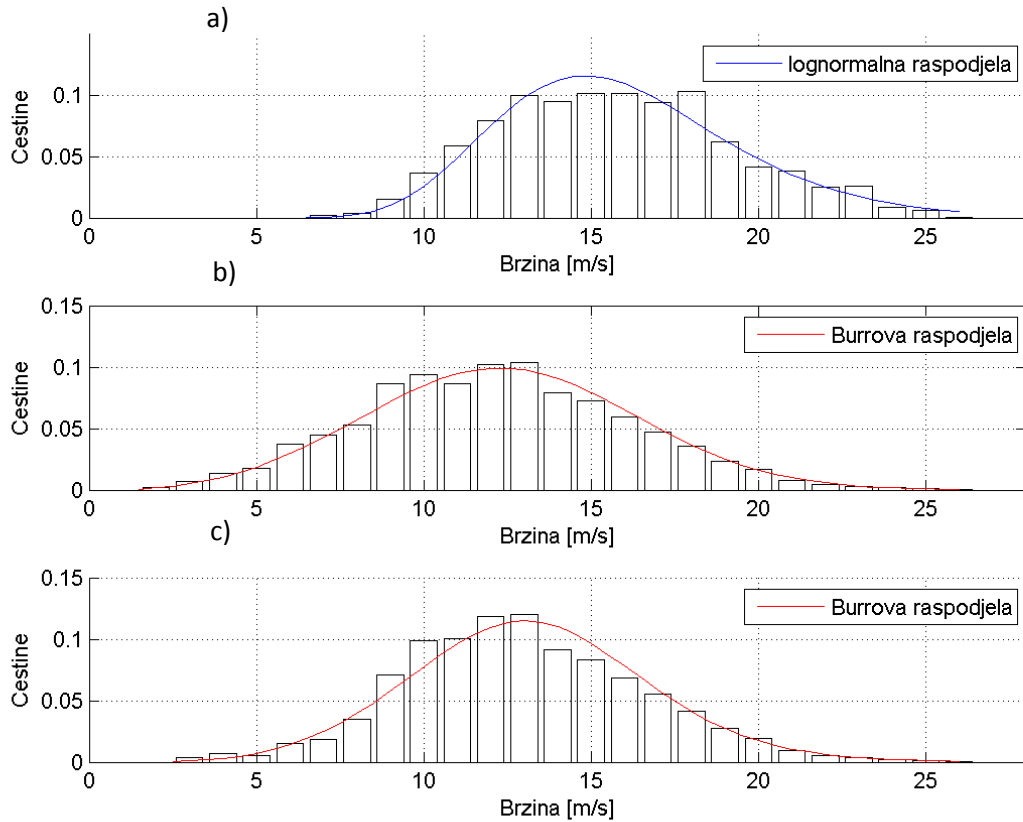


Slika 6. Raspodjela čestina desetominutnih srednjaka brzine na pragu 12 (a) i 30 (graf (b) odnosi se na slučaj 1, graf (c) za slučaj 2). Prilagođena funkcija gustoće označena plavom krivuljom odnosi se na prag 12, a crvenom na prag 30.

Testiranjem uspješnosti prilagodbe Pearsonovim χ^2 testom na nivou signifikantnosti $\alpha = 0,01$ uočavamo da uzorak $\bar{v}_{H,12,SM}$ ne potječe iz zadane raspodjele (slika 6a). S druge strane, tvrdnju da empirijskoj raspodjeli $\bar{v}_{H,30,SM}$ možemo pridružiti Weibullovu raspodjelu (slika 6b) ne možemo odbaciti na nivou signifikantnosti $\alpha = 0,01$.

Ovakav se rezultat promijeni promatrajući uzorak $\bar{v}_{H,30,SM}$ za slučaj 2. Sada takav uzorak ne potječe iz zadane Weibullove raspodjele na nivou signifikantnosti $\alpha = 0,01$, ali ju najbolje opisuje (slika 6c).

Uzorci $v_{max,12,SM}$ i $v_{max,30,SM}$, iz slučaja 1 i 2, na nivou signifikantnosti $\alpha = 0,01$ ne potječu iz zadanih teorijskih raspodjela danih na slici 7, ali ih od osam promatranih najbolje opisuju.



Slika 7. Raspodjela čestina maksimalne desetominutne brzine na pragu 12 (a) i 30 (graf (b) odnosi se na slučaj 1, graf (c) za slučaj 2). Prilagođena funkcija gustoće označena plavom krivuljom se odnosi na prag 12, a crvenom na prag 30.

Prethodno smo pokazali kolika je razlika u rezultatima za slučaj 1 i slučaj 2. Ovakva se razlika javlja prvenstveno zbog činjenice što u većini slučajeva SM bura ne počinje niti završava puhati istovremeno na oba praga. U tablici 1 dane su vrijednosti razlike početka¹¹ Δt_p i kraja¹² bure Δt_k između pragova. Bura na pragu 30 u prosjeku počinje jedan sat kasnije, a završava prosječno 1,5 h ranije u odnosu na prag 12. Zabilježena su 3 ekstremna slučaja u kojima je ta razlika veća od 3 h (u početku puhanja bure), odnosno 5h (u završetku puhanja bure). Od promatranih epizoda SM bure samo njih 25% počinje u istom trenutku na oba praga, a tek 15% završava u isto vrijeme. U daljnjem tekstu uspoređujemo vrijednosti iz slučaja 1 i slučaja 2 prikazujući kolika je razlika (tj. pogreška) kada se uzimaju vrijednosti koje ne spadaju u buru.

Za slučaj 1, razlika srednjih desetominutnih brzina vjetra između pragova ($\bar{\Delta}_{SM}$) u prosjeku iznosi $3,9 \text{ m s}^{-1}$, a razlika maksimalnih brzina unutar desetominutnog intervala ($\bar{\Delta}_{max,SM}$) je u prosjeku $3,6 \text{ m s}^{-1}$. Ta razlika postaje manja (prosječno $3,4 \text{ m s}^{-1}$ za $\bar{\Delta}_{SM}$, odnosno $2,8 \text{ m s}^{-1}$ za $\bar{\Delta}_{max,SM}$) nakon što promatramo brzine na pragu 30 u vremenu kad bura tamo zaista puše (slučaj 2).

Omjerom koeficijenata varijacije¹³, $\frac{C_{v,30}}{C_{v,12}}$, vrijednosti brzine na pragu 30 i pragu 12 dobivamo podatak da je za slučaj 1 varijabilnost $\bar{v}_{H,30,SM}$ i $v_{max,30,SM}$ oko 50% veća nego na pragu 12, a za slučaj 2 oko 30% veća nego na pragu 12.

Dakle, osim manje srednje i maksimalne brzine SM bure na pragu 30 i nešto veće varijacije brzine na pragu 30 nego na pragu 12, kasniji početak i raniji završetak puhanja SM bure na pragu 30 od značajne je važnosti i čini prag 30 još pogodnijim za slijetanje i uzlijetanje zrakoplova.

¹¹ $\Delta t_{poč,SM} = t_{poč,30,SM} - t_{poč,12,SM}$

¹² $\Delta t_{kraj,SM} = t_{kraj,12,SM} - t_{kraj,30,SM}$

¹³ Koeficijent varijacije (C_v) definiran je kao omjer standardne devijacije i srednje vrijednosti.

Da bismo kvantificirali razliku već spomenutih brzina, definiramo parametre η i η_{max} prema relacijama :

$$\eta_i = \left| \frac{\bar{v}_{H,12,i} - \bar{v}_{H,30,i}}{\bar{v}_{H,12,i}} \right| \cdot 100 \% \quad (1)$$

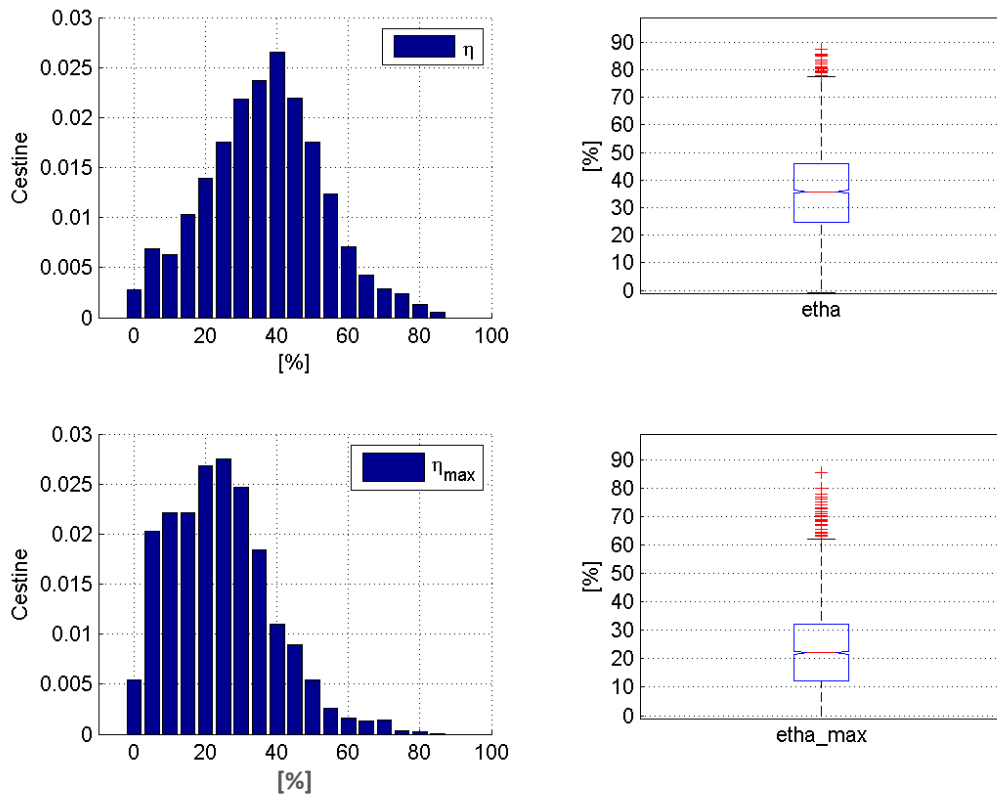
$$\eta_{max,i} = \left| \frac{v_{max,12,i} - v_{max,30,i}}{v_{max,12,i}} \right| \cdot 100 \% \quad (2)$$

za $i = 1, \dots, N$, gdje je N ukupni broj podataka. Budući da nas zanimaju prosječne vrijednosti parametara η i η_{max} našeg uzorka SM bure, one će najjednostavnije i najzornije biti predstavljene histogramom čestina (slika 8). Iako histogram ima svojih prednosti (sažimanje i preglednost), kao posljedica ograničenosti skupa podataka javlja se izostanak ekstremnih događaja. Izvrstan sažetak empirijske raspodjele daje dijagram s pravokutnikom (eng. *boxplot*). Osim prikaza donjeg i gornjeg kvartila, medijana te interkvartilnog raspona¹⁴, dijagram s pravokutnikom nam daje uvid i u 95% interval pouzdanosti¹⁵ za medijan (na slici 8 prikazan urezom na pravokutniku). Valja napomenuti da u slučajevima kada je brzina na pragu 30 veća od one na pragu 12, za ovako definirane parametre η i η_{max} , dobivamo vrijednosti veće od 100%.

¹⁴ Medijan označava središte skupa podataka u smislu da postoji jednako podataka koji su manji i onih koji su veći od njega. Interkvartilni raspon (eng. *Inter Quartile Range(IQR)*) je apsolutna, nepotpuna mjera raspršenosti, koja pokazuje disperziju srednjih 50% elemenata uređenog numeričkog niza.

¹⁵ Interval pouzdanosti (eng. *confidence interval*, tj., *CI*) pruža statističku mjeru koliko pouzdano uzorak predstavlja temeljnu populaciju. 95%-tni CI znači da smo 95% sigurni da se procijenjeni medijan populacije nalazi unutar intervala označenog urezom.

Parametri su ovdje prikazani za slučaj 1 u kojem je $\bar{v}_{H,12,SM}$ za oko 35%, a $v_{max,12,SM}$ za 25% veća nego na pragu 30. U slučaju 2 te razlike se umanjuju za otprilike 3% i priloženi su u dodatku (slika D4). Uspoređivanjem broja podataka koji značajno odstupaju (eng. *outliers*¹⁶) za slučaj 1 i slučaj 2, pokazuje se da razlog njihovom pojavljivanju ne trebamo tražiti u problemu neistovremenog početka/završetka epizode na pragovima. Moguće je da su tako velike razlike u maksimalnoj ili srednjoj brzini između pragova posljedica vremenskog pomaka (eng. *timing*) u postizanju npr. maksimalne brzine. Analiza i diskusija o tom pomaku dana je u drugom dijelu ovog rada.

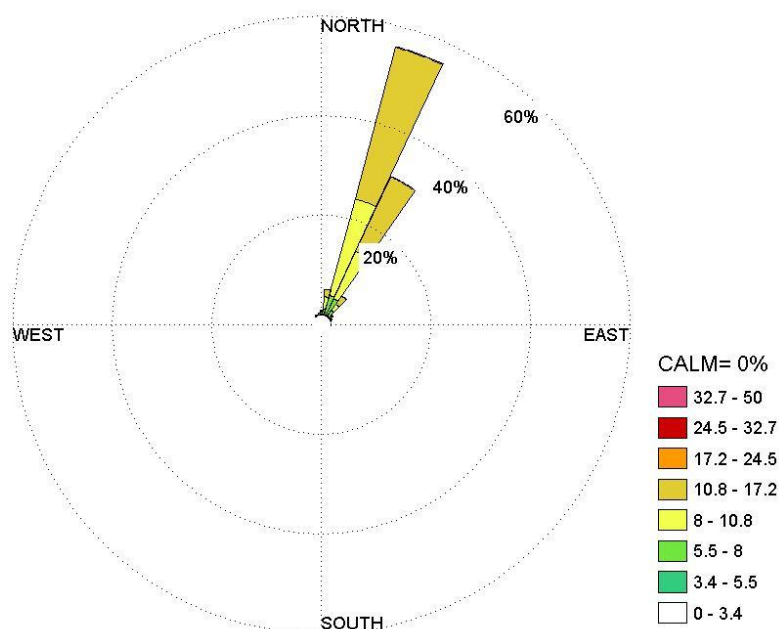


Slika 8. Histogrami relativnih čestina (grafovi u prvom stupcu) i dijagrami pravokutnika (grafovi u drugom stupcu) parametara η (grafovi u drugom retku) i η_{max} (grafovi u drugom retku) SM bure za slučaj 1. Crvena linija predstavlja medijan, krajnji gornji i donji rub plavog pravokutnika predstavljaju 25. odnosno 75. percentil, crtkane vertikalne linije se protežu do podataka koji se nalazi unutar 1.5 puta od pripadnog interkvartilnog raspona, a sve veće vrijednosti označene su crvenim plusevima i predstavljaju vrijednosti koje su više od 1.5 puta veće od pripadnog interkvartilnog raspona.

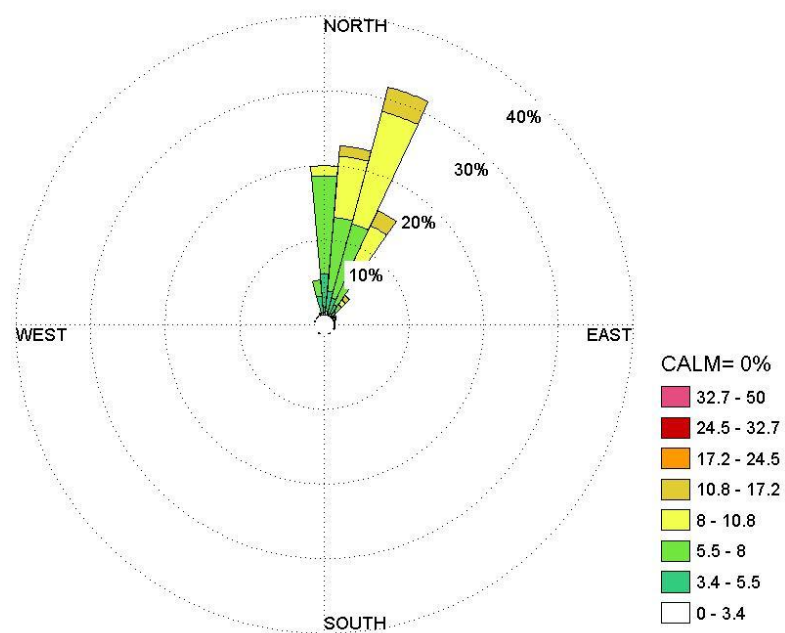
¹⁶ eng. *outlieri* = vrijednosti koje se više od 1.5 puta veće od pripadnog interkvartilnog raspona.

Očigledna razlika između maksimalne i srednje desetominutne brzine (npr. slika 5) kvantitativno je veća na pragu 30. Srednjak razlike između maksimalne i srednje desetominutne brzine na pragu 30, $\bar{\Delta}_{30,SM}$, u prosjeku iznosi $5,4 \text{ m s}^{-1}$ (ta razlika u slučaju 2 postaje nešto veća - u prosjeku $5,7 \text{ m s}^{-1}$) i otprilike je 10% veći nego na pragu 12.

Vrijednosti srednjeg smjera vjetra i standardne devijacije za svaku analiziranu SM epizodu bure, kao i ukupne srednje vrijednosti za svaki prag posebno, dane su u tablici 1. Srednja razlika u prosječnom smjeru između praga 12 i 30, $\Delta\bar{\alpha}_{SM}$, u slučaju 1 iznosi 8.4° , a u slučaju 2 ona iznosi 7.7° . U prikazu ruže smjera vjetra (slike 9 i 10) uočava se da je varijabilnosti $\bar{\alpha}_{30,SM}$ oko 2,5 puta veća nego na pragu 12. Da smo promatrali samo slučaj 1, varijabilnost $\bar{\alpha}_{30,SM}$ je i do 3 puta veća nego na pragu 12. Dio te varijance smjera objašnjavamo već spomenutim neistovremenim početkom i završetkom puhanja bure na oba praga.



Slika 9. Prikaz ruže vjetra srednje desetominutne brzine i smjera svih epizoda SM bure na pragu 12. Boje u kvadratićima označuju raspon brzina u m s^{-1} navedene neposredno pored njih. „CALM“ označava „tišinu“, odnosno slučajeve s brzinom od 0 m s^{-1} .

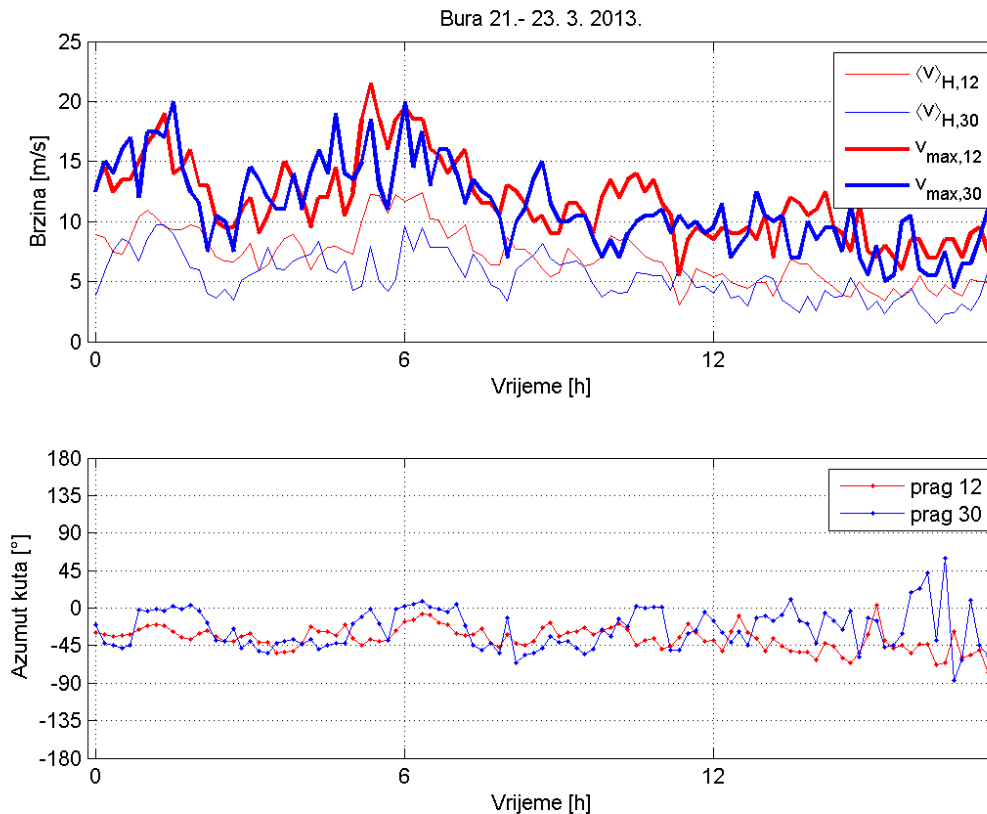


Slika 10. Isto kao i slika 9, samo za prag 30 (slučaj 2).

3.2. N bure

Slika 11 prikazuje izdvojeni primjer epizode N bure. Paralelno prikazujemo vremenske hodove srednje desetominutne brzine na pragu 12, $\bar{v}_{H,12,N}$, i na pragu 30, $\bar{v}_{H,30,N}$, maksimalne brzine iz desetominutnog intervala na pragu 12, $v_{max,12,N}$, i na pragu 30, $v_{max,30,N}$, te srednje desetominutne smjerove na pragu 12, $\bar{\alpha}_{12,N}$, i 30, $\bar{\alpha}_{30,N}$. Konkretnne statističke veličine epizoda N bure dane su u tablici 4 za svaki prag posebno.

Uspoređujući sliku 11 sa slikom 5, uočavamo da su na primjeru N bure i brzina i smjer promjenjiviji nego na primjeru SM bure. Brzina na pragu 30 postaje usporediva s onom na pragu 12, a u nekim intervalima je čak i veća, za razliku od primjera SM bure gdje to nije slučaj.

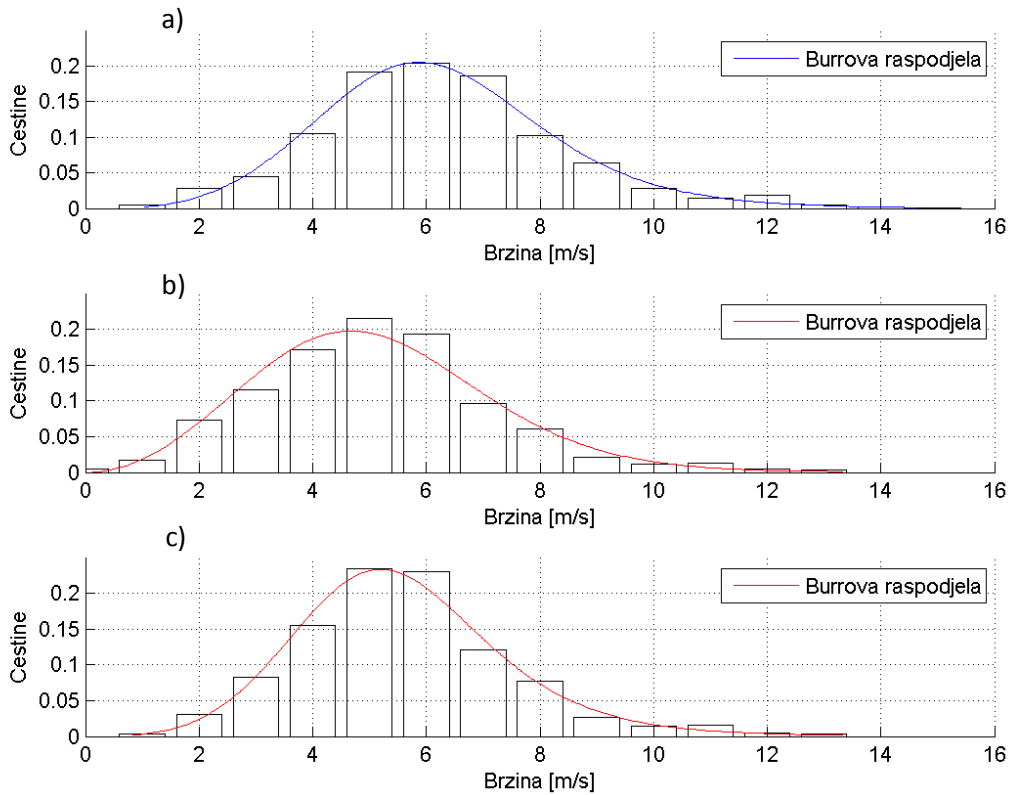


Slika 11. Vremenski niz izmjerenih desetominutnih srednjaka brzine (tanke krivulje) i smjera, te maksimalne desetominutne brzine (deblje krivulje) vjetra epizode N bure 21. – 23. ožujka 2013. godine. Crvena krivulja predstavlja izmjerene veličine s praga 12, a plave s praga 30. Iznosi brzine vjetra prikazani su na gornjoj, a iznosi azimuta smjera vjetra na donjoj slici. Azimuti kutova radi jednostavnosti prikazani od -180° do 180° .

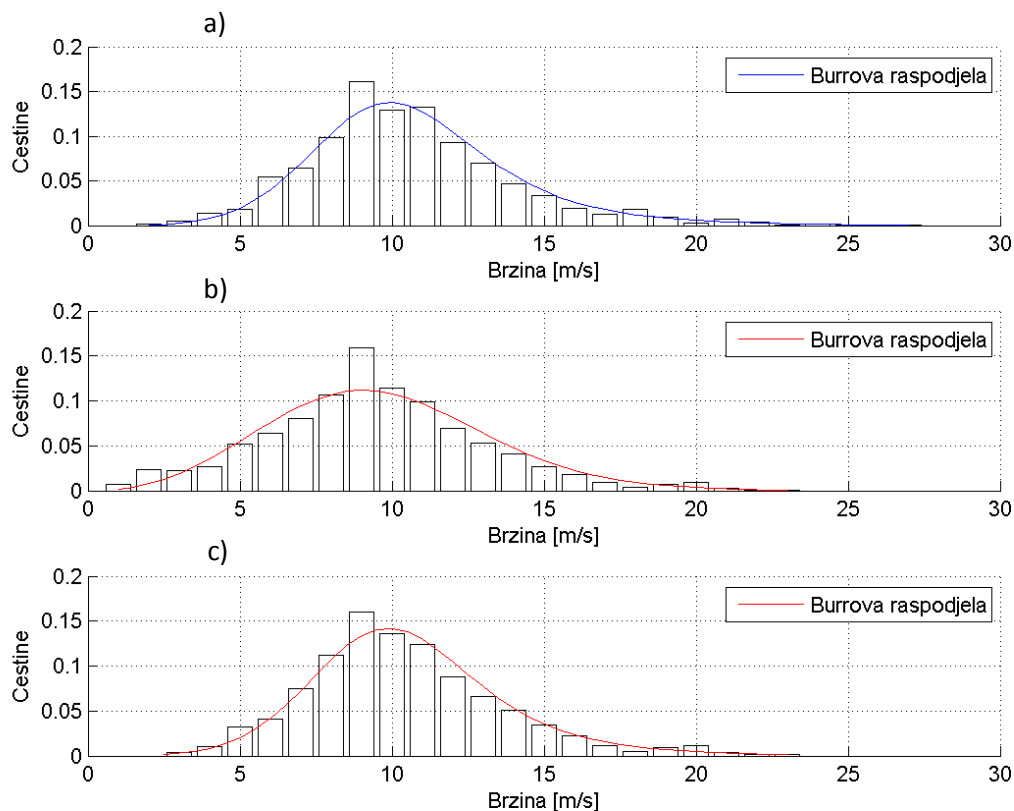
Tablica 4. Osnovna statistička obilježja 8 registriranih epizoda N bure za period mjerenja 1. siječnja do 31. prosinca 2013. godine na LDDU. Za svaki prag posebno izračunata je srednja horizontalna brzina, $\bar{v}_H$ [ms^{-1}], srednja maksimalna brzina, $\bar{v}_{max}$ [ms^{-1}], srednji smjer, $\bar{\alpha}$ [°], kao i njihove standardne devijacije za slučaj 1. U prvom stupcu navedeno je trajanje, d , svake epizode bure u minutama, a zadnja dva stupca označavaju razlike u početku (Δt_p) i kraju (Δt_k) puhanja bure između pragova (također u minutama). Na dnu tablice dana je suma trajanja svih epizoda N bure (1. stupac) kao i srednje vrijednosti statističkih veličina uzorka SM bure (stupac 2. – 13.) za slučaj 1 (označeno s 1°) i za slučaj 2 (označeno s 2°).

		N bura														
		PRAG 12							PRAG 30							
DATUM:		d	$\bar{v}_{H,12}$	$\sigma_{\bar{v}_{H,12}}$	$\bar{v}_{max,12}$	$\sigma_{\bar{v}_{max,12}}$	$\bar{\alpha}_{12}$	$\sigma_{\bar{\alpha}_{12}}$	$\bar{v}_{H,30}$	$\sigma_{\bar{v}_{H,30}}$	$\bar{v}_{max,30}$	$\sigma_{\bar{v}_{max,30}}$	$\bar{\alpha}_{30}$	$\sigma_{\bar{\alpha}_{30}}$	$\Delta t_{poč}$	Δt_{kon}
1.	21. -23. ožu. 13	1060	7,05	2,28	11,69	3,32	325,29	14,43	5,39	1,92	11,21	3,50	333,78	25,35	0	-160
2.	15. tra. 13	490	5,39	1,46	11,27	2,37	17,10	40,91	5,38	0,86	9,97	1,52	25,67	20,13	100	50
3.	12. -13. lip. 13.	1800	4,94	1,52	9,56	2,83	352,59	44,72	4,72	4,51	9,23	2,65	6,70	36,02	-10	0
4.	16. srp. 13.	650	6,15	0,97	11,67	2,02	359,00	23,32	5,72	0,91	10,15	1,58	12,97	15,00	0	30
5.	16. -18. lis. 13.	2290	6,80	2,23	11,09	3,36	337,40	29,99	5,95	1,61	11,03	2,81	338,17	30,92	0	60
6.	7. pro. 13.	890	8,10	2,49	14,77	4,48	20,78	18,71	7,29	2,83	13,11	4,70	18,12	15,61	0	90
7.	10. pro. 13.	960	5,66	1,97	8,80	2,29	356,60	36,33	3,95	1,26	7,46	1,89	349,40	22,15	610	30
8.	16. -17. pro. 13.	1500	6,15	1,36	9,76	2,24	38,65	22,,67	3,19	1,72	5,92	3,22	27,15	38,06	60	920
Ukupno:																
1°		9640	6,27	2,11	9,85	2.55	357,52	40,09	5,11	2,06	8,68	2,43	358,97	35,88		
2°		7660							5,61	1,90	9,26	2,29	358,09	33,11		

Iako u promatranom razdoblju ima relativno malo epizoda N bure, njihova ukupna duljina dovoljna je za prikaz relativnih čestina veličina $\bar{v}_{H,12,N}$, $\bar{v}_{H,30,N}$, $v_{max,12,N}$ i $v_{max,30,N}$ (slike 12 i 13). Testiranjem uspješnosti prilagodbe χ^2 testom, uzorci $\bar{v}_{H,12,N}$, $\bar{v}_{H,30,N}$, $v_{max,12,N}$ i $v_{max,30,N}$ iz slučaja 1, ne potječu iz prikazane Burrove raspodjele na nivou signifikantnosti $\alpha = 0,01$, ali ju još uvijek od osam promatranih raspodjela najbolje opisuje. Prilagođena funkcija gustoće Burrove teorijske raspodjele definirana je ranije relacijom (3). Zamijećena razlika u početku, $\Delta t_{poč}$, i završetku, Δt_{kon} , puhanja N bure na pragovima 12 i 30 kvantitativno je prikazana u tablici 4. U 50% epizoda, bura počinje istovremeno na oba praga, a u ostalih 50% epizoda razlika u trajanju znatno varira. Razlika u završetku epizode bure u prosjeku iznosi 40 min. Empirijskoj raspodjeli $\bar{v}_{H,30,N}$ i $v_{max,30,N}$ u slučaju 2 je Burrova raspodjela dobro prilagođena na nivou signifikantnosti $\alpha = 0,05$. Procijenjeni parametri teorijske raspodjele metodom maksimalne vjerodostojnosti navedeni su u tablici 5.



Slika 12. Raspodjela čestina desetominutnih srednjaka brzine na pragu 12 (a) i 30 (graf (b) odnosi se na slučaj 1, graf (c) za slučaj 2) za slučaj N bure. Prilagođena funkcija gustoće označena plavom krivuljom se odnosi na prag 12, a crvenom na prag 30.



Slika 13. Isto kao slika 12, samo za maksimalne desetominutne brzine.

Tablica 5. Procjena parametara teorijskih raspodjela metodom maksimalne vjerodostojnosti uzorka srednje desetominutne brzine $\bar{v}_H$ i maksimalne desetominutne brzine v_{max} na pragu 12 i 30 (posebno za slučaj 1 i 2) za N buru. Pritom a označava parametar skale, a c i k su parametri oblika.

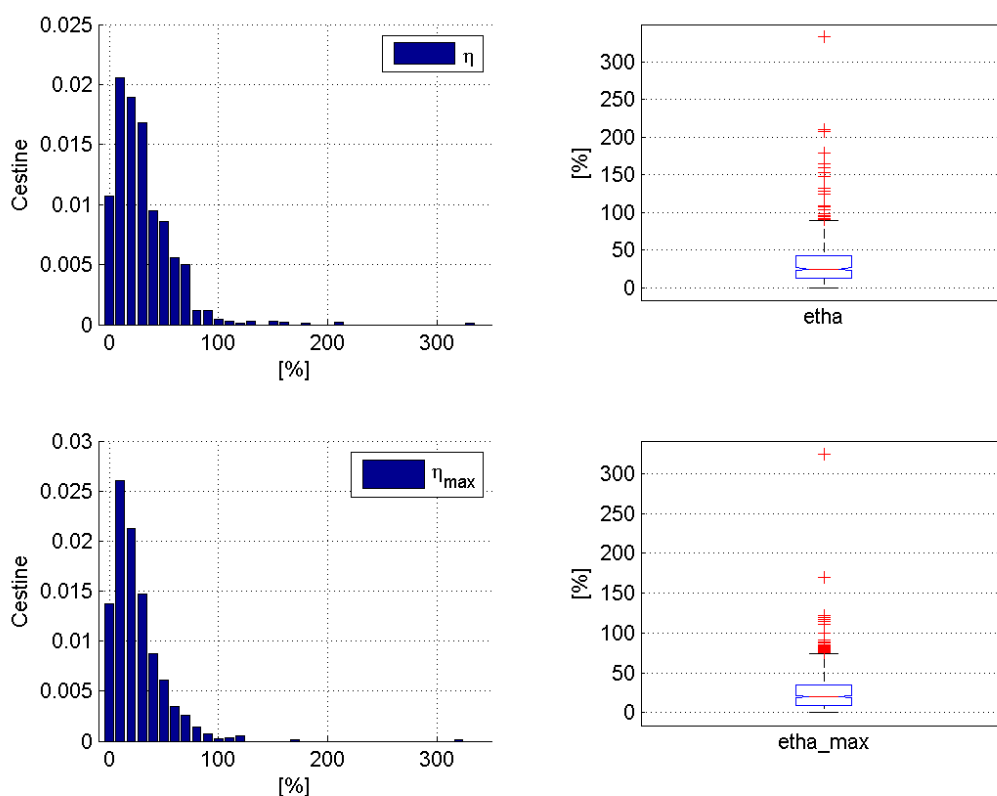
SM bura	Burrova raspodjela $\bar{v}_H$			Burrova raspodjela v_{max}		
	a	c	k	a	c	k
Prag 12	7,90	4,14	2,35	11,18	5,23	1,32
1° prag 30	9,70	2,97	5,45	11,22	5,26	1,41
2° prag 30	6,65	4,30	1,97	17,37	3,21	5,30

Za slučaj 1, srednjak razlike srednje desetominutne brzine vjetra između pragova, $\bar{\Delta}_N$, i srednjak razlike maksimalne desetominutne brzine vjetra između pragova, $\bar{\Delta}_{max,N}$, jednak je i iznosi $1,2 \text{ m s}^{-1}$. Za slučaj 2, $\bar{\Delta}_N$ smanji se na $0,7 \text{ m s}^{-1}$, a $\bar{\Delta}_{max,N}$ na samo $0,2 \text{ m s}^{-1}$.

Koeficijenti varijacije srednje i maksimalne brzine su otprilike 10% veći nego oni u primjeru SM bure. Varijabilnost $\bar{v}_{H,30,N}$ i $v_{max,30,N}$ za slučaj 2 gotovo je ista kao na pragu 12 (za razliku od slučaja 1 u kojem je varijabilnost $\bar{v}_{H,30,N}$ i $v_{max,30,N}$ za 1,2 puta veća nego na pragu 12). Uspoređivanjem iznosa varijance brzine ne bismo stekli dojam sličnosti i/ili različitosti u varijabilnosti brzina.

Koliko je mjera srednje vrijednosti uzorka slaba i neotporna/neosjetljiva¹⁷ mjera lokacije, pokazuje primjer vrijednosti parametara η i η_{max} izračunatih za N buru (slika 14). Parametri η i η_{max} za slučaj 2 grafički su prikazani na slici D4 u dodatku. Srednje vrijednosti zavaravaju i umjetno uvećavaju razliku između pragova. Manjkavost izraza (1) i (2) koje koristimo očituje se za slučajeve kad je brzina na pragu 30 veća od one na pragu 12. Svi rezultati koji pripadaju intervalu do 100% pokazuju koliko je brzina na pragu 12 veća nego na pragu 30, međutim vrijednosti koje prelaze 100% su primjeri veće brzine na pragu 30 nego na pragu 12. Takve „negativne“ razlike nisu rijetka pojava, što se i može očekivati kod ovakvog tipa bure (vidi Drobac, 2006). Prethodni razlog daje razlog za uvođenje „naprednijih“ statističkih mjera koje će dati bolji uvid u kvantitativne razlike brzina između pragova (vidi poglavlje 5).

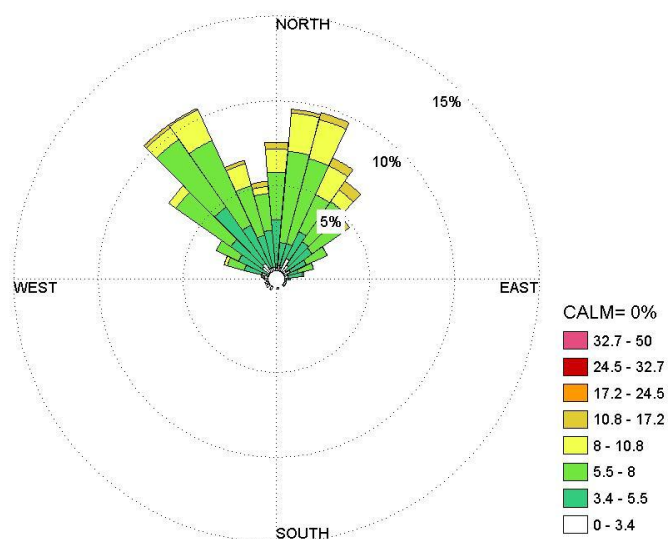
¹⁷ Mjera je *jaka* ako ne ovisi značajno o određenim (teorijskim) pretpostavkama, već dobro radi u većini slučajeva. Kažemo da je mjera *otporna* ako manji broj podataka koji „jako“ odstupaju od ostalih (eng. *outliers*) nema na tu mjeru veliki utjecaj.



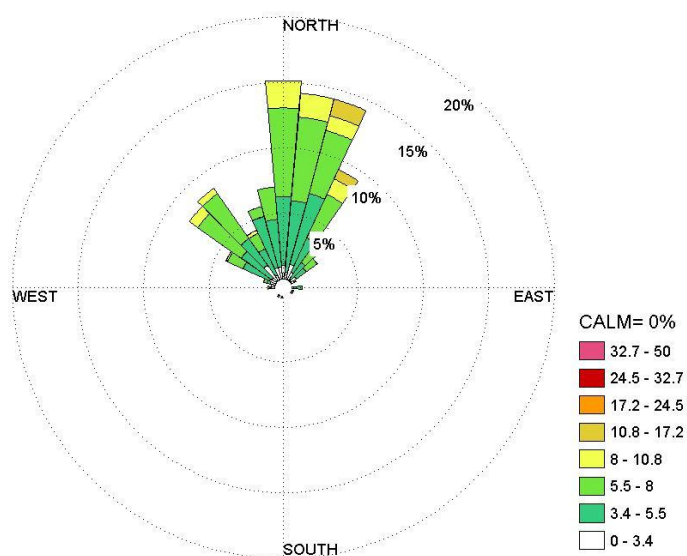
Slika 14. Histogrami relativnih čestina (grafovi u prvom stupcu) i dijagrami pravokutnika (grafovi u drugom stupcu) parametara η (grafovi u prvom retku) i η_{max} (grafovi u drugom retku) N bure za slučaj 1. Crvena linija predstavlja medijan, krajnji gornji i donji rub plavog pravokutnika predstavljaju 25. odnosno 75. percentil, crtane vertikalne linije se protežu do podataka koji se nalazi unutar 1.5 puta od pripadnog interkvartilnog raspona, a sve veće vrijednosti označene su crvenim plusevima i predstavljaju vrijednosti koje se više od 1.5 puta veće od pripadnog interkvartilnog raspona.

Srednjak razlike između maksimalne i srednje desetominutne brzine na pragu 12 i 30 ($\bar{\Delta}_{12,N}$ i $\bar{\Delta}_{30,N}$) otprilike je 20% manji nego u primjeru SM bure. U slučaju 1 je razlika između $\bar{\Delta}_{12,N}$ i $\bar{\Delta}_{30,N}$ gotovo zanemariva, ali u slučaju 2 iznosi 0.5 m s^{-1} .

Razlika u srednjem smjeru N bure između pragova je vrlo mala (u prosjeku $1,5^\circ$). Odstupanje od srednjaka, naprotiv, govori o prirodi ovakvog tipa bure. Nije teško vidjeti razlike u postojanosti vjetra samo vizualnom usporedbom prikaza ruže smjera vjetra na pragu 12 (slika 15) i 30 (slika 16). Varijacije smjera vjetra veće su na pragu 12 (u prosjeku 15% veće nego na pragu 30 za slučaj 1 i 20 % za slučaj 2).



Slika 15. Prikaz ruže vjetra srednje desetominutne brzine i smjera svih epizoda N bure na pragu 12. Boje u kvadratićima označuju raspon brzina u m s^{-1} navedene neposredno pored njih. „CALM“ označava „tišinu“, odnosno slučajeve s brzinom od 0 m s^{-1} .



Slika 16. Isto kao slika 15, samo za prag 30 (slučaj 2).

4. „Napredna“ statistička obilježja skupa podataka

Procjena nivoa sličnosti dviju krivulja vrlo je bitna stavka prilikom uspoređivanja dvaju seta podataka. Tradicionalno, krivulje se vizualno uspoređuju promatrajući maksimalne i minimalne vrijednosti, oscilacije, oblike i slično. Iako ovakav način može dati dobar uvid u sličnosti dviju krivulja, baziran je čisto na subjektivnoj procjeni. S ciljem minimiziranja subjektivne procijene, nužno je definirati objektivne kriterije. Razmatrat ćemo neke napredne determinističke mjere za usporedbu dviju krivulja iz rada Mongiardinija (2013).

4.1. Mjere pojedinačnih vrijednosti (eng. *single value metrics*)

Od mjera koje pružaju pojedinačnu numeričku vrijednost računamo koeficijent korelacije (Mongiardini, 2013) koji predstavlja globalnu suglasnost (slaganje) dviju krivulja i računa se prema:

$$r = \frac{\sum (c_i - \bar{c})(m_i - \bar{m})}{\sqrt{\sum (c_i - \bar{c})^2} \sqrt{\sum (m_i - \bar{m})^2}} \quad (3)$$

Simboli c_i i m_i odnose se na pojedine vrijednosti iz dva različita seta podataka. Ovakva notacija podrazumijeva da su vrijednosti m_i osnovni podaci, a vrijednosti c_i podaci koje uspoređujemo s osnovnima. Ovdje uzimamo da su m_i podaci o vjetru na pragu 12, a c_i podaci na pragu 30. Oznake $\bar{c}$ i $\bar{m}$ označavaju njihove srednje vrijednosti.

4.2. Mjere višestrukih vrijednosti (eng. multiple value metrics)

Mjere višestrukih vrijednosti ispituju lokalno podudaranje dviju krivulja tretirajući magnitudu, M , i fazu, P , odvojeno. M i P komponente tvore ukupnu komponentu podudaranja C (eng. *comprehensive metrics factor*). Fazna komponenta, P , bi trebala biti neosjetljiva na magnitudne promjene, a magnitudna komponenta, M , bi trebala biti neosjetljiva na fazne promjene. Ove mjere identificiraju (pokazuju) dijelove krivulja koji se ne poklapaju. Za obje komponente, vrijednost nula znači da su promatrane krivulje identične u određenom segmentu. Vrijednost 1 za faznu komponentu, odnosno -1 za magnitudnu, govori da su promatrane krivulje u totalnoj suprotnosti (Whang i sur., 1994). Od tzv. MPC mjera koje se provode u radu Mongiardini (2013), računamo Geersove (1984) dane izrazima (4) – (6):

$$M = \sqrt{\frac{\sum c_i^2}{\sum m_i^2}} - 1 \quad (4)$$

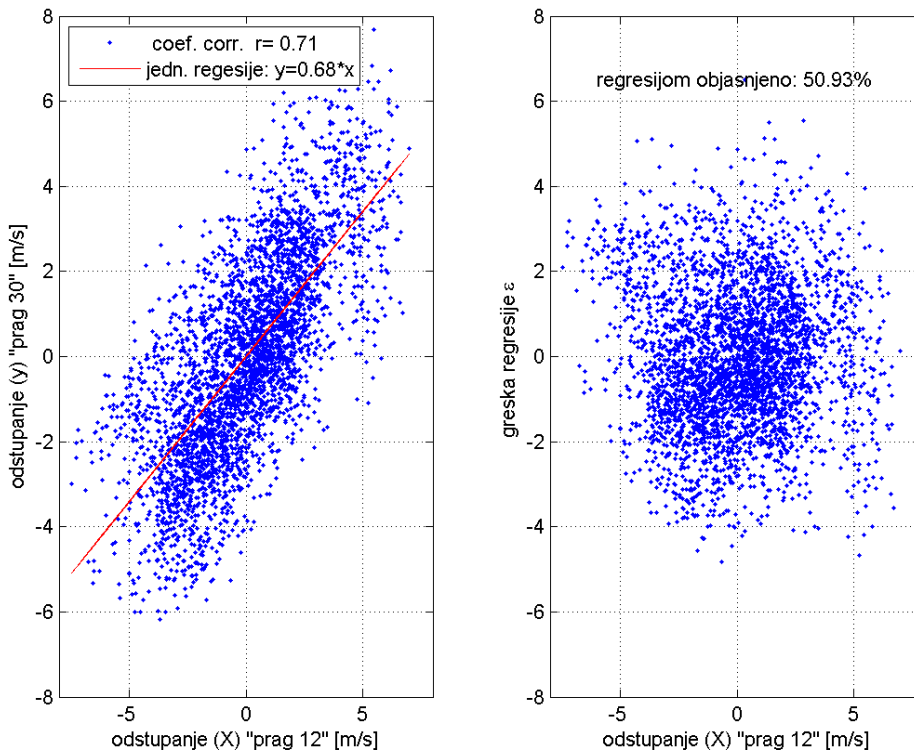
$$P = 1 - \frac{\sum c_i m_i}{\sqrt{\sum c_i^2 \sum m_i^2}} \quad (5)$$

$$C = \sqrt{M^2 + P^2} \quad (6)$$

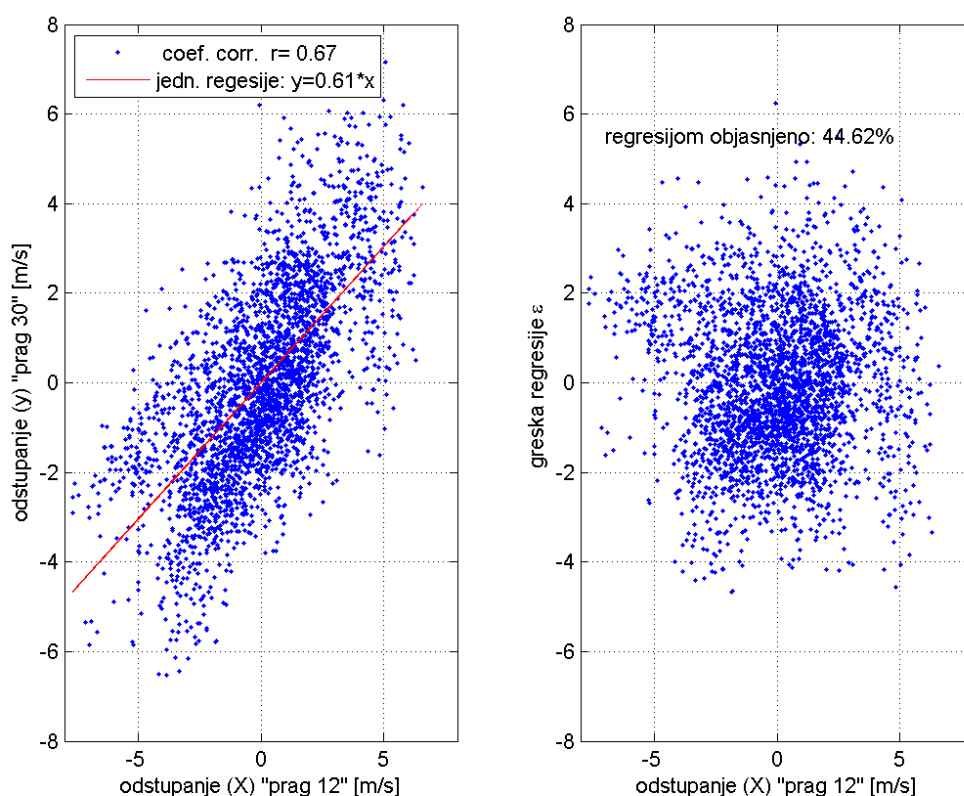
Spomenute objektivne metode procjene sličnosti primijenit ćemo na vremenske krivulje $\bar{v}_{H,12}$ i $\bar{v}_{H,30}$ te $v_{max,12}$ i $v_{max,30}$ posebno za slučaj 1 i posebno za slučaj 2. U navedenom slučaju 2 uspoređujemo samo dio bure na pragu 12 u vremenu dok traje bura na pragu 30. Izračunate vrijednosti M , P i C za svaku epizodu bure dane su u tablicama 6, 7 i 8. Na kraju svake od njih, nalaze se srednje vrijednosti za svaku mjeru. Indeksi 1 i 2 odnose se redom na slučajeve 1 i 2.

4.3. Rezultati za uzorak SM bure

Ako želimo promatrati međusobnu ovisnost slučajnih varijabli ($\bar{v}_{H,12,SM}$ i $\bar{v}_{H,30,SM}$ ili $v_{max,12,SM}$ i $v_{max,30,SM}$), postavljamo si pitanje postoji li stohastička veza između njih i koliko je ta veza čvrsta. Koeficijent korelacije, koji nam daje odgovor na to pitanje, upućuje na dosta jaku vezu i srednjih i maksimalnih brzina između pragova. Teorija regresije smatra da je ta veza linearnog oblika (vidi slike 17 – 20) pretpostavljajući da su X („ulaz“ - $\bar{v}_{H,12,SM}$ ili $v_{max,12,SM}$) i Y („izlaz“ - $\bar{v}_{H,30,SM}$ ili $v_{max,30,SM}$) slučajne varijable. Cilj je procijeniti Y pomoću linearne funkcije od X, tj. naći $a, b \in \mathbb{R}$ tako da $\varepsilon = Y - (aX + b)$, pogreška regresije, bude što manja. Radi jednostavnosti radimo s odstupanjima $X - \bar{X}$ ($\bar{v}'_{H,12,SM}, v'_{max,12,SM}$) i $Y - \bar{Y}$ ($\bar{v}'_{H,30,SM}, v'_{max,30,SM}$). Tada je $b = 0$ i tražimo $a \in \mathbb{R}$ tako da $\varepsilon = Y - aX$ bude što manje u smislu najmanjih kvadrata odstupanja, tj. $Var(\varepsilon) \rightarrow \min$.



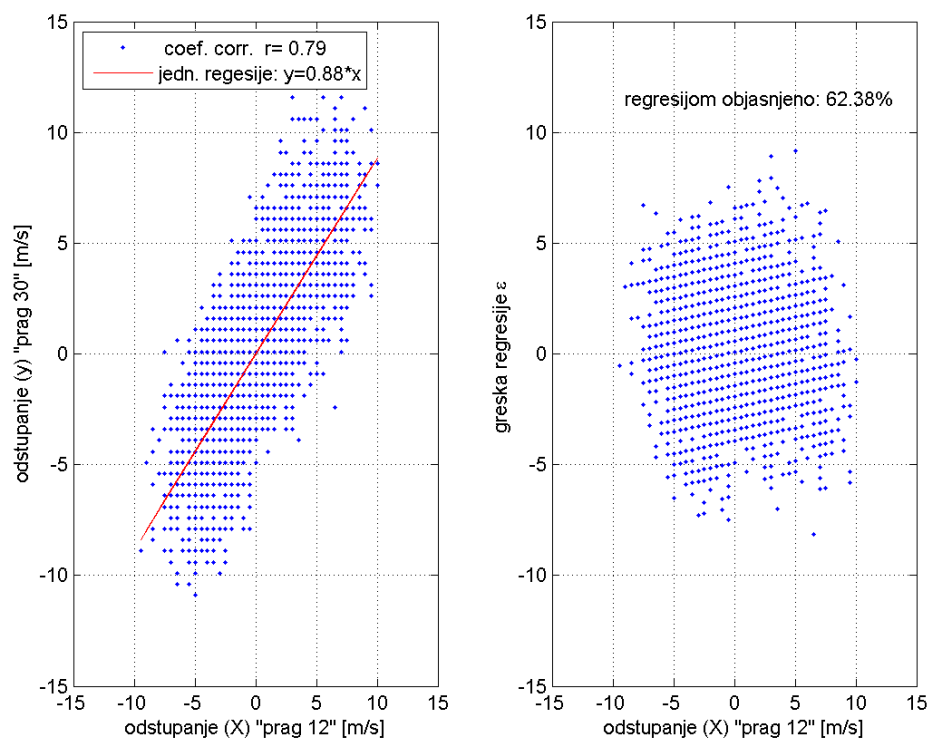
Slika 17. Dijagram raspršenja odstupanja srednjih desetominutnih brzina od srednje vrijednosti na pragu 12 ($\bar{v}'_{H,12,SM}$) i 30 ($\bar{v}'_{H,30,SM}$) i pravca regresije za SM buru (slučaj 1) na lijevoj slici. Desno: dijagram raspršenja pogreške regresije ε i $\bar{v}'_{H,12}$. Unutar *textbox*-a ispisan je koeficijent korelacije, jednadžba regresije i postotak varijance opisan regresijom.



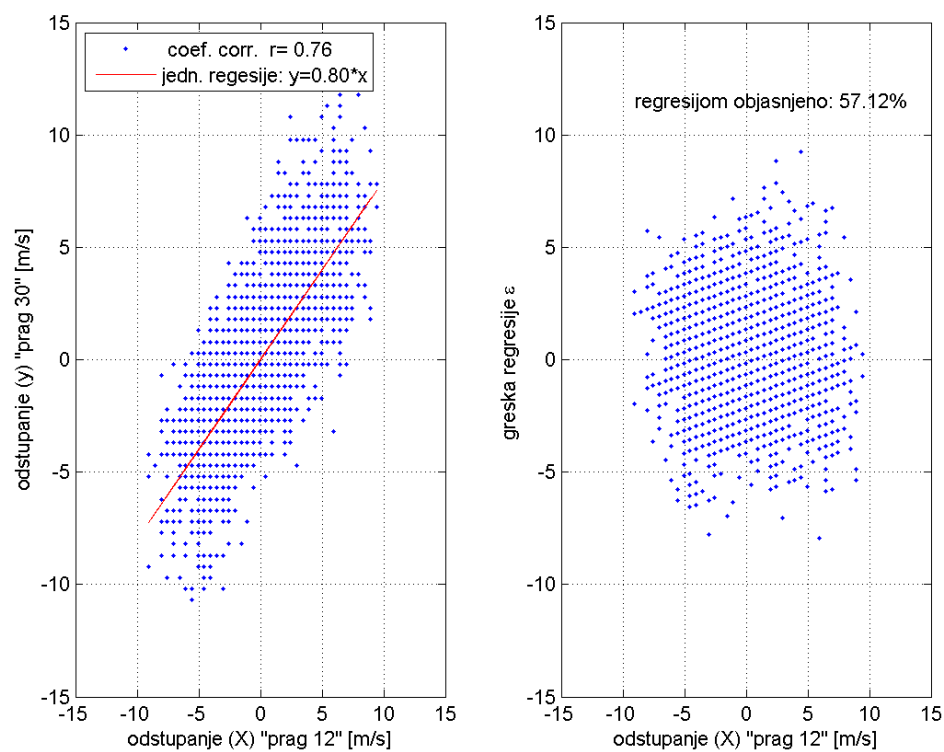
Slika 18. Isto kao slika 17, samo za slučaj 2.

U slučaju 2 (slike 18 i 20), korelacija je nešto manja nego u slučaju 1 (slike 17 i 19). Proučavanjem jednadžbe analize varijance¹⁹ vidimo da kvadrirani koeficijent korelacije r^2 daje postotak varijance „izlaza“ Y koji je opisan regresijom. Taj se postotak smanjuje za oko 5% u slučaju 2, a pogreška regresije ε i $\bar{v}'_{H,12,SM}$ tj., $v'_{max,12,SM}$ nisu korelirani.

¹⁹ $\underbrace{Var(Y)}_1 = \underbrace{Var(aX)}_{r^2} + \underbrace{Var(\varepsilon)}_{1-r^2}$ jednadžba analize varijance.



Slika 19. Isto kao slika 17, samo za $v'_{max,12,SM}$ i $v'_{max,30,SM}$.



Slika 20. Isto kao slika 19, samo za slučaj 2.

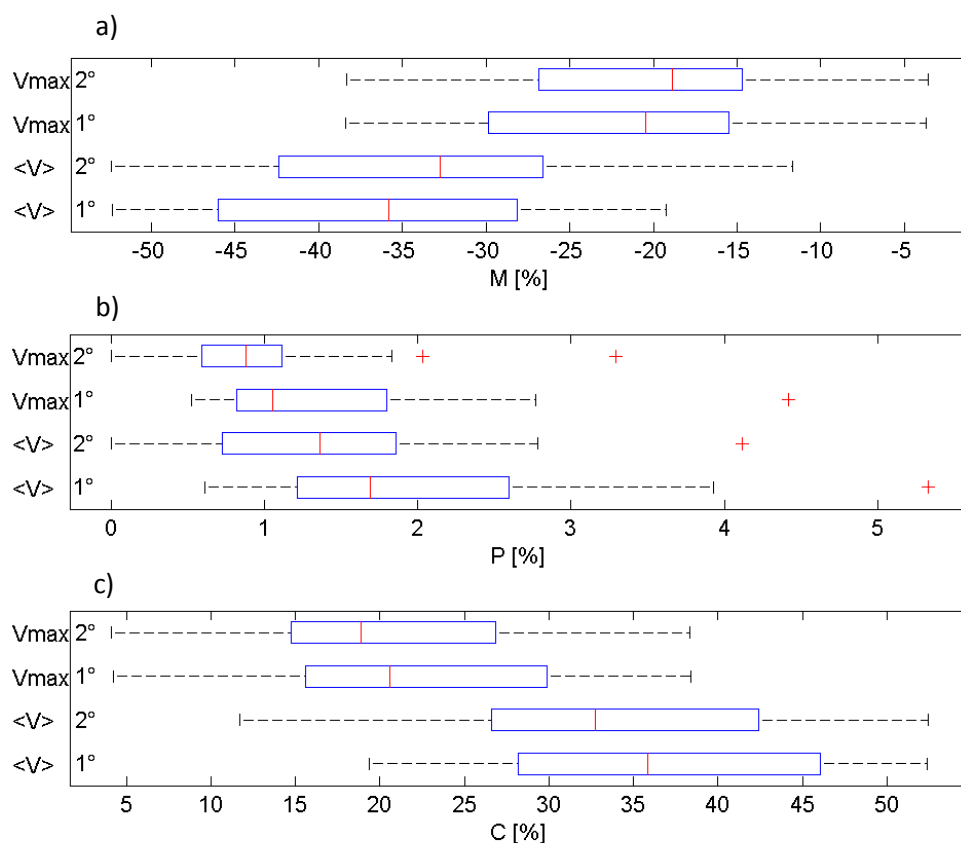
Tablica 6. Vrijednosti M , P i C mjera slaganja krivulja srednjih desetominutnih brzina, $\bar{v}_H$, između praga 12 i 30 (prvih 6 stupaca) i maksimalnih desetominutnih brzina, v_{max} , (7.-12. stupac) prvih 15 epizoda SM bure. Indeks 1 odnosi se na slučaj 1, i analogno indeks 2 na slučaj 2. Sve vrijednosti dane su u postocima.

		$\bar{v}_H$						v_{max}					
	DATUM:	M_1	M_2	P_1	P_2	C_1	C_2	M_1	M_2	P_1	P_2	C_1	C_2
1.	25.-26. sij. 13.	-36,15	-35,79	1,28	1,23	36,18	35,81	-22,61	-22,29	1,21	1,21	22,64	22,32
2.	26.- 27. sij. 13.	-44,85	-44,63	1,02	2,04	44,86	44,64	-29,46	-29,03	0,85	0,85	29,47	29,04
3.	3.- 4. velj. 13.	-42,44	-41,00	0,90	0,56	42,44	41,00	-28,94	-26,89	1,00	0,59	28,95	26,90
4.	7.-8. velj. 13.	-36,25	-36,54	0,68	0,63	36,26	36,55	-22,89	-22,76	0,52	0,52	22,90	22,70
5.	14.- 16. ožu.13.	-25,85	-25,72	0,85	0,82	25,87	25,73	-14,38	-14,26	0,60	0,59	14,39	14,27
6.	22.- 23. ožu. 13.	-35,80	-11,71	1,69	0,53	35,84	11,72	-25,73	24,30	0,95	0,33	25,75	24,30
7.	6. – 8. tra. 13.	-29,64	-28,14	2,59	1,69	29,76	28,19	-15,69	-14,04	2,16	1,45	15,84	14,11
8.	15. -16. tra. 13.	-36,47	-34,02	5,33	4,12	36,66	34,27	-20,01	-17,57	4,42	3,29	20,49	17,87
9.	12.- 14. svi. 13.	-26,25	-25,56	2,62	2,53	26,38	25,68	-16,24	-15,69	1,15	1,09	16,28	15,72
10.	11.- 12. lip. 13.	-19,47	-19,47	0,73	0,73	19,49	19,49	-13,06	-13,06	0,58	0,58	13,07	13,07
11.	25. -26. lip. 13.	-48,67	-51,04	1,47	1,45	48,69	51,07	-34,82	-35,67	0,73	0,77	34,42	35,68
12.	26.- 27. lip. 13.	-48,69	-39,63	3,50	0,69	48,81	39,63	-35,78	-26,81	2,38	0,88	35,86	26,82
13.	30. lip.- 1. srp. 13.	-24,81	-24,58	1,38	1,36	24,85	24,62	-14,96	-14,86	0,97	0,97	15,00	14,89
14.	5. -6. srp. 13.	-27,94	-27,83	0,61	0,57	27,94	27,84	-13,52	-13,24	0,73	0,69	13,54	13,26
15.	15. -16. srp. 13.	-31,33	-31,33	1,76	1,76	31,38	31,38	-14,30	-14,30	1,00	1,00	14,33	14,33

Tablica 7. Nastavak tablice 6. Na kraju tablice dane su srednje vrijednosti pojedinih komponenti MPC mjera višestrukih vrijednosti.

		$\bar{v}_H$						v_{max}					
	DATUM:	M_1	M_2	P_1	P_1	C_1	C_2	M_1	M_2	P_1	P_1	C_1	C_2
16.	16. -17. srp. 13.	-19,25	-19,16	2,37	2,37	19,40	19,30	-3,69	-3,60	2,03	20,3	4,21	4,13
17.	30. -31. srp. 13.	-31,81	-31,71	0,67	0,61	31,82	31,71	-16,73	-16,51	0,60	0,50	16,74	16,52
18.	31.srp.-1.kol. 13.	-35,15	-32,71	2,83	1,32	35,27	32,73	-20,46	-17,54	2,42	1,08	20,60	17,57
19.	10. -11. kol. 13.	-45,86	-41,88	3,00	1,80	45,96	41,92	-29,65	-24,35	1,91	0,70	29,72	24,36
20.	19- 20. ruj. 13.	-42,59	-43,87	1,34	1,09	42,61	43,89	-25,88	-26,59	0,67	0,66	25,89	26,60
21.	20. -21. ruj. 13.	-47,88	-40,32	1,38	0	47,90	40,32	-34,64	-19,23	1,38	0	34,67	19,23
22.	21. -23. ruj. 13.	-27,47	-23,84	3,93	2,47	27,75	23,97	-14,99	-11,58	2,77	1,18	15,24	11,73
23.	1. – 3. lis. 13.	-30,55	-30,57	1,88	1,88	30,61	30,63	-15,68	-15,59	1,05	1,05	15,71	15,73
24.	13. -14. stu. 13.	-52,33	-52,36	2,64	2,78	52,39	52,43	-38,39	-38,31	1,76	1,83	38,43	38,36
25.	25. -27. stu. 13.	-30,54	-29,63	2,11	1,85	30,61	29,69	-17,43	-16,49	1,58	1,39	17,50	16,65
26.	30.stu.-3.pro.13.	-46,36	-45,24	1,57	1,19	46,38	45,25	-32,05	-30,83	1,28	1,03	32,08	30,84
27.	6.-7. pro. 13.	-28,22	-26,86	2,21	1,78	28,30	26,92	-19,86	-18,88	0,97	0,75	19,89	18,90
28.	10-11.pro. 13.	-48,53	-45,52	2,17	1,79	48,58	45,56	-32,64	-31,12	1,05	0,53	32,66	31,13
29.	15.- 16. pro. 13.	-47,13	-46,96	1,46	1,27	47,15	46,97	-30,35	-29,77	1,10	0,94	30,37	29,78
Srednja vrijednost:		-36,15	-34,06	1,93	1,48	36,21	34,10	-22,58	-20,87	1,37	0,98	22,64	20,92

Magnitudna komponenta $\bar{M}$, kako smo već ranije rekli, kvantificira razlike u amplitudi između para krivulja (prikazana na slici 21a). U prosjeku, magnituda $\bar{v}_{H,30,SM}$ je za otprilike 34 (32)²⁰ % manja od magnitude $\bar{v}_{H,12,SM}$. Magnitude $v_{max,12,SM}$ i $v_{max,30,SM}$ se u prosjeku razlikuju za 23 (20)%. Takvi rezultati ne odudaraju od zaključaka iz prvog dijela rada.



Slika 21. Prikaz dijagrama s pravokutnikom: a) magnitudne komponente, b) fazne komponente i c) ukupne komponente za procjenu nedosljednosti krivulja $\bar{v}_{H,12,SM}$ i $\bar{v}_{H,30,SM}$ (označeno s <V>) te $v_{max,12,SM}$ i $v_{max,30,SM}$ (označeno s Vmax) za slučaj 1 (1°) i slučaj 2 (2°) SM bure.

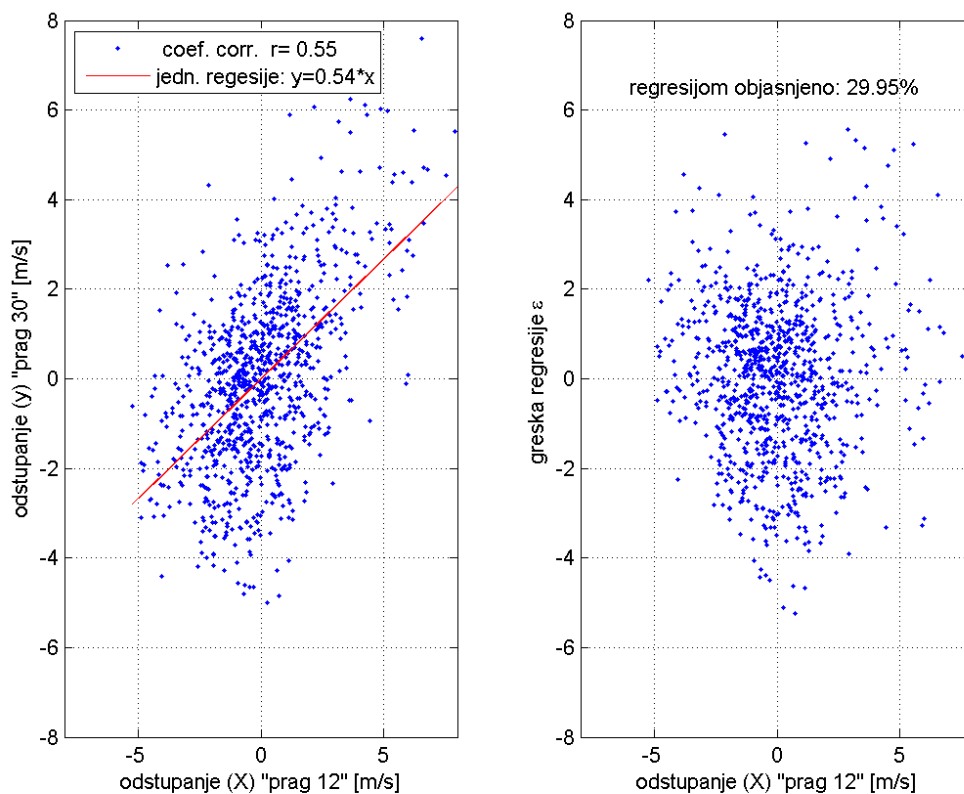
²⁰ Iznos u zagradi označava vrijednost za slučaj 2 (podaci u vremenskom intervalu trajanja bure na pragu 30).

Pomak u fazi i razlika u nagibu krivulja koje promatramo objedinjuje fazna komponenta $\bar{P}$ (slika 21b) koja, iako mala, može biti značajan čimbenik. Dakle, $\bar{v}_{H,12,SM}$ i $\bar{v}_{H,30,SM}$ fazno se razlikuju u svega 1,9 (1,5) %, a $v_{max,12,SM}$ i $v_{max,30,SM}$ u samo 1,4 (1,0) %. Iako prosječna fazna „pogreška“ nije značajno velika, mogla bi objasniti dio *outliera* koji se pojavljuju prilikom promatranja η i η_{max} (vidi sliku 8). Ukupna objektivna mjera za procjenu sličnosti između dviju vremenskih krivulja određena je prvenstveno razlikama u magnitudi, a tek malim dijelom u fazi (slika 21c).

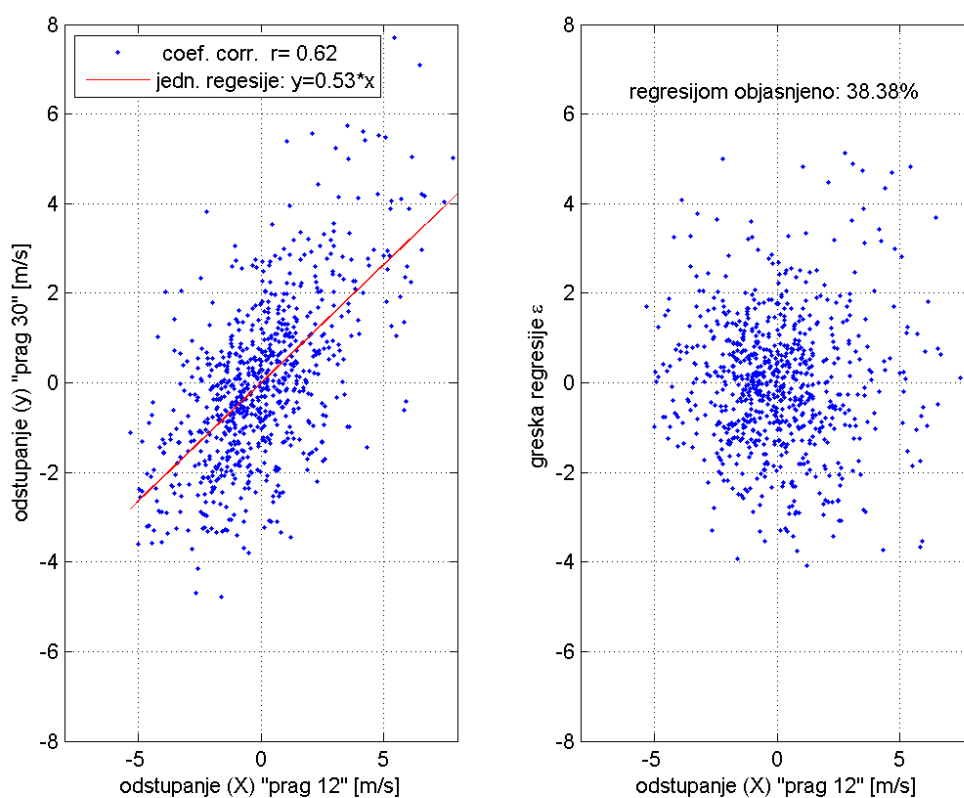
Dakle, postoji jaka linearna veza srednjih brzina između praga 12 i 30 i nešto veća, također linearna, veza maksimalnih brzina između praga 12 i 30, a ukupna „razlika“ između njih kreće se od 20 - 35%.

4.4. Rezultati za uzorak N bure

Vrijednost koeficijenta korelacije uzorka $\bar{v}_H$ analiziranih za N buru za slučaj 1, nije znatno veća od 0.5 (slika 22). S obzirom da se pojam „jaka korelacija“ uzima uglavnom za vrijednosti koeficijenta korelacije, r , većeg od 0.5, veza je relativno jaka, ali informacija o $\bar{v}_{H,12,N}$ ne govori puno o vrijednostima $\bar{v}_{H,30,N}$. U slučaju 2, koji je signifikantniji, koeficijent korelacije uzorka pokazuje jaču vezu $\bar{v}_{H,12,N}$ i $\bar{v}_{H,30,N}$ (slika 23), a postotak varijance „izlaza“ opisan regresijom dolazi do 40 %. To znači da je u slučaju 2 veći dio varijabilnosti srednje brzine na pragu 30 opisan regresijom nego u slučaju 1.

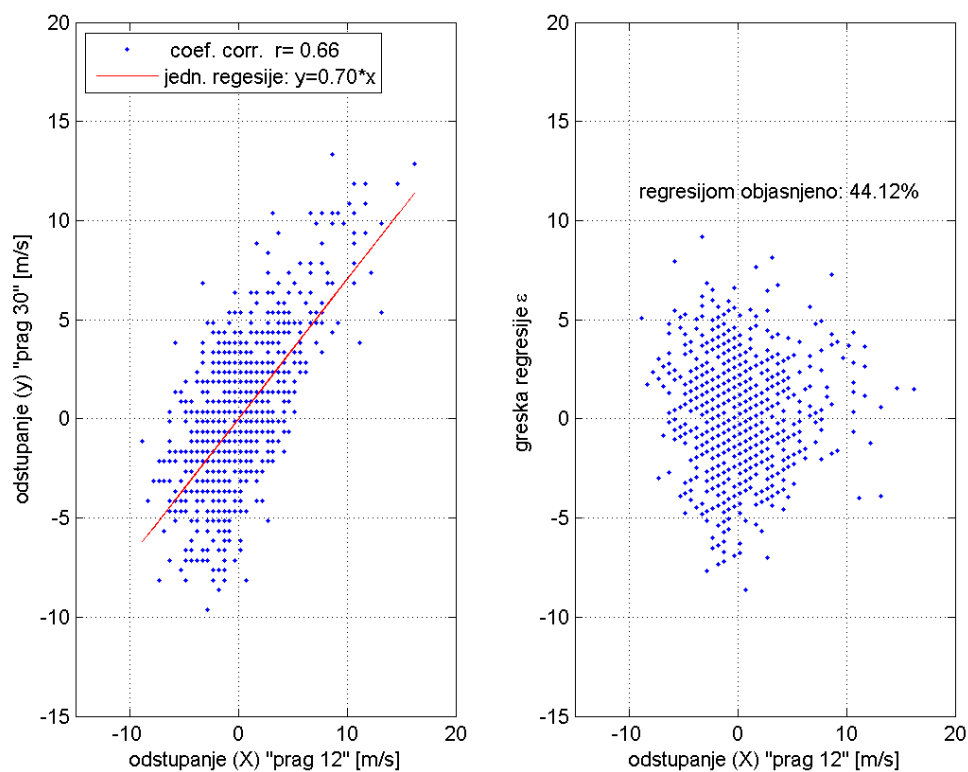


Slika 22. Dijagram raspršenja odstupanja srednje desetominutne brzine na pragu 12 i 30 od pripadnog srednjaka ($\bar{v}'_{H,12,N}$ i $\bar{v}'_{H,30,N}$) i pravca regresije za N buru (1. slučaj) na lijevoj slici. Desno: dijagram raspršenja pogreške regresije ε i $\bar{v}'_{H,12,N}$. Unutar *textbox*-a ispisan je koeficijent korelacije, jednadžba regresije i postotak varijance opisan regresijom.

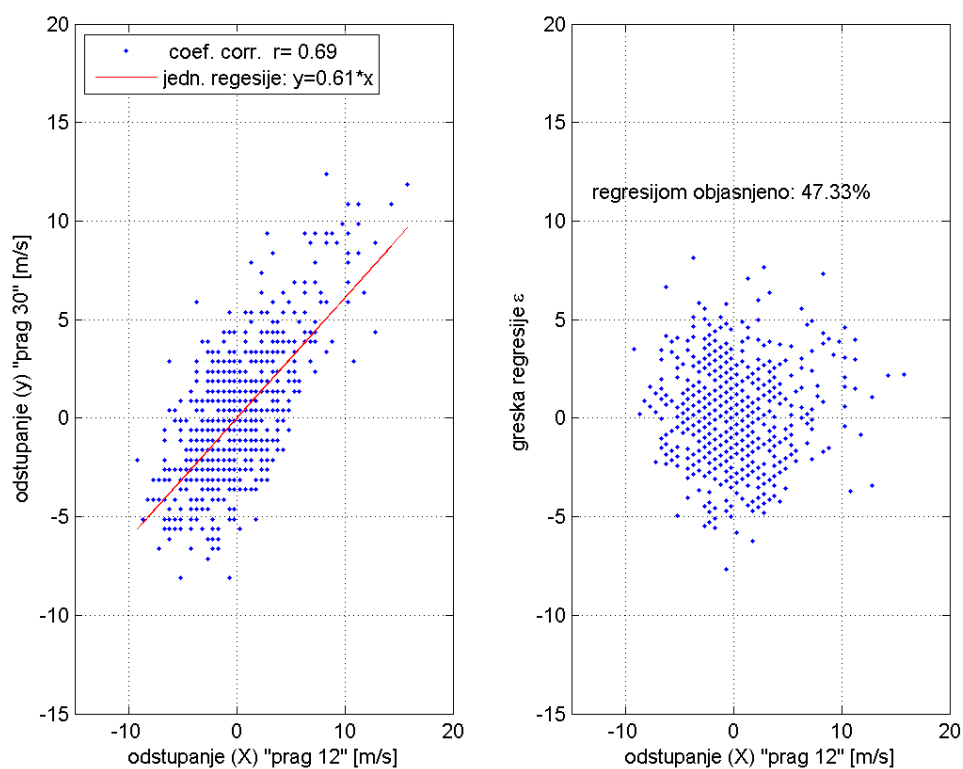


Slika 23. Isto kao slika 22, samo za slučaj 2.

Pokazuje se da je korelacija između uzorka maksimalnih brzina $v_{max,12,N}$ i $v_{max,30,N}$ (slika 24 i 25) jača nego što je između pripadnih uzoraka srednje brzine. U slučaju 2, koji je signifikantniji, postotak varijance „izlaza“ tj., $v_{max,30,N}$ je u gotovo 50% opisan regresijom.



Slika 24. Isto kao slika 22, samo za $v'_{max,12,N}$ i $v'_{max,30,N}$

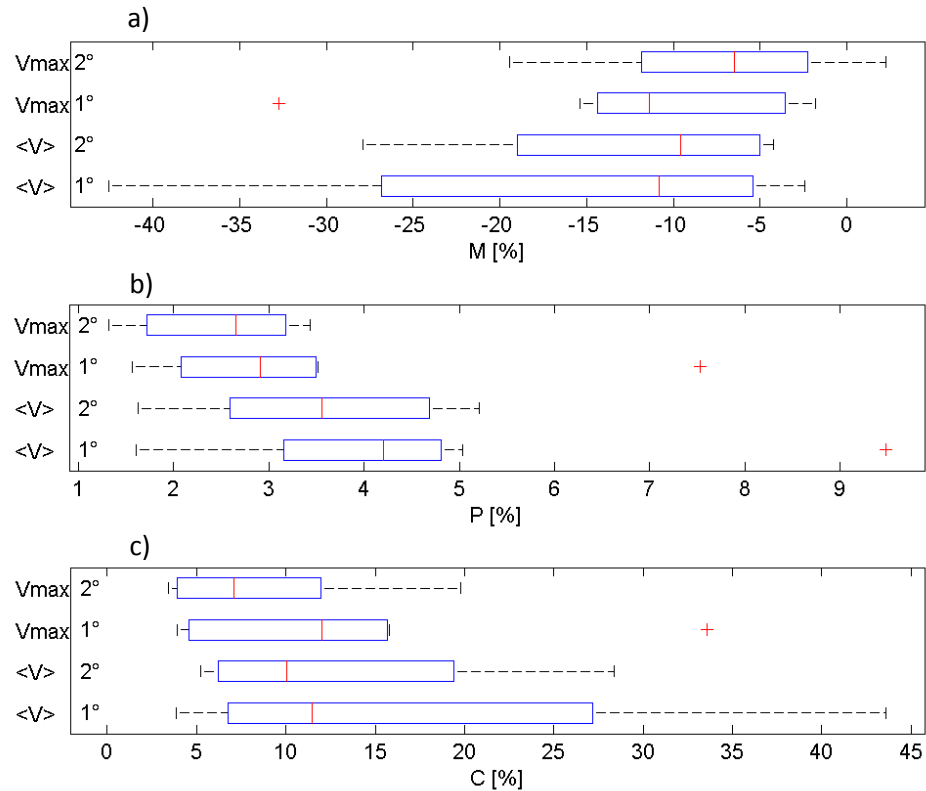


Slika 25. Isto kao slika 24, samo za slučaj 2.

Tablica 8. Vrijednosti M, P i C mjera slaganja krivulja srednje desetominutne brzine, $\bar{v}_H$, između praga 12 i 30 (prvih 6 stupaca) i maksimalne desetominutne brzine, v_{max} , (7. -12. stupac) svih promatranih epizoda N bure. Indeks 1 odnosi se na slučaj 1, i analogno indeks 2 na slučaj 2. Na kraju tablice, dane su srednje vrijednosti pojedinih komponenti tzv. MPC mjera višestrukih vrijednosti. Sve vrijednosti izražene u postocima.

		$\bar{v}_H$						v_{max}					
	DATUM:	M_1	M_2	P_1	P_2	C_1	C_2	M_1	M_2	P_1	P_2	C_1	C_2
1.	21. -23. ožu.	-22,78	-22,78	4,35	4,35	23,19	23,19	-3,42	-3,42	2,72	2,72	4,37	4,37
2.	15. tra.	-2,42	-5,46	3,02	2,66	3,87	6,07	-12,38	-10,65	2,13	1,32	15,57	10,82
3.	12. -13. lip.	-3,95	-4,23	5,04	5,02	6,40	6,56	-3,65	-3,79	3,10	3,11	4,79	4,91
4.	16. srp.	-6,9	-6,18	1,61	1,63	7,08	6,39	-13,29	-12,98	2,03	2,07	13,44	13,15
5.	16. -18. lis.	-13,92	-13,04	4,06	3,71	14,50	13,55	-1,78	-1,12	3,48	3,25	3,91	3,44
6.	7. pro.	-7,73	-4,60	3,29	2,53	8,40	5,25	-10,43	-9,12	1,56	1,36	10,54	9,22
7.	10. pro.	-30,85	-15,24	4,57	3,40	31,19	15,61	-15,40	2,24	3,52	2,59	15,80	3,43
8.	16. -17. pro.	-42,54	-27,92	9,48	5,21	43,58	28,40	-32,74	-19,46	7,53	3,43	33,59	19,76
Srednje vrijednosti:		-16,39	-12,43	4,43	3,56	17,28	13,13	-11,64	-7,29	3,26	2,48	12,75	8,64

U potpoglavlju 3. 2., zbog manjkavosti relacija (1) i (2), nismo mogli kvantificirati prosječnu razliku u brzini bure između pragova pa koristimo MPC mjere (slika 26). Dobivamo da se $\bar{v}_{H,12,N}$ i $\bar{v}_{H,30,N}$ u prosjeku magnitudno razlikuju za svega 16 (12) %. Još manja prosječna razlika, otprilike 12 (7) %, pokazuje se za maksimalnu brzinu. Iako prosječna fazna „pogreška“ nije jako velika, dvostruko je veća nego u primjeru SM bure.



Slika 26. Prikaz dijagrama s pravokutnikom: a) magnitudne komponente, b) fazne komponente i c) ukupne komponente za procjenu nedosljednosti krivulja $\bar{v}_{H,12,SM}$ i $\bar{v}_{H,30,SM}$ (označeno s <V>) te $v_{max,12,SM}$ i $v_{max,30,SM}$ (označeno s „Vmax“) za slučaj 1 (1°) i slučaj 2 (2°) N bure.

5. Sažetak i zaključak

Sigurnost odvijanja zračnog prometa ovisi, između ostalog, o vremenskim prilikama. Od mnogih meteoroloških elemenata i faktora koji utječu na neometano odvijanje zračnog prometa, u ovom se radu bavimo vjetrom u uvjetima jake bure na zračnoj luci Dubrovnik (LDDU). Jak i mahovit prizemni vjetar, nagle i učestale varijacije smjera i brzine na pojedinim dionicama uzletno-sletne staze (USS) rezultiraju poteškoćama u fazi slijetanja i polijetanja zrakoplova. Postoje dva različita tipa ponašanja prizemnog vjetra na LDDU koja ovise o vertikalnoj strukturi atmosfere u navjetrini. U slučaju dobro definiranog sloja bure u donjoj troposferi, javlja se SM bura. Ukoliko se sloj bure proteže gotovo cijelom troposferom, nerijetko uz prisustvo mlazne struje, nazivamo ju N bura. Pokazuje se također da postoje karakteristične razlike u svojstvima vjetra na pragu 12 i 30 USS LDDU (Drobac, 2006).

Cilj rada je testirati hipoteze o SM i N buri iz rada Drobac (2006), a pomoću izračunatih razlika u izmjerenom vjetru između praga 12 i praga 30 (i to posebno u slučajevima SM i N bure) dati kvantitativne pokazatelje o upotrebljivosti praga 12 ili 30 u fazama slijetanja, odnosno uzlijetanja u okolnostima spomenutih tipova bure.

Početak puhanja SM bure na pragu 30 u prosjeku se javlja 1 h kasnije u odnosu na prag 12. Dodatno, na pragu 30 bura prestaje puhati u prosjeku i do 1,5 h ranije u odnosu na prag 12. U više od 50% slučajeva epizoda N bure, zabilježen je istovremeni početak na oba praga. Stoga je analizirana bura na pragu 30 u vremenskom intervalu u kojem su zadovoljeni uvjeti za početak i kraj bure na pragu 30, bez obzira na početak i kraj puhanja bure na pragu 12 („slučaj 2“), ali i u vremenskom intervalu u kojemu su zadovoljeni uvjeti za početak i kraj puhanja bure na pragu 12 bez obzira na iznos i smjer vjetra na pragu 30 („slučaj 1“ - vidi Drobac, 2006). Budući su slučajem 1 obuhvaćeni podaci koji ne predstavljaju buru na pragu 30, ovdje smo se usredotočili samo na slučaj 2 koji je i signifikantniji i reprezentativniji nego slučaj 1.

Kod SM bure, srednja brzina je prosječno $3,5 \text{ m s}^{-1}$ veća na pragu 12 nego na pragu 30. Maksimalna brzina SM bure je u prosjeku za $2,7 \text{ m s}^{-1}$ veća na pragu 12 nego na pragu 30. Osim toga, varijacija brzine na pragu 30 je 1,2 puta veća nego na pragu 12. Primijenjena teorija regresije i korelacije upućuje na jaku linearnu vezu brzine između pragova u LDDU. Razlika srednje i maksimalne brzine na pragu 30 (prosječno $5,7 \text{ m s}^{-1}$) ne razlikuje se

značajno od pripadnog rezultata za prag 12. Prilagođavanje teorijskih raspodjela empirijskim raspodjelama čestina srednjeg i maksimalnog vjetra, bilo na pragu 12 ili 30, pokazalo se bezuspješno. Pretežni smjer NNE karakterističan je i stalan bez velike promjenjivosti na pragu 12, za razliku od praga 30 gdje je varijabilnost veća, a srednji smjer u prosjeku zakrenut za $7,5^\circ$ u smjeru sjevera.

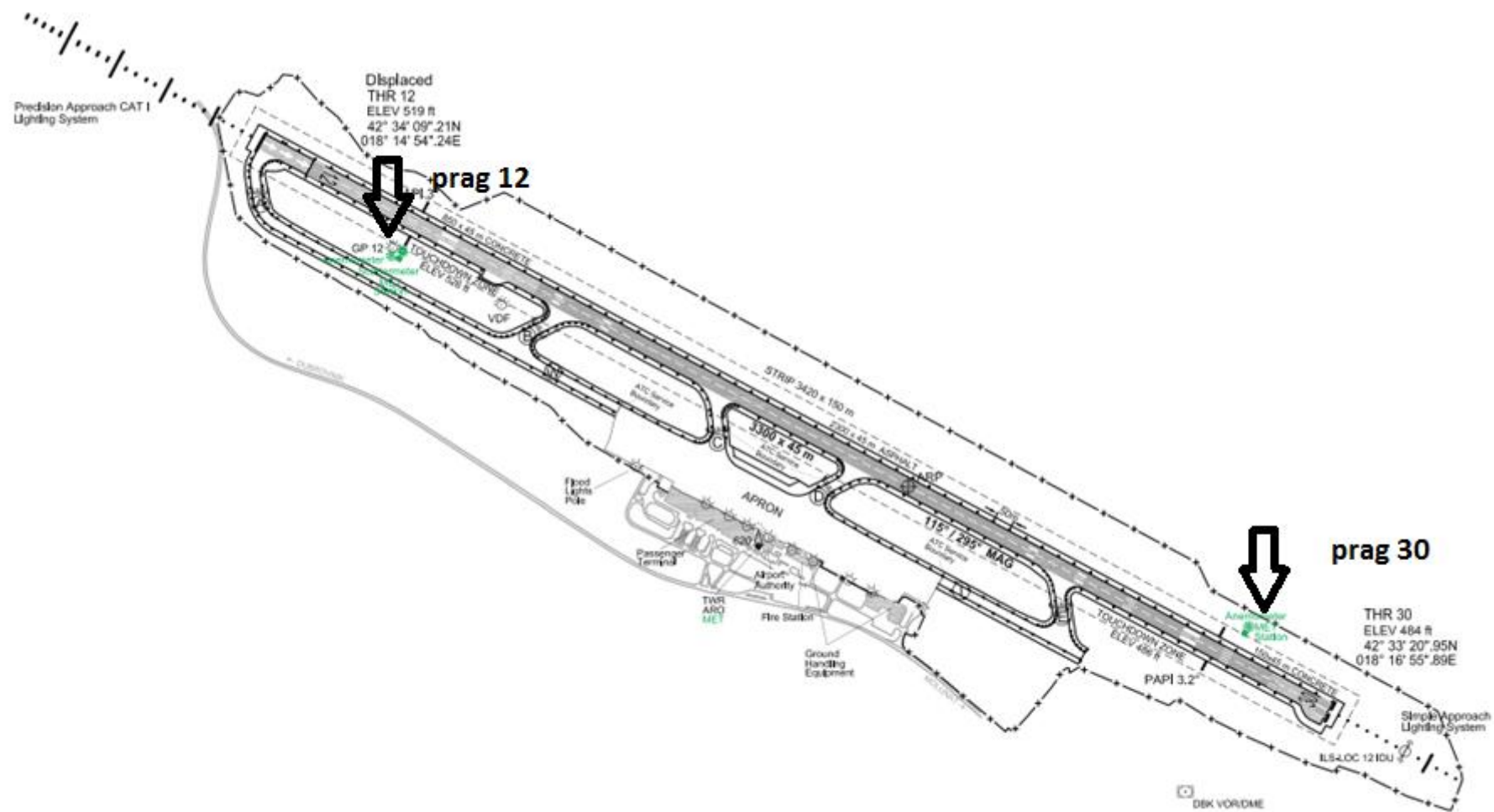
Za uzorak N bure, prethodno spomenute razlike između pragova se smanjuju. Prosječna razlika srednjih brzina je $0,6 \text{ m s}^{-1}$, a razlika u maksimalnoj brzini $0,2 \text{ m s}^{-1}$. Iako nijedna od osam promatranih teorijska raspodjela ne opisuje empirijsku raspodjelu maksimalne i srednje brzine na pragu 12, pokazuje se da Burrova raspodjela dobro opisuje brzinu bure na pragu 30 na nivou signifikantnosti $\alpha = 0,05$. Pretežni smjer je sjeverni s velikim varijacijama (većim nego na pragu 12).

S ciljem minimiziranja subjektivne procjene i identificiranja dijelova krivulja brzine koji se ne poklapaju, uvidimo Geersove (1984), tzv. MPC mjere višestrukih vrijednosti koje tretiraju magnitudu i fazu odvojeno koristeći dvije različite mjere - magnitudu M i fazu P koje tvore ukupnu komponentu pogreške C . Fazna komponenta, P , trebala bi biti neosjetljiva na magnitudne promjene, a magnitudna komponenta, M , trebala bi biti neosjetljiva na fazne promjene. Mjere višestrukih vrijednosti identificiraju dijelove krivulja koji se ne poklapaju. Magnitude srednje brzine epizoda SM bure se prosječno razlikuju za 32%, a magnitude maksimalnih brzina za otprilike 20%. Takvi rezultati ne odudaraju od prethodnih zaključaka. Fazna „pogreška“ ukupnoj razlici doprinosi sa svega nekoliko postotaka. Za uzorak N bure, dobivamo da se magnitude srednje brzine prosječno razlikuju u svega 12%. Još manja prosječna razlika, otprilike 7%, dobivena je za maksimalne brzine. Iako je prosječna fazna „pogreška“ N bure mala, dvostruko je veća nego u primjeru SM bure.

U ovom smo radu, kroz razne statističke parametre, pokazali razlike u prosječnim smjerovima, srednjim i maksimalnim brzinama SM i N bure na LDDU s ciljem utvrđivanja kvantitativnih sličnosti i/ili razlika bure na pragu 12 i na pragu 30. Osim manjih srednjih i maksimalnih brzina SM bure na pragu 30, prijevremeni završetak puhanja SM bure na pragu 30 može biti od značajne važnosti kod faze uzlijetanja i slijetanja zrakoplova i učiniti prag 30 još povoljnijim za vrijeme puhanja jake bure. U uvjetima N bure, razlika između pragova nije toliko izražena, ali se i u takvim okolnostima prag 30 čini povoljniji.

Daljnji napredak u smislu meteorološke analize podataka s LDDU u slučajevima jake bure je moguć. Analizom većeg, vremenski dužeg, uzorka brzina i smjera na pragovima mogla bi se definirati klimatologija događaja (trajanje, raspodjela po mjesecima, satima u danu) za svaki tip bure čime bi se postigle potvrde povoljnijeg korištenja praga 30 u uvjetima jake bure.

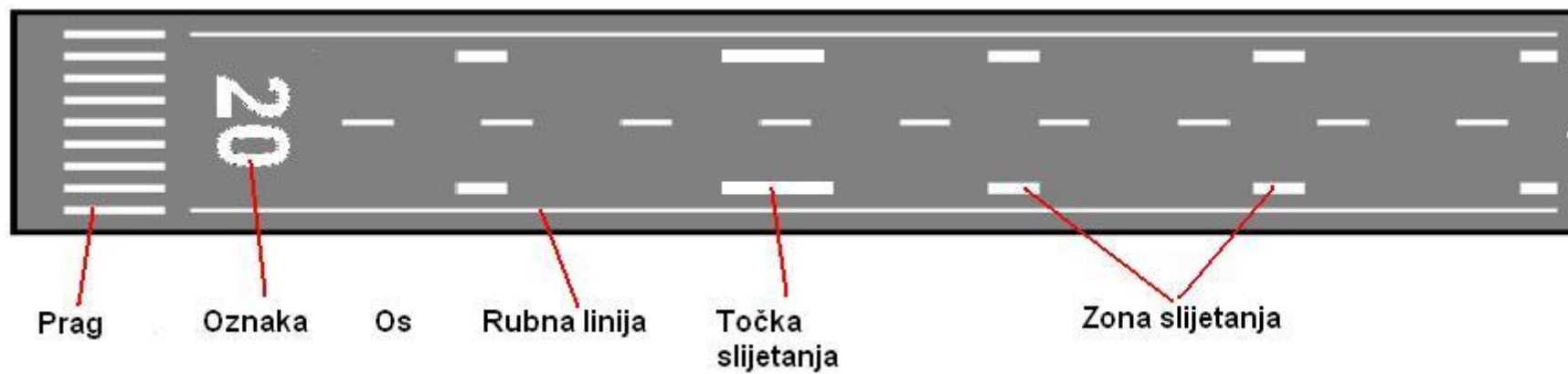
6. Dodatak



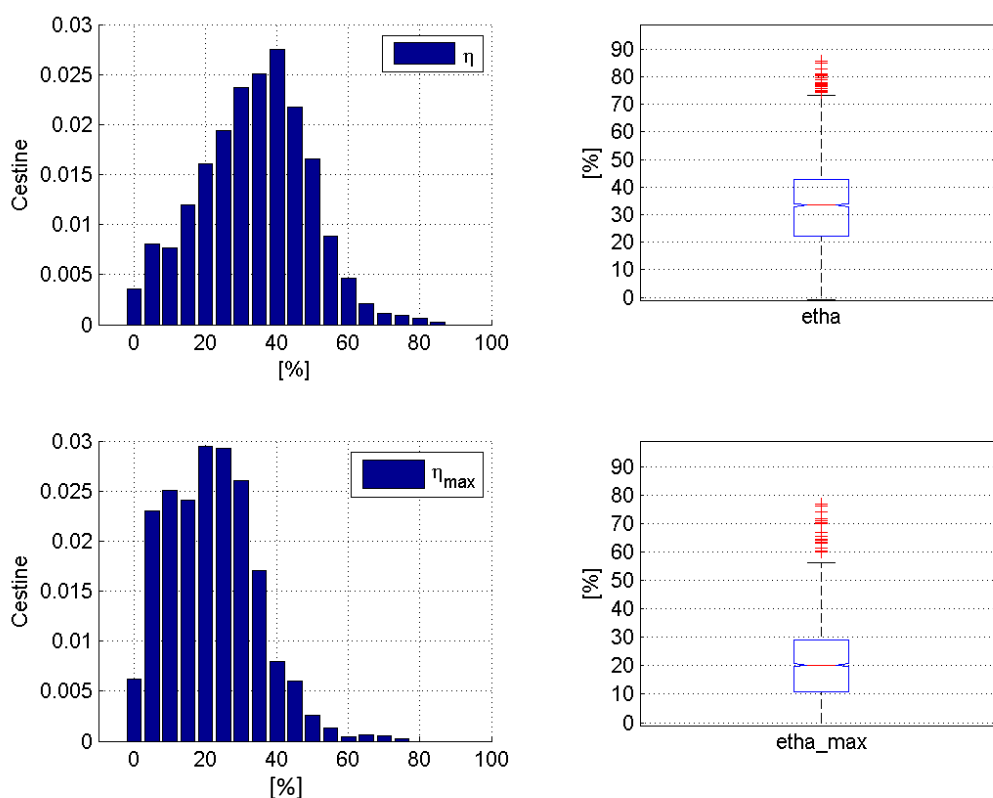
Slika D1. Prikaz zračne luke Dubrovnik, LDDU. Položaji pozicija anemometara označeni su strelicama (izvor: Hrvatska kontrola zračne plovidbe d.o.o.).



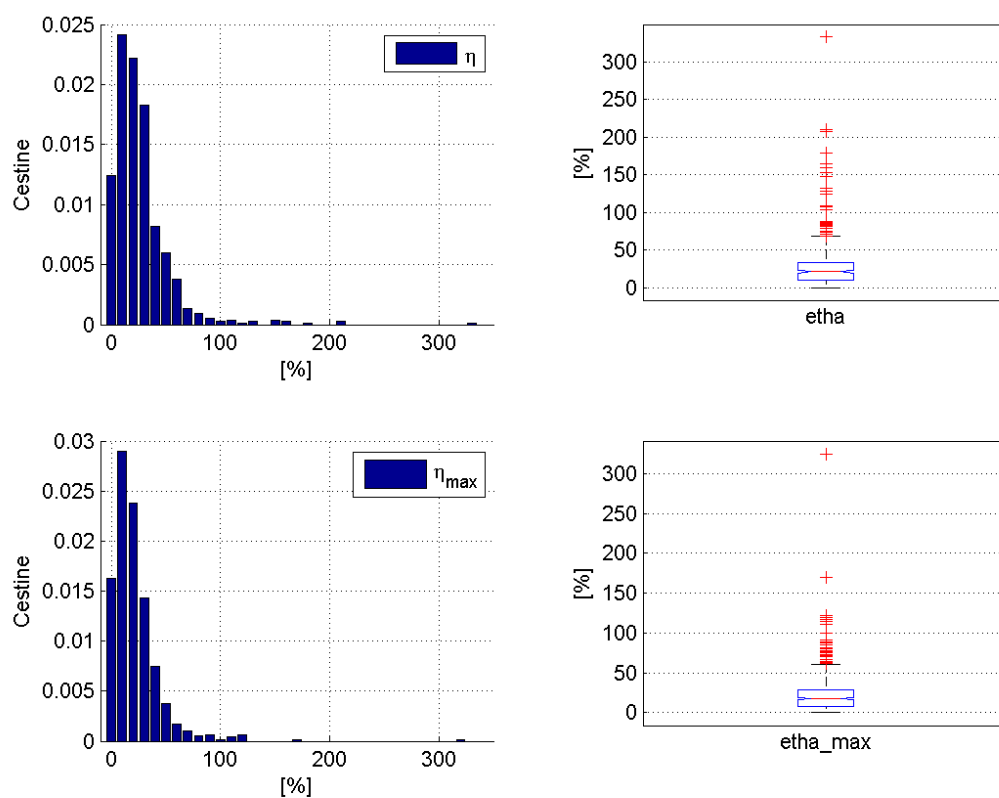
Slika D2. Položaj anemometara označen crvenim strelicama (izvor: Hrvatska kontrola zračne plovidbe d.o.o).



Slika D3. Oznake na uzletno - silaznoj stazi (USS) (izvor: Wikipedija).



Slika D4. Histogrami relativnih čestina (grafovi u prvom stupcu) i dijagrami pravokutnika (grafovi u drugom stupcu) parametara η (grafovi u prvom retku) i η_{max} (grafovi u drugom retku) SM bure za slučaj 2. Crvena linija predstavlja medijan, krajnji gornji i donji rub plavog pravokutnika predstavljaju 25. odnosno 75. percentil, crtkane vertikalne linije se protežu do podataka koji se nalazi unutar 1.5 puta od pripadnog interkvartilnog raspona, a sve veće vrijednosti označene su crvenim plusevima i predstavljaju vrijednosti koje se više od 1.5 puta veće od pripadnog interkvartilnog raspona.



Slika D5. Isto kao i slika D4, samo za slučaj N bure.

7. Bibliografija

Burr, I. W. (1942): Cumulative frequency functions. *Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 13, 215–232.

Drobac, M. (2006): Neke specifičnosti ponašanja bure na području aerodroma Dubrovnik, *Jadranska Meteorologija*, Vol. 51 str. 10-24.

Geers, T. L. (1984): An objective error measure for comparison of calculated and measured transient response histories, *The Shock and Vibration Bulletin*, Vol. 54, br. 2, 99-107.

Grisogono, B. i Belušić, D. (2009): A review of recent advances in understanding the mesoand micro-scale properties of the severe Bora wind. *Tellus*, 61A, 1-16.

Horvath, K., Bajić, A., Ivatek-Šahdan, S. (2011): Dynamical Downscaling of Wind Speed in Complex Terrain Prone To Bora-Type Flows. *Journal of applied meteorology and climatology*. Vol. 50, br. 8, 1676-1691.

Jurčec, V. (1988): Frontalni tip bure na Jadranu. *Rasprave* 23, str. 13-25.

Keresturi E. (2014): Osobine bure na zračnoj luci Dubrovnik. *Diplomski rad*, Geofizički odsjek PMF-a Zagreb, 52 str.

Makjanić, B. (1978): Bura, jugo, etezija. *Prilozi poznavanju vremena i klime SFRJ*, sv. 5, 1-43.

Mongiardini, M. (2013): Development of a programe for the quantitative comparison of a pair of curves, *Int. J. Computer Applications in Technology*, Vol. 46, br. 2, 128-141.

Pandžić, K. (2002): Analiza meteoroloških polja i sustava. *Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu*, 314 str.

Vallinayagam, V., Parthasarathy, S., Venkatesan, P. (2014): A comparative ctudy of life time models in the analysis of survival dana. *Indian journal of applied research*, Vol. 4., 344-347.

Večenaj, Ž. (2005): Procesi makrorazmjera kod olujnog vjetra u Dalmaciji. *Diplomski rad*, Geofizički odsjek PMF-a Zagreb, 59 str.

Yoshino, M.M. (1976): Local Wind Bora. *University of Tokyo Press*, Tokyo, 289 str.

Whang, B., Gilbert, W.E. i Zilliagus, S. (1994): Two visually meaningful correlation measures for comparing calculated and measured response histories. *Shock and Vibration Bulletin*, Vol. 1, br. 4, 303-316.