

# Evaluacija naknadne obrade prognoze numeričkog modela

---

Vujec, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:437399>

Rights / Prava: [In copyright](#)/Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-15**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOFIZIČKI ODSJEK

Ivan Vujec

EVALUACIJA NAKNADNE OBRADNE  
PROGNOZE NUMERIČKOG MODELA

Diplomski rad

Zagreb, 2020.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOFIZIČKI ODSJEK

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ FIZIKA-GEOFIZIKA  
SMJER: METEOROLOGIJA I FIZIČKA OCEANOLOGRAFIJA

Ivan Vujec

Diplomski rad

## **Evaluacija naknadne obrade prognoze numeričkog modela**

Voditelj diplomskog rada: prof. dr. sc, Zoran Pasarić

Suvoditeljica diplomskog rada: dr. sc, Iris Odak Plenković

Zagreb, 2020.

Zahvaljujem svojim roditeljima na velikoj podršci i vjeri u mene kroz moj cijeli dosadašnji životni put.

Hvala i Jeleni, čija je sestrinska ljubav i potpora bila tu kada je najviše trebala.

Za kraj, hvala dr. sc. Iris Odak Plenković na njenom uloženom trudu, svesrdnoj pomoći i stručnim savjetima, koji su mi bili od velike pomoći u pisanju ovog rada.

## Sažetak

Cilj verifikacije vremenske prognoze je kvantificirati uspješnost promatrane prognoze, tj. nakon što se prognozirani događaj zbio, utvrditi stupanj sličnosti između prognozirane i ostvarene vrijednosti promatrane veličine. U ovom radu prognoze se verificiraju u svrhu adekvatnog odabira prognoze udara vjetra na visini od 10 m za različita geografska područja Republike Hrvatske koristeći podatke sa 61 postaje u 2018. godini. Uz prognozu numeričkog modela ALADIN, verificirane su i 3 dodatne prognoze koje se temelje na metodi analogona: najjednostavnija prognoza, AnEn, prognoza s dodatnom optimizacijom težina, AnEnT, i prognoza s dodatnom korekcijom radi utvrđivanja uspješnosti za velike brzine udara vjetra, AnEnK.

Kod analize vjetra kao kontinuirane varijable prognoza ALADIN najveće vrijednosti pogreške poprima kod obalne grupe postaja, dok se analizom vjetra kao kategoričke varijable pokazalo da prognoza ALADIN najlošije rezultate ima u kontinentalnoj grupi postaja. Pokazano je da prognoze dobivene metodom analogona većinom daju bolje rezultate od prognoze ALADIN. Najveća poboljšanja prognoza dobivenih metodom analogona u odnosu na prognozu ALADIN postignuta su pritom kod obalne grupe postaja, dok su najmanja poboljšanja postignuta kod kontinentalne grupe postaja. Kod klimatološki uobičajenih brzina udara vjetra metoda analogona uspješnija je od prognoze ALADIN. Isto vrijedi i za prognozu ekstremnih događaja, osim što prognoza ALADIN pokazuje veću točnost za kontinentalnu grupu postaja. Rezultati navedeni u ovom radu sugeriraju da sve razmatrane prognoze bolje modeliraju buru nego jugo. Iako su u konačnici postignuti bolji rezultati nakon primjene metode analogona na sjevernom Jadranu, relativno poboljšanje primjenom metode analogona više je izraženo na južnom Jadranu, gdje je češća pojava juga. Od samih prognoza dobivenih metodom analogona bi se AnEnK mogla izdvojiti kao najbolja, posebno za velike brzine udara vjetra, no razlike između rezultata tih prognoza su često vrlo malene.

**Ključne riječi:** verifikacija prognoze, model ALADIN, metoda analogona, optimizacija težina, korekcija za velike brzine udara

# Evaluation of postprocessing of the numerical model forecast

## Abstract

The goal of weather forecast verification is to quantify the quality of given forecast, i.e. to determine the degree of similarity between the values of forecasted and observed quantity after the forecasted event has occurred. In this thesis, the verification is performed in order to adequately select the wind gust forecasts at a 10 m height for different geographical areas of the Republic of Croatia using data from 61 stations in 2018. In addition to the ALADIN numerical model forecast, 3 additional forecasts based on the analog method are verified: a simplest AnEn forecast, a forecast with additional weight optimization, AnEnT, and a forecast with an additional correction to determine performance for high wind speeds AnEnK.

In the analysis of wind gust as a continuous variable, the ALADIN forecast takes on the largest error values in the coastal group of stations, while the analysis of wind as a categorical variable shows that the ALADIN forecast exhibits the worst results in the continental group of stations. It is shown that predictions obtained by the analog method mostly perform better than the ALADIN forecast. The largest improvements in the forecasts obtained by the analog method, when compared to the ALADIN forecast, are achieved in the coastal group of stations, while the smallest improvements are achieved in the continental group of stations. At climatologically prevailing wind gust speeds, the analog method is more successful than the ALADIN one. The same is valid for the extreme events, except for the continental group of stations, where ALADIN performs better. The results presented in this paper suggest that all the considered forecasts better model the bora than the sirocco wind. Overall, better results are achieved after the application of the analog method in the northern Adriatic than in the southern Adriatic. However, the relative improvement gained by the analog method is more pronounced in the southern Adriatic, where the occurrence of the sirocco wind is more frequent. Among the forecasts obtained by the analog method, the AnEnK variant could be singled out as the best one, especially for high wind gust speed. However, the differences in performance between the three variants of analog method are often very small.

**Keywords:** forecast verification, ALADIN model, analog method, weight optimization, correction for high wind gusts

# Sadržaj

<b>1. Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2. Metode verifikacije</b>	<b>3</b>
2.1. Važnost i povijesni razvoj metoda verifikacije . . . . .	3
2.2. Verifikacijske mjere . . . . .	5
2.2.1. Vjetar kao kontinuirana varijabla . . . . .	5
2.2.2. Vjetar kao kategorička varijabla . . . . .	6
2.2.3. Mjere probabilističke verifikacije . . . . .	10
<b>3. Podaci mjerenja</b>	<b>11</b>
3.1. Kontrola kvalitete podataka . . . . .	11
3.2. Klimatska podjela . . . . .	17
<b>4. Prognoze</b>	<b>22</b>
4.1. Prognoza numeričkog modela ALADIN . . . . .	22
4.2. Metoda analogona . . . . .	23
4.2.1. Povijesni razvoj metode analogona . . . . .	23
4.2.2. Opis osnovne metode . . . . .	25
4.2.3. Optimizacija težina . . . . .	27
4.2.4. Primjena korekcije za veliku brzinu vjetra . . . . .	28
4.2.5. Sažeti pregled navedenih postavki metode analogona i diskusija . . . . .	29
<b>5. Rezultati i diskusija</b>	<b>32</b>
5.1. Verifikacija vjetra kao kontinuirane varijable . . . . .	32
5.1.1. Ovisnost o nastupnom vremenu . . . . .	33
5.1.2. Ovisnost o mjesecima . . . . .	42
5.1.3. Dekompozicija pogreške RMSE . . . . .	51
5.2. Verifikacija vjetra kao kategoričke varijable . . . . .	53
5.2.1. Analiza mjera koje ovise o kategorijama . . . . .	55
5.2.2. Analiza ROC krivulja . . . . .	64
5.2.3. Analiza sumarnih mjera . . . . .	66
5.3. Diskusija . . . . .	68
<b>6. Zaključak</b>	<b>73</b>
<b>Literatura</b>	<b>75</b>
<b>Dodatci</b>	<b>79</b>
<b>A Dodatak</b>	<b>79</b>

# 1. Uvod

Već dugi niz godina prognoza atmosferskih procesa na svim skalama temelji se na numeričkim modelima prognoze vremena. Razvoj područja koja se bave numeričkim metodama te procesima koji se odvijaju u atmosferi i oceanu, značajno je doprinio poboljšanju numeričkih modela. Spomenuto poboljšanje potrebno je i precizno definirati, pa se uz razvoj modela istovremeno razvijala i teorija verifikacijskih procedura.

Iako su najčešće korištene u meteorologiji, metode verifikacije su prisutne i u drugim granama ljudskih djelatnosti (npr. ekonomija, medicina, sport, itd.). Cilj verifikacije je na neki način kvantificirati uspješnost modela, tj. nakon što se prognozirani događaj zbio, utvrditi stupanj sličnosti između prognozirane i ostvarene vrijednosti promatrane veličine. No, kvantifikacija uspješnosti može biti poprilično kompleksan zadatak kojem se pristupa korištenjem većeg broja verifikacijskih mjera, te prije svega, utvrđivanjem svrhe same verifikacije. Svrha verifikacije (npr. administrativna, znanstvena i ekonomska) tada određuje i način pristupanja samom verifikacijskom postupku. Osim kvantificiranja uspješnosti prognoze modela te uspoređivanja uspješnosti različitih modela, verifikacija služi i kao pokazatelj kojim se može utvrditi u kojem je segmentu potrebno poboljšati promatrani model. Kao početak razvoja verifikacije smatra se afera vezana za narednika Finleya i njegov rad iz 1884. godine. U spomenutom radu autor je verificirao prognozu tornada pomoću postotka točnih prognoza, a kasnije je pokazano da takav nepromišljen izbor verifikacijskih mjera može dovesti do pogrešnih zaključaka. Verifikacija se od tada razvijala zajedno sa razvojem numeričkih metoda, te je taj razvoj prisutan i dan danas.

Iako je pretpostavka da se povećanjem razlučivosti numeričkih modela poboljšava i prognoza djelomično opravdana, velik broj radova ističe kako i dalje postoje ograničenja takvih prognostičkih modela (npr. Mass i sur., 2002, Rife i Davis, 2005). Čak i vrhunski mezoskalni modeli relativno velike horizontalne razlučivosti (npr. s udaljenošću susjednih točaka mreže od 1 km ili manje) pokazuju značajne pogreške kod prognoze vjetra, pogotovo u planinskom području (Horvath i sur., 2012). S obzirom na to da je numerička prognoza vremena računalno vrlo zahtjevnna, a povećanje razlučivosti nije uvijek rješenje, ka poboljšanju prognoze može se pristupiti na način da se razvije naknadna obrada rezultata kako bi se prognoza ciljano poboljšala na lokacijama na kojima postoje mjerenja. Jedna od takvih metoda je i metoda analogona.

Ideja korištenja analogija u meteorologiji (sličnih prognoza, analiza ili mjerenja) postoji već dugi niz godina, a temelji se na pretpostavci da izvorno vrlo bliska stanja atmosfere ostaju bliska i određeno vrijeme u budućnosti. Istraživanje analogija bilo je relativno zanemareno sve do rada Delle Monache i sur. iz 2011. U navedenom radu autori predlažu 2 metode za poboljšanje prognoze numeričkog modela za brzinu vjetra na visini od 10 m. U ovom diplomskom radu za traženje najboljih analogona korištena

je mjera koju su predložili Dell Monache i sur. (2011). Predložena metoda primijenjena je prvi put na prognozu udara vjetra koja je prognozirana modelom ALADIN na lokacijama na kojima postoje mjerenja. Mjereni podaci, koji se koriste za samu metodu te naknadnu verifikaciju, dolaze sa 61 mjerne postaje diljem Republike Hrvatske. Prije korištenja mjerenih podataka napravljena je osnovna kontrola kvalitete koja je opisana u ovom radu. Kod implementacije predložene metode, ispitana je važnost optimizacije težina koje se pridjeljuju meteorološkim parametrima prognoze modelom ALADIN u procesu odabira najsličnijih povijesnih prognoza (analogona). Konačno, treba napomenuti da je kvalitetna prognoza jakog vjetra od iznimnog značaja. Iz tog je razloga testiran i efekt korekcije prognoze jakog vjetra koji su predložili Alessandrini, Sperati, i Delle Monache (2019).

## 2. Metode verifikacije

U potpoglavlju 2.1 cilj je čitatelja uputiti u važnost i probleme kvalitetnog postupka verifikacije, te prikazati kratak povijesni pregled različitih verifikacijskih pristupa. Verifikacijske mjere korištene u ovom diplomskom radu, zajedno sa svojim prednostima i manama, navedene su u potpoglavlju 2.2

### 2.1. *Važnost i povijesni razvoj metoda verifikacije*

Vremenske prognoze koriste se u uvjerenju da je njihovo korištenje na neki način bolje od toga da se ostane u neznanju o događaju čiji ishod promatramo. Ovu je tvrdnju važno naknadno ispitati te utvrditi i kvantificirati vrijednost same prognoze. Prvi primjer takve problematike istaknut je u radu Finleya (1884.). Autor je verificirao prognozu tornada koristeći opažanja s 18 mjernih postaja u centralnom području Sjedinjenih Američkih Država. Prognoza se izdavala dva puta dnevno, u obliku pojave ili ne-pojave tornada. Verifikacija se provodila koristeći 2x2 tablice kontingencije. Autor je u radu objavio da prognoza ima točnost od preko 95 %. No, umjesto pohvala za tako velik postotak točnih prognoza u ukupnom broju, Murphy (1996) ističe veliki nedostatak ovakvog postupka kvantificiranja. Naime, prognoza koja uvijek predviđa izostanak tornada, tj. prognoza za koju nije potrebno nikakvo znanje, ima točnost iznad 98 %. Upravo tzv. "Finleyeva afera" i reakcija na nju smatra se početkom razvoja metoda verifikacije vremenskih prognoza. Prognoza rijetkih događaja počela se verificirati adekvatnijim mjerama, počevši s kritičnim indeksom uspjeha (eng. *Critical Success Index*, CSI) koji je predložio Gilbert (1884.). S vremenom, razvile su se još prikladnije mjere; npr. Schaefer (1990) se bavio svojstvima Gilbertove mjere vještine (eng. *Gilbert Skill Score*, GSS), a Stephenson i sur. (2008) su predložili novu mjeru koja ovisi o ekstremima (eng. *Extreme Dependency Score*, EDS). Drugi nedostatak istaknut u Finleyevom radu vezan je za mogućnost opažanja tornada. Naime, tvrdnja "tornado se nije zbio" bi se preciznije mogla izreći na način "tornado nije zabilježen u takvoj blizini postaje da bi opažač mogao zabilježiti njegovu pojavu". S problemom prikupljanja podataka susreće se i moderna meteorologija, te, iako su razvijene nove metode mjerenja (npr. satelitska mjerenja, radarska mjerenja, mjerenja na automatskim stanicama), problem prostorno nedovoljno gustih mjerenja prisutan je i dan danas.

Varijabla koja se prognozira, prediktand, može biti kategorijska ili kontinuirana. Kategorijska varijabla može se sastojati od samo dvije kategorije, npr. pojava ili ne-pojava tornada, ili od više njih, npr. kategorije slabi, umjereni i jaki vjetar. Brzina vjetra teorijski može poprimiti bilo kakvu vrijednost, te je kao takva kontinuirana. No ponekad se, prilikom verifikacije, brzina vjetra može podijeliti u razrede čime postaje kategorijska varijabla. U slučajevima gdje je pogodnije koristiti već spomenutu podjelu,



primjerice, na slabi, umjereni i jaki vjetar, prognozirane i mjerene vrijednosti dodjeljuju se jednoj od kategorija, te se nadalje koriste mjere prikladne za takvu podjelu. Kategoričke se varijable predstavljaju tablicama kontingencije. Prvo su upotrebljavane tablice dimenzija  $2 \times 2$ , dok su kasnije analize proširene na tablice dimenzija  $K \times K$ . Prve mjere vještine, npr. Heidkeova i Pierceova, nisu kažnjavale sam iznos pogreške, dok npr. Gerrityjeva mjera (Gerrity, 1992) manje penalizira manje pogreške. Rodwell i sur. (2010) predložili su sličnu mjeru SEEPS, koja pokazuje i neke dodatne prednosti.

S razvojem računala zamah je doživjela i numerička prognoza vremena. No, iako je njen doprinos neupitan, pripadne determinističke i probabilističke prognoze potrebno je na prikladan način ocijeniti, pa se metode verifikacije i dalje usporedno razvijaju. Prognoza numeričkim modelima izvršava se nad prostornom domenom podijeljenom na mrežu točaka. Vrijednost prognoziranih varijabli u točkama model pripisuje okolnom prostoru, tj. izračunata vrijednost u nekoj točki smatra se kao prosječno stanje okolnog volumena atmosfere. Verifikacija takvog sustava krenula je s usporedbom točaka koje pripadaju bliskim lokacijama mjernih postaja, no rezultati često mogu biti komplicirani za tumačenje. Kao primjer toga mogla bi se navesti prognoza dolaska ciklone nad neko područje, no s vremenskim kašnjenjem iznosa  $\Delta t$ . Iako je model ispravno prognozirao oblik poremećaja, vremensko kašnjenje bi kod verifikacije po točkama moglo dati veliki iznos pogreške zbog tzv. dvostrukog kažnjavanja. Verifikacija prostornih polja područje je koje se razvija u više smjerova. Primjerice, Hoffman i sur. (1995) krenuli su s alternativnim pristupom danom problemu promatrajući pogrešku modela pomoću njene dekompozicije na članove pomaka, amplitude i reziduala. Također, uz informaciju o iznosu prognozirane varijable, sve više se koristi i informacija o procjeni njene nepouzdanosti. Procjena nepouzdanosti prognoze i ocjena uspješnosti te procjene, kao i izbor verifikacijskih mjera, ovisi o tome da li prognoza daje informaciju o potpunoj distribuciji neke varijable (kao kod ansambl prognoze), ili se izdana prognoza odnosi na prekoračenje neke unaprijed zadane vrijednosti (kao kod probabilističke prognoze).

Treba spomenuti da sam pristup verifikaciji, uz vrstu same prognoze, ovisi i o njevoj svrsi. Iako najčešće postoji preklapanje, svrha same verifikacije prognoze mogla bi se pridijeliti nekom od tri glavna razloga: administrativnom (npr. nagrađivanje najboljih prognostičara u nekom uredu), znanstvenom (npr. pronalazak slabijih strana nekog modela) ili ekonomskom (npr. ispitivanje uspješnosti sezonske prognoze oborine za poljoprivredni sektor) (Jolliffe i Stephenson, 2012). Iako se za izdavanje svih vrsta prognoza koristi širok spektar meteoroloških alata, pristup verifikaciji za svaku od ovih svrha je drugačiji. Također, zbog različitih potreba korisnika (npr. neke korisnike zanima vjerojatnost pada temperature ispod neke granice, dok druge zanima ukupan broj dana s niskom temperaturom) potrebno je i prilagoditi prognozu i pripadnu verifikaciju na način da one korisniku budu informativne, tj. važno ih je prenijeti na način koji korisnik preferira.

Konačno, teorija verifikacije i dalje je područje koje se intenzivno razvija, a sama mu je važnost neupitna. Detaljniji povijesni pregled može se pronaći u Casati i sur., 2008.

## 2.2. Verifikacijske mjere

Determinističke mjere korištene pri verifikaciji prognoza opisane su u potpoglavljima 2.2.1. i 2.2.2. U potpoglavljju 2.2.3. opisana je probabilistička mjera koja je korištena kod izrade prognoza pomoću naprednijih verzija metode analogona.

Više informacija o svim navedenim mjerama, kao i detaljan opis drugih mjera korištenih kod verifikacije vremenske prognoze, može se pronaći u Jolliffe i Stephenson (2012) te Wilks (2011).

### 2.2.1. Vjetar kao kontinuirana varijabla

Osnovna mjera pogreške korištena u ovom radu, koja je također često korištena kod verifikacija vremenskih prognoza, je korijen srednje kvadratne pogreške (eng. *Root Mean Square Error*, RMSE), definiran na način:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}. \quad (2.1.)$$

$M_i$  označava modelirane vrijednosti, a  $O_i$  izmjerene vrijednosti, pri čemu se sumiraju svi podaci u promatranom skupu (njih  $N$ ). Pogreška RMSE mjeri odstupanje prognoze od mjerenja. Savršena prognoza poprima vrijednost 0, te se povećava što je prognoza lošija. Ona više kažnjava veće pogreške od manjih, što je vrlo često i poželjno svojstvo, no izrazito je osjetljiva na netipične, stršeće vrijednosti (eng. *outliers*).

Sljedeće dvije veličine, srednjak i standardna devijacija, opisuju svojstva samih mjerenja ili prognoza. Srednjak, ovdje prikazan za modelirane vrijednosti, definiran je na način:

$$\bar{M} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N M_i, \quad (2.2.)$$

te određuje srednju vrijednost nekog skupa podataka, dok standardna devijacija, definirana na način:

$$\sigma_M = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2}, \quad (2.3.)$$

određuje varijabilnost, tj. veličinu odstupanja nekog skupa podataka od njegovog srednjaka.

Veličina koja opisuje linearnu vezu između dva skupa podataka, u ovom radu prognoza i mjerenja, je Pearsonov koeficijent korelacije, definiran na način:

$$\rho_{M,O} = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})(O_i - \bar{O})}{\sigma_M \sigma_O}. \quad (2.4.)$$

Očekivana vrijednost nasumične prognoze za ovu mjeru je  $\theta$ , te se povećava što je prognoza bolja do maksimalne vrijednosti 1. U nastavku, ako ne bude drugačije navedeno, pod koeficijentom korelacije podrazumijevamo koeficijent korelacije između vremenskih nizova opažanja i prognoza.

Konačno, izvor pogreške RMSE može se utvrditi njenom dekompozicijom (npr. Murphy, 1988 ; Horvath i sur., 2012) definiranom na način:

$$RMSE^2 = (\bar{M} - \bar{O})^2 + (\sigma_M - \sigma_O)^2 + 2\sigma_M \sigma_O (1 - \rho_{M,O}). \quad (2.5.)$$

Prva dva člana na desnoj strani jednakosti su kvadrat pristranosti srednjaka i kvadrat pristranosti standardne devijacije, tj. ti članovi predstavljaju sustavne pogreške. Posljednji član na desnoj strani jednakosti je kvadrat disperzijske pogreške koja se često naziva i nesustavna, nasumična ili sporadična pogreška.

Statistička signifikantnost pogreške RMSE rađena je metodom opetovanog uzorkovanja pokretnih blokova (eng. *moving-block bootstrap technique*, Wilks, 1997), dok je statistička signifikantnost koeficijenta korelacije rađena metodom opetovanog uzorkovanja parova (eng. *pair bootstrap technique*, Wilcox, 2009), pri čemu je korišteno 1000 uzoraka i nivo značajnosti od 95%.

### 2.2.2. Vjetar kao kategorička varijabla

Iako brzina vjetra teorijski može poprimiti bilo kakvu vrijednost, te je kao takva kontinuirana, u nekim je slučajevima pogodnije unaprijed odrediti intervale vrijednosti brzine, te promatrati u koji se interval određeni podatak može smjestiti, tj. kojoj kategoriji on pripada. Kod verifikacije kategoričkih varijabli za analizu se koriste tablice kontingencije. Primjer najjednostavnije 2x2 tablice kontingencije prikazan je na slici 2.1.

Kod analize vjetra kao kategoričke varijable sa samo dvije kategorije, prvo je potrebno odrediti granicu koja odvaja kategoriju 1 - događaj se dogodio (npr. izmjerena vrijednost brzine vjetra veća je od 5 m/s) i kategoriju 0 - događaj se nije dogodio (npr. izmjerena vrijednost brzine vjetra manja je od 5 m/s). Nakon određivanja granice, u ovom primjeru brzine od 5 m/s, svaki se par izmjerene i prognozirane vrijednosti pridijeli jednom od 4 polja tablice kontingencije: A, B, C ili D. U polje A smještaju se podaci kod kojih je događaj prognoziran i on se uistinu i zbilo, u polje B podaci kod kojih je događaj prognoziran no on se nije zbilo, u polje C podaci kod kojih događaj

		Mjerenja		
		1	0	$\Sigma$
Prognoza	1	A	B	E
	0	C	D	F
	$\Sigma$	G	H	I

Slika 2.1. Shematski prikaz 2x2 tablice kontingencije s dodanim vrijednostima marginalnih distribucija.

		Mjerenja			
		1	2	3	$\Sigma$
Prognoza	1	A	B	C	J
	2	D	E	F	K
	3	G	H	I	L
	$\Sigma$	M	N	O	P

Slika 2.2. Shematski prikaz 3x3 tablice kontingencije s dodanim vrijednostima marginalnih distribucija.

nije prognozirano ono što se zbilo, te u polju D podaci kod kojih događaj nije prognozirani niti se zbilo. Konačna polja tablice kontingencije sadržavaju broj ili udio događaja koji su pripali tom polju. Marginalne distribucije, tj. brojevi koji ovise samo o prognozi ili samo o mjerenjima (jesu li se zbili ili ne), nalaze se u poljima E, F, G i H. Za njih vrijedi:  $E = A + B$ ,  $F = C + D$ ,  $G = A + C$ ,  $H = B + D$ . Polje I označava ukupan broj događaja.

Na slici 2.2 prikazana je 3x3 tablica kontingencije. Postupak određivanja pripadnosti nekog podatka pojedinom polju jednak je kao i kod 2x2 tablice, no u ovome je slučaju potrebno odrediti 2 granice kategorija. Tako se za te vrijednosti, primjerice, mogu izabrati 50-ti i 90-ti percentil brzina vjetera u nekom nizu. U tom se slučaju pojedina brzina vjetera može nalaziti u kategoriji 1- slabi, kategoriji 2- umjereni ili kategoriji 3- jaki vjetar.

Istim se postupkom mogu odrediti i KxK tablice kontingencije, te sam izbor dimenzija ovisi o potrebama verifikacije. Uz to, valja napomenuti da se analiza pojedinih kategorija KxK tablica kontingencije može svesti na niz 2x2 tablica kontingencije, kod kojih se tražena kategorija definira kao kategorija 1, a sve ostale kategorije se pridjeljuju kategoriji 0.

Nakon određivanja tablice kontingencije, uspješnost prognoze može se odrediti korištenjem brojnih mjera koje za analizu koriste različita polja same tablice. Mjera frekvencijske pristranosti (eng. *Frequency bias*, Fbias), slično kao i pristranost sred-

njaka kod kontinuiranog slučaja, pokazuje odnos učestalosti prognozirane i izmjerene vrijednosti neke kategorije. Ako se pojedina kategorija promatra kao da se događaj zbio (1), a sve ostale kategorije kao da se događaj nije zbio (0), tada se  $F_{bias}$  promatrane kategorije može, pomoću 2x2 tablice kontingencije, izraziti na način:

$$F_{bias} = \frac{E}{G}. \quad (2.6.)$$

Ista bi se mjera, koristeći 3x3 tablicu kontingencije za primjerice kategoriju 2, mogla izraziti na način:

$$F_{bias} = \frac{K}{N}. \quad (2.7.)$$

Vrijednost 1 poprima savršeno nepristrana prognoza, dok veće (manje) vrijednosti od 1 označavaju precjenjivanje (podcjenjivanje) određene kategorije.

Koristeći 2x2 tablicu kontingencije, pravična ocjena prijetnje (eng. *Equitable Threat Score*, ETS) definirana je na način:

$$ETS = \frac{A - A_{sl}}{A + B + C - A_{sl}}, \quad (2.8.)$$

gdje je  $A_{sl}$  definiran na način:

$$A_{sl} = \frac{(A + C)(A + B)}{I}, \quad (2.9.)$$

te određuje udio prognoza i/ili mjerenja koji su točno predviđeni, uz korekciju koja je povezana s točno predviđenim događajima koji su se dogodili slučajno. Vrijednost 0 poprima prognoza bez vještine, dok vrijednost 1 poprima savršena prognoza.

Mjera koja ovisi o ekstremima (eng. *Extremal Dependence Indices*, EDI) za svaku je kategoriju definirana na način:

$$EDI = \frac{\log F - \log H}{\log F + \log H}, \quad (2.10.)$$

gdje su H (eng. *Hit rate*) i F (eng. *False alarm rate*), koristeći 2x2 tablicu kontingencije, definirani kao:

$$H = \frac{A}{A + C}, \quad (2.11.)$$

$$F = \frac{B}{B + D}. \quad (2.12.)$$

Mjera EDI koristi se za analizu rijetkih događaja, a Ferro i Stephenson (2011) pokazali su prednosti te mjere u usporedbi sa, do tada korištenom, mjerom EDS (eng. *Extreme Dependency Score*). Vrijednost 0 poprima prognoza bez vještine, dok vrijednost 1 poprima savršena prognoza.

Sve dosad navedene mjere ( $F_{bias}$ , ETS, EDI) definirane su na način da ocjenjuju

svaku kategoriju zasebno. Ukupan uspjeh neke prognoze, s obzirom na neku mjeru, tako je opisan s onolikim brojem vrijednosti te mjere koliko se kategorija promatra. No, sljedeće dvije mjere, PCC i SEEPS, ocjenu neke prognoze spajaju u jedan broj, neovisno o samom broju promatranih kategorija.

Polihorički koeficijent korelacije (eng. *Polychoric Correlation Coefficient*, PCC), slično kao i Pearsonov koeficijent korelacije u kontinuiranom slučaju, veličina je koja opisuje linearnu vezu između dva skupa podataka (Pearson, 1900, Juras i Pasarić, 2006). Ideja ove veličine je da se tablica kontingencije dovede u vezu sa standardnom bivarijantnom normalnom razdiobom. Izmjerene i prognozirane veličine, kao i same granice između kategorija, transformiraju se u standardne normalne devijate. Tada se variranjem koeficijenta  $\rho$  traži vrijednost za koju su volumeni nad površinom svakog polja takve razdiobe, određeni standardnim devijatama granica kategorija, jednaki pripadnim relativnim čestinama u tablici kontingencije, tj. vrijednost  $\rho$  prilagođene distribucije pokazuje iznos asocijacije između prognoze i mjerenja. Za nasumičnu je prognozu očekivana vrijednost 0, dok je za savršenu prognozu ta vrijednost jednaka 1.

Mjera SEEPS (eng. *Stable Equitable Error in Probability Space*) definirana je na način:

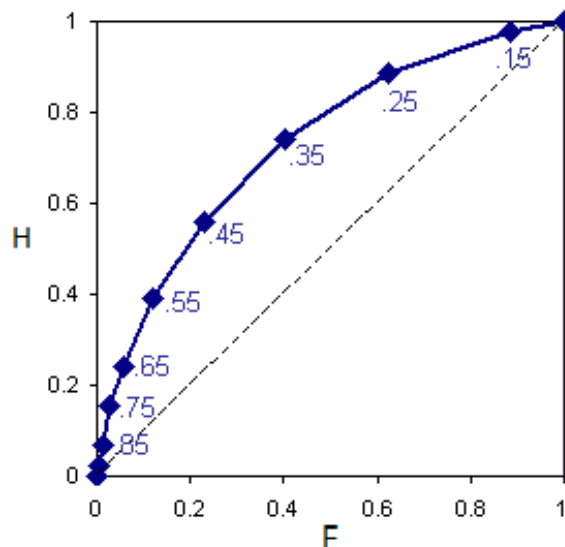
$$SEEPS = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 S_{i,j} T_{i,j}, \quad (2.13.)$$

gdje je T 3x3 tablica kontingencije kakva se koristi u ovom radu, a S matrica težine definirana na način:

$$S = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & \frac{P}{P-M} & \frac{P}{O} + \frac{P}{P-M} \\ \frac{P}{M} & 0 & \frac{P}{O} \\ \frac{P}{M} + \frac{P}{P-O} & \frac{P}{P-O} & 0 \end{bmatrix}, \quad (2.14.)$$

Vrijednost savršene prognoze za ovu mjeru je 0 te se povećava što je prognoza lošija. Iz matrice S vidi se da se dijagonalni članovi tablice kontingencije ne kažnjavaju, dok se elementi koji nisu na dijagonali, tj. pogrešno prognozirani događaji, kažnjavaju. Iznos kažnjavanja za nedijagonalne elemente ovisi o udaljenosti pojedinog elementa od dijagonale tablice kontingencije.

Posljednja mjera kategoričke verifikacije u ovome radu dolazi u vidu analize ROC krivulje (eng. *Relative Operating Characteristic curve*), čiji je primjer dan na slici 2.3. Za neku unaprijed zadanu vrijednost granice vjetra, analizom ove krivulje može se utvrditi ukupna sposobnost modela da prognozira pojavu vjetra iznosa većeg od izabrane granice. Nakon odabira brzine koja služi kao granica mjerenja za definiciju događaja, određuju se vrijednosti H i F (definirane u jednadžbama 2.11 i 2.12) za različite vrijednosti granica prognoza. Tada se prognoza da će se brzina vjetra većeg od, primjerice, 50. percentila uistinu i zabilježiti, može izdati ako prognozirana vrijednost



Slika 2.3. Primjer ROC krivulje. Na slici su prikazane i vrijednosti percentila brzine vjetra koji su korišteni kao granice kod odluke pojave ili ne pojave događaja (granica za definiciju događaja je određena na samom početku analize). Krivulja savršene prognoze prolazi kroz točke (0,0), (0,1) i (1,1), dok se krivulja prognoze bez sposobnosti predikcije poklapa sa dijagonalom kvadrata.

udara vjetra poprima vrijednosti veće od, primjerice 10., 20., 30. ili 40. percentila. Na ovaj se način može prognozirati da li će se vjetar jačine veće od unaprijed zadane vrijednosti zaista i pojaviti, ako su granice za tu odluku definirane kao različite vrijednosti granica samih prognoza. Vrijednosti za različite granice prognoza prikazane su na slici, a za vrijednosti tih granica izabrani su, također označeni, percentili prognoziranih vrijednosti brzine vjetra. Ova je mjera često korištena i kod probabilističke verifikacije. Krivulja savršene prognoze prolazi kroz točke (0,0), (0,1) i (1,1), dok krivulja nasumične prognoze ima oblik dijagonale kvadrata.

### 2.2.3. Mjere probabilističke verifikacije

Mjera CRPS (eng. *Continuous Ranked Probability Score*) definirana je na način:

$$CRPS = \int_{-\infty}^{\infty} (P_M(x) - P_O(x))^2 dx, \quad (2.15.)$$

te određuje razliku između kumulativnih funkcija distribucije prognoze i mjerenja. Funkcija  $P_O$  je kumulativna funkcija distribucije mjerenja i njena vrijednost se mijenja s 0 na 1 u trenutku kad je podatak izmjeren, a  $P_M$  je kumulativna funkcija distribucije prognoze i njen oblik ovisi o samim izmjerenim vrijednostima i načinu izrade prognoze. Ova je mjera korištena kod izrade prognoza pomoću naprednijih verzija metode analogona, te nije korištena kod same verifikacije.

### 3. Podaci mjerenja

U ovom diplomskom radu koriste se osmotreni podaci maksimalnog udara vjetra u 10-minutnom razdoblju na visini od 10 m (oznaka VMAXo). Podaci dolaze sa 61 mjerne postaje diljem Republike Hrvatske koje su dio motriteljskog sustava Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ). Mjerenja se odvijaju svakoga sata, te obuhvaćaju razdoblje 2016. – 2018. godine. Radi se o arhiviranim podacima koji prije korištenja u ovom radu nisu prošli temeljitu kontrolu kvalitete.

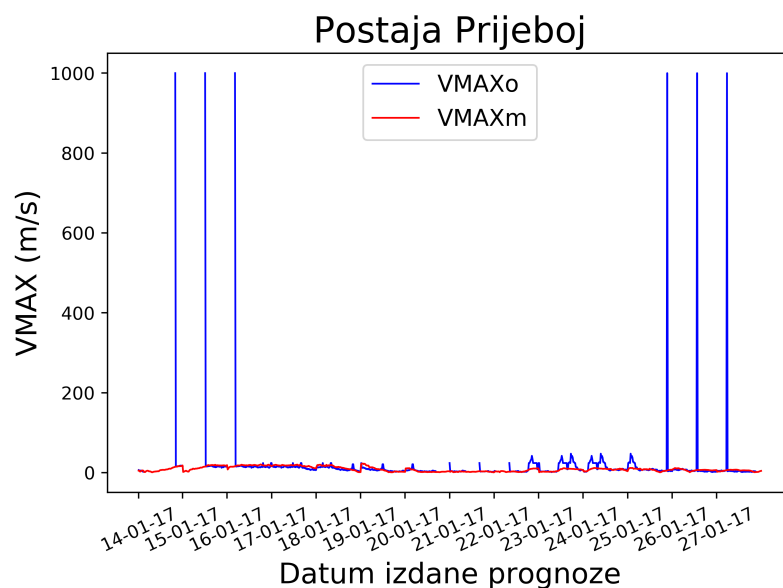
#### 3.1. Kontrola kvalitete podataka

Prije same verifikacije prognoze potrebno je provesti kontrolu kvalitete podataka. Od iznimne je važnosti da mjerenja na kojima se temelje zaključci u što većoj mjeri odgovaraju stvarnom stanju atmosfere. Iz toga se razloga kod kontrole kvalitete izbacuju podaci za koje se smatra da su pogrešni, te na taj način i sam proces verifikacije vodi na kvalitetnije zaključke. Također je važno kontrolu kvalitete provesti i na podacima u razdoblju učenja, tj. na podacima koji se koriste u metodi i koji se ne verificiraju. Na taj način prognoze dobivene samom metodom pokazuju poboljšane rezultate.

Kontrola kvalitete podataka provedena je nad izmjerenim vrijednostima maksimalnih brzina udara vjetra VMAXo, dok su kao pomoćne varijable korištene izmjerena srednja brzina vjetra  $V_o$  u istom vremenskom intervalu, te modelirani maksimalni udar vjetra VMAXm. Pomoćne varijable korištene su s ciljem donošenja kvalitetnijih odluka kod određenih slučajeva, te služe pronalasku vremenskih intervala u kojima dolazi do nesuglasja između njih i pripadnih mjerenih vrijednosti VMAXo. No kod uklanjanja podataka treba biti i vrlo oprezan, jer svako uklonjeno mjerenje za posljedicu ima i 3 uklonjene modelirane vrijednosti (jer se u tom slučaju modelirana vrijednost ne verificira). S druge strane, svaki neispravan mjereni podatak za posljedicu ima pogrešnu ocjenu uspješnosti u 3 odvojena prognostička termina. Upravo zbog toga potrebna je izrazita opreznost kod kontrole podataka rijetkih događaja. Naime, zbog njihovog rijetkog pojavljivanja poželjno je u analizu uključiti što veći broj takvih događaja da bi njihovo modeliranje bilo što kvalitetnije. No rijetki događaji često poprimaju velike vrijednosti, što u slučajevima kad su ti podaci pogrešni, a donese se odluka da se oni ne izbace iz analize, vodi na velike vrijednosti pogreške pripadnih modeliranih varijabli.

Svi podaci pregledani su od autora ovog diplomskog rada, te izbačeni na temelju njegovog uvjerenja u ispravnost istih. S obzirom na to da su podaci pregledavani naknadno, te se radi o subjektivnoj procjeni, ne postoji način da se bude potpuno siguran u ispravnost odbacivanja nekog podatka. Ovaj proces bi neki drugi autori mogli provesti malo drugačije, no opet bi se temeljio na korištenju autorovih znanja o atmosferskim procesima i meteorološkim mjerenjima te subjektivnoj procjeni. Važnost subjektivne procjene može se primijetiti i kod kontrole mjerenih podataka u 2018.



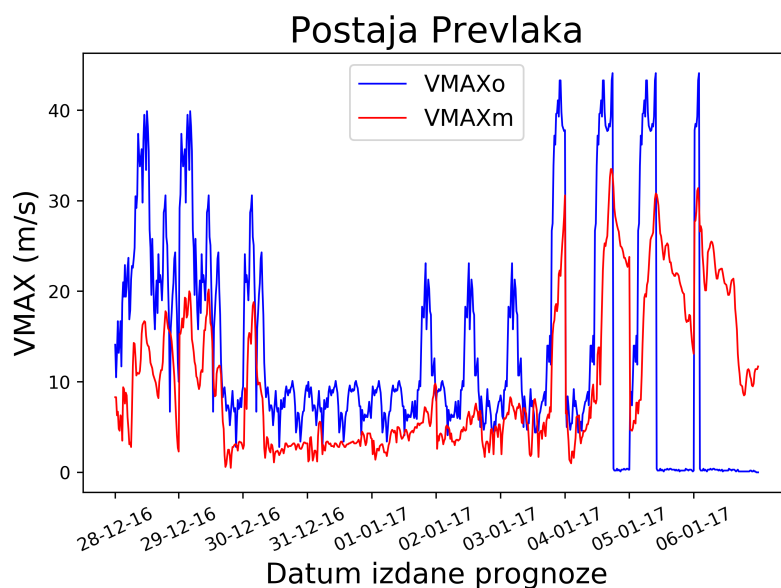


Slika 3.1. Primjer nepravilnog zapisa na postaji Prijeboj u siječnju 2017. godine. Između dvije susjedne oznake prikazana je trodnevna prognoza (crveno) te odgovarajuća opažanja (plavo). Umjesto nedostajuće vrijednosti u obliku nebrojčanog zapisa (npr. NaN; eng. *Not a Number*) koristila se vrijednost od 999.9 m/s.

godini pomoću pomoćnih varijabli. Na prvi pogled čitatelj se može zapitati kako to da se kontrola mjerenih podataka izvršavala s pripadnim modeliranim podacima, a kasnije su se za verifikaciju modeliranih podataka koristili isti ti mjereni podaci. No odgovor leži u činjenici da su kod kontrole svi podaci korišteni samo kao indikatori i pomagatelji u donošenju odluke. Konačna odluka o izbacivanju nekog podatka je na autoru, te je donesena s obzirom na stupanj njegove sigurnosti u ispravnost istog.

U ovome radu većina izbačenih podataka mogla bi se pripisati nekom od dalje navedenih razloga.

- 1) Nefizikalne vrijednosti: vrijednosti vjetra koje su manje od nule, ili veće od 100 m/s su smatrane pogreškama u mjerenju, te su izbačene iz daljnje analize.
- 2) Uzastopno ponavljanje jednakih vrlo visokih vrijednosti: ako se na nekoj postaji nalazi niz vrijednosti određenog velikog iznosa, dok su ostali podaci u bliskom vremenskom intervalu vidno manji, smatra se da je podatak pogrešan te ga se izbacuje iz daljnje analize. Neke od takvih uobičajenih vrijednosti iznose 40.2 m/s, 66.6 m/s, 999.9 m/s, 1000 m/s. Jedan takav primjer prikazan je na slici 3.1, za postaju Prijeboj. Takav uzorak ponavlja se nekoliko puta, pa su te vrijednosti, kao što je prethodno opisano, izbačene iz analize. Najčešći razlog ovog tipa pogreške je neprepoznat zapis nedostajućeg podatka (npr. bilježenje iznosom koje je različito od unaprijed dogovorenog standarda).
- 3) Izmjenjivanje nule i visokih vrijednosti u zapisu VMAXo, pri čemu takav nagli skok vrijednosti nije vidljiv u mjerenim podacima brzine vjetra  $V_o$  i/ili prognozi udara

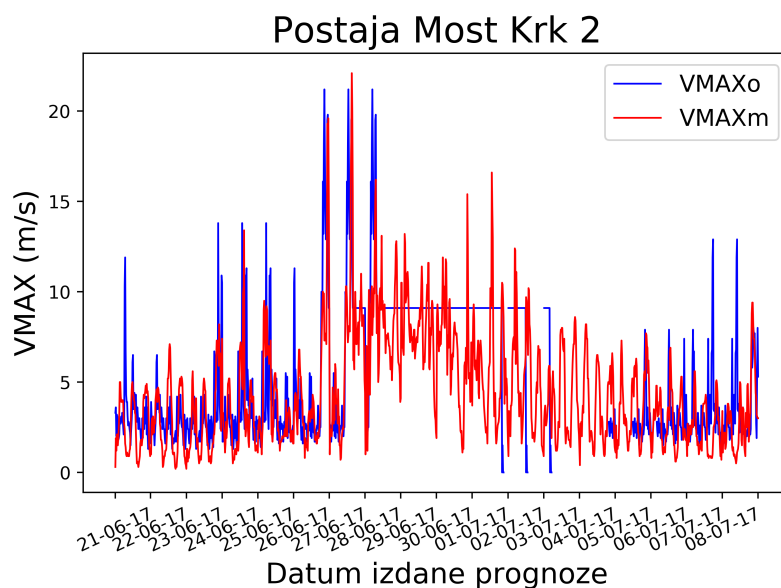


Slika 3.2. Primjer nepravilnog zapisa na postaji Prevlaka krajem 2016. i početkom 2017. godine. Između dvije susjedne oznake prikazana je trodnevna prognoza (crveno) te odgovarajuća opažanja (plavo). Na kraju intervala vidi se nagla promjena brzine udara vjetra između vrlo malih i vrlo visokih vrijednosti, no to ponašanje nije u skladu sa modeliranim vrijednostima.

vjetra numeričkim modelom VMAXm: u tim su slučajevima cijeli intervali, koji su ocijenjeni kao sumnjivi, izbačeni iz daljnje analize. Ovakav primjer može se vidjeti na slici 3.2. Na kraju intervala vidi se nagla promjena brzine udara vjetra između vrlo malih vrijednosti, manjih od 1 m/s, i vrlo visokih vrijednosti, 45 m/s. Takvo sumnjivo ponašanje nije u skladu s modeliranim vrijednostima. Kako autor nije u mogućnosti razlučiti koje vrijednosti su ispravne u datom intervalu, a koje ne, uklonjen je cijeli interval.

4) Ponavljanje istih vrijednosti: ako se vrijednost varijable ne mijenja u intervalu dužem od 12 h, cijeli se taj interval izbacuje iz daljnje analize. Primjerice, bura je vjetar koji može konzistentno bilježiti istu vrijednost određen vremenski period, no čak ni tada nije realno očekivati da će vrijednost biti ista do na decimalu dulje od 12 h. Primjer sumnjivog intervala trajanja duljeg od 12 h može se vidjeti na slici 3.3, a slično je ponašanje uočljivo i kod pripadnih vrijednosti varijable  $V_o$ . Varijable  $V_o$  i VMAXo mjerene su u isto vrijeme istim anemometrom, pri čemu je  $V_o$  prosjek terminskih vrijednosti u 10-minutnom intervalu, dok je VMAXo najveća zabilježena terminska vrijednost. Kako je mjerenje ove dvije vrijednosti izrazito povezano, u ovom slučaju se ne možemo pouzdati ni u jednu vrijednost, te su vrijednosti za obje varijable uklonjene iz niza.

Nakon kontrole kvalitete potrebno je utvrditi udio nedostajućih podataka spremnih za daljnju analizu. U tablici 3.1 prikazani su postotci nedostajućih podataka za sve



Slika 3.3. Primjer nepravilnog zapisa na postaji Most Krk 2 krajem lipnja i početkom srpnja 2017. godine. Između dvije susjedne oznake prikazana je trodnevna prognoza (crveno) te odgovarajuća opažanja (plavo). Na sredini intervala vidi se dugotrajan zapis iste vrijednosti brzine udara vjetra, no takvo ponašanje nije realno za očekivati.

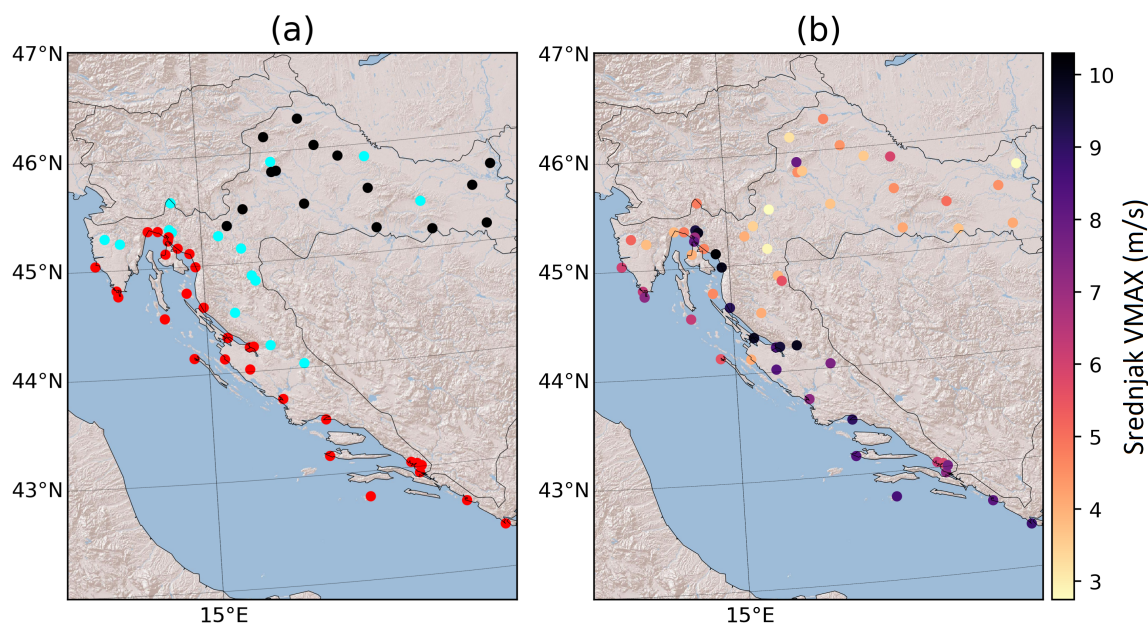
postaje u razdoblju od 2016. do 2018. godine. Analiza nedostajućih podataka po mjesecima nalazi se u Dodatku A, u tablicama A1-A3.

Tablica 3.1. Postotak nedostajućih podataka udara vjetra VMAXo svake postaje u razdoblju od 2016.-2018. godine.

Postaja	Ime Postaje	2016.	2017.	2018.	Ukupno
14200	Bukovo	0.43	10.26	2.04	4.24
14201	Hreljin	39.16	5.13	2.53	15.61
14202	Bakarac	0.33	0.01	1.33	0.56
14204	Most Krk 2	0.17	1.55	1.28	1.00
14205	Povile	2.33	0.00	0.42	0.92
14215	Opatija	2.32	9.68	0.50	4.17
14216	Rijeka	3.67	0.10	0.43	1.40
14219	Parg	0.66	0.00	0.47	0.38
14230	Gorinci	0.23	3.88	8.21	4.11
14232	Karlovac	0.03	0.66	0.36	0.35
14234	Krapina	0.18	0.34	0.55	0.36

14235	Puntijarka	0.57	0.87	1.39	0.94
14236	Zagreb Grič	0.65	0.05	0.66	0.45
14240	Zagreb Maksimir	0.41	0.76	0.56	0.58
14244	Sisak	0.85	2.19	1.17	1.40
14246	Varaždin	1.71	0.34	0.64	0.90
14248	Križevci	0.91	0.40	0.37	0.56
14253	Bjelovar	1.51	1.32	0.51	1.11
14256	Bilogora	1.19	0.02	0.30	0.50
14258	Daruvar	0.63	0.04	0.79	0.49
14268	Kutjevo	3.37	0.39	3.74	2.50
14280	Osijek Čepin	0.31	0.27	0.49	0.36
14282	Kopački Rit	50.28	12.35	3.82	22.15
14291	Most Pag 1	8.49	0.99	6.41	5.30
14292	Most Pag 2	8.35	4.14	19.29	10.59
14293	Most Maslenica	1.33	11.75	9.11	7.40
14294	Lokvine	5.67	0.01	0.53	2.07
14295	Jasenice	0.21	1.75	2.28	1.41
14298	Komarna	0.18	0.00	2.55	0.91
14303	Sveti Ivan na Pučini	0.19	0.00	0.30	0.16
14305	Višnjan	33.72	0.01	0.47	11.40
14308	Pazin	0.78	0.06	3.33	1.39
14309	Montekope	1.61	0.00	0.30	0.64
14310	Porer	3.38	0.08	8.55	4.00
14314	Mali Lošinj	5.18	8.01	75.83	29.67
14316	Malinska	5.47	1.75	0.56	2.59
14320	Crikvenica	3.18	2.10	2.02	2.43
14321	Rab	3.64	0.80	0.45	1.63
14323	Senj	2.12	0.16	0.42	0.90
14326	Prizna	0.50	0.21	0.77	0.49

14327	Slunj	7.18	0.84	6.45	4.82
14328	Ogulin	1.98	0.16	1.99	1.38
14330	Gospić	0.22	5.44	2.91	2.86
14334	NP Plitvička Jezera	0.99	6.65	7.92	5.19
14335	Prijeboj	38.67	17.76	0.77	19.07
14365	Gorice	0.12	2.35	1.07	1.18
14370	Slavonski Brod	1.12	0.80	2.08	1.33
14382	Gradište	1.33	1.34	0.87	1.18
14422	Veli Rat	8.17	2.76	8.55	6.49
14428	Zadar	0.10	0.01	0.41	0.17
14433	Ravni Kotari	38.08	4.02	2.04	14.71
14438	Šibenik	0.10	0.27	3.28	1.22
14442	Knin	2.12	0.12	3.51	1.92
14445	Split Marjan	2.00	3.21	4.95	3.39
14447	Hvar	0.56	7.82	0.45	2.94
14452	Lastovo	6.28	3.02	0.39	3.23
14462	Ploče	0.45	2.15	0.77	1.12
14464	Jasenska	3.28	0.01	1.82	1.70
14465	Delta Neretve	66.08	3.50	0.30	23.29
14472	Dubrovnik	0.64	0.25	3.60	1.50
14477	Prevlaka	0.24	0.02	0.30	0.19



Slika 3.4. Karta svih postaja korištenih u ovom diplomskom radu. (a) Postaje su obojene trima bojama koje označavaju pripadnost pojedinoj grupi: crvena boja označava pripadnost obalnoj, tirkizna planinskoj a crna kontinentalnoj grupi postaja. (b) Boja oznake svake postaje označava iznos srednje brzine maksimalnog udara vjetra izračunatog na podacima u razdoblju 2018. godine.

### 3.2. *Klimatska podjela*

Za klimatološku analizu i verifikaciju koriste se podaci sa 61 postaje diljem Republike Hrvatske koji su zadovoljili uvjete kvalitete navedene u prethodnom poglavlju. Iako se različite verifikacijske mjere mogu promatrati za svaku postaju zasebno, korisno je te mjere na neki način sažeti. Pritom je poželjno da se kod sažimanja i grupiranja rezultata podaci pripadnih postaja što manje statistički razlikuju. Iz tog razloga, postaje su podijeljene u 3 grupe po svojim topografskim i klimatološkim svojstvima: obalne (O), planinske (P) i kontinentalne (K). Ovaj način grupiranja postaja je pogodan jer geografska obilježja svake postaje određuju i pripadne procese koji utječu na pojavu vjetra. Na taj način može se odrediti uspješnost prognoze modela u ovisnosti o različitim procesima, tj. može se detektirati koje procese model opisuje bolje, a koje lošije. Na slici 3.4a sve su postaje prikazane na karti Hrvatske, dok boja označava pripadnost pojedinoj grupi. S ciljem usporedbe rezultata postaja kod kojih je frekvencijski dominantan vjetar bura ili jugo, iz obalne grupe postaja dodatno je izdvojeno 20 postaja koje su ravnopravno pridijeljene grupama sjeverni Jadran ili južni Jadran. Postaje pridijeljene grupi sjeverni Jadran su: Most Krk 2, Rijeka, Most Pag 1, Most Maslenica, Senj, Rab, Zadar, Opatija, Veli Rat i Bakarac, dok su postaje pridijeljene grupi južni Jadran: Jasenska, Hvar, Ploče, Dubrovnik, Komarna, Šibenik, Split Marjan, Delta Neretve, Prevlaka te Lastovo.

Grupe postaja razlikuju se po nekoliko osobina:

- 1) Obalna grupa O: Postaje iz ove grupe smještene su u blizini Jadranske obale, ili se nalaze na zapadnoj strani Velebita. Ova je grupa najbrojnija, a najviša nadmorska visina neke postaje iznosi 233 m (postaja Prizna). Vjetrovi specifični za ovu grupu su bura i jugo. Bura je suh, hladan i mahovit sjeveroistočni vjetar, čiji se smjer lokalno modificira ovisno o obliku reljefa nekog područja (Zaninović i sur., 2008). Udari bure mogu dosegnuti brzinu čak i do 70 m/s (Grisogono i Belušić, 2009), a njena je maksimalna snaga približno jednaka u sjevernom i južnom dijelu Jadrana (Horvath i sur., 2009). Za razliku od bure, jugo je vlažan, topao i jednoličan jugoistočni vjetar. Oba vjetra su češća i jača u hladnom dijelu godine, no relativna čestina jake bure smanjuje se od sjevernog Jadrana prema južnom Jadranu, dok se relativna čestina jakog juga smanjuje od južnog Jadrana prema sjevernom Jadranu (Zaninović i sur., 2008). Također, strujanja uključuju cirkulacije koje su uzrokovane nehomogenostima između kopna i mora (npr. obalna cirkulacija) i cirkulacije koje su uzrokovane blizinom planina (npr. cirkulacija obronka) (Zaninović i sur., 2008).
- 2) Planinska grupa P: Postaje iz ove grupe nalaze se pretežito u gorskom dijelu Hrvatske, uz nekoliko postaja koje se nalaze u višim predjelima unutrašnjosti Istre i kontinentalne Hrvatske. Postaja na najmanjoj nadmorskoj visini u ovoj grupi je Knin, koji se nalazi na 255 m nadmorske visine. Postaja na najvećoj nadmorskoj visini u ovoj grupi, istovremeno i najviša postaja od svih u ovom radu, je Puntijarka, koja se nalazi na 991 m nadmorske visine. Ovo je područje izrazito kompleksne planinske topografije s brojnim proplancima i usjecima. Kao specifično strujanje za ove postaje, mogla bi se navesti cirkulacija obronka (Zaninović i sur., 2008).
- 3) Kontinentalna grupa K: Sve postaje iz ove grupe smještene su na pretežno ravnom, kontinentalnom dijelu Hrvatske. Nadmorska visina postaja kreće se između 83 m, za postaju Kopački rit, i 202 m, za postaju Krapina. Dnevni hod vjetra primarno je uzrokovan mikroskalnim varijacijama topografije. Jak vjetar na ovom području vrlo je rijedak, a javlja se za vrijeme ljetnih oluja ili zimskih prodora hladnoga zraka iz polarnih i sibirskih područja (Zaninović i sur., 2008).

Također, važno je napomenuti da osim nabrojanih procesa, postoji još mnogo drugih procesa koji utječu na vjetar promatranih postaja. Neki od njih, kao npr. barički poremećaji sinoptičke skale, imaju sličan utjecaj na sve postaje, dok su neki drugi, kao npr. strujanja uzrokovana varijacijama topografije na skalama manjima od razlučivosti modela, vrlo lokalizirani. Kod tumačenja rezultata valja imati na umu da mjerni instrumenti mjere sve procese istovremeno i da zbog toga nije moguće izdvojiti točan utjecaj pojedinog procesa na mjerenu vrijednost. Postoje alati kojima se može procijeniti udio procesa određene skale (npr. spektralnom analizom), no čak i tad se radi o procjeni. Primjerice, različiti procesi mogu se pojavljivati istom ili sličnom učestalošću. Kod procesa velike učestalosti dolazi do preslikavanja (pogreške prepoznavanja) iz prostora

frekvencija koje nismo u mogućnosti razlučiti određenim mjerenjem (eng. *aliasing*) i sl.

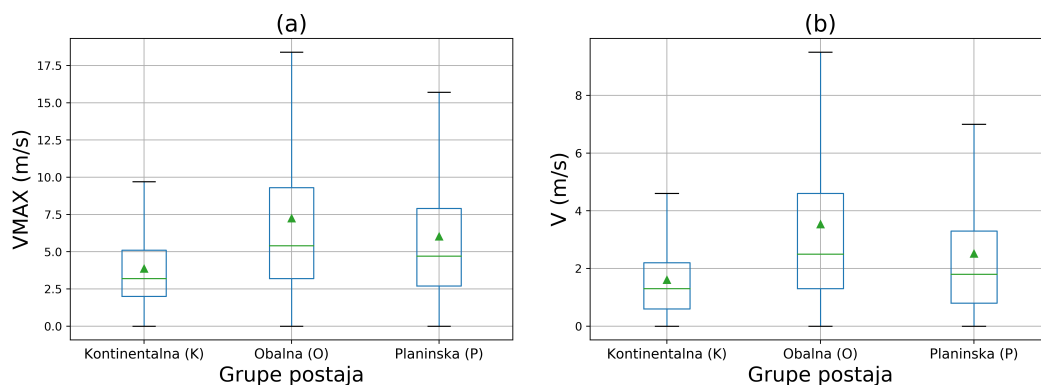
U tablici 3.2 prikazana su statistička obilježja već navedenih grupa postaja za razdoblje učenja (2016. i 2017. godina) i testno razdoblje (2018. godina). Iz iste se tablice i može primijetiti kako je obalna grupa postaja najbrojnija, s 31 postajom, dok se u svakoj od preostalih dvije grupe nalazi po 15 postaja. Vidi se da najveći medijan brzine udara vjetra u testnom razdoblju ima obalna grupa postaja, te on iznosi 5.4 m/s. Nakon toga slijedi planinska grupa postaja s medijanom brzine udara vjetra od 4.7 m/s, dok je posljednja kontinentalna grupa kod koje isti medijan iznosi 3.2 m/s. Slično vrijedi i za srednju brzinu vjetra, gdje pripadni medijani iznose 2.5 m/s, 1.8 m/s i 1.3 m/s, redom za obalnu, planinsku i kontinentalnu grupu postaja. Usporedbom podataka za dva razdoblja vidi se da se statistički podaci za različit vremenski interval ne razlikuju mnogo, što je za metodu analogona poželjno svojstvo. S obzirom na to da raspodjela brzina vjetra nije simetrična, vidimo da su srednjaci svih grupa za srednju brzinu vjetra i udare vjetra veći od pripadnih medijana. Iz tablice 3.2 se također vidi da postaje s većim srednjacima imaju i veće standardne devijacije pripadnih veličina.

Tablica 3.2. Popis grupa s pripadnim statističkim veličinama izračunatima na podacima Vo i VMAXo u razdobljima 2016.-2017. i 2018. godine. Oznake stupaca tablice označavaju srednju brzinu vjetra (Vmean), srednju brzinu maksimalnog udara vjetra (VMAXmean), standardnu devijaciju brzine vjetra (Vstd), standardnu devijaciju brzine maksimalnog udara vjetra (VMAXstd), te medijan brzine srednjeg (Vmed) i maksimalnog udara vjetra (VMAXmed). Podaci su izraženi u mjernoj jedinici *m/s*.

Grupa	Broj postaja	Vmean	VMAXmean	Vstd	VMAXstd	Vmed	VMAXmed
2016.- 2017. godina							
Kontinentalna	15	1.64	4.02	1.40	2.87	1.3	3.3
Obalna	31	3.50	7.25	3.38	5.91	2.5	5.4
Planinska	15	2.59	6.33	2.61	5.06	1.8	4.9
2018. godina							
Kontinentalna	15	1.60	3.86	1.32	2.54	1.3	3.2
Obalna	31	3.53	7.24	3.37	5.89	2.5	5.4
Planinska	15	2.52	6.03	2.47	4.73	1.8	4.7

Sve navedene vrijednosti grafički su prikazane i na slici 3.5. Dijagrami s pravo-



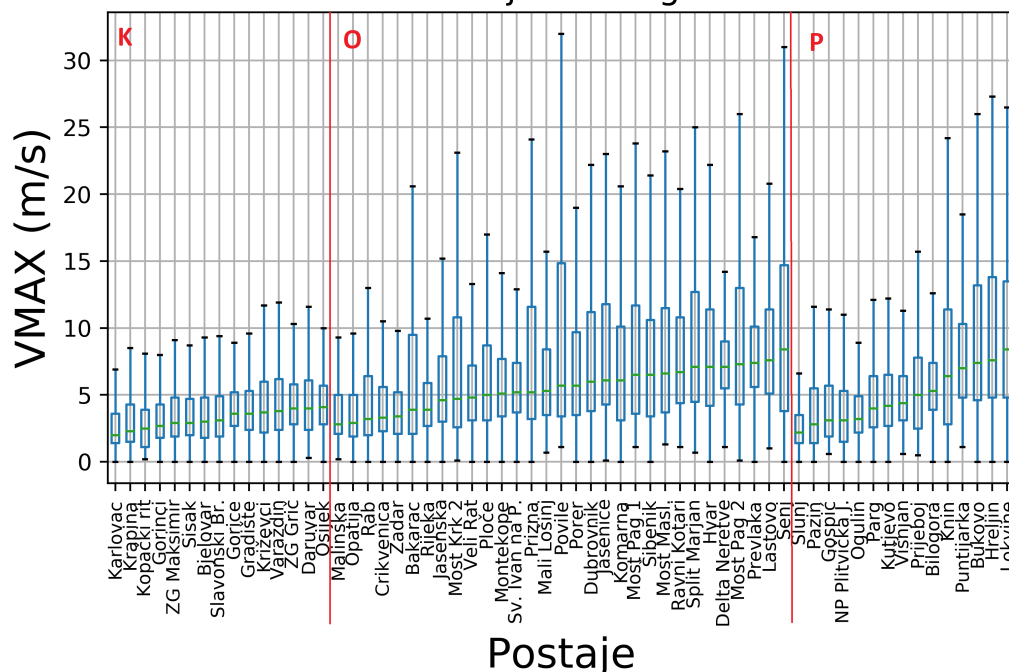


Slika 3.5. Dijagram s pravokutnikom izmjerenih vrijednosti varijable VMAXo (a) i Vo (b) u razdoblju 2018. godine za 3 grupe postaja. Zeleni trokuti označavaju srednju vrijednost podataka, dok zelena linija prikazuje medijan.

kutnikom (eng. *box-plot*) pogodni su za cjelokupan pregled i jednostavnu usporedbu statističkih svojstava različitih grupa postaja. Jasno je vidljivo kako obalna grupa postaja, uz najveće srednje vrijednosti (medijan i srednjak), posjeduje i najveće vrijednosti varijabilnosti srednjeg vjetra i udara vjetra, dok kontinentalna grupa postaja poprima najmanje vrijednosti istih. Također, statističke veličine koje opisuju udar vjetra često su i dvostruko veće od istih vrijednosti veličina za srednju brzinu vjetra. Kod obalne grupe postaja maksimalna izmjerena vrijednost udara vjetra iznosi 61.4 m/s, izmjerena na postaji Montekope, dok maksimalna izmjerena vrijednost srednje brzine vjetra iznosi 33.2 m/s, te je izmjerena na postaji Jasenice. Kod planinske grupe postaja pripadne vrijednosti iznose 39.5 m/s i 21.3 m/s, izmjerene na postajama Hreljin i Lokvine, dok kod kontinentalne grupe postaja maksimalne izmjerene vrijednosti udara vjetra i srednjeg vjetra iznose 36.5 m/s i 14.3 m/s, za postaje Daruvar i Osijek.

Na slici 3.6 prikazani su dijagrami s pravokutnikom za udare vjetra na svim postajama. Dijagrami s pravokutnikom za srednji vjetar dani su na slici A1 u Dodatku A. Postaje su podijeljene u 3 grupe, te poredane po veličini medijana u uzlaznom poretku. Grupa postaja čija je statistička raznolikost između pojedinih postaja najmanja je kontinentalna grupa. Ova grupa sadrži većinu postaja s malim srednjim vrijednostima i varijabilnošću, te se mjereni podaci za ovu grupu međusobno vrlo malo statistički razlikuju. Kod preostale dvije grupe primjetna je veća razlika između statističkih obilježja pojedinih postaja. Grafički prikaz srednjih vrijednosti udara vjetra za svaku postaju prikazan je na slici 3.4b. Kao i na slici 3.6, i ovdje je jasno vidljivo kako postaje u kontinentalnoj grupi posjeduju manje vrijednosti srednjaka, te je istovremeno njihova raznolikost manja u odnosu na preostale dvije grupe. To je svojstvo, s obzirom na rijetku pojavu jakog vjetra u ovom području, očekivano, te je za daljnju analizu od veće važnosti grupirati postaje po geografskim obilježjima, jer se na taj način postaje grupiraju prema mehanizmima nastanka strujanja. Samo statističko grupiranje bi te mehanizme ignoriralo, te bi dobivene rezultate bilo vrlo teško interpretirati. Tako-

Dijagrami s pravokutnikom za VMAXo u razdoblju 2018. godine



Slika 3.6. Dijagrami s pravokutnikom svih postaja za varijablu VMAXo za razdoblje 2018. godine. Postaje su podijeljene u 3 grupe, kontinentalnu K, obalnu O i planinsku P. Unutar svake grupe postaje su poredane po medijanu brzine maksimalnog udara vjetra, u uzlaznom poretku.

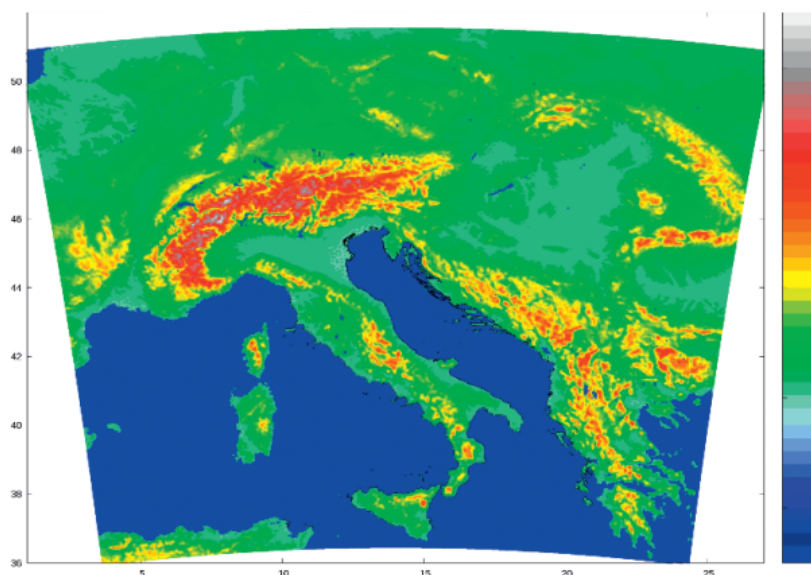
der, statističke su veličine dobivene na temelju jednogodišnjeg niza podataka, te se na tako kratkom vremenskom intervalu zasigurno može dogoditi postojanje statističke fluktuacije. Za verifikaciju je važno da podaci niti jedne postaje bitno ne odstupaju od podataka ostalih postaja u istoj grupi. Tablica s raznim statističkim veličinama za svaku postaju, za razdoblje treninga i testno razdoblje, priložena je u Dodatku A (tablica A4).

## 4. Prognoze

U ovome su poglavlju opisani modeli čije se prognoze verificiraju na podacima koji su prošli kontrolu kvalitete, te međusobno uspoređuju. U potpoglavlju 4.1 opisan je numerički model ALADIN, dok je u potpoglavlju 4.2, uz objašnjenje metode analogona i njenih varijacija, naveden i kratak povijesni pregled same metode.

### 4.1. Prognoza numeričkog modela ALADIN

ALADIN (fra. *Aire Limitee Adaptation dynamique Developpment InterNational*) je numerički model prognoze vremena koji se u Republici Hrvatskoj koristi od 2000. godine. Operativno se na Državnom hidrometeorološkom zavodu (DHMZ) koristi nekoliko verzija modela, no u ovome je diplomskom radu korištena samo verzija HR44, tj. verzija s horizontalnom razlučivosti od 4 km. Za razliku od globalnih modela, npr. ARPEGE (fra. *Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle*), ALADIN je lokalni model, tj. prognoza dobivena ALADIN-om izdaje se za ograničeno područje. U sklopu istoimenog projekta, model ALADIN se koristi u mnogim zemljama Europe i sjeverne Afrike, pri čemu se koristi u više verzija i primijenjen je na mnogo različitih geografskih područja. Domena verzije modela HR44, prikazana na slici 4.1, sadrži 480x432 točke, te je za projekciju Zemljine površine na ravnu plohu korištena Lambertova stožasta projekcija. Broj vertikalnih nivoa modela je 73, a najniži nivo nalazi se na visini od 10 m. Prognoze korištene u ovom radu izdavane su svakoga dana u ponoć (00 UTC), a prognostičko razdoblje, uz dostupnost podataka svakoga sata, traje 72 sata. S obzirom na to da je ALADIN lokalni model, informacije o stanju atmosfere izvan svoje domene dobiva od globalnog modela IFS (eng. *Integrated Forecast System*) koji se izvršava u Europskom centru za srednjoročnu prognozu vremena (eng. *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*; ECMWF). Podaci globalnog modela koriste se kao rubni uvjeti, te se interpoliraju na ALADIN-ovu mrežu u pojasu širine 8 točaka koji okružuje početnu domenu. Velik utjecaj na prognozu imaju i početni uvjeti, te se za njih koristi kombinacija procjene početnog stanja kakvu je dao model, te korekcije koja ovisi o dostupnim mjerenjima. Za analizu površinskih polja koristi se optimalna interpolacija (OI; Bouttier i Courtier, 2002), dok se za polja u gornjem sloju atmosfere koristi 3D varijacijska analiza (3DVAR; Rabier i sur., 1998; Fischer i sur., 2006). Podaci koji se asimiliraju uključuju površinska mjerenja prikupljena s meteoroloških postaja, radiosondažna mjerenja, avionska mjerenja, vjetar procijenjen na temelju satelitskih snimaka te produkte s geostacionarnih satelita. ALADIN je spektralni model, čije se jednadžbe rješavaju na 73 vertikalna nivoa hibridne eta koordinate korištenjem hidros-tatske dinamičke jezgre (Untch i Hortal, 2004). Za diskretizaciju jednadžbi po vertikali koristi se metoda konačnih elemenata. Samo modeliranje atmosferskih procesa moglo bi se podijeliti na "dinamiku" i "fiziku", tj. na procese većih dimenzija koje model



Slika 4.1. Domena modela ALADIN u verziji HR44, koja sadrži 480x432 točke. Plavom su bojom prikazane vodene površine, dok su bojama od zelene do crvene prikazane visine topografije (Tudor i sur., 2015, stranica 74).

može raspoznati i pravilno simulirati - "dinamiku", te na procese koji se zbivaju na manjim skalama i kojima model pristupa parametrizacijom - "fiziku". Hidrostatska verzija modela korištena u ovom diplomskom radu kao prognostičke varijable tretira prizemni tlak, komponente horizontalnog vjetra, temperaturu i vodenu paru, dok se ostale varijable, kao npr. udio vode i leda u oblacima, kiša, snijeg, sedimentacija obo-rine, kratkovalno i dugovalno zračenje, vertikalni transporti topline, vlage te momenta, parametriziraju koristeći paket fizike ALARO. Parametrizacije se, s obzirom na simula-ciju željenih procesa, po potrebi mogu isključiti. Više informacija o parametrizacijama i samoj dinamici modela može se pronaći u brojnim radovima (npr. Tudor i sur., 2015).

## 4.2. *Metoda analogona*

### 4.2.1. Povijesni razvoj metode analogona

Ideja korištenja analogija (sličnih prognoza, analiza ili mjerenja) u meteorologiji postoji već dugi niz godina, a temelji se na pretpostavci da inicijalno vrlo bliska stanja atmosfere ostaju bliska i određeno vrijeme u budućnosti. Na taj način, uz posjedovanje podataka o bivšim stanjima atmosfere te prikladnim načinom traženja bliskih stanja, buduću prognozu možemo izdati na temelju podataka o razvoju atmosfere određenog bliskog stanja u prošlosti. Ideja traženja bliskih stanja atmosfere na velikim skalama nije lako primjenjiva, jer su analogije u najboljem slučaju osrednje (Lorenz, 1969). Lorentzova analiza obuhvaćala je visine 200-, 500- i 850- mb ploha na mreži koja se sastojala od 1003 točke, koje su pokrivala veliki dio sjeverne Zemljine polutke. Iznesen je zaključak da je vjerojatnost nalaženja zadovoljavajućih analogija vrlo malena, te

je korištenje analogija s ciljem prognoze vremena djelomično odbačeno. No, van den Dool (1989) pokazuje da je u slučaju smanjenja stupnjeva slobode moguće pronaći dovoljno kvalitetne analogije, te analizu visine 500-mb plohe primjenjuje na lokalizirano područje. Nakon toga formulirane su različite metode koje koriste analogije za prognozu mnogih meteoroloških veličina. Iako je problem velikog broja stupnjeva slobode i dalje ostao prisutan, rezultati tih radova dali su nadu za buduće korištenje analogija. Neki od radova koji su uspješno primijenili ovu ideju bavili su se: prognozom odlazećeg dugovalnog zračenja (Xavier i Goswami, 2007), prognozom kratkotrajne orografske oborine koristeći radarske podatke (Panziera i sur., 2011), prognozom SOI (eng. *Southern Oscillation Index*) indeksa (Drosowsky, 1994) te prognozom brzine vjetra u točki (Klausner, Kaplan, i Fattal, 2009).

Osim korištenja prethodnih analiza i mjerenja, korištenje analogija može se primijeniti na prognoze numeričkog modela. Na ovaj se način u postupak može uključiti sposobnost numeričkih modela da prognoziraju atmosferske procese, dok se metoda analogona koristi za korekciju njihove pogreške pripadnim izmjerenim podacima. Uz korištenje povijesnih podataka Ren i Chou (2006) te Gao i sur. (2006) pokazali su da se pogreške pojednostavljenih numeričkih modela mogu djelomično smanjiti. Potencijalno najuspješnija ideja pojavila se u radu Delle Monache i sur. (2011), gdje su predložene dvije metode analogona za korekciju prognoze numeričkog modela za vjetar na visini od 10 m. Obje metode su, u usporedbi s početnim modelom, značajno smanjile pogrešku te povećale sposobnost predikcije. Na sličan su način metode iskorištene i za predikciju koncentracije PM<sub>2.5</sub> čestica (Djalalova, Delle Monache, i Wilczak, 2015) te za usporedbu različitih modela i meteoroloških varijabli (Nagarajan i sur., 2015). Nakon početnog uspjeha, Delle Monache i sur. (2013) koriste analogone za izradu ansambla i probabilističke prognoze za brzinu vjetra na visini od 10 m te za temperaturu na visini od 2 m. Pokazano je da ansambli analogona pokazuju visoku statističku konzistentnost te pouzdanost. Ansambli prognoza su kasnije korišteni za procjenu resursa vjetra (Vanvyve i sur., 2015; Zhang i sur., 2015), oborine (Keller i sur., 2017), za predikciju solarnog zračenja (Alessandrini, Delle Monache, Sperati, i Cervone, 2015), te snage vjetra (Alessandrini, Delle Monache, Sperati, i Nissen, 2015; Junk i sur., 2015). Konačno, sama metoda se može koristiti i za kalibraciju početne ansambl prognoze numeričkog modela (npr. Odak Plenković i sur., 2020).

Ovaj diplomski rad temelji se na izboru analogona preko mjere koje su predložili Delle Monache i sur. (2011), a pojedinsti metode primijenjene na prognozu udara vjetra na 10 m detaljno su objašnjene u sljedećim potpoglavljima. Metoda je već testirana na podacima koji obuhvaćaju prostor Republike Hrvatske (Odak Plenković i sur., 2018), no korištena je za prognozu srednje brzine vjetra na 10 m drugačijih verzija numeričkog modela ALADIN. Pripadna deterministička prognoza u navedenom radu verificirana je na manjem broju postaja u različitom vremenskom razdoblju.

### 4.2.2. Opis osnovne metode

Metoda analogona korištena u ovom diplomskom radu mogla bi se podijeliti na 3 dijela:

- 1) Izdavanje prognoze uz pomoć numeričkog modela za unaprijed određeni vremenski interval.

- 2) Pomoću određene mjere pronaći prošle prognoze koje su bliske prognozi koju smo odredili u koraku 1). Te prognoze nazivamo analogonima.

- 3) Izdvojiti mjerenja koja su zabilježena kod pripadnih analogona, te na temelju njih proizvesti prognozu za budući vremenski interval.

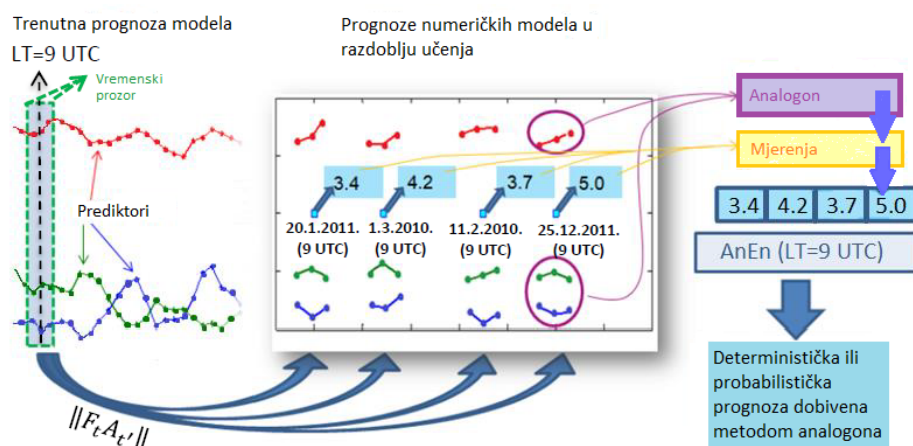
Shematski prikaz cijele metode prikazan je na slici 4.2. S obzirom na to da se analogoni traže među prošlim prognozama, za ovu je metodu potrebno imati dovoljno dugi niz zabilježenih prognoza i pripadajućih mjerenja. Uz to, poželjno je da se prognoza izdaje na temelju istih postavki istog numeričkog modela. U ovome radu je korišten model ALADIN, koji je detaljnije opisan u potpoglavlju 4.1. Podaci dolaze sa 61 postaje diljem Republike Hrvatske, te su izmjereni u razdoblju od 2016. do 2018. godine. Njih smo nadalje podijelili na:

- 1.) razdoblje učenja (2016.- 2017. godina), u kojem se pretražuju analogoni, te
- 2.) na testno razdoblje (2018. godina), kod kojeg na temelju nađenih analogona iz razdoblja učenja izdajemo novu prognozu te je verificiramo. Detalji o korištenim podacima i pripadna mjerenja objašnjeni su u prijašnjem poglavlju, dok se u nastavku detaljno definira sam način traženja analogona. Važno je i napomenuti da se analogoni traže za svaku postaju zasebno, tj. traženje analogona za postaju A ne odvija se među podacima od neke druge postaje B.

Kvaliteta određenog analogona određuje se sljedećom formulom:

$$\|F_t, A_{t'}\| = \sum_{i=1}^{N_a} \frac{w_i}{\sigma_i} \sqrt{\sum_{j=-\tilde{t}}^{j=\tilde{t}} (F_{i,t+j} - A_{i,t'+j})^2}, \quad (4.1.)$$

koja na neki način mjeri udaljenost između prognoze i analogona, te se kao najbolji analogon definira onaj kojemu je udaljenost od tražene prognoze najmanja.  $F_t$  je prognoza numeričkog modela za buduće vrijeme  $t$ , dok je  $A_{t'}$  prognoza analogona za neko prošlo vrijeme  $t'$ , no za isti prognostički sat. S obzirom na to da se u oba razdoblja, i razdoblju učenja i testnom razdoblju, prognoza izdavalu u ponoć za naredna 72 sata, na ovaj je način postignuto da analogone tražimo u istom dijelu dana kao što je i početna prognoza.  $N_a$  je broj prediktora koje uspoređujemo pri traženju analogona, dok su  $w_i$  i  $\sigma_i$  težine i standardne devijacije pripadnih prediktora. Pomoću izbora  $w_i$  svakom se prediktoru može pridijeliti vlastita težina kod pretrage, dok se dijeljenjem sa standardnom devijacijom vremenskog niza podataka  $\sigma_i$  uklanja moguća dominacija nekog prediktora zbog velikog apsolutnog iznosa varijabilnosti. Razlike među prediktorima traže se unutar nekog vremenskog intervala  $[t - \tilde{t}, t + \tilde{t}]$  tj.  $[t' - \tilde{t}, t' + \tilde{t}]$ . Na taj je



Slika 4.2. Prikaz izrade prognoze osnovnom metodom analogona AnEn na primjeru četveročlanog skupa sličnih prognoza. Prognoza metodom analogona nastoji poboljšati prognozu numeričkog modela za određeni prognostički sat, koji je u ovom primjeru 09 UTC. Broj prediktor varijabli iznosi 3 (npr. brzina udara vjetra, srednja brzina vjetra i smjer vjetra), a za svaku je prediktor varijablu promatran vremenski prozor duljine 2 vremenska koraka, tj. uz prognoziranu vrijednost za sam 09 UTC prognostički sat, promatraju se i vrijednosti prediktor varijabli koje se nalaze 1 vremenski korak prije i nakon navedenog prognostičkog sata. Ti se podaci uspoređuju s povijesnim prognozama iz razdoblja učenja, a pretraživanje se odvija za vremenski prozor jednake duljine, također smješten oko 09 UTC prognostičkog sata. Najslabije se prognoze pronalaze mjerom  $\|F_t, A_{t'}\|$ . Najbolje su tražene prognoze, njih 4, one koje poprimaju najmanje vrijednosti navedene mjere. Te se prognoze nazivaju analogonima. Konačno, koristeći mjerenja u terminima svih analogona varijable koja se prognozira, moguća je izrada prognoze. U slučaju determinističke prognoze navedene se vrijednosti, primjerice, mogu usrednjiti, te se ta vrijednosti smatra kao prognoza dobivena metodom analogona. U slučaju probabilističke prognoze, može se promatrati broj mjerenja koja se nalaze u nekom intervalu vrijednosti. Njihov udio predstavlja prognoziranu vjerojatnost da se tražena varijabla uistinu i nađe u tom intervalu (preuzeto i prilagođeno iz doktorskog rada Odak Plenković, 2020, stranica 7).

način pretraga sužena na kratak vremenski interval oko pojedinog prognostičkog sata, a u usporedbu je uključen trend vrijednosti. Analogoni se za svaku lokaciju i svaki prognostički sat pretražuju nezavisno.

Nakon pronalaska željenog broja analogona, pripadne vrijednosti mjerenja predstavljaju prognozu za budući termin  $t$ . Takve prognoze se mogu na razne načine sažeti, npr. usrednjavanjem svih izmjerenih vrijednosti, te se tada govori o determinističkoj prognozi. Ako se sve vrijednosti zabilježe, prognoza metodom analogona promatra se kao ansambl, pri čemu su članovi ansambla izmjerene vrijednosti u terminu svakog pojedinog analogona (u prošlosti). Konačno, prebrajanjem članova ansambla u određenom intervalu vrijednosti može se formirati probabilistička prognoza. U posljednjem slučaju, primjerice, prognozira se vjerojatnost (udio takvih prognoza u ansamblu izražen postotkom) da će se ostvariti vrijednost iz razmatranog intervala.

S obzirom na to da na kvalitetu prognoze značajno utječe izbor pripadnih prediktora i parametara, izboru istih potrebno je pažljivo pristupiti. S ciljem analize kvalitete analogona za poseban izbor parametara  $w_i$ , te analize kvalitete za dodatnu korekciju pri velikim brzinama udara vjetra, u ovome su diplomskom radu analizirane 3 različite verzije metode analogona koje su nazvane redom: AnEn, AnEnT i AnEnK. Verzija AnEn koristi težine  $w_i$  koje su jednake za svaki prediktor, verzija AnEnT koristi optimizirane vrijednosti tih parametara, dok se kod verzije AnEnK uz optimizaciju parametra radi i dodatna korekcija prognoze za velike brzine udara vjetra. Kod svih verzija broj analogona na temelju kojih se izdaje prognoza iznosi 15, a vrijeme polovice intervala pretraživanja iznosi  $\tilde{t} = 1$ , tj. pretraživanje analogona izvršava se u vremenskom intervalu od jedan sat prije i poslije traženog prognostičkog sata. Broj korištenih prediktora kod svih verzija analogona iznosi 7, a meteorološke varijable koje se koriste kao prediktori su: udar vjetra (oznaka VMAX), smjer udara vjetra (Dir), srednja brzina vjetra (V), temperatura (T), relativna vlažnost (Rh), tlak (P) i globalno zračenje (Glz). U potpoglavljima 4.2.3. i 4.2.4. objašnjen je postupak izrade verzija AnEnT i AnEnK, dok se u potpoglavlju 4.2.5. može pronaći obrazloženje za izbor navedenih vrijednosti parametara, te podjela podataka i kratak konačni pregled svih verzija analogona.

### 4.2.3. Optimizacija težina

Verzija AnEn svim prediktorima pridjeljuje težinu  $w_i = 1$ , te na taj način ignorira činjenicu da su neki parovi varijabla više korelirani nego neki drugi (Delle Monache i sur., 2011). Prvi pokušaj unaprijeđenja analogona AnEn dolazi u verziji AnEnT, te se prognoza pokušava unaprijediti drugačijim izborom težina  $w_i$ .

Ideja je ispitati uspješnost prognoze za različite kombinacije parametara  $w_i$ , u kojem parametri  $w_i$  mogu poprimiti ove vrijednosti:  $w_i \in \{0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0\}$ . Za mjeru uspješnosti izabran je CRPS, te se kao najbolja kombinacija parametara smatra ona za koju CRPS prognoziranog ansambla poprima najmanju vrijednost. No, zbog računalne zahtjevnosti, analiza svih mogućih kombinacija vrijednosti parametara, ukupno  $6^6$ , nije moguća. Iz tog razloga koristi se algoritam selekcije unaprijed (eng. *forward selection algorithm*).

Algoritam selekcije unaprijed izvršava se na sljedeći način: težina varijable udar vjetra postavljena je na 1.0, nakon čega se u analizu uključuje jedan po jedan prediktand, čiji raspored dodavanja je sljedeći: Dir, V, T, Rh, P, Glz. Drugim riječima, prognoziraju se ansambl kod kojih metoda koristi  $w_{VMAX} = 1.0$  za prediktand VMAX te, primjerice,  $w_{Dir} = 0.2$  za Dir te  $w_i = 0.0$  za sve ostale varijable. Sljedeća prognoza koristi  $w_{VMAX} = 1.0$  za VMAX,  $w_{Dir} = 0.4$  za Dir,  $w_i = 0.0$  za ostale varijable. Na isti način se izračunaju prognoze kod kojih je  $w_{Dir}$ , redom, 0.6, 0.8 te 1.0. Dakle, provede se 6 eksperimenata za pojedini prediktor, dok su vrijednosti težina za sve ostale prediktor varijable fiksirane na neku vrijednost. Kad su prognoze gotove za određeni



prediktor, računa se vrijednost CRPS-a ovih novih prognoza. Vrijednost parametra  $w_i$  za koju je CRPS minimalan zabilježi se i nadalje koristi (npr.  $w_{Dir} = 0.8$ ), a u analizu se uključuje sljedeći prediktor (npr. T). U ovom primjeru se u sljedećem koraku producira 6 novih setova prognoza koristeći 3 prediktora (za ostale je  $w_i = 0.0$ ), gdje je  $w_{VMAX} = 1.0$ ,  $w_{Dir} = 0.8$ , dok se  $w_T$  vrijednost mijenja. Po kriteriju minimalnog CRPS-a izabire se optimalna vrijednost za  $w_T$ . Na kraju, umjesto  $6^6$  eksperimenata (varijacije težina za pojedine prediktore s ponavljanjem) izvršeno je samo 36 (tj.  $6 \times 6$ ) eksperimenata. Ovaj postupak se provodi, tj. CRPS se minimizira, za svaku postaju zasebno.

Vrijednosti težina svih postaja i prediktanata za koje je CRPS minimalan prikazane su na slici A2 u dodatku, dok su u potpoglavlju 4.2.5. prikazani histogrami vrijednosti parametra za svaki prediktand. Kod navedenog postupka podaci iz 2016. godine promatraju se kao razdoblje učenja, dok se CRPS minimizira za prognoze iz 2017. godine. Nakon nalaženja optimalnih vrijednosti sve se prognoze verificiraju na mjerenjima iz 2018. godine, dok se razdoblje učenja tada proteže kroz 2016. i 2017. godinu.

#### 4.2.4. Primjena korekcije za veliku brzinu vjetra

Treća verzija analogona AnEnK, uz traženje optimalnih težina, pokušava i korigirati prognoze velikih vrijednosti udara vjetra. Kod prognoze velikih vrijednosti često se događa da prognoza dobivena metodom analogona podcjenjuje vrijednost udara vjetra. Često većina pronađenih analogona ima manju vrijednost prognoze udara vjetra, čime naginju prema klimatološkim vrijednostima. Razlog leži u tome što je nemoguće uključiti velik broj stupnjeva slobode da se pronađe idealan analogon i zaista ga pronaći u nizu razumne duljine. Ovo se posebno odnosi na prognozu ekstremnih događaja jer ih je malo u razdoblju treninga po definiciji, a identičan događaj u razdoblju treninga najvjerojatnije ni ne postoji (Lorenz, 1969). Analogoni koji jesu pronađeni, zbog smanjenja stupnja slobode, nisu dovoljno slični našoj prognozi već samo najbližnji među dostupnim podacima. Statistički je izgledno očekivati da pritom djelomično naginju vrijednosti klimatološkog srednjaka. Kod teorijski beskonačno dugog niza prognoza i kod korištenja beskonačno mnogo stupnjeva slobode ovaj problem ne bi postojao. Kod nekih uobičajenih vrijednosti udara vjetra taj problem nije izražen jer je tada moguće pronaći vrlo slične analogone.

Verzija AnEnK taj problem pokušava riješiti tako da prognozi analogona dodaje član korekcije. Taj je član jednak umnošku koeficijenta korelacije između svih prognoza početnog modela ALADIN i mjerenja u razdoblju učenja, te razlici trenutne početne prognoze ALADIN i srednje vrijednosti prognoza koje su izabrane kao najbolji analogoni bez primjene korekcije (Alessandrini, Sperati, i Delle Monache, 2019). Korekcija je neovisna o lokaciji i prognostičkom satu, te se radi za sve vrijednosti prognoza koje premašuju određeni prag. U ovom diplomskom radu kao prag je izabran 95-ti percentil

vrijednosti prognoza numeričkog modela.

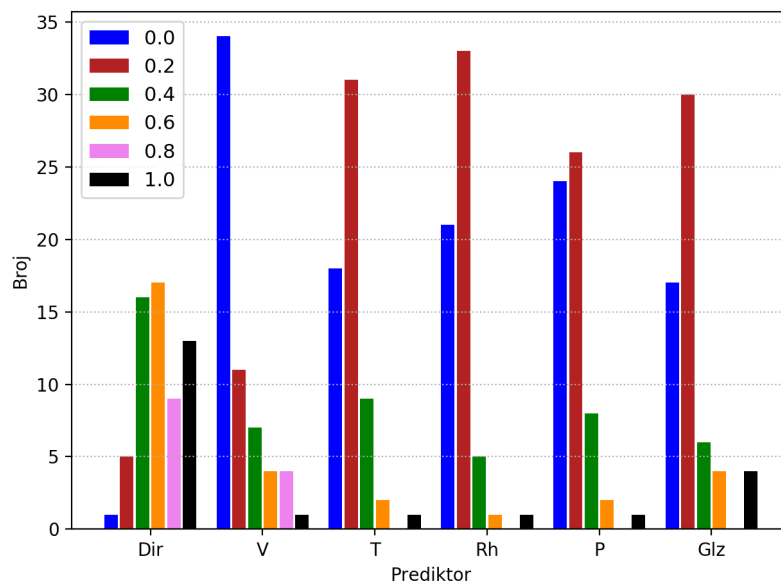
#### 4.2.5. Sažeti pregled navedenih postavki metode analogona i diskusija

Podaci kojima se raspolaže u ovome diplomskom radu su prognoze i mjerenja koji obuhvaćaju prostor Republike Hrvatske u vremenskom intervalu od 1. siječnja 2016. do 31. prosinca 2018. godine. Mjerenja dolaze sa 61 postaje diljem Republike Hrvatske, dok su prognoze generirane numeričkim modelom za prognozu vremena ALADIN. Metoda analogona omogućuje poboljšanje determinističke prognoze te čak i izradu probabilističke ili ansambl prognoze. To se radi na način da za prognozu koju izdajemo (u ovom slučaju ALADIN) pronađemo slične povijesne prognoze preko statističke mjere (jednadžba 4.1). Te slične prognoze nazivamo analogonima, a nova prognoza određuje se koristeći vrijednosti mjerenja u terminu pripadnih analogona. Nova deterministička prognoza definira se kao srednjak svih zabilježenih vrijednosti (prognoza AnEn). Ta se prognoza verificira na mjerenjima iz 2018. godine, dok se traženje analogona odvija na razdoblju učenja, tj. na prognozama iz 2016. i 2017. godine.

Uz AnEn verificirana su i dva dodatna eksperimenta temeljena na metodi analogona, prognoze AnEnT i AnEnK, koje imaju i dodatni međukorak. Naime, u svrhu traženja optimalnih vrijednosti parametra težina ( $w_i$ ) za pojedine prediktor varijable, potrebno je minimizirati mjeru uspješnosti. U ovome radu je za tu mjeru izabran CRPS. Tako verzije AnEnT i AnEnK koriste mjerenja i prognoze iz godine 2016. kao razdoblje učenja, dok se podaci iz godine 2017. koriste za izračun i minimizaciju CRPS-a. Naime, cilj je ovaj međukorak provesti na odvojenom nizu (2017), ne ugrožavajući nezavisnost konačnih rezultata (2018). Nakon pronalaska parametara  $w_i$  za koje je CRPS minimalan, prognoze se, kao i za AnEn, verificiraju na mjerenjima iz 2018. godine, dok se traženje analogona odvija među podacima iz razdoblja učenja, koji dolaze iz 2016. i 2017. godine. Razdoblje učenja i testno razdoblje tako je na kraju jednako za sve 3 verzije analogona.

Razlika između verzija AnEnT i AnEnK je u tome da verzija AnEnK nakon optimizacije parametara prognozi pridodaje i dodatni korekcijski član, koji se dodaje za sve vrijednosti početne prognoze koje premašuju određeni prag. Za taj je prag izabran 95-ti percentil vrijednosti prognoza udara vjetra u razdoblju učenja, podacima iz 2016. i 2017. godine.

Mjera koja određuje kvalitetu analogona ovisi o nekoliko parametara. Pažljivim izborom tih parametara teži se postizanju najbolje prognoze koju metoda analogona može postići. Uz to, valja imati na umu da je cilj metode analogona što više poboljšati prognozu uz što manje korištenje računalnih resursa. Metoda mora biti relativno brza i efikasna te se mora pažljivo odvagnuti potencijalno poboljšanje rezultata naspram većeg računalnog zahtjeva neke naprednije metode. Kao što je već napomenuto, kod svakog pretraživanja broj traženih analogona je 15 dok je poluširina prozora jednaka



Slika 4.3. Histogrami optimalnih vrijednosti parametara težina za sve korištene prediktore. Za optimizaciju težina pojedinih prediktora korištena je metoda minimizacije CRPS-a za podatke iz 2017. godine na 61 postaji u Republici Hrvatskoj.

1 h. Analogoni se pretražuju među prognozama za neko prošlo vrijeme, no za isti prognostički sat. Delle Monache i sur. (2011) pretraživali su analogone i u podacima za različite prognostičke sate, no uz pad kvalitete prognoze, ta je metoda i računalno zahtjevnija. U istom radu pokazano je da je optimalna vrijednost za poluširinu prozora jednaka jedan vremenski korak, dok je broj korištenih najboljih analogona jednak 10. Ovaj izbor poluširine prozora omogućava prikaz trenda različitih varijabli, no u isto vrijeme nije računalno vrlo zahtjevan. Razni autori (npr. Odak Plenković i sur., 2018) koristili su istu poluširinu prozora. U istom su radu Odak Plenković i sur. ispitali i utjecaj veličine ansambla na kvalitetu prognoze, s obzirom na to da su Delle Monache i sur. (2011) iznijeli tvrdnju da je taj broj vjerojatno ovisan o dužini dostupnih podataka i broju korištenih prediktor varijabli, te se ne može generalizirati na sve slučajeve. Odak Plenković i sur. (2018) su pokazali da je na njihovom setu podataka optimalan broj izdvojenih analogona jednak 15, te da se za veće vrijednosti događa porast pogreške. U ovom diplomskom radu koristi se vremenski niz podataka jednake duljine od 3 godine (no drugo vremensko razdoblje), te obuhvaća isto područje Republike Hrvatske. Iz tog je razloga prihvaćen i broj 15 kao optimalan broj traženih analogona. Junk i sur. (2015) pokazali su da je izbor prediktora važan parametar, te da može varirati za različite postaje i godišnje doba. U ovome diplomskom radu broj korištenih prediktora kod svih verzija analogona iznosi 7, a meteorološke varijable koje se koriste kao prediktori su: udar vjetra (oznaka VMAX), smjer udara vjetra (Dir), srednja brzina vjetra (V), temperatura (T), relativna vlažnost (Rh), tlak (P) i globalno zračenje (Glz). Junk i sur. u istome su radu (2015) za optimizaciju težina pojedinih prediktora

koristili metodu minimizacije CRPS-a ispitujući sve raspoložive kombinacije prediktor varijabli i težina. Sličan postupak minimizacije CRPS-a je u ovom radu korišten za izradu prognoza AnEnT i AnEnK. No, za razliku od Junk i sur. (2015) zbog računalne zahtjevnosti, u ovom je diplomskom radu za minimizaciju korišten algoritam selekcije unaprijed koji na prvom mjestu fiksira težinu za prediktor VMAXm na vrijednost 1.0. Prediktori su pritom dodavani sljedećim redoslijedom: Dir, V, T, Rh, P, Glz. Histogrami optimalnih vrijednosti parametara težina za sve korištene varijable kod kojih se izvršavala optimizacija prikazani su na slici 4.3. Težina prediktora koja poprima visoke vrijednosti je za varijablu smjer udara vjetra (Dir), dok težine ostalih varijabli često poprimaju vrlo malene vrijednosti. Ipak, za svaku varijablu vidljivo je da postoji barem jedna postaja kod koje je određena maksimalna težina iznosa 1.

Konačno, korekciju za velike brzine udara vjetra predložili su Alessandrini, Sperati, i Delle Monache (2019) te pokazali da je takva metoda u mogućnosti dodatno poboljšati prognozu. U ovom diplomskom radu verzija s korekcijom brzine označena je sa AnEnK.

## 5. Rezultati i diskusija

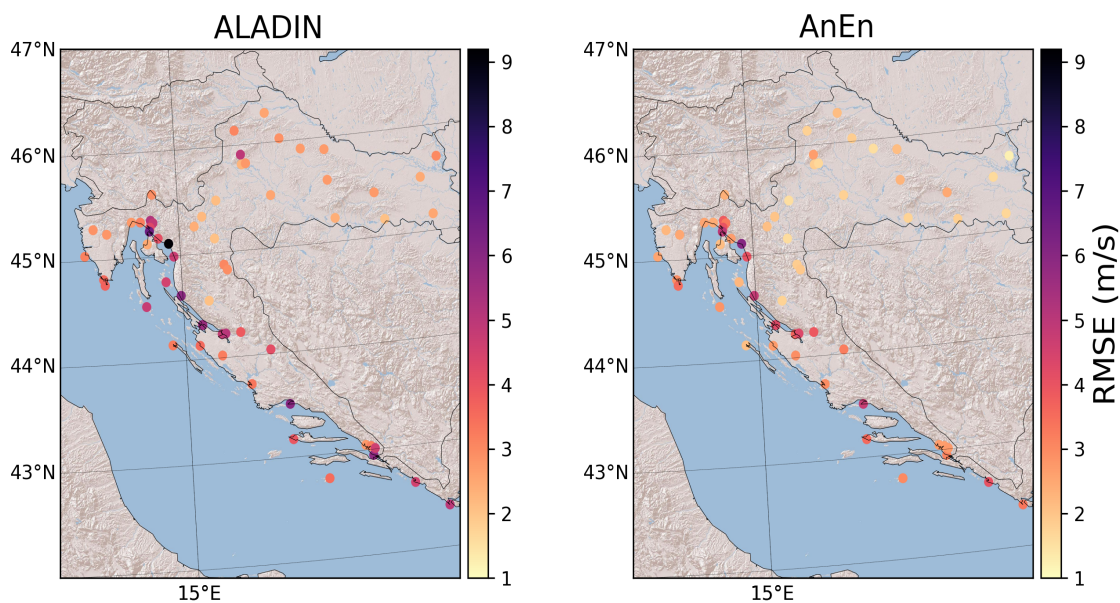
U ovome su diplomskom radu rezultati raspoređeni u dva potpoglavlja, zavisno o tome promatra li se vjetar kao kontinuirana varijabla, kao u potpoglavlju 5.1., ili kao kategorička varijabla, kao u potpoglavlju 5.2. Dodatna diskusija rezultata nalazi se u potpoglavlju 5.3.

Ovom će se analizom pokušati pronaći razlike između prognoze ALADIN i prognoza dobivenih metodom analogona. Uz analizu dnevnih i godišnjih hodova različitih mjera, razlike će se pokušati pronaći i određivanjem uspješnosti prognoza za ekstremne događaje, tj. za događaje kod kojih brzina udara vjetra poprima neuobičajeno visoke vrijednosti.

### 5.1. Verifikacija vjetra kao kontinuirane varijable

Na slici 5.1 prikazana je razdioba pogreške RMSE na karti koja prikazuje širi prostor Republike Hrvatske. Prikazane su vrijednosti pogrešaka prognoza ALADIN i AnEn za sve postaje. Na lijevom se dijelu slike, koja prikazuje razdiobu pogreške prognoze ALADIN, može primijetiti kako se vrijednost pogrešaka RMSE povećava od unutrašnjosti zemlje prema obalnom području. Vrijednosti pogrešaka koje pripadaju postajama koje se nalaze u unutrašnjosti Republike Hrvatske, i koje su većinom pridiyeljene kontinentalnoj grupi postaja, pretežno poprimaju male vrijednosti. Istovremeno, vrijednosti pogrešaka koje pripadaju postajama koje se nalaze u obalnom dijelu Republike Hrvatske, i koje su većinom pridiyeljene obalnoj grupi postaja, pretežno poprimaju velike vrijednosti. Pritom je uočljivo kako je i raznolikost vrijednosti samih pogrešaka manja u kontinentalnom dijelu Republike Hrvatske. Na desnom se dijelu slike 5.1 prikazana razdioba pogreške prognoze AnEn, te je odmah uočljivo kako su vrijednosti pogrešaka kod većina postaja manje u odnosu na prognozu ALADIN.

Iako ovakav prikaz daje detaljan uvid u razdiobu pogreške nad prostorom cijele Republike Hrvatske, zbog velikog broja postaja, i relativno velike sličnosti između nekih od njih, daljnja se analiza izvršava nad podacima podijeljenima u nekoliko grupa. Sam način podjele podataka detaljno je opisan u potpoglavlju 3.2. Ovakav način analize podataka omogućava kvalitetnu i preglednu verifikaciju prognoze za različite prognostičke sate, te različite mjesece u godini. U potpoglavlju 5.1.1. verificirana je prognoza u ovisnosti o prognostičkom satu, u potpoglavlju 5.1.2. verificirana je prognoza u ovisnosti o mjesecu u godini, a u potpoglavlju 5.1.3. analizirana je dekompozicija same pogreške RMSE nad ukupnim podacima svake od grupa postaja.

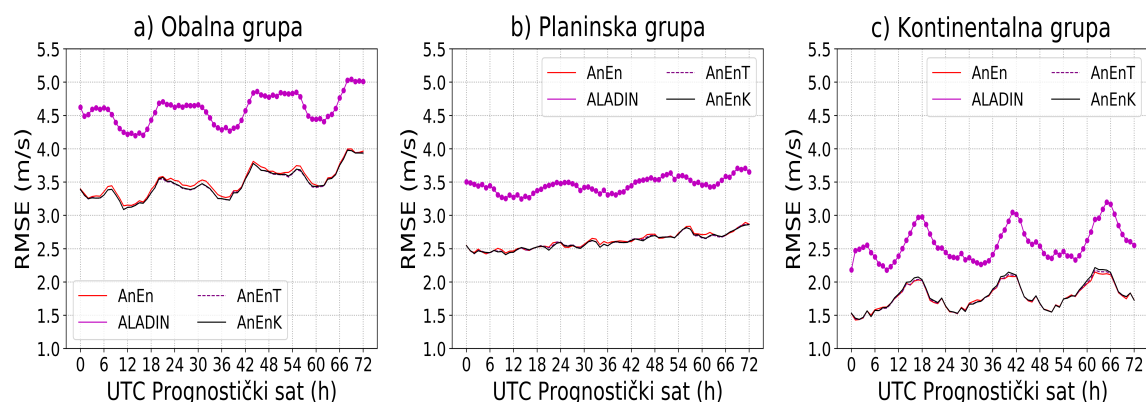


Slika 5.1. Razdioba pogreške RMSE prognoza ALADIN i AnEn na karti Republike Hrvatske u 2018. godini.

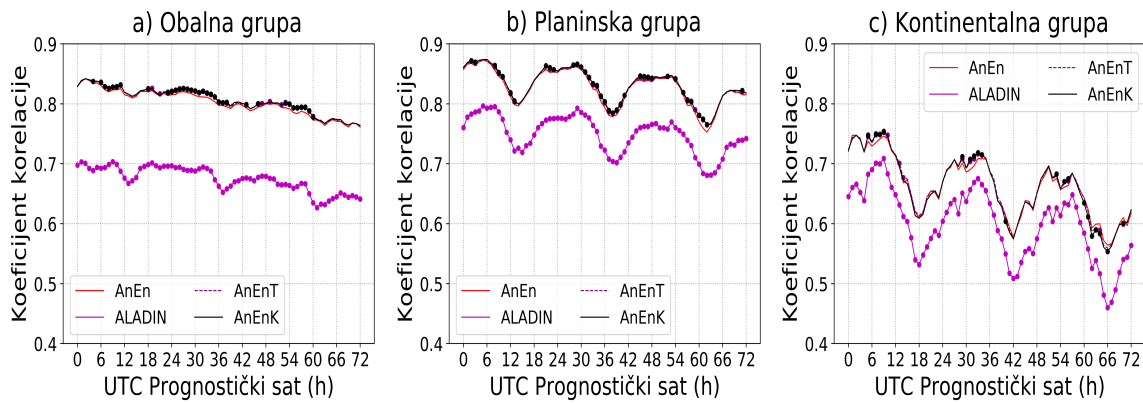
### 5.1.1. Ovisnost o nastupnom vremenu

#### Obalna grupa postaja

Na slici 5.2a prikazana je ovisnost pogreške RMSE o UTC prognostičkom satu svih prognoza za obalnu grupu postaja. Pogreška RMSE prognoze ALADIN ima izražen dnevni hod, koji manje vrijednosti poprima danju nego kroz noć. Uz dnevni hod, prisutan je i linearni trend rasta, što je i očekivano svojstvo koje odražava činjenicu da je prognoza manje precizna za svaki naredni dan. Dominantni izvor pogreške je disperzijska pogreška. Ona je obrnuto proporcionalna s koeficijentom korelacije, koji je za obalnu grupu postaja prikazan na slici 5.3a.

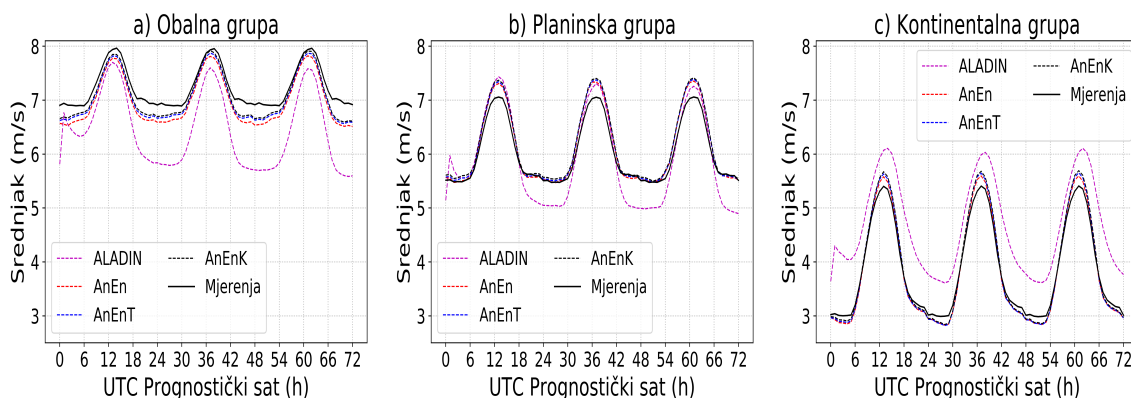


Slika 5.2. Ovisnost pogreške RMSE o prognostičkom satu (UTC) svih prognoza za obalnu (a), planinsku (b) i kontinentalnu (c) grupu postaja u 2018. godini. Kružnim markerima označene su vrijednosti koje se značajno razlikuju od prognoze AnEn.

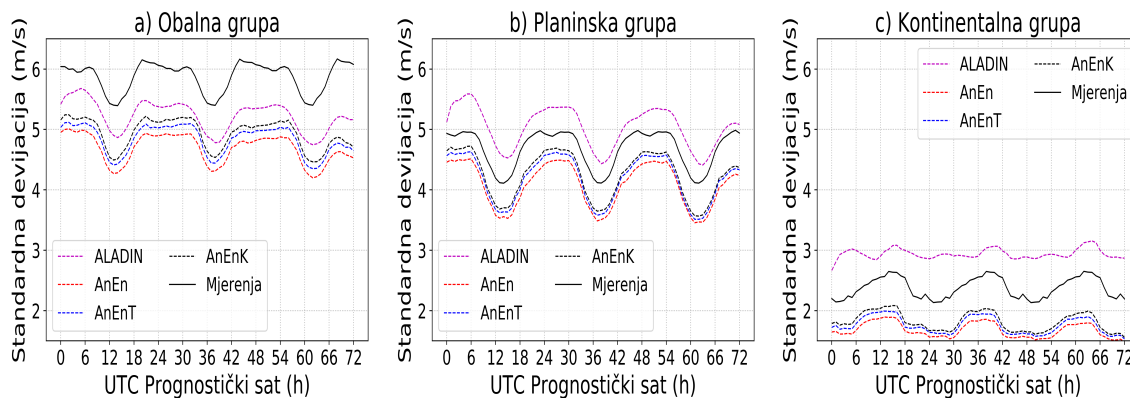


Slika 5.3. Ovisnost koeficijenta korelacije o prognoštikom satu (UTC) svih prognoza za obalnu (a), planinsku (b) i kontinentalnu (c) grupu postaja u 2018. godini. Kružnim markerima označene su vrijednosti koje se značajno razlikuju od prognoze AnEn.

Dnevni hod koeficijenta korelacije prognoze ALADIN kod obalne grupe postaja je primjetan, te minimum poprima oko 13 UTC. Uz dnevni hod, prisutan je i trend linearnog pada. Srednjaci i standardne devijacije brzina udara vjetra svih modela i mjerenja, tj. veličine koje određuju sustavne pogreške, u ovisnostima o UTC prognoštikom satu za obalnu grupu postaja prikazani su na slikama 5.4a i 5.5a. Na slici 5.4a jasno je vidljivo da je pristranost srednjaka prognoze ALADIN, definirana kao razlika između modelirane i izmjerene vrijednosti srednjaka brzina udara vjetra, negativna za svaki prognoštiki sat. Na istoj se slici može primijetiti da prognoza ALADIN modelira povećanu amplitudu dnevnog hoda srednjaka brzine udara vjetra u odnosu na mjerenja. Pritom se minimalan iznos pristranosti, tj. najmanje podcjenjivanje izmjerenih vrijednosti, pojavljuje oko UTC podneva. Uz dnevni hod, prisutan je i slabi trend linearnog pada, što znači da prognoza ALADIN s vremenom sve više podcjenjuje srednjak. Promatrajući prikaz standardnih devijacija, prikazanih na slici 5.5a, vidljivo



Slika 5.4. Ovisnost srednjaka brzine udara vjetra o prognoštikom satu (UTC) svih prognoza i mjerenja za obalnu (a), planinsku (b) i kontinentalnu (c) grupu postaja u 2018. godini.



Slika 5.5. Ovisnost standardne devijacije brzine udara vjetra o prognoštičkom satu (UTC) svih prognoza i mjerenja za obalnu (a), planinsku (b) i kontinentalnu (c) grupu postaja u 2018. godini.

je da prognoza ALADIN za svaki prognoštički sat također podcjenjuje i varijabilnost brzine udara. Uz dnevni hod pristranosti standardne devijacije vidljiv je i trend linearnog pada vrijednosti (veće podcjenjivanje).

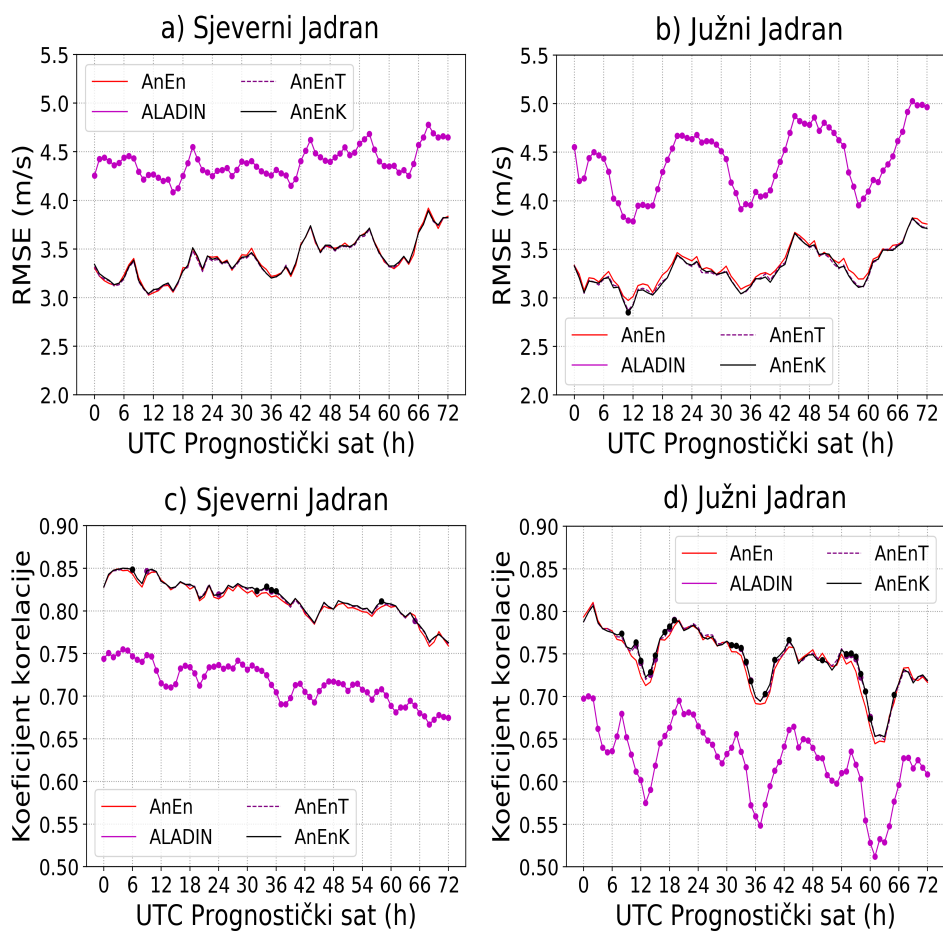
Usporedbom prognoze ALADIN s prognozama dobivenih metodom analogona vidi se da sve prognoze poboljšavaju rezultate prognoze ALADIN. Iznos mjere RMSE svih prognoza dobivenih metodom analogona signifikantno je manji u odnosu na RMSE prognoze ALADIN. Dodatno, kod njih je, uz dnevni hod i trend linearnog rasta, prisutan i sekundarni dnevni minimum koji se javlja oko 03 UTC. Prognoze dobivene metodom analogona poprimaju i veće vrijednosti koeficijenta korelacije. Kod njih nije izražen dnevni hod kao kod prognoze ALADIN, pa bi se moglo zaključiti da te prognoze bolje opisuju procese koji se pojavljuju oko 13 UTC. Te prognoze, kao i prognoza ALADIN, posjeduju dnevni hod pristranosti srednjaka, no on je znatno manjeg intenziteta. Pritom su vrijednosti pristranosti srednjaka prognoza dobivenih metodom analogona negativne. Na slici 5.5a vidi se da prognoze dobivene metodom analogona više podcjenjuju standardnu devijaciju nego prognoza ALADIN, a primjetan je i dnevni hod same pristranosti te varijable.

Razlike između pojedinih prognoza dobivenih metodom analogona često su nesigifikantne, no postoje indikacije da optimizacija težina i korekcija za velike brzine udara, tj. dodatni koraci kod izrade prognoza AnEnT i AnEnK u odnosu na AnEn, vode na bolje rezultate. Prognoze AnEnT i AnEnK, u usporedbi sa AnEn, poprimaju manje iznose sustavnih pogrešaka te su više korelirane sa samim mjerenjima.

### Usporedba sjevernog i južnog Jadrana

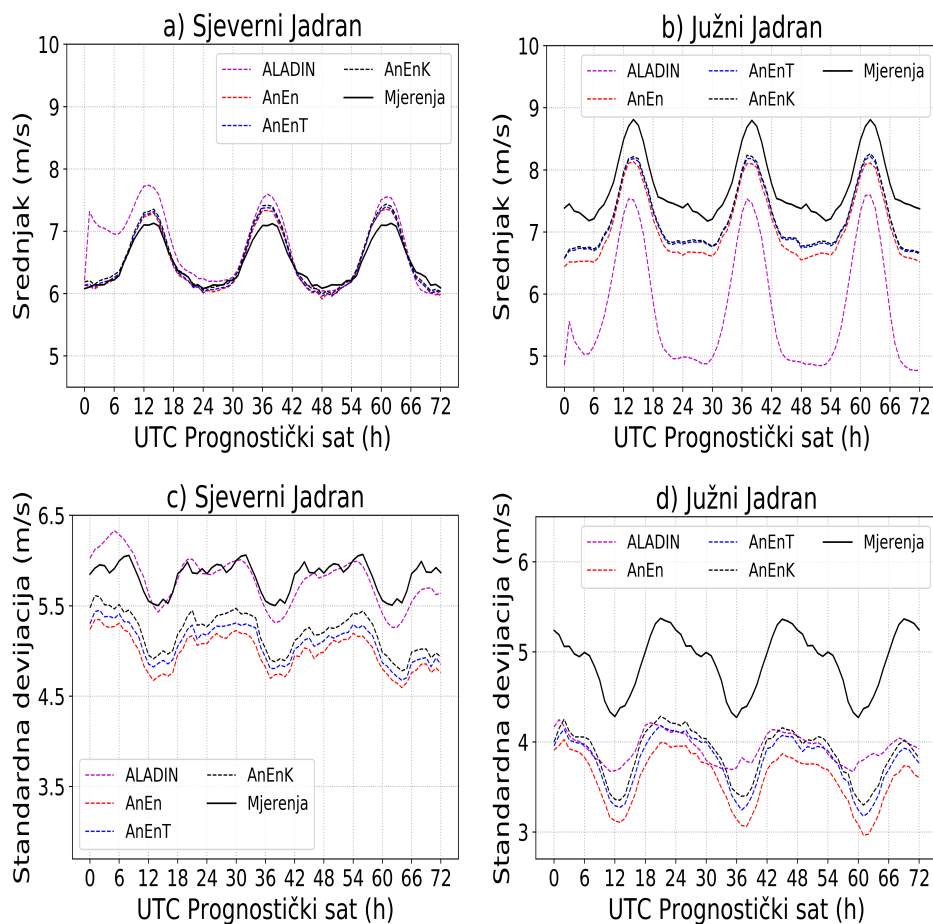
Na slikama 5.6a i 5.6b prikazane su pogreške RMSE svih prognoza za postaje sjevernog i južnog Jadrana. Vidljivo je da je dnevni hod pogreške RMSE prognoze ALADIN izraženiji za postaje južnog Jadrana, iako je i kod postaja sjevernog Jadrana on uočljiv. Kod prikaza koeficijenata korelacije, prikazanih na slikama 5.6c i 5.6d, također se može





Slika 5.6. Ovisnost pogreške RMSE i koeficijenta korelacije o prognostičkom satu (UTC) svih prognoza za postaje sjevernog (a i c) te južnog (b i d) Jadrana u 2018. godini. Kružnim markerima označene su vrijednosti koje se značajno razlikuju od prognoze AnEn.

primijetiti da koeficijent korelacije prognoze ALADIN postaja južnog Jadrana posjeduje izraženiji dnevni hod u odnosu na postaje sjevernog Jadrana. Kod svih se postaja dnevni minimum pojavljuje oko 13 UTC, a veći iznos samih vrijednosti korelacije prognoze ALADIN poprimaju postaje sjevernog Jadrana. Kod prikaza srednjaka prognoze ALADIN, prikazanog na slikama 5.7a i 5.7b, vidi se da prognoza ALADIN poprma znatno manje iznose pristranosti srednjaka za postaje sjevernog Jadrana. Nakon prvih 20 sati prognoza ALADIN kod postaja sjevernog Jadrana poprma male iznose pristranosti, a većina je vrijednosti pozitivna. Uz to, prognoza ALADIN posjeduje slabo izraženi dnevni hod pristranosti srednjaka, te prognozira malo povećanu amplitudu dnevnog hoda srednjaka brzine udara vjetra. Istovremeno, kod postaja južnog Jadrana iznos pristranosti srednjaka poprma veće vrijednosti koje su negativne za svaki prognostički sat. Prognoza ALADIN kod ovih postaja posjeduje izraženiji dnevni hod pristranosti srednjaka, te vidljivo povećava amplitudu dnevnog hoda izmjerene srednje brzine udara vjetra. Slični se zaključci mogu vidjeti i na slikama 5.7c i 5.7d,



Slika 5.7. Ovisnost srednjaka i standardne devijacije brzine udara vjetera o prognostičkom satu (UTC) svih prognoza i mjerenja za postaje sjevernog (a i c) te južnog (b i d) Jadrana u 2018. godini.

gdje su prikazane ovisnosti standardnih devijacija o UTC prognostičkom satu. Prognoza ALADIN kod postaja sjevernog Jadrana pokazuje izrazitu sposobnost prognoze varijabilnosti za sve prognostičke sate, dok se kod postaja južnog Jadrana, uz veliko podcjenjivanje same varijabilnosti, može primijetiti i izraženi dnevni hod pristranosti standardne devijacije. Linearan trend pada varijabilnosti više je uočljiv kod postaja sjevernog Jadrana.

Sve prognoze dobivene metodom analogona značajno smanjuju RMSE i povećavaju koeficijent korelacije za sve prognostičke sate. Pritom su vremenske ovisnosti tih prognoza sličnog oblika kao i pripadne ovisnosti prognoze ALADIN. Kod postaja sjevernog Jadrana (slika 5.7a) vidi se da je, nakon približno 20. sata, razlika između srednjaka prognoza dobivenih metodom analogona i prognoze ALADIN izrazito mala. Kod postaja južnog Jadrana sve prognoze dobivene metodom analogona značajno smanjuju iznos pristranosti srednjaka u odnosu na prognozu ALADIN. Iako je njihova pristranost većeg iznosa nego iznos pristranosti srednjaka tih modela kod postaja sjevernog Jadrana, sama pristranost srednjaka je približno istog iznosa za svaki prognostički sat,

tj. prognoze dobivene metodom analogona kod postaja južnog Jadrana pravilno prognoziraju amplitudu dnevnog hoda srednjaka brzine udara vjetra. Prognoze dobivene metodom analogona poprimaju negativne vrijednosti pristranosti standardne devijacije kod postaja sjevernog i južnog Jadrana, a iznosi same pristranosti manji su kod postaja sjevernog Jadrana. No, kod postaja sjevernog Jadrana i sama prognoza ALADIN poprima male iznose pristranosti te pokazuje bolju prognozu varijabilnosti nego prognoze dobivene metodom analogona. Kod postaja južnog Jadrana prognoza ALADIN u nekim prognostičkim satima pokazuje i veće podcjenjivanje varijabilnosti od prognoza dobivenih metodom analogona, a pokazuje i znatno lošiju prognozu dnevnog hoda pristranosti standardne devijacije.

Između samih prognoza dobivenih metodom analogona kao najlošija prognoza mogla bi se izdvojiti prognoza AnEn, osobito kod postaja južnog Jadrana. Ta prognoza poprima najmanje vrijednosti koeficijenta korelacije te najviše podcjenjuje varijabilnost kod svih postaja. Iako kod postaja sjevernog Jadrana ova prognoza pokazuje najmanje iznose pristranosti srednjaka, kod postaja južnog Jadrana ona istovremeno poprima najveće iznose pristranosti srednjaka. Prognoza AnEnK najmanje podcjenjuje varijabilnost brzine udara vjetra, dok su kod usporedbe pristranosti srednjaka i koeficijenta korelacije, razlike između nje i prognoze AnEnT vrlo malene.

### **Planinska grupa postaja**

Dnevni hod pogreške RMSE prognoze ALADIN (slika 5.2b) u ovoj je grupi postaja manje izražen nego u obalnoj grupi, a i same vrijednosti pogreške RMSE koje poprima su manje. Dnevni hod koeficijenta korelacije (slika 5.3b) je jače izražen nego u obalnoj grupi postaja, te poprima i veće vrijednosti s minimumom u popodnevnim satima. Na slici 5.4b vidi se da prognoza ALADIN poprima manje apsolutne vrijednosti pristranosti srednjaka nego kod obalne grupe postaja. Danju prognoza ALADIN precjenjuje srednjak, dok ga u noćnim satima podcjenjuje, te je uočljivo, kao i kod obalne grupe postaja, da prognoza ALADIN precjenjuje amplitudu dnevnog hoda srednjaka brzine udara vjetra. Pri tome je precjenjivanje vrijednosti srednjaka u dnevnim satima manjeg iznosa nego podcjenjivanje srednjaka u noćnim satima. Na slici 5.5b vidi se da prognoza ALADIN ima pozitivnu pristranost standardne devijacije za svaki UTC prognostički sat. No, također je važno uočiti da prognoza ALADIN za velike vrijednosti UTC prognostičkog sata pokazuje malu pristranost standardne devijacije. Razlog tome je da model varijabilnost na početku precjenjuje, zatim s porastom prognostičkog sata dolazi do sustavnog smanjenja modelirane varijabilnosti, te na kraju model ima malu pripadnu pristranost. Drugim riječima, smanjenje modelirane varijabilnosti u ovome slučaju ima učinak poboljšanja prognoze.

Na slici 5.2b vidi se da sve prognoze dobivene metodom analogona smanjuju RMSE u odnosu na prognozu ALADIN te ne pokazuju postojanje dnevnog hoda pogreške. Vri-

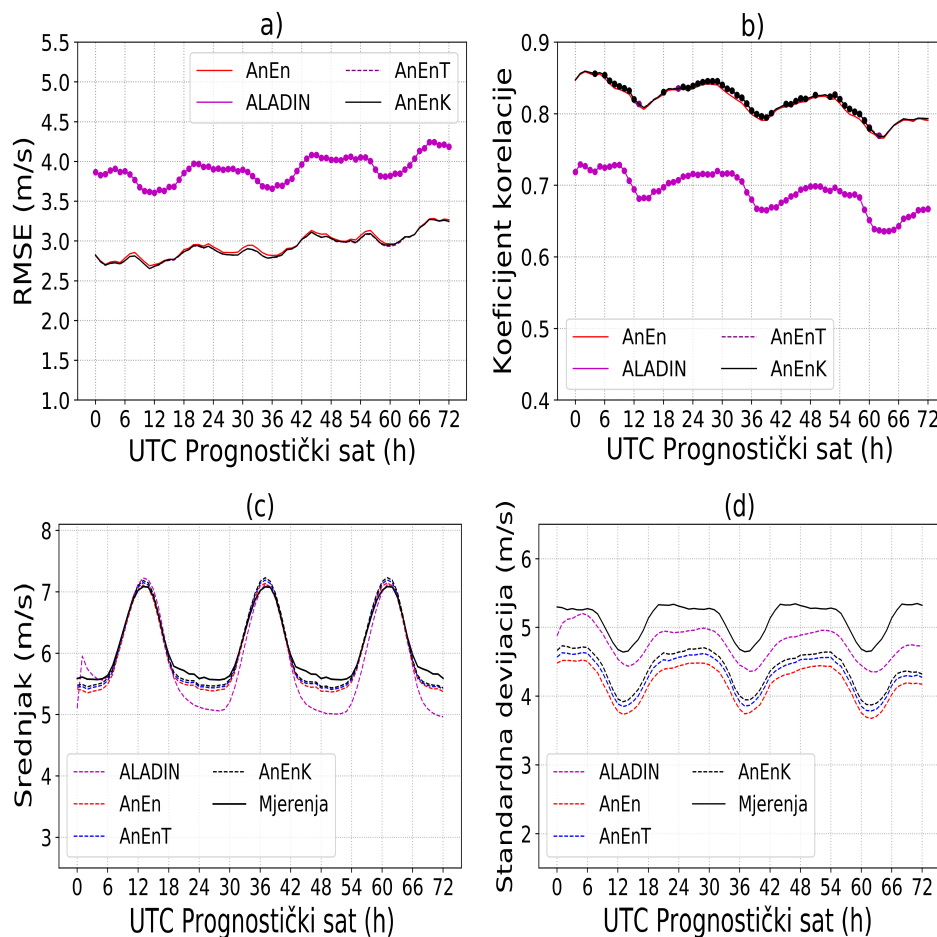
jednosti koeficijenta korelacije prognoza dobivenih metodom analogona ove grupe veće su u usporedbi s obalnom grupom postaja. U planinskoj grupi postaja oblik njegovog dnevnog hoda poprilično je sličan obliku dnevnog hoda koeficijenta korelacije prognoze ALADIN, i to s kontinuirano većim vrijednostima. Prognoze dobivene metodom analogona za svaki prognostički sat precjenjuju srednjak brzine udara vjetra, no te su vrijednosti relativno malene. Pritom se veće vrijednosti same pristranosti javljaju u dnevnim satima, tj. u dijelu dana kada i sama prognoza ALADIN precjenjuje srednjak. Za vrijeme noćnih sati, tj. kada prognoza ALADIN značajnije podcjenjuje srednjak, prognoze dobivene metodom analogona imaju minimalnu pristranost, pa se može zaključiti da je poboljšanje tih prognoza u odnosu na prognozu ALADIN uočljivije u noćnim satima. Pristranost standardne devijacije prognoza dobivenih metodom analogona iznosom je manja nego kod obalne grupe postaja, no za sve je prognostičke sate negativna.

Najmanje vrijednosti koeficijenta korelacije, često i signifikantno, između svih prognoza dobivenih metodom analogona poprima prognoza AnEn. Najmanji iznos pristranosti srednjaka pokazuje prognoza AnEn, dok najmanji iznos pristranosti standardne devijacije pokazuje prognoza AnEnK.

### **Kontinentalna grupa postaja**

Pogreška RMSE prognoze ALADIN, prikazana na slici 5.2c, kod kontinentalne grupe postaja je najmanja između svih grupa, te pokazuje uzak dnevni maksimum oko 18 UTC. Dnevni hod koeficijenta korelacije (slika 5.3.c) je vrlo izražen, te općenito poprima najmanje vrijednosti u usporedbi s ostalim grupama. Sustavne pogreške prognoze ALADIN (slike 5.4c i 5.5c) su za svaki prognostički sat veće od nule, te poprimaju i najveće iznose od svih grupa postaja. Dakle, prognoza ALADIN u prosjeku precjenjuje i iznos i varijabilnost udara vjetra. Uzak dnevni maksimum pogreške RMSE mogao bi se pripisati pristranosti srednjaka. Naime, pristranost srednjaka također pokazuje takav dnevni maksimum. Na slici 5.5c može se primijetiti da prognoza ALADIN ne pokazuje izražen dnevni hod standardne devijacije. Model prognozira približno istu varijabilnost za sve prognostičke sate, a to za posljedicu ima njegov izražen dnevni hod pristranosti standardne devijacije.

Pogreška RMSE i koeficijent korelacije prognoza dobivenih metodom analogona imaju ista svojstva kao i kod prognoze ALADIN, no rezultati svih prognoza pokazuju poboljšanje u odnosu na prognozu ALADIN. Iako prognoze dobivene metodom analogona precjenjuju maksimum dnevnog hoda srednjaka brzine udara u danu i podcjenjuju minimum dnevnog hoda srednjaka brzine udara noću, iznosi tih pristranosti su značajno manji nego pripadne vrijednosti prognoze ALADIN. Dnevni hod pristranosti standardne devijacije prognoza dobivenih metodom analogona je uočljiv, a može se primijetiti i slabi trend linearnog pada modelirane varijabilnosti.



Slika 5.8. Ovisnost pogreške RMSE (a), koeficijenta korelacije (b), srednjaka (c) i standardne devijacije prognoza i mjerenja svih postaja u ovisnosti o prognostičkom satu (UTC) u 2018. godini. Kružnim markerima na prikazu a) i b) označene su vrijednosti koje se značajno razlikuju od prognoze AnEn.

Kontinentalna grupa postaja je ujedno i jedina u kojoj prognoza AnEn poprima najmanje vrijednosti pogreške RMSE. Iako razlike često nisu značajne, postoje indikacije da u ovoj grupi postaja prognoze AnEnT i AnEnK daju nešto lošiji rezultat od jednostavnije prognoze AnEn.

### Rezultati za sve postaje

Razmatranjem usrednjenih rezultata može se primijetiti da sve razmatrane prognoze u prosjeku pokazuju linearni trend rasta pogreške RMSE (slika 5.8a) i linearni trend pada koeficijenta korelacije (slika 5.8b) s UTC prognostičkim satom. Takav trend odražava činjenicu da kvaliteta prognoze opada sa svakim narednim danom za koji se udar vjetra prognozira, što predstavlja očekivan rezultat.

Kao i kod prikaza pogreške RMSE po pojedinim grupama, i iz ukupnog rezultata se vidi da prognoza ALADIN za svaki UTC prognostički sat poprima značajno najveće vrijednosti, dok su razlike između prognoza dobivenih metodom analogona neznatne za sve prognostičke sate. Međutim, kao što je već prethodno pokazano, to

ne znači da razlike među ovim prognozama ne postoje. Primjerice, prognoza AnEn kod kontinentalne grupe postaja u nekim prognostičkim intervalima poprima najmanje vrijednosti pogreške RMSE, dok kod obalne grupe postaja ista prognoza poprima više vrijednosti u odnosu na prognoze AnEnT i AnEnK za skoro sve prognostičke sate. Iako su kod planinske grupe postaja razlike između pojedinih prognoza dobivenih metodom analogona još i manje nego za druge dvije grupe, najveću pogrešku pokazuje prognoza AnEn.

Slično kao i kod pogreške RMSE, ukupna slika koeficijenta korelacije odražava rezultat po pojedinim grupama. Prognoza modela ALADIN također posjeduje dnevni hod koeficijenta korelacije, za koji je prethodno pokazano da je izražen u planinskom i kontinentalnom dijelu Hrvatske više nego na obali. Ovaj dnevni hod se odražava i kod prognoza dobivenih metodom analogona za planinsku i kontinentalnu grupu postaja. No, treba imati na umu da rezultati za sve postaje ne mogu pokazati sve specifičnosti, poput povećanja iznosa koeficijenta korelacije metodom analogona kod obalne grupe postaja oko 13 UTC, posebno za sjeverni Jadran. Dodatno, kod obalne i planinske grupe postaja prognoze AnEnT i AnEnK često pokazuju i signifikantno veću korelaciju u odnosu na prognozu AnEn. Kod kontinentalne grupe postaja te razlike su manje te u nekim intervalima čak i prognoza AnEn pokazuje najveće vrijednosti koeficijenta korelacije.

Usporedbom ukupnih sustavnih pogrešaka, prikazanih na slikama 5.8c i 5.8d, te sustavnih pogrešaka za svaku pojedinu grupu postaja, prikazanih na slikama 5.4 i 5.5, vidi se da prognoza ALADIN poprima manje pogreške kad se promatra pristranost za sve postaje ukupno, nego li je to slučaj kad se razmatra za pojedinu grupu postaja. Usrednjavanjem rezultata svih postaja dobiva se prividna uspješnost prognoze ALADIN, dok se tek analizom po grupama postaja može vidjeti da kvaliteta prognoze ALADIN izrazito ovisi o grupi postaja za koju je prognoza izdavana. Naime, pristranost srednjaka prognoze ALADIN u obalnoj grupi poprima velike negativne vrijednosti, tj. prognoza ALADIN podcjenjuje srednjak brzine udara vjetra, koji je u toj grupi postaja velik. Može se primijetiti i da veći doprinos u tome podcjenjivanju imaju postaje južnog Jadrana. Istovremeno, prognoza ALADIN u kontinentalnoj grupi precjenjuje izmjerenu vrijednost srednjaka udara vjetra, koja je od svih grupa postaja najmanja, te približno dobro prognozira srednjak brzine udara vjetra u planinskoj grupi postaja. Sveukupno, može se zaključiti da se prognoza ALADIN ne razlikuje koliko i mjerenja u ovisnosti o vrsti terena, što dovodi do podcjenjivanja velikih i precjenjivanja manjih vrijednosti srednjaka. Rezultat sugerira da kod modela ALADIN postoji prostor za poboljšanje u smislu bolje lokalne prilagodbe terenu, što se može postići mijenjanjem postavki modela ili primjenom metoda naknadne obrade. Prognoze dobivene metodom analogona ne pokazuju prethodno navedeno svojstvo - njihova pristranost, iako posjeduje slabi dnevni hod, približno je jednaka kod svih grupa postaja. Za razliku

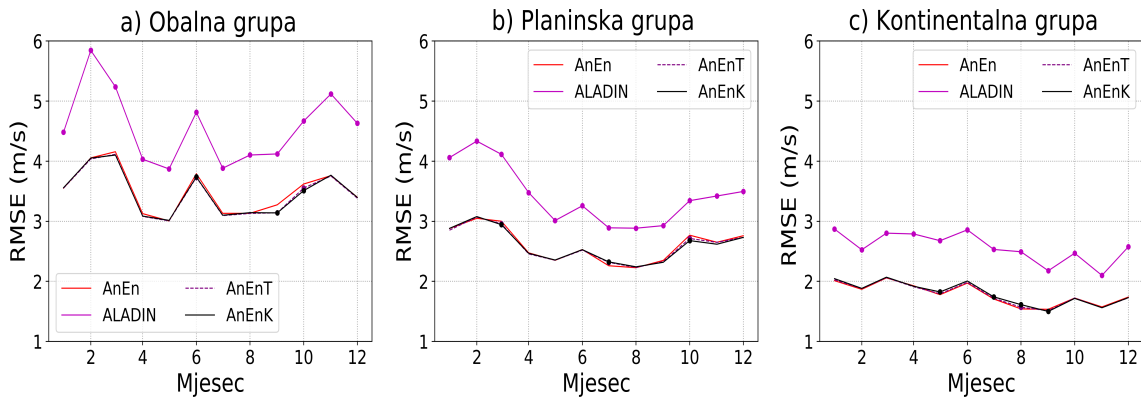
od modela ALADIN, usrednjavanjem, i promatranjem usrednjenih vrijednosti na slici 5.8c, može se zato dobiti ispravan uvid u činjenicu da te prognoze ne posjeduju izrazitu pristranost srednjaka. Iz konzistentnosti rezultata može se zaključiti da se prognoze dobivene metodom analogona, u usporedbi s prognozom ALADIN, bolje prilagođavaju različitim vrstama geografskih područja. Konačno, prognoze dobivene metodom analogona se međusobno neznatno razlikuju, što u prosjeku gotovo da nije ni vidljivo. No, već je pokazano da kod obalne grupe postaja najbolji rezultat pokazuje prognoza AnEnK, dok kod planinske grupe postaja najbolji rezultat pokazuje prognoza AnEn. Najbolji rezultat kod kontinentalne grupe postaja ovisi o tome koji se dio dana promatra, te tako prognoza AnEn poprima najmanji iznos pristranosti za vrijeme dana, dok prognoza AnEnK poprima najmanji iznos pristranosti za vrijeme noćnih sati.

Slična se pojava, neadekvatna varijabilnost za različite vrste geografskih područja koja u prosjeku nije lako uočljiva, može primijetiti i kod pristranosti standardne devijacije. Naime, prognoza ALADIN podcjenjuje varijabilnost vjetra obalne grupe postaja, te precjenjuje varijabilnost vjetra kod preostale dvije grupe postaja. Konačnim usrednjavanjem, prikazanim na slici 5.8d, sama je pristranost relativno malena te se promatranjem samo usrednjenih vrijednosti može doći do pogrešnog zaključka. I kod pristranosti standardne devijacije vidljivo je da postaje južnog Jadrana više doprinose podcjenjivanju same varijabilnosti. Iako prognoze dobivene metodom analogona poprimaju veće iznose pristranosti od prognoze ALADIN, one pokazuju veću sposobnost da prognozu prilagode specifičnoj grupi postaja. Podcjenjivanje varijabilnosti bi se više moglo pripisati intrinzičnom svojstvu metode analogona da smanjuje varijabilnost, nego njenoj mogućnosti da razlučuje teren za koji je prognoza rađena. Izmjenom pojedinih parametara (npr. izborom da se pretražuje manji broj sličnih prognoza) ovaj bi se problem potencijalno mogao smanjiti, no tada postoji rizik od pada sveukupne kvalitete same prognoze. Najveće podcjenjivanje standardne devijacije kod svih grupa postaja pokazuje prognoza AnEn. Optimizacija težina, u smislu prognoze AnEnT, pokazuje bolji rezultat, dok iznosom najmanje podcjenjivanje standardne devijacije od svih metoda dobivenih prognozom analogona pokazuje prognoza AnEnK.

### 5.1.2. Ovisnost o mjesecima

#### Obalna grupa postaja

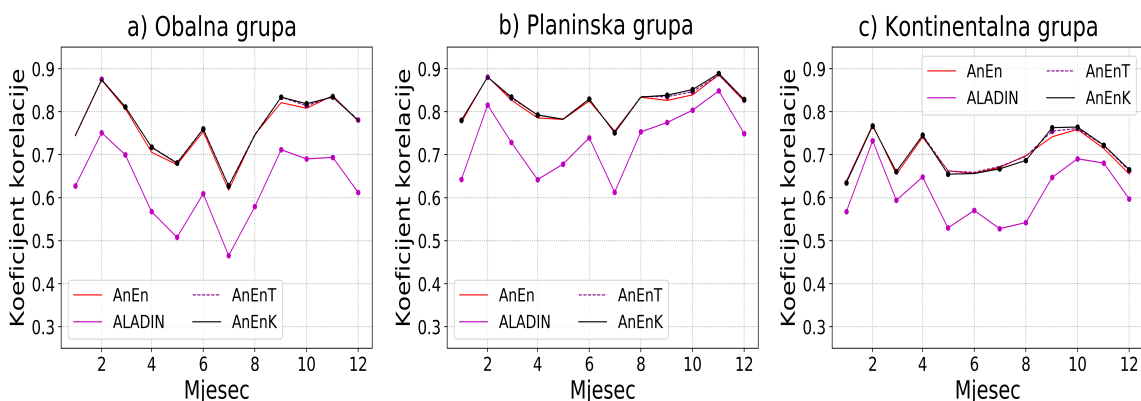
Na slici 5.9a prikazan je godišnji hod pogreške RMSE svih prognoza za obalnu grupu postaja. Pogreška RMSE prognoze ALADIN poprima veće vrijednosti u hladnijem dijelu godine, uz sekundarni maksimum u lipnju. Koeficijent korelacije prognoze ALADIN, prikazan na slici 5.10a, veće vrijednosti također poprima u hladnijem dijelu godine i lipnju. Na slikama 5.11a i 5.12a prikazan je godišnji hod srednjaka i standardne devijacije svih prognoza i mjerenja na ovom području. Na slikama je uočljivo da pristranost prognoze ALADIN poprima negativne vrijednosti i za srednjak i za standardnu



Slika 5.9. Ovisnost pogreške RMSE o mjesecima svih prognoza za obalnu (a), planinsku (b) i kontinentalnu (c) grupu postaja u 2018. godini. Kružnim markerima označene su vrijednosti koje se značajno razlikuju od prognoze AnEn.

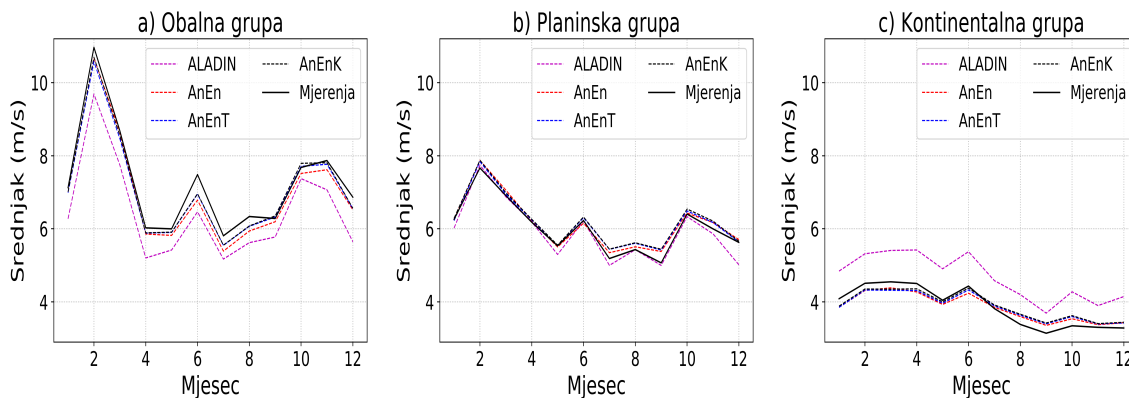
devijaciju za svaki mjesec u godini. Podcjenjivanje srednjaka izraženije je u hladnijem dijelu godine i lipnju, dok je podcjenjivanje varijabilnosti približno istog intenziteta za svaki mjesec u godini.

Sve prognoze dobivene metodom analogona, u odnosu na prognozu ALADIN, smanjuju RMSE i povećavaju koeficijent korelacije, a godišnja ovisnost pogreške RMSE i koeficijenta korelacije tih prognoza jednakog je oblika kao i godišnja ovisnost pogreške RMSE i koeficijenta korelacije prognoze ALADIN. Iznos pristranosti srednjaka prognoza dobivenih metodom analogona manji je od iznosa pristranosti srednjaka prognoze ALADIN, pri čemu su vrijednosti kroz većinu godine negativne. Iznos pristranosti standardne devijacije veći je od iznosa pristranosti prognoze ALADIN, pri čemu je pristranost standardne devijacije negativna za svaki mjesec u godini. Pristranosti standardnih devijacija prognoza dobivenih metodom analogona većinom nemaju izrazite promjene kroz samu godinu, te je jedini izražen (negativan) iznos pristranosti standardne



Slika 5.10. Ovisnost koeficijenta korelacije o mjesecima svih prognoza za obalnu (a), planinsku (b) i kontinentalnu (c) grupu postaja u 2018. godini. Kružnim markerima označene su vrijednosti koje se značajno razlikuju od prognoze AnEn.





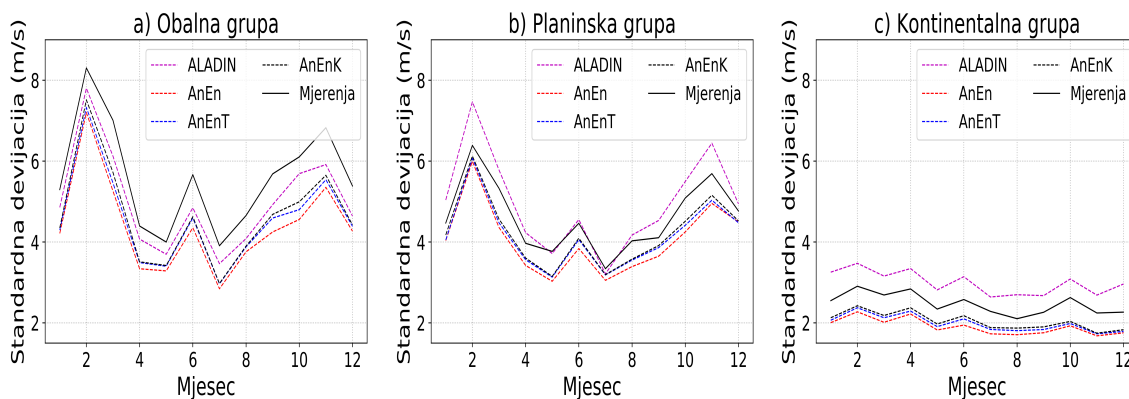
Slika 5.11. Ovisnost srednjaka brzine udara vjetra o mjesecima svih prognoza i mjerenja za obalnu (a), planinsku (b) i kontinentalnu (c) grupu postaja u 2018. godini.

devijacije vidljiv u ožujku.

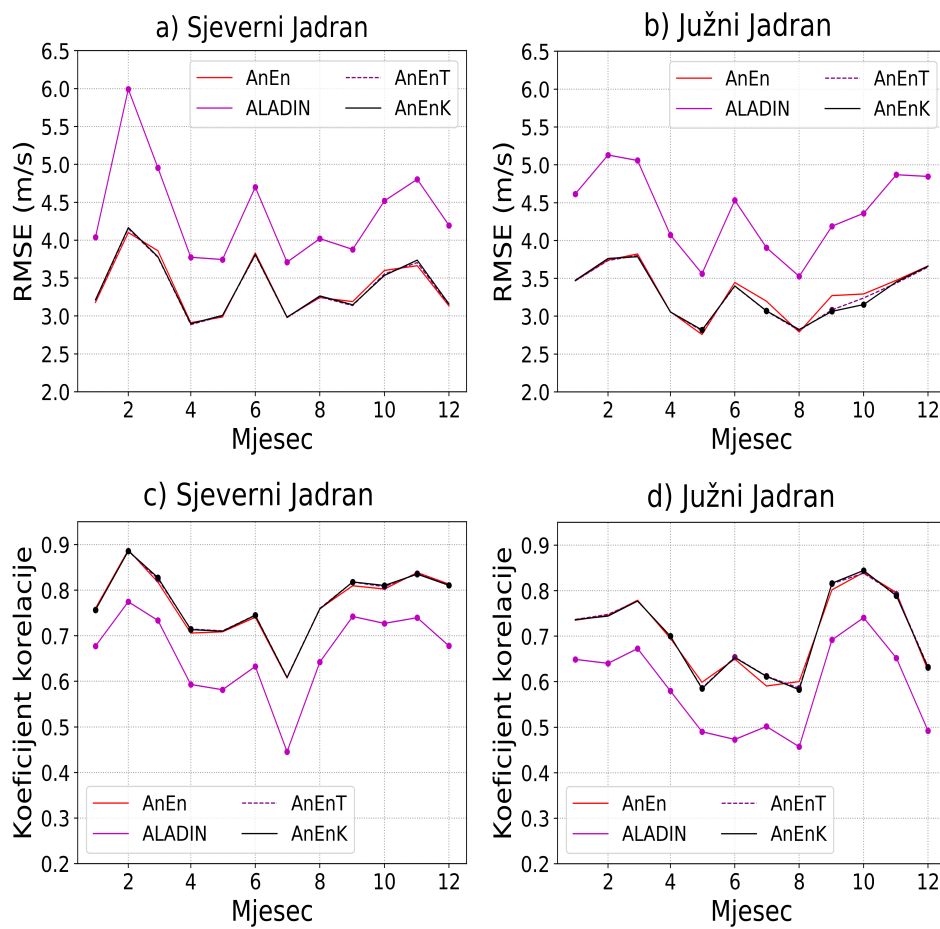
Kod usporedbe samih prognoza dobivenih metodom analogona vidi se da prognoza AnEn poprima, često i signifikantno, najveće vrijednosti pogreške RMSE i najmanje vrijednosti koeficijenta korelacije. Prognoza AnEn također najviše podcjenjuje i srednjak i varijabilnost izmjenjenih brzina udara vjetra. Preostale dvije prognoze, AnEnT i AnEnK, pokazuju male razlike te se sveukupno kao najuspješnija prognoza ističe prognoza AnEnK. Također, razlike između dvije prethodno navedene prognoze vidljive su samo u hladnijem dijelu godine, jer se tada češće pojavljuju vjetrovi kod kojih se dodatna korekcija za velike brzine udara i primjenjuje. U ljetnim mjesecima, kada su često manji iznosi samih brzina udara vjetra, te dvije prognoze pokazuju gotovo identične rezultate.

### Usporedba sjevernog i južnog Jadrana

Pogreška RMSE prognoze ALADIN postaja sjevernog i južnog Jadrana (slike 5.13a i 5.13b) pokazuje sličan godišnji hod koji više vrijednosti poprima u hladnijem dijelu

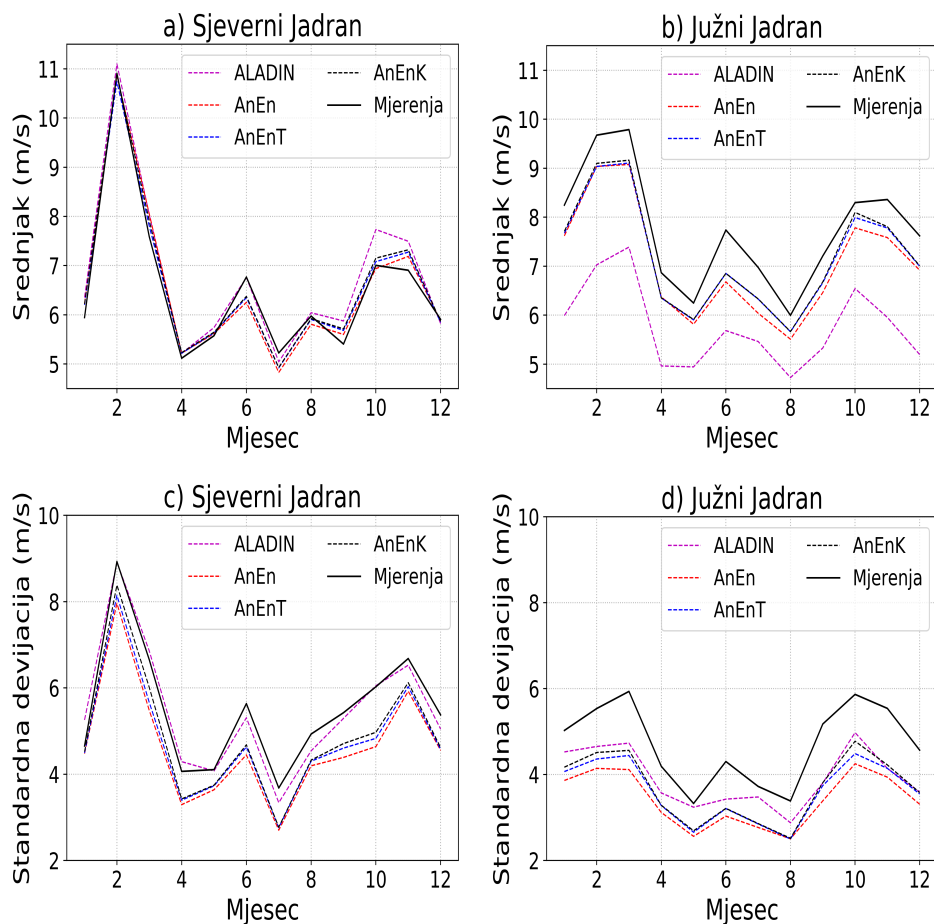


Slika 5.12. Ovisnost standardne devijacije brzine udara vjetra o mjesecima svih prognoza i mjerenja za obalnu (a), planinsku (b) i kontinentalnu (c) grupu postaja u 2018. godini.



Slika 5.13. Ovisnost pogreške RMSE i koeficijenta korelacije o mjesecima svih prognoza za postaje sjevernog (a i c) i južnog (b i d) Jadrana u 2018. godini. Kružnim markerima označene su vrijednosti koje se značajno razlikuju od prognoze AnEn.

godine te lipnju. Godišnji hodovi koeficijenata korelacije prognoze ALADIN za sjeverni i južni Jadran poprimaju “U” oblik, no same vrijednosti su većeg iznosa za postaje sjevernog Jadrana. Kod prikaza godišnjih hodova srednjaka brzine udara vjetra na slikama 5.14a i 5.14b vidi se da su u zimskim mjesecima više vrijednosti, a u ljetnima manje vrijednosti izmjerenih brzina udara vjetra. Iako je maksimum svih srednjaka (apsolutni maksimum) izmjeren u veljači na sjevernom Jadranu, općenito veće vrijednosti srednjaka nalaze se na južnom Jadranu. Jasno je vidljivo kako je iznos pristranosti srednjaka prognoze ALADIN veći na južnom Jadranu, i da prognoza podcjenjuje srednjak za svaki mjesec u godini. Pritom se veće podcjenjivanje može primijetiti u hladnijem dijelu godine i u lipnju. Pristranost srednjaka prognoze ALADIN kod postaja sjevernog Jadrana je manje izražena, pozitivna te veće vrijednosti poprima u hladnijem dijelu godine. Na slikama 5.14c i 5.14d prikazane su standardne devijacije svih prognoza i mjerenja u ovisnosti o mjesecima. Veće vrijednosti varijabilnosti poprimaju postaje sjevernog Jadrana, a i mjesec s maksimalnom izmjerenom varijabilnošću nalazi se u tom području (veljača). Prognoza ALADIN samu varijabilnost više podcjenjuje kod



Slika 5.14. Ovisnost srednjaka i standardne devijacije brzine udara vjetra o mjesecima svih prognoza i mjerenja za postaje sjevernog (a i c) i južnog (b i d) Jadrana u 2018. godini.

postaja južnog Jadrana. Iznosom najmanje podcjenjivanje uočljivo je sredinom godine, izuzevši mjesec lipanj. Kod postaja sjevernog Jadrana prognoza ALADIN precjenjuje varijabilnost u prvom dijelu godine, a podcjenjuje u drugom dijelu, iako su sami iznosi pristranosti standardne devijacije manji nego kod postaja južnog Jadrana.

Uz očuvanje oblika godišnjih ovisnosti kao kod pripadnih vrijednosti prognoze ALADIN, sve prognoze dobivene metodom analogona smanjuju vrijednost pogreške RMSE i povećavaju vrijednost koeficijenta korelacije u odnosu na prognozu ALADIN. Iznos pristranosti srednjaka prognoza dobivenih metodom analogona manji je kod postaja sjevernog Jadrana (nešto jače podcjenjivanje), no veće poboljšanje u odnosu na prognozu ALADIN uočljivo je kod postaja južnog Jadrana. Pritom kod pristranosti srednjaka nije uočljiv godišnji hod. Iznosi pristranosti standardnih devijacija prognoza dobivenih metodom analogona, za postaje i sjevernog i južnog Jadrana, iznosom su veće nego iznosi prognoze ALADIN, s tim da je razlika između tih prognoza i prognoze ALADIN manja kod postaja južnog Jadrana. Kod postaja južnog Jadrana može se još primijetiti kako prognoze dobivene metodom analogona bolje opisuju godišnji hod

varijabilnosti nego prognoza ALADIN, pogotovo u ljetnim mjesecima. I kod prognoza dobivenih metodom analogona na južnom je Jadranu iznosom najmanje podcjenjivanje uočljivo sredinom godine, kada je i sama varijabilnost brzine udara vjetra manja (izuzevši mjesec lipanj). Ova pojava kod prognoza za sjeverni Jadran nije uočena.

Između svih prognoza dobivenih metodom analogona, prognoza AnEn često pokazuje najveće vrijednosti sustavnih pogrešaka, a u nekim mjesecima i najmanje vrijednosti koeficijenta korelacije i na sjevernom i na južnom Jadranu. Razlike između prognoza AnEnT i AnEnK su vrlo malene, najčešće vidljive u zimskim mjesecima i izraženije za južni Jadran. Kod pristranosti srednjaka izbor najbolje prognoze ovisi o samom mjesecu, dok kod pristranosti standardne devijacije najbolji rezultat, tj. najmanje podcjenjivanje varijabilnosti, pokazuje prognoza AnEnK.

### **Planinska grupa postaja**

Godišnji hod pogreške RMSE prognoze ALADIN za planinsku grupu postaja (slika 5.9b) veće vrijednosti poprima u hladnijem nego toplijem dijelu godine, dok je za njen koeficijent korelacije (slika 5.10b) teže pronaći očitu pravilnost. U usporedbi s prognozom ALADIN za obalnu grupu postaja, prognoza ALADIN za planinsku grupu postaja poprima manje vrijednosti pogreške RMSE i veće vrijednosti koeficijenta korelacije. Vrijednosti koeficijenta korelacije za prognozu ALADIN najviše su u ovoj grupi postaja, dosežući (apsolutne) maksimume u studenome i veljači. Pristranost srednjaka prognoze ALADIN poprima vrlo malene iznose kroz cijelu godinu, te je jedini mjesec s izraženijom pristranosti mjesec prosinac. Pri usporedbi slika 5.11b i 5.4b može se vidjeti da je godišnja ovisnost pristranosti srednjaka prognoze ALADIN za planinsku grupu postaja relativno malenog iznosa i bez očite pravilnosti, za razliku od dnevnog hoda pristranosti, koji je vidno izražen. Pristranost standardne devijacije (slika 5.12b) prognoze ALADIN veće vrijednosti poprima u hladnijem nego toplijem dijelu godine, kad je i sama varijabilnost udara vjetra većeg iznosa. Kod usporedbe prikaza standardnih devijacija prognoza ALADIN planinske i obalne grupe postaja vidljivo je da se varijabilnost prognoza ne mijenja značajno u ovisnosti o geografskom području, dok se kod standardnih devijacija izmjerenih vrijednosti tih dviju grupa uočavaju jasne razlike.

Oblici godišnjih ovisnosti pogrešaka RMSE i koeficijenata korelacije prognoza dobivenih metodom analogona pokazuju jednaki oblik kao i pripadne vrijednosti prognoze ALADIN, no te prognoze pokazuju poboljšane rezultate u odnosu na prognozu ALADIN. U odnosu na obalnu grupu postaja, pogreška RMSE poprima manje vrijednosti, a koeficijent korelacije veće vrijednosti. Pristranost srednjaka prognoza dobivenih metodom analogona većinom je pozitivna, no malog je iznosa. U odnosu na obalnu grupu postaja, sve prognoze većinom poprimaju manje iznose pristranosti srednjaka kroz cijelu godinu. Kod usporedbe prognoza dobivenih metodom analogona i prognoze ALA-

DIN u ovoj grupi postaja, izbor manje pristrane prognoze ovisi o tome koji se mjesec promatra. Sve prognoze dobivene metodom analogona podcjenjuju varijabilnost, što je više izraženo kroz proljeće i jesen nego kroz zimu i ljeto. Pritom u zimskim mjesecima poprimaju manji iznos pristranosti standardne devijacije nego prognoza ALADIN. U usporedbi s obalnom grupom postaja, prognoze dobivene metodom analogona planinske grupe postaja pokazuju manje iznose pristranosti standardne devijacije.

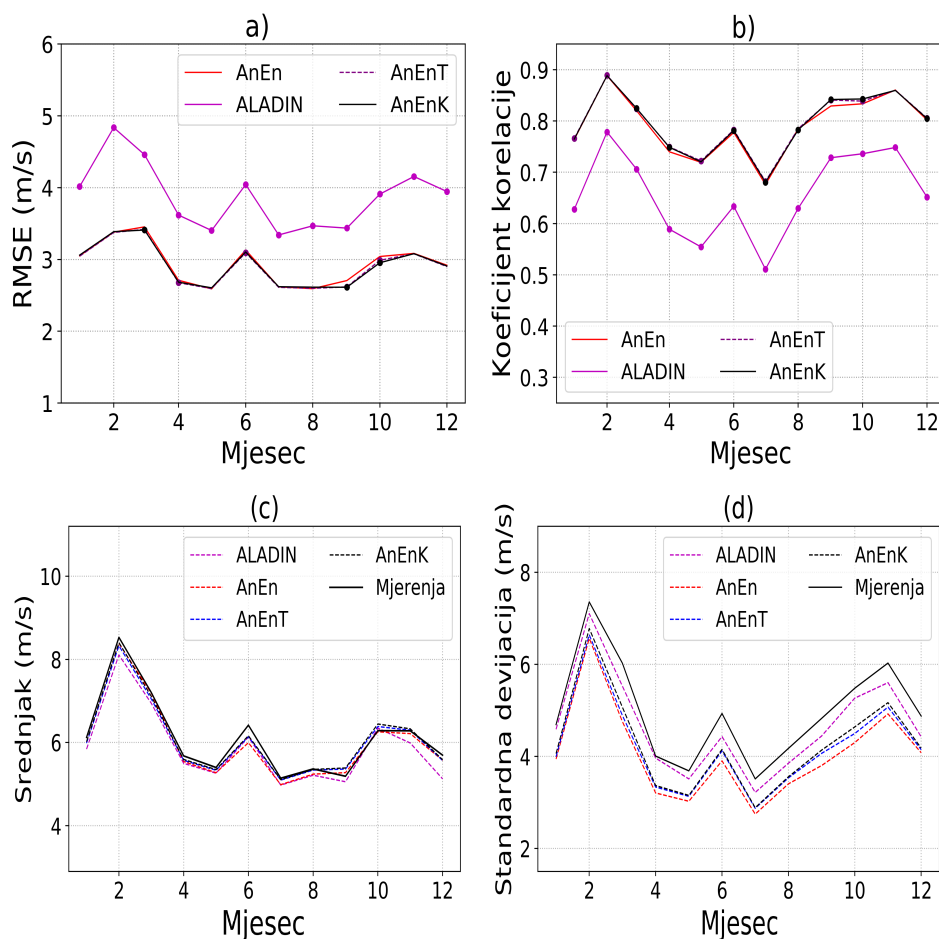
Kao i kod obalne grupe postaja, prognoza AnEn pokazuje najveće pogreške i najmanje vrijednosti koeficijenta korelacije između svih prognoza dobivenih metodom analogona. Iako pristranost srednjaka te prognoze pokazuje najbolje rezultate u drugoj polovici godine, prognoza AnEn pokazuje najveći iznos pristranosti standardne devijacije, što je čini najmanje uspješnom prognozom metode analogona u ovom području kroz (gotovo) cijelu godinu. Rezultati za prognoze AnEnT i AnEnK gotovo se i ne razlikuju.

### **Kontinentalna grupa postaja**

Pogreška RMSE prognoze ALADIN, prikazana na slici 5.9c, nema izraženi godišnji hod, pri čemu poprima nešto veće vrijednosti u prvoj polovici godine u odnosu na drugu. Pritom su vrijednosti manje nego za ostale grupe postaja kroz cijelu godinu. Koeficijent korelacije, prikazan na slici 5.10c, najmanje vrijednosti poprima sredinom godine. Na slikama 5.11c i 5.12c prikazani su srednjaci i standardne devijacije svih prognoza i mjerenja. Za razliku od podcjenjivanja u obalnom području, sustavne pogreške prognoze ALADIN su za kontinentalnu grupu postaja pozitivne. Ove sustavne pogreške nešto su većeg iznosa tijekom prve polovice godine, no približno jednakog intenziteta tijekom cijele godine.

Sve prognoze dobivene metodom analogona smanjuju vrijednosti pogreške RMSE prognoze ALADIN približno jednako tijekom cijele godine, slično kao u prethodnim grupama postaja. Ove prognoze koeficijent korelacije više poboljšavaju tijekom ljetnih mjeseci, kad koeficijent korelacije prognoze ALADIN poprima i najmanje vrijednosti u cijeloj godini. Sve prognoze dobivene metodom analogona pokazuju sličan godišnji hod pristranosti srednjaka: on je negativan u prvom dijelu, te pozitivan u drugom dijelu godine. Iako su iznosi pristranosti srednjaka manji nego kod prognoze ALADIN, sama prognoza ALADIN bolje opisuje oblik godišnjeg hoda srednjaka brzine udara vjetra. Pristranost standardne devijacije svih prognoza dobivenih metodom analogona približno je jednaka kroz cijelu godinu.

Kod usporedbe prognoza dobivenih metodom analogona može se primijetiti da je ovo jedina grupa postaja u kojoj prognoza AnEn rezultira s najmanjim vrijednostima pogreške RMSE, a u nekim mjesecima i koeficijenta korelacije. Signifikantno najmanji iznos pristranosti srednjaka u prvom dijelu godine poprima prognoza AnEnK, a u drugom dijelu godine prognoza AnEn. Najmanji iznos pristranosti standardne devijacije



Slika 5.15. Prikaz pogreške RMSE (a), koeficijenta korelacije (b), srednjaka (c) i standardne devijacije prognoza i mjerenja svih postaja u ovisnosti o mjesecu u 2018. godini. Kružnim markerima na prikazu a) i b) označene su vrijednosti koje se značajno razlikuju od prognoze AnEn.

pokazuje prognoza AnEnK, a najveći prognoza AnEn.

### Rezultati za sve postaje

Na slici 5.15a prikazana je pogreška RMSE za sve postaje u ovisnosti o mjesecima u godini. Kao i kod prikaza pogreške RMSE po pojedinim grupama, vidi se da prognoza ALADIN za svaki mjesec poprima značajno najveće vrijednosti pogreške, dok su razlike između samih prognoza dobivenih metodom analogona manje i samo povremeno značajne. Od prognoza dobivenih metodom analogona najveći RMSE pokazuje prognoza AnEn. Treba pritom imati na umu da taj zaključak nije svugdje primjenjiv, jer, primjerice, u kontinentalnoj grupi postaja ta prognoza poprima najmanje vrijednosti pogreške. Prognoze AnEnT i AnEnK u obalnoj i planinskoj grupi postaja pokazuju, ponegdje i značajno, manje vrijednosti pogreške RMSE, kao i ukupno bolji rezultat.

Na slici 5.15b prikazan je godišnji hod koeficijenta korelacije prognoza i mjerenja za sve postaje. Kao i kod pojedinačnih razmatranja za određenu grupu postaja, uočljivo

je izrazito poboljšanje svih prognoza dobivenih metodom analogona u odnosu na samu prognozu ALADIN. Prethodno je pokazano da najveće vrijednosti koeficijenta korelacije poprimaju prognoze planinske grupe postaja, dok najmanje vrijednosti poprimaju prognoze kontinentalne grupe postaja, kao i kod ovisnosti o prognostičkom satu. Pritom se može uočiti da su poboljšanja prognoza dobivenih metodom analogona, u odnosu na prognozu ALADIN, više izražena u ljetnim mjesecima, što je posebno izraženo kod prognoza za kontinentalnu grupu postaja. Kod međusobne usporedbe prognoza dobivenih metodom analogona, izbor prognoze s najvećim iznosom koeficijenta korelacije u kontinentalnoj grupi postaja ovisi o samom mjesecu. U preostale dvije grupe postaja rezultati su konzistentniji te najmanje vrijednosti poprima prognoza AnEn, ponekad i signifikantno. Od preostale dvije prognoze dobivene metodom analogona kao najbolja bi se mogla izabrati AnEnK, iako su razlike između nje i prognoze AnEnT, uspoređujući koeficijent korelacije, vrlo malene.

Kao i kod analize po prognostičkom satu, usporedbom ukupnih pristranosti srednjaka (slika 5.15c) te pristranosti srednjaka za svaku pojedinu grupu postaja (slika 5.11), vidi se da prognoza ALADIN poprima prividno malene iznose pristranosti srednjaka tek kad se promatra pristranost za sve postaje ukupno. Prognoza ALADIN poprima velike negativne vrijednosti pristranosti u obalnom području i velike pozitivne vrijednosti pristranosti u kontinentalnom području. Pritom, podcjenjivanje srednjaka u obalnoj grupi postaja većim dijelom dolazi od podcjenjivanja srednjaka postaja južnog Jadrana. U planinskom području prognoza ALADIN većinom podcjenjuje srednjak, no to je podcjenjivanje manjega intenziteta. Pristranosti srednjaka prognoza dobivenih metodom analogona iznosima su manje od pristranosti prognoze ALADIN za skoro svaki mjesec i grupu postaja. Uz to, osim kod kontinentalne grupe postaja, ne pokazuju izraženi godišnji hod, što vodi na sličan ukupan rezultat. Kod obalne grupe postaja najmanji iznos pristranosti poprima prognoza AnEnK, dok je u planinskoj grupi to prognoza AnEn. Kod kontinentalne grupe postaja u prvom dijelu godine najmanji iznos pristranosti poprima prognoza AnEnK, dok je u drugom dijelu godine to prognoza AnEn.

Pristranost standardne devijacije prognoze ALADIN pokazuje već navedeno svojstvo: podcjenjivanje varijabilnosti vjetera za obalnu grupu postaja, te precjenjivanje varijabilnosti vjetera za kontinentalnu i planinsku grupu postaja. Podcjenjivanje varijabilnosti kod obalne grupe postaja opet je prouzrokovano podcjenjivanjem varijabilnosti kod postaja južnog Jadrana. Najveći se iznosi pristranosti standardne devijacije, kod usporedbe svih grupa, javljaju kod planinske grupe postaja u hladnijem dijelu godine. Konačnim usrednjavanjem, prikazanim na slici 5.15d, pristranost standardne devijacije je relativno malena. Iako prognoze dobivene metodom analogona poprimaju veće iznose pristranosti od prognoze ALADIN, one opet pokazuju veću sposobnost da prognozu prilagode specifičnoj grupi postaja. Najveće podcjenjivanje standardne devijacije

kod svih grupa postaja pokazuje prognoza AnEn, kao i dosad. Prognoza AnEnT pokazuje bolji rezultat, dok iznosom najmanje podcjenjivanje standardne devijacije od svih prognoza dobivenih metodom analogona pokazuje prognoza AnEnK. Konačno, te su razlike izrazito uočljive kod obalne grupe postaja u hladnijem dijelu godine.

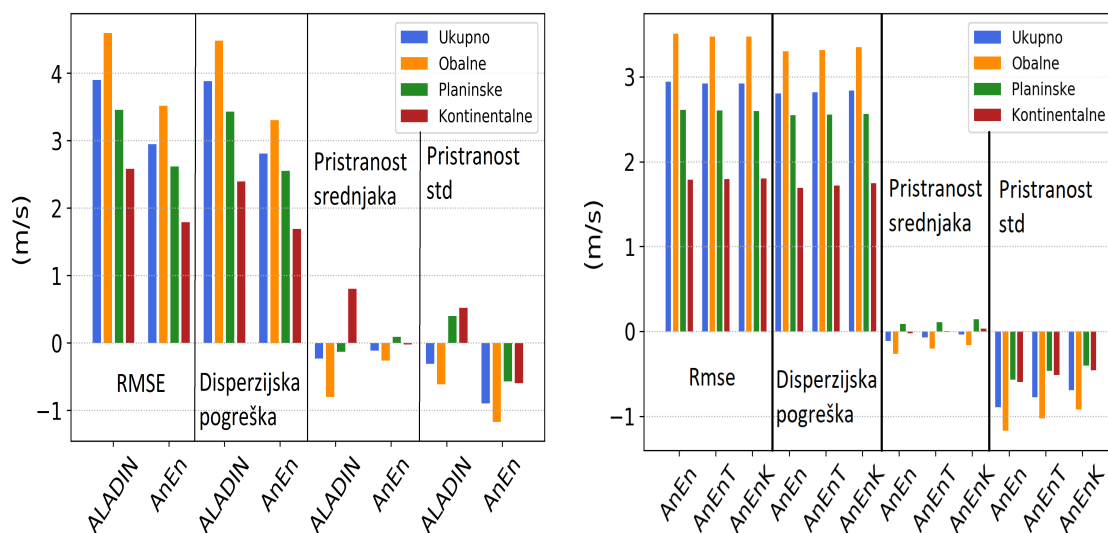
### 5.1.3. Dekompozicija pogreške RMSE

Na slici 5.16 prikazana je pogreška RMSE i članovi njene dekompozicije za svaku grupu postaja i za sve postaje ukupno. Na lijevom dijelu slike prikazane su vrijednosti za prognozu ALADIN i za prognozu AnEn, dok su na desnom dijelu slike prikazane vrijednosti za sve prognoze dobivene metodom analogona. Općenito, RMSE svih testiranih prognoza je najveći za obalnu grupu postaja, dok je najmanji za kontinentalnu grupu. Ista relacija vrijedi i za izmjerene vrijednosti udara vjetra, pa se može zaključiti da je kvantitativno teže prognozirati uvjete u kojima vjetar poprima velike vrijednosti. Dominantna pogreška svih prognoza u svim grupama postaja je disperzijska pogreška, koja je također najveća u obalnoj grupi postaja i najmanja u kontinentalnoj grupi postaja. Iako koeficijent korelacije poprima općenito najveće vrijednosti kod prognoza za planinsku grupu postaja, disperzijska pogreška uključuje i umnožak standardnih devijacija mjerenja i prognoza, pa velika varijabilnost udara u obalnoj grupi postaja vodi na najveću disperzijsku pogrešku u tom području. Sustavne su pogreške u odnosu na disperzijsku vidno manje, te sam iznos pojedine sustavne pogreške ovisi o kojoj je prognozi i kojoj grupi postaja riječ.

Kao i kod ostalih prognoza, pogreška RMSE i dominantni izvor pogreške prognoze ALADIN - disperzijska pogreška, poprimaju najveće vrijednosti u obalnoj, a najmanje vrijednosti u kontinentalnoj grupi postaja. Iako su sustavne pogreške manje i imaju manji utjecaj na ukupnu pogrešku RMSE, na slici 5.16 prethodno je pokazan nedostatak prognoze ALADIN u vidu nedovoljne prilagođenosti specifičnostima određenih geografskih područja za koje je prognoza izdavana. Naime, kod obje sustavne pogreške vidi se da ALADIN poprima negativne vrijednosti pristranosti za obalnu grupu postaja te pozitivne vrijednosti pristranosti za kontinentalnu grupu postaja. Pristranost srednjaka planinske grupe postaja prognoze ALADIN poprima male negativne vrijednosti, dok pristranost standardne devijacije poprima veće pozitivne vrijednosti. Kao što je već objašnjeno, prognoza ALADIN podcjenjuje velike vrijednosti srednjaka i varijabilnosti u obalnoj, te precjenjuje male vrijednosti srednjaka i varijabilnosti u kontinentalnoj grupi postaja. Konačno, ukupan rezultat pokazuje malen iznos obje pristranosti. No promatranjem pojedinih grupa postaja i ovisnosti o prognostičkim satima i mjesecima, vidi se da prognoza ALADIN daje samo prividno dobre rezultate, te da se analizom isključivo usrednjenih rezultata može propustiti vidjeti manjkavosti kod prilagodbe različitim vrstama geografskih područja.

U odnosu na prognozu ALADIN, sve prognoze dobivene metodom analogona popri-





Slika 5.16. Pogreška RMSE i članovi njene dekompozicije za svaku grupu postaja i za sve postaje ukupno u 2018. godini. Na lijevom dijelu slike prikazane su vrijednosti za prognozu ALADIN i za prognozu AnEn, dok su na desnom dijelu slike prikazane vrijednosti za sve prognoze dobivene metodom analogona.

maju vidno smanjene vrijednosti pogreške RMSE i disperzijske pogreške. Najizraženije poboljšanje vidljivo je kod prognoza za obalnu grupu postaja, no i sama pogreška u toj grupi poprima najveće vrijednosti. Kod sustavnih pogrešaka razlike među prognozama općenito su manje. Prognoze dobivene metodom analogona u odnosu na prognozu ALADIN u pravilu iznosom smanjuju pristranost srednjaka, te iznosom povećavaju pristranost standardne devijacije. Prognoze dobivene metodom analogona pokazuju male iznose pristranosti srednjaka te, za razliku od prognoze ALADIN, pokazuju bolju lokalnu prilagodbu različitim geografskim područjima. Iako je sam iznos pristranosti standardne devijacije prognoza dobivenih metodom analogona veći nego kod prognoze ALADIN, one, za razliku od prognoze ALADIN, konzistentno podcjenjuju standardnu devijaciju kod svih grupa postaja. Kao što je već spomenuto, iz tog se razloga može tvrditi da se prognoze dobivene metodom analogona adekvatno prilagođavaju geografskom području, a samo se podcjenjivanje varijabilnosti može pripisati intrinzičnom svojstvu metode analogona da smanjuje modeliranu varijabilnost.

Kod usporedbe prognoza dobivenih metodom analogona, prognoza AnEn poprima najveće vrijednosti pogreške RMSE kod obalne i planinske grupe postaja, dok kod kontinentalne grupe poprima najmanje vrijednosti. Najmanje vrijednosti koeficijenta korelacije, često i signifikantno, poprima prognoza AnEn, no na slici 5.16 može se vidjeti da su njezine vrijednosti disperzijske pogreške istovremeno i najmanje. Razlog tomu je što disperzijska pogreška uključuje i umnožak standardnih devijacija mjerenja i prognoza, pa najmanja varijabilnost brzine udara prognoze AnEn vodi na najmanju disperzijsku pogrešku između svih prognoza dobivenih metodom analogona. Iako su

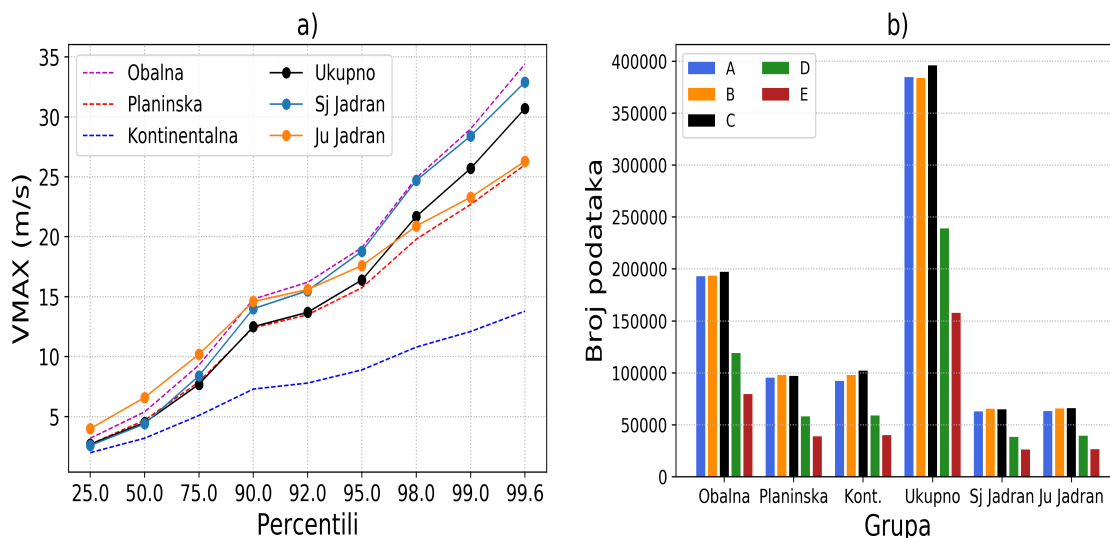
kod svih prognoza dobivenih metodom analogona pristranosti srednjaka malene, kod obalne grupe postaja prognoza AnEnK mogla bi se izdvojiti kao prognoza s najmanjim iznosom pristranosti, kod planinske grupe postaja je najbolja prognoza AnEn, dok je u kontinentalnom području prognoza s minimalnim iznosom pristranosti prognoza AnEnT. Kod pristranosti standardne devijacije prognoze AnEnT i AnEnK pokazuju bolje rezultate u odnosu na prognozu AnEn, što se može uočiti kod svih grupa postaja. Pritom dodatna korekcija za velike brzine udara vjetra ipak daje najbolje rezultate, te prognoza AnEnK pokazuje najmanji iznos podcjenjivanja varijabilnosti u odnosu na ostale prognoze dobivene metodom analogona.

## 5.2. Verifikacija vjetra kao kategoričke varijable

Na slici 5.17a prikazane su vrijednosti brzina udara vjetra u ovisnosti o percentilima korištenima kao granice kategorija, za sve navedene grupe postaja. Kao granice 5 osnovnih kategorija izabrani su 0., 25., 50., 75., 90. i 100. percentil vrijednosti izmjerenih brzina udara vjetra u pojedinoj grupi postaja. Oznake svih kategorija i pripadne granice prikazane su u tablici 5.1. Kategorijama su pridijeljena slova od A do E, pa je tako kategorija A ona kod koje je zabilježen najslabiji vjetar (određen 0. i 25. percentilom), a kategorija E ona kod koje je zabilježen najjači vjetar (određen 90. i 100. percentilom). Odabirom granica koje su određene percentilima, a ne određenim vrijednostima brzina udara vjetra, postignuto je to da granice kategorija ovise o iznosima izmjerenih udara vjetra u pojedinoj grupi postaja te se tako razlikuju za svaku grupu. Uz to, na ovaj su način kategorizacije podataka sve kategorije kod različitih grupa postaja približno jednako zastupljene kod pripadnih nizova podataka, pa tako kategorije A, B i C sadržavaju približno 25 %, kategorija D 15 %, a kategorija E 10 % podataka svake grupe. Posljedično, omogućena je pravednija usporedba rezultata za klimatološki

Tablica 5.1. Oznake i granice kategorija kod analize uobičajenih (lijevo) i ekstremnih (desno) događaja. Za granice kategorija izabrani su navedeni percentili izmjerenih vrijednosti brzina udara vjetra u testnom razdoblju (2018. godini).

Oznaka	Granice kategorije	Oznaka	Granice kategorije
A	0.-25.	I	90.-92.
B	25.-50.	II	92.-95.
C	50.-75.	III	95.-98.
D	75.-90.	IV	98.-99.
E	90.-100.	V	99.-99.6.
		VI	99.6.-100.



Slika 5.17. (a) Vrijednosti brzina udara vjetra u ovisnosti o percentilima, koji su korišteni kao granice između pojedinih kategorija, za sve navedene grupe postaja u 2018. godini. Percentili su određeni iz izmjerenih vrijednosti brzina udara vjetra u testnom razdoblju. (b) Broj podataka svih grupa postaja za svaku od 5 osnovnih kategorija.

različite grupe postaja. Sve ove kategorije sadržavaju dovoljan broj podataka da kod mjera Fbias i ETS ne dođe do degeneracije samih vrijednosti.

Kod analize ekstremnih događaja izabrano je 6 kategorija, a granice pojedinih kategorija određene su 90., 92., 95., 98., 99., 99.6. i 100. percentilom izmjerenih brzina udara vjetra u pojedinoj grupi postaja (također prikazano u tablici 5.1). Kategorijama se pridjeljuju brojevi od I do VI, pri čemu se broj I pridjeljuje kategoriji gdje je izmjeren najslabiji vjetar (određen 90. i 92. percentilom), a broj VI kategoriji gdje je izmjeren najjači vjetar (određen 99.6. i 100. percentilom). Kod ekstremnih događaja broj podataka u pojedinim kategorijama može biti relativno malen, no kod mjere EDI ne dolazi do degeneracije njenih vrijednosti, pa je iz tog razloga ona pogodna za trenutnu analizu.

Na slici 5.17a vidi se da vrijednosti granica svih kategorija kontinentalne grupe postaja poprimaju najmanje vrijednosti. Najveće vrijednosti granica kategorija osnovnih grupa nalaze se kod postaja obalnog područja, posebice južnog Jadrana. Najveće vrijednosti granica kategorija kod ekstremnih događaja nalaze se kod obalne grupe postaja. Na slici 5.17b prikazan je broj podataka osnovnih kategorija za svaku grupu postaja. Ovaj broj ovisi o ukupnoj količini dostupnih podataka za pojedinu grupu, prvenstveno o broju postaja i udjelu nedostajućih podataka u nizu. Može se primijetiti kako su kod svake grupe postaja kategorije A, B i C približno jednako i najviše zastupljene, dok je kategorija E najmanje zastupljena. Od svih grupa postaja najviše je podataka kod grupe ukupno za kategorije A, B i C, njih približno  $4 \cdot 10^5$ , dok je

najmanje podataka kod grupe E postaja sjevernog i južnog Jadrana, njih približno  $2.5 \cdot 10^4$ .

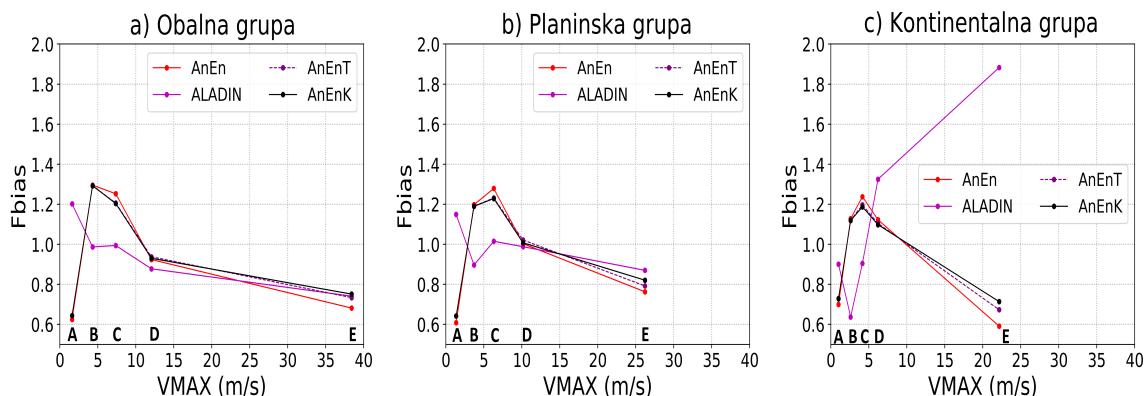
Kod analize ROC krivulja, te mjera PCC i SEEPS, kao granice kategorija korišteni su 50. i 90. percentil izmjerenih brzina udara vjetra u testnom razdoblju. Mjera SEEPS najčešće se definira za 3 kategorije, što je korišteno i u ovom radu. Zbog ravnopravnosti usporedbe, i za analizu ROC krivulja i mjere PCC izabrane su jednake granice kategorija.

U potpoglavlju 5.2.1. analizirane su mjere koje ovise o pojedinim kategorijama, u potpoglavlju 5.2.2. analizirane su ROC krivulje, dok su u potpoglavlju 5.2.3. analizirane sumarne mjere verifikacije.

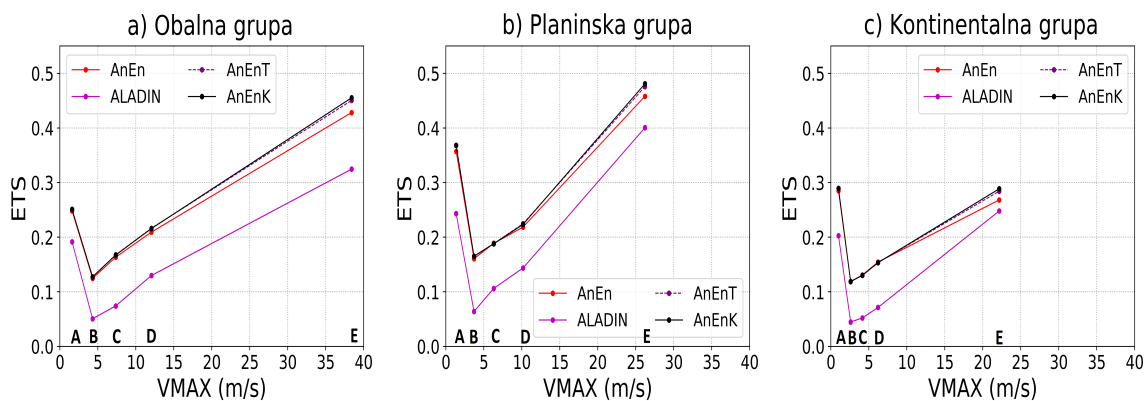
### 5.2.1. Analiza mjera koje ovise o kategorijama

#### Obalna grupa postaja

Na slici 5.18a prikazana je mjera Fbias za 5 osnovnih kategorija svih prognoza obalne grupe postaja. Vidi se da prognoza ALADIN precjenjuje kategoriju A, a podcjenjuje kategorije D i E. Mjera Fbias za kategorije B i C je vrlo blizu jedinice, što znači da prognoza ALADIN jednakom učestalošću prognozira vrijednosti brzine udara vjetra tih kategorija kao što su one i izmjerene. Iz ovog se prikaza vidi da se mjera Fbias prognoze ALADIN smanjuje, odnosno teži jačem podcjenjivanju učestalosti vjetra, što je on jači. Može se zaključiti, kao što je i utvrđeno u potpoglavlju 5.1., da prognoza ALADIN sveukupno podcjenjuje srednju vrijednost brzine udara vjetra u obalnoj grupi postaja prognozirajući češće kategorije manje brzine. U odnosu na prognozu ALADIN, prognoze dobivene metodom analogona dalje su od vrijednosti 1 mjere Fbias za kategorije A, B i C, te bliže vrijednosti 1 za kategoriju D. Kod kategorije E najveću vrijednost poprima prognoza AnEnK, a zatim slijede prognoze ALADIN, AnEnT i AnEn, no sve prognoze podcjenjuju učestalost pojave vjetra ove kategorije. Istovremeno, sve



Slika 5.18. Mjera Fbias obalne (a), planinske (b) i kontinentalne (c) grupe postaja, primijenjena na kategorije A-E u 2018. godini. Kružni markeri nalaze se na sredini intervala vrijednosti pojedinih kategorija.

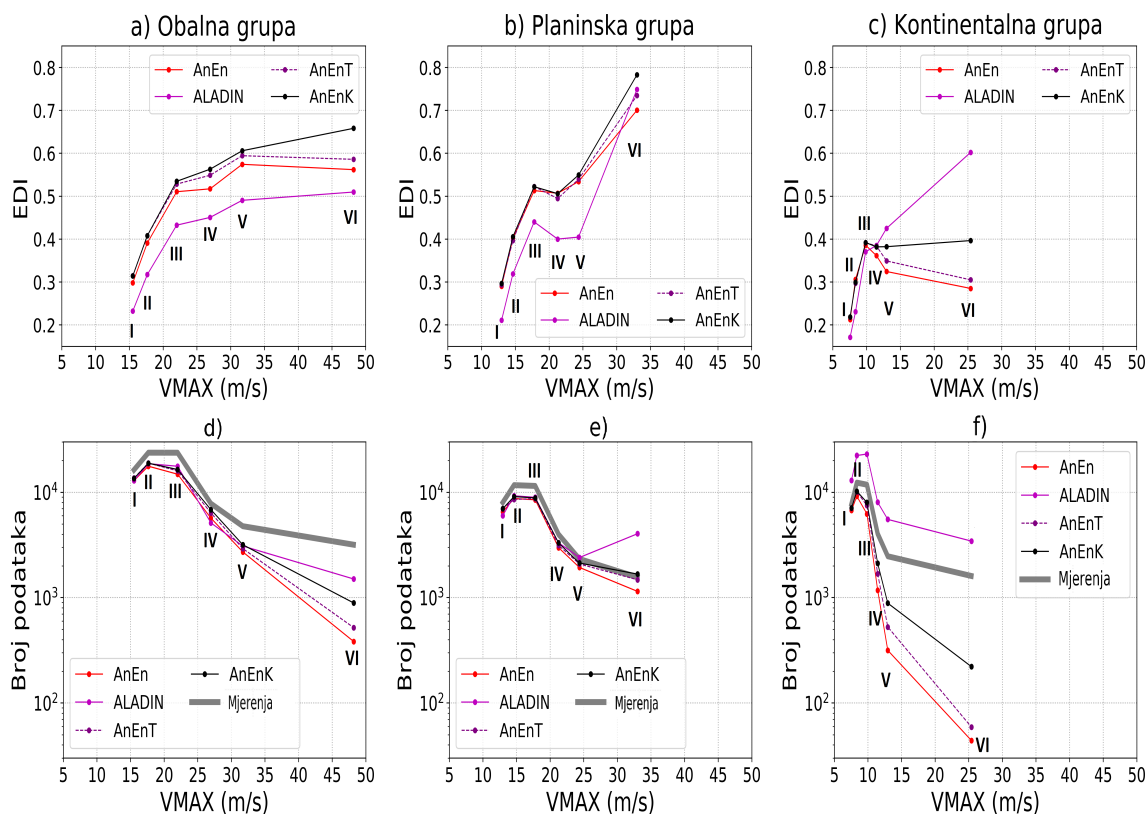


Slika 5.19. Mjera ETS obalne (a), planinske (b) i kontinentalne (c) grupe postaja, primijenjena na kategorije A-E u 2018. godini. Kružni markeri nalaze se na sredini intervala vrijednosti pojedinih kategorija.

prognoze dobivene metodom analogona imaju sličan oblik ovisnosti  $F_{bias}$  o kategoriji - one precjenjuju učestalost vjetra B i C kategorije i podcjenjuju učestalost ekstremnijih kategorija. Iz tih se vrijednosti može zaključiti, kao što je već i pokazano kod determinističke verifikacije, da je varijabilnost ovih prognoza manja od izmjerene varijabilnosti udara vjetra. Između prognoza dobivenih metodom analogona, prognoza AnEn pokazuje najlošiji rezultat.

Mjera ETS prognoze ALADIN, za obalnu grupu postaja prikazana na slici 5.19a, minimum poprima za kategoriju B, te se konstantno povećava prema obje krajnje kategorije - ovaj oblik funkcije nazvat ćemo "v" oblik. Pritom maksimalnu vrijednost mjere ETS prognoza ALADIN poprima za kategoriju E. Sve prognoze dobivene metodom analogona, u odnosu na prognozu ALADIN povećavaju vrijednost mjere ETS za sve kategorije te poprimaju "v" oblik kao i prognoza ALADIN. Jedine uočljive razlike između samih metoda dobivenih metodom analogona mogu se primijetiti kod smanjenih iznosa mjere ETS prognoze AnEn za kategorije D i E.

Na slikama 5.20a i 5.20d prikazane su mjera EDI i broj podataka za svaku od 6 ekstremnih kategorija. Vidi se da vrijednost EDI prognoze ALADIN kontinuirano raste, te poprima vrijednost od približno 0.5 za kategoriju VI. Istu kategoriju prognoza ALADIN prognozira približno  $2 \cdot 10^3$  puta, što je približno dvostruko manje od broja izmjerenih vrijednosti brzina udara vjetra te kategorije. Kod prognoza dobivenih metodom analogona vidi se da one poprimaju veće vrijednosti mjere EDI od prognoze ALADIN za svaku kategoriju. Između njih, prognoza AnEn konstantno poprima najmanje vrijednosti mjere EDI i najviše podcjenjuje učestalost svih prognoziranih kategorija. Razlike između prognoza AnEnT i AnEnK su manje, no kod kategorija II, V i posebice VI, vidi se da prognoza s dodatnom korekcijom za velike brzine udara vjetra AnEnK pokazuje najbolji rezultat. Kod ove grupe postaja, kao prednost prognoze ALADIN kod prognoze ekstremnih događaja čini se češće prognoziranje kategorije VI. No, kako se

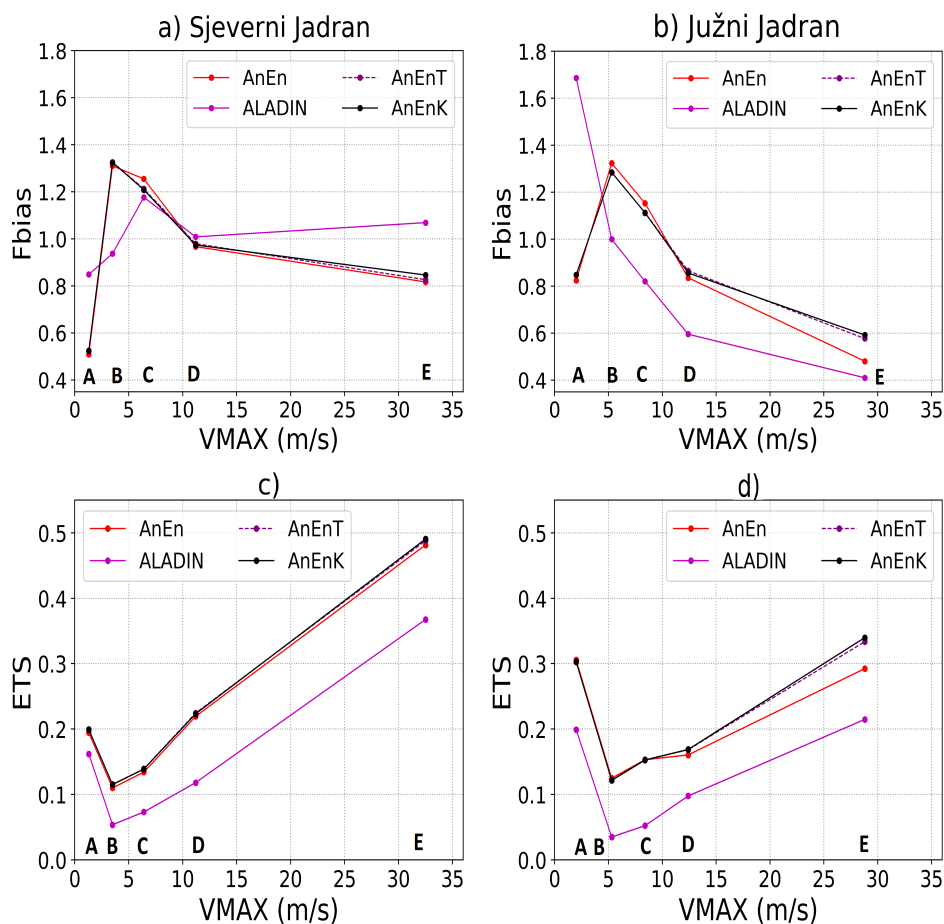


Slika 5.20. Mjera EDI obalne (a), planinske (b) i kontinentalne (c) grupe postaja, primijenjena na kategorije I-VI u 2018. godini. (d,e,f) Broj podataka pripadnih grupa postaja u svakoj od kategorija. Kružni markeri kod svih slika nalaze se na sredini intervala vrijednosti pojedinih kategorija.

to nije odrazilo na uspješnost u vidu mjere EDI, taj rezultat zapravo sugerira da je ta učestalost veća zbog većeg udjela neostvarenih prognoza ove kategorije (jednadžba 2.12). Također je uočljivo da sve prognoze podcjenjuju učestalost pojave vjetra svih kategorija I-VI.

### Usporedba sjevernog i južnog Jadrana

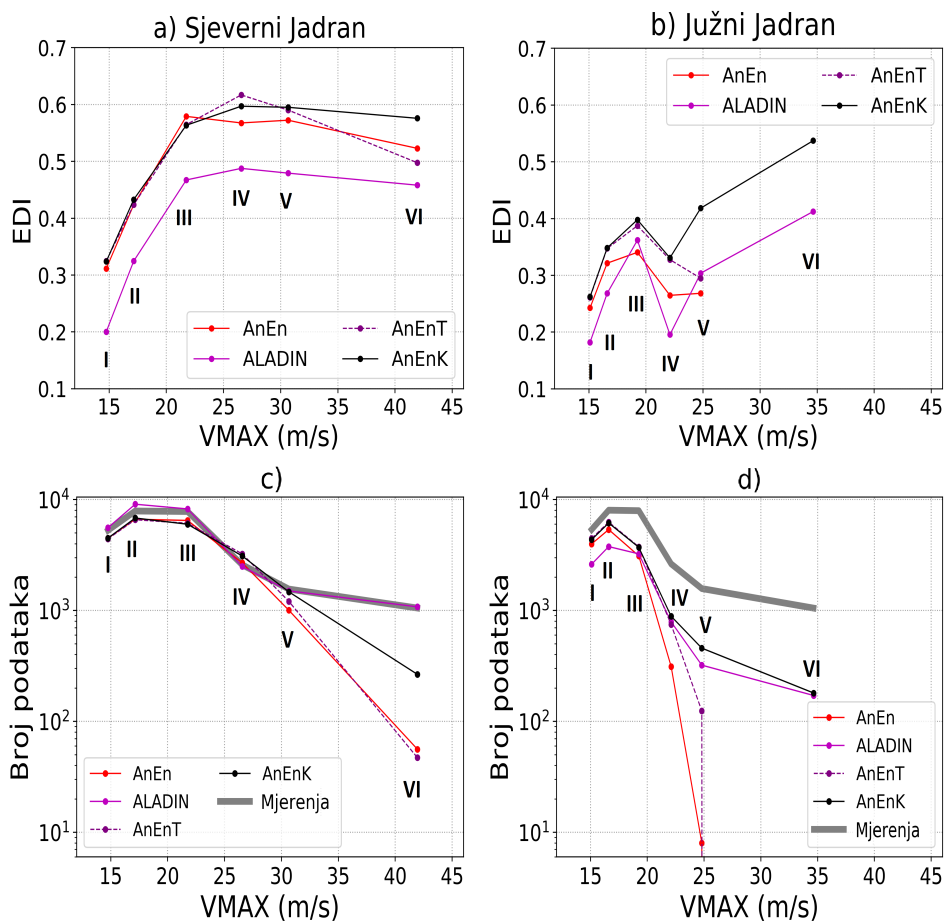
Na slikama 5.21a i 5.21b prikazane su mjere Fbias za postaje sjevernog i južnog Jadrana. Vrijednosti mjere Fbias prognoze ALADIN manje odstupaju od jedinice za postaje sjevernog Jadrana, gdje ta prognoza podcjenjuje učestalost pojave kategorija A i B te precjenjuje učestalost pojave kategorija C i E. Ovakav oblik ovisnosti u skladu je s činjenicom da prognoza ALADIN blago precjenjuje srednjak brzine udara vjetra kod postaja sjevernog Jadrana. Prognoza ALADIN kod postaja južnog Jadrana podcjenjuje kategorije C, D i E, a precjenjuje kategoriju A. Ovakav oblik ovisnosti u skladu je s prethodno pokazanom činjenicom da prognoza ALADIN podcjenjuje srednjak brzine udara vjetra kod postaja južnog Jadrana. Na oba se prikaza vidi da prognoze dobivene metodom analogona precjenjuju učestalost vjetra kategorije B i C, a podcjenjuju njegovu učestalost u ostalim kategorijama. Takav oblik ovisnosti ukazuje na činjenicu



Slika 5.21. Mjera Fbias postaja sjevernog (a) i južnog (b) Jadrana, primijenjena na kategorije A-E u 2018. Mjera ETS postaja sjevernog (c) i južnog (d) Jadrana, primijenjena na kategorije A-E u 2018. Kružni markeri kod svih slika nalaze se na sredini intervala vrijednosti pojedinih kategorija.

da te prognoze podcjenjuju varijabilnost brzine udara vjetra kod navedenih postaja. Uspoređujući prognoze dobivene metodom analogona za postaje sjevernog i južnog Jadrana može se uočiti da je kod postaja sjevernog Jadrana Fbias bliži vrijednosti jedinice za kategorije D i E, dok je kod postaja južnog Jadrana Fbias bliži vrijednosti jedinice za kategorije A i C. Ovakav rezultat sugerira da prognoze dobivene metodom analogona bolju prognozu jačeg vjetra postižu kod postaja sjevernog nego južnog Jadrana. Između svih prognoza dobivenih metodom analogona, prognoza AnEn pokazuje najveće odstupanje mjere Fbias od jedinice, i za postaje sjevernog, i za postaje južnog Jadrana. Pri tome je veće odstupanje prognoze AnEn od prognoza AnEnT i AnEnK vidljivo kod postaja južnog nego sjevernog Jadrana.

Mjere ETS prognoza ALADIN, prikazane na slikama 5.21c i 5.21d, posjeduju "v" oblik, uz minimum vrijednosti za kategoriju B. Prognoze ALADIN veće vrijednosti mjere ETS poprimaju kod postaja sjevernog nego južnog Jadrana. Uz to, može se primijetiti da ETS prognoze ALADIN kod postaja južnog Jadrana poprima slične vri-



Slika 5.22. Mjera EDI postaja sjevernog (a) i južnog (b) Jadrana, primijenjena na kategorije I-VI u 2018 godini. Broj podataka postaja sjevernog (c) i južnog (d) Jadrana u svakoj od kategorija. Kružni markeri kod svih slika nalaze se na sredini intervala vrijednosti pojedinih kategorija.

jednosti za kategorije A i E. Kod postaja sjevernog Jadrana vrijednost mjere ETS kategorije E vidljivo je veća od kategorije A, što sugerira veću prediktabilnost jakih vjetrova kod postaja sjevernog Jadrana. Mjera ETS prognoza dobivenih metodom analogona, u odnosu na samu prognozu ALADIN, veća je za postaje sjevernog i južnog Jadrana. Pri tome, veće poboljšanje tih prognoza u odnosu na prognozu ALADIN uočljivije je kod kategorija A, B i C kod postaja južnog Jadrana, te kod kategorija D i E kod postaja sjevernog Jadrana. Prognoze dobivene metodom analogona također poprimaju slične vrijednosti mjere ETS za rubne kategorije (A i E) kod postaja južnog Jadrana, dok je na sjevernom Jadranu vidno bolji rezultat za kategoriju E nego za A. Sve prognoze dobivene metodom analogona pokazuju sličan rezultat, no prognoza AnEn pokazuje smanjenu vrijednost mjere ETS za kategorije D i E kod postaja južnog Jadrana.

Na slikama 5.22a i 5.22b vidi se da prognoza ALADIN poprima veće vrijednosti mjere EDI za sve kategorije kod postaja sjevernog Jadrana u odnosu na južni Jadran.



Također, prognoza ALADIN kod postaja sjevernog Jadrana pokazuje izrazito bolju predikciju učestalosti pojava svih razmotrenih kategorija. Kod postaja južnog Jadrana vidi se da prognoza ALADIN podcjenjuje učestalost svih ekstremnih kategorija. I kod prognoza dobivenih metodom analogona veće vrijednosti mjere EDI prognoze poprimaju kod postaja sjevernog nego kod južnog Jadrana. Poboljšanje prognoza dobivenih metodom analogona u odnosu na prognozu ALADIN, uočljivo je za sve kategorije mjere EDI kod postaja sjevernog Jadrana. Najbolja prognoza ovisi o samoj kategoriji, no prognoza AnEnK mogla bi se izdvojiti kao prognoza s najvišim vrijednostima mjere EDI, kako na sjevernom, tako i na južnom Jadranu. Prognoze dobivene metodom analogona bolje procjenjuju učestalost kategorija kod postaja sjevernog Jadrana, dok kod postaja južnog Jadrana prognoze AnEn i AnEnT uopće ne prognoziraju vjetar kategorije VI. I na ovaj se način prognoza AnEnK pokazuje kao najbolja, s obzirom na to da od svih prognoza dobivenih metodom analogona ona najmanje podcjenjuje učestalost udara vjetra svih kategorija.

### **Planinska grupa**

Prognoza ALADIN kod svih kategorija poprima vrijednosti mjere Fbias oko jedinice (slika 5.18b), no primjetno je precjenjivanje kategorije A, a podcjenjivanje kategorija B i E. U odnosu na prognozu ALADIN obalne grupe postaja, odstupanja ove mjere od jedinice manjeg su iznosa. Prognoze dobivene metodom analogona, u usporedbi s prognozom ALADIN za sve kategorije pokazuju veće odstupanje mjere Fbias od jedinice. One pokazuju sličan oblik ovisnosti mjere FBias o kategorijama kao i kod obalne grupe postaja, te bi se prognoza AnEn mogla izdvojiti kao prognoza s najvećim iznosima odstupanja mjere Fbias od jedinice.

Mjera ETS prognoze ALADIN (slika 5.19b) poprima veće vrijednosti u usporedbi s prognozom ALADIN obalne grupe postaja. Kod obje grupe prognoze poprimaju "v" oblik ovisnosti. Pri tome se kao kategorija s najvećom vrijednosti mjere ETS izdvaja kategorija E. Prognoze dobivene metodom analogona i u ovoj grupi postaja za sve kategorije poprimaju veće vrijednosti mjere ETS nego prognoza ALADIN. Te prognoze također poprimaju veće vrijednosti nego u obalnoj grupi postaja, a kategorija s najizraženijim poboljšanjem mjere ETS u odnosu na prognozu ALADIN je kategorija A. Između prognoza dobivenih metodom analogona bi se AnEn opet mogla izdvojiti kao prognoza koja poprima najmanje vrijednosti, što je najizraženije kod kategorije E.

Na slici 5.20b vidi se rast vrijednosti mjere EDI prognoze ALADIN s kategorijama koje sadržavaju veće brzine udara vjetra, uz izuzetak kategorije III koja predstavlja svojevrsan lokalni maksimum. Iako je većina vrijednosti mjere EDI manja u odnosu na obalnu grupu postaja, prognoza ALADIN za planinsku grupu postaja poprima veću vrijednost ove mjere za kategoriju VI. Ova bi se pojava djelomično mogla pripisati vidno povećanom broju prognoza vjetrova te kategorije (slika 5.20e), s obzirom na to da

prognoza ALADIN podcjenjuje učestalost pojava kategorija I-V, te približno dvostruko precjenjuje učestalost pojave kategorije VI. Prognoze dobivene metodom analogona, u usporedbi s obalnom grupom postaja, također poprimaju veće vrijednosti mjere EDI za kategoriju VI. Sve prognoze dobivene metodom analogona pokazuju veće vrijednosti mjere EDI od prognoze ALADIN za kategorije I-V, no samo AnEnK pokazuje veće vrijednosti ove mjere za kategoriju VI. Prognoza AnEnK i u ovoj grupi postaja poprima najveće vrijednosti u odnosu na ostale prognoze, a te su razlike izraženije vidljive kod kategorija V i VI. Za razliku od obalne grupe postaja, prognoze dobivene metodom analogona manje podcjenjuju učestalost pojave kategorija V i VI, te u slučaju prognoze AnEnK, čak i malo precjenjuju učestalost pojave kategorije VI.

### **Kontinentalna grupa**

Kod mjere Fbias prognoze ALADIN, prikazanoj na slici 5.18c, vidi se izrazito precjenjivanje učestalosti kategorija D i E, te podcjenjivanje učestalosti preostalih kategorija. Apsolutne vrijednosti mjere Fbias za prognozu ALADIN najveće su u ovoj grupi postaja u usporedbi s prognozom ALADIN preostalih grupa postaja, sugerirajući najizraženiju pristranost kod prognoza brzine udara vjetra različite jačine. Prognoze dobivene metodom analogona kod kategorija B, D i E pokazuju vrijednosti mjere Fbias bliže jedinici u odnosu na prognozu ALADIN. Pri tome te prognoze pokazuju sličan uspjeh kao i kod preostalih grupa postaja, te bi se bolji ukupan rezultat u usporedbi s prognozom ALADIN mogao pripisati većoj pristranosti prognoze ALADIN u ovoj grupi postaja.

Kod prikaza mjere ETS na slici 5.19c, vidi se da prognoza ALADIN kod kontinentalne grupe postaja poprima najmanje vrijednosti u odnosu na ostale grupe, pri čemu također pokazuje "v" oblik. Uz to, može se i primijetiti kako je razlika mjere ETS između kategorija A i E prognoze ALADIN manja u odnosu na te razlike kod drugih grupa postaja. Iako prognoze dobivene metodom analogona poprimaju veće vrijednosti mjere ETS od same prognoze ALADIN, u usporedbi s prognozama dobivenih metodom analogona ostalih grupa postaja i kod njih je primjetan niži iznos vrijednosti mjere ETS. Kod prognoza dobivenih metodom analogona može se primijetiti kako su vrijednosti mjere ETS kod rubnih kategorija A i E približno jednake, dok je u ostalim grupama veća vrijednost za kategoriju E nego za kategoriju A, kao i za prognozu ALADIN. Spomenuto svojstvo ukazuje na nešto lošiju kvalitetu prognoze jakih vjetrova metodom analogona u kontinentalnoj grupi postaja.

Kod ove grupe postaja prognoza ALADIN pokazuje kontinuirani porast vrijednosti mjere EDI (slika 5.20c) s kategorijama po jačini vjetra, te precjenjuje učestalost pojave svih kategorija (slika 5.20f). Vrijednosti za prognozu ALADIN su pritom većinom nešto manje ili usporedive s prethodno razmatranim grupama postaja, uz iznimku kategorije VI. Slično kao kod prognoze ALADIN, prognoze dobivene metodom analogona u usporedbi s istim prognozama za ostale grupe postaja, poprimaju također najmanje

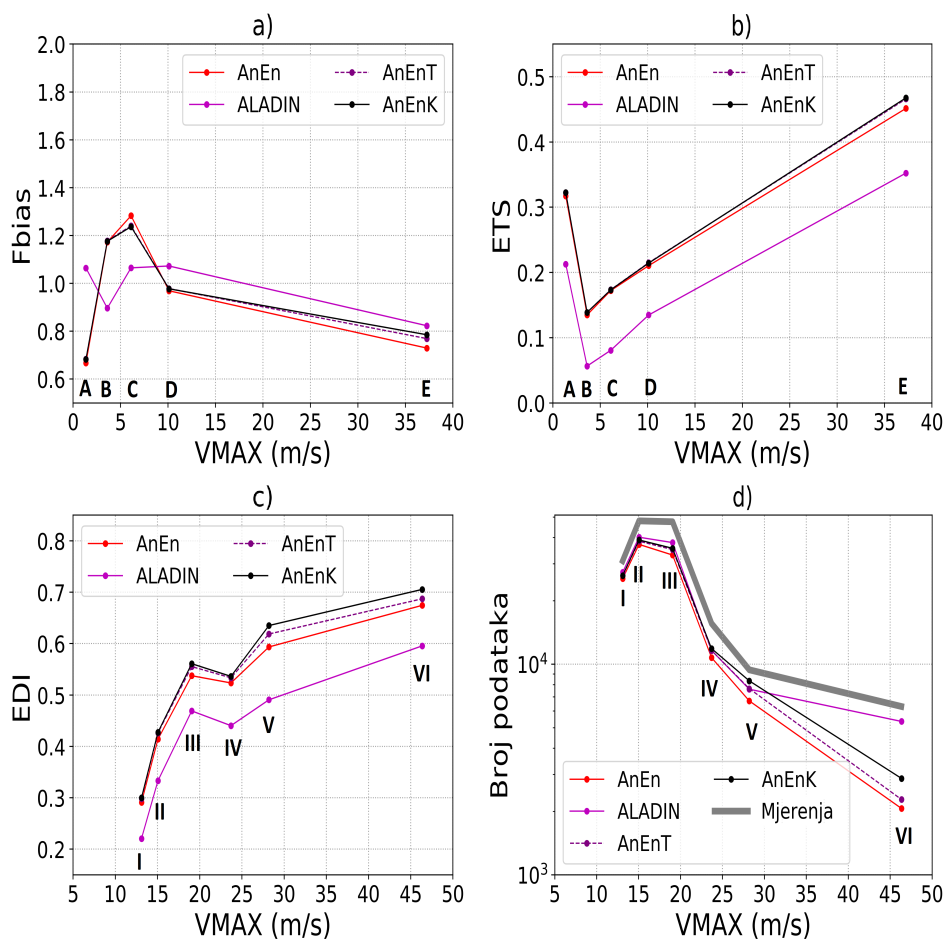
vrijednosti mjere EDI u kontinentalnom području. Pritom pokazuju više vrijednosti mjere EDI za kategorije I-III u odnosu na prognozu ALADIN, no prognoza ALADIN pokazuje bolji rezultat za kategorije V i VI. Na slici 20f vidljivo je i izrazito podcjenjivanje učestalosti kategorija IV-VI svih prognoza dobivenih metodom analogona. Između prognoza dobivenih metodom analogona, prognoza AnEnK pokazuje najbolje rezultate, s obzirom na to da poprima najviše vrijednosti mjere EDI i da najmanje podcjenjuje pojavu udara vjetra svih ekstremnih kategorija.

### **Rezultati za sve postaje**

Na slici 5.23a prikazana je mjera Fbias svih prognoza za sve postaje ukupno. Može se primijetiti kako Fbias prognoze ALADIN u odnosu na prognoze dobivene metodom analogona, manje odstupa od vrijednosti 1 za sve kategorije osim kategorije D, što se često može vidjeti i kod analize po grupama postaja. No, kod ovakvog prikaza nije uočljivo da prognoza ALADIN posjeduje negativni trend mjere Fbias kod obalne grupe postaja i pozitivan trend mjere Fbias kod kontinentalne grupe postaja, što upućuje na podcjenjivanje srednjaka obalne i precjenjivanje srednjaka kontinentalne grupe postaja. Isto tako i kod postaja južnog Jadrana vidljivo je podcjenjivanje srednjaka prognoze ALADIN. S druge strane, prognoze dobivene metodom analogona poprimaju oblik mjere Fbias koji je već viđen kod svih grupa postaja, i koji upućuje na smanjenu varijabilnost brzine vjetra tih prognoza. Pritom je to više izraženo za prognozu AnEn nego za prognoze AnEnT i AnEnK.

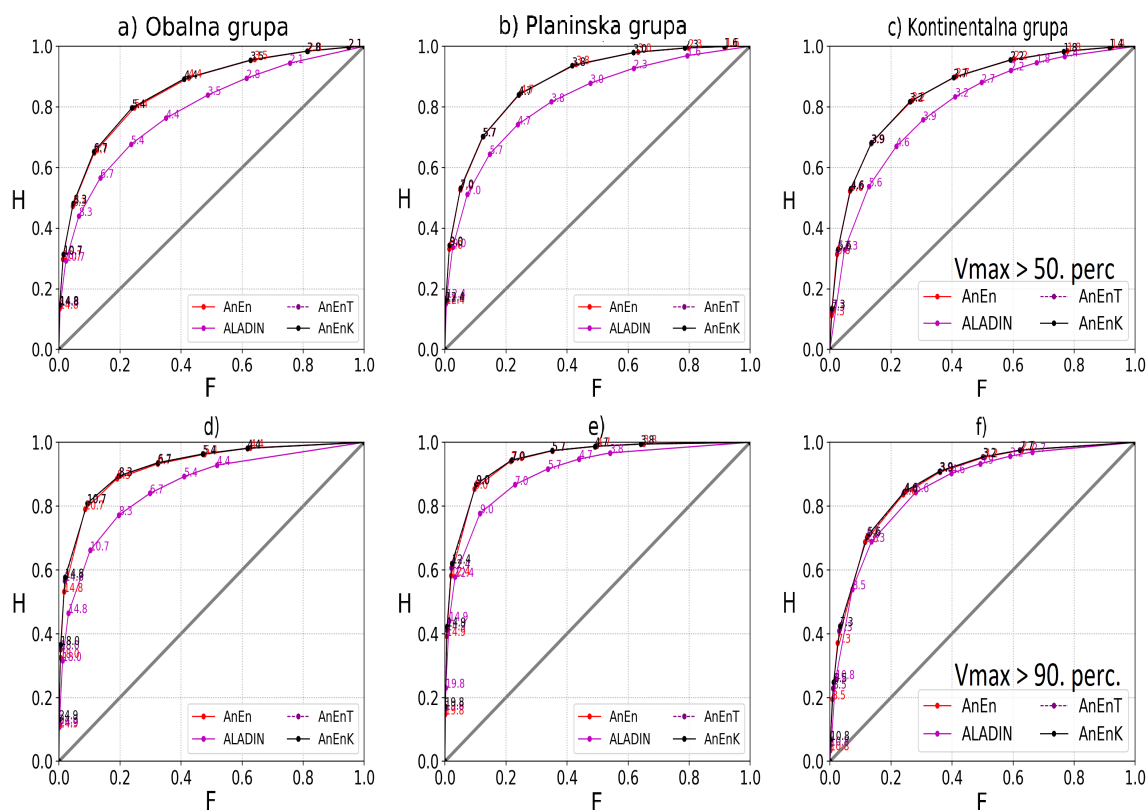
Kod prikaza mjere ETS prognoze ALADIN (slika 5.23b) uočljiv je "v" oblik ovisnosti te mjere o jačini vjetra, a najmanju vrijednost ove mjere poprima kategorija B. Ovaj rezultat u skladu je s prethodno pokazanim rezultatima za različite grupe postaja. Sve prognoze dobivene metodom analogona poprimaju veći iznos mjere ETS od prognoze ALADIN za sve kategorije, a ovisnost te mjere o kategorijama po jačini vjetra također poprima "v" oblik. Može se primijetiti kako kod kategorija A, B i C nisu primjetne razlike između prognoza dobivenih metodom analogona, dok je kod kategorija D i E vidljivo kako ETS prognoze AnEn poprima manje vrijednosti od mjere ETS prognoza AnEnT i AnEnK. Ovakvi se rezultati mogu vidjeti i kod analize pojedinih grupa postaja.

Kod prikaza mjere EDI ekstremnih kategorija na slici 5.23c vidi se kako vrijednosti uglavnom rastu s brzinom vjetra. Pritom prognoza ALADIN, u odnosu na ostale prognoze, kontinuirano poprima najmanje vrijednosti ove mjere. Iako postoje iznimke (npr. kategorije V i VI kod kontinentalne grupe i kategorija VI kod planinske grupe postaja), prethodno je pokazano da prognoza ALADIN gotovo uvijek poprima manje vrijednosti ove mjere od barem jedne prognoze dobivene metodom analogona. Također, od svih prognoza dobivenih metodom analogona, prognoza AnEnK često poprima najveće vrijednosti mjere EDI, što je vidljivo i u prikazu za sve postaje. Kod prikaza



Slika 5.23. Mjere Fbias (a) i ETS (b) svih postaja, primijenjene na kategorije A-E u 2018. Mjera EDI (c) i broj podataka (d) svih postaja, određeni kategorijama I-VI. Kružni markeri kod svih slika nalaze se na sredini intervala vrijednosti pojedinih kategorija.

broja podataka po pojedinim kategorijama (slika 5.23d) za sve postaje, vidi se kako su najčešće izmjerene vrijednosti udara vjetra u kategorijama II i III, dok se ostale kategorije pojavljuju rijede. Vidljivo je podcjenjivanje svih ekstremnih kategorija kod svih razmatranih prognoza. Prognoza ALADIN pritom manje podcjenjuje učestalost ovih ekstremnih kategorija od ostalih prognoza, što se posebno uočava za kategoriju VI. Iako je kod kontinentalne grupe postaja vidljivo poprilično precjenjivanje učestalosti svih ekstremnih kategorija za prognozu ALADIN, ovaj rezultat sugerira da prognoza ALADIN u pravilu pokazuje bolju prognozu učestalosti ovih ekstremnih kategorija od prognoza dobivenih metodom analogona. S obzirom na to da sve prognoze dobivene metodom analogona modeliraju manju varijabilnost nego što je ona uistinu i izmjerena, ovakva je pojava i očekivana. Iako je učestalost prognoza za ekstremne kategorije uistinu i smanjena (u odnosu na prognozu ALADIN i mjerenja), važno je uočiti da naknadna obrada podataka često poboljšava uspješnost prognoze ekstremnih kategorija. Taj rezultat sugerira da je veći udio takvih prognoza za model ALADIN rezultat

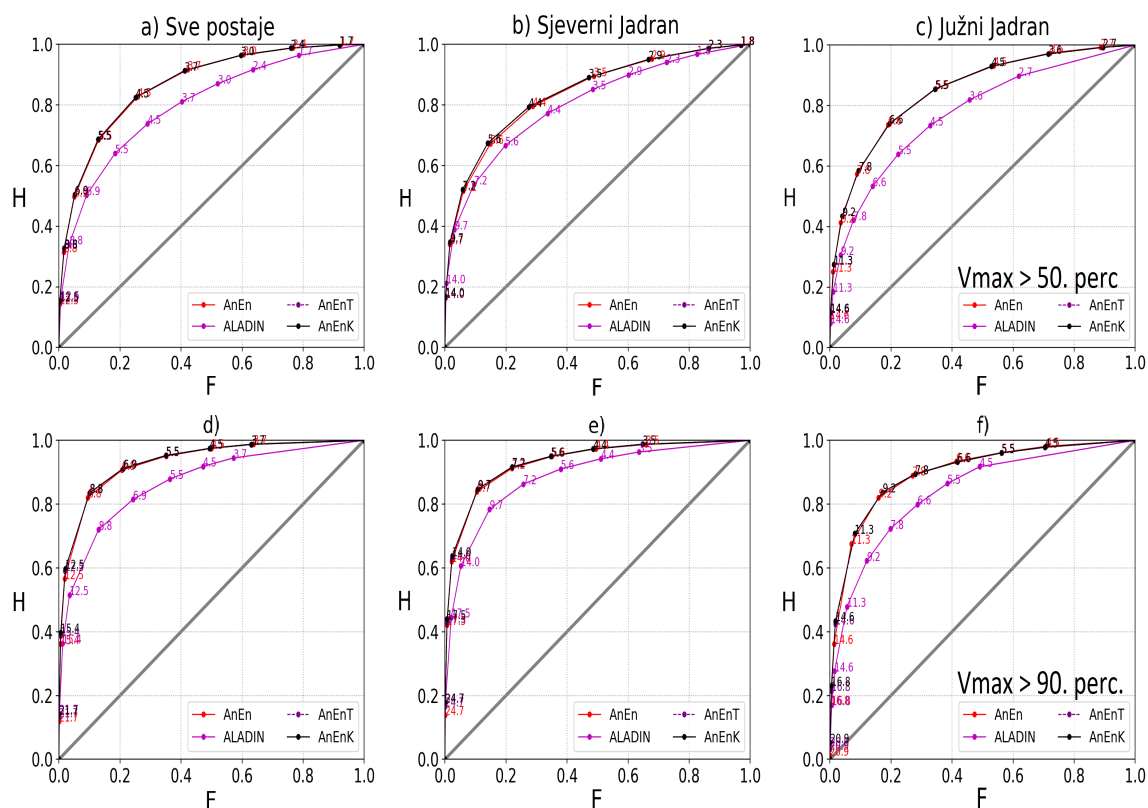


Slika 5.24. ROC krivulje obalne (a), planinske (b) i kontinentalne (c) grupe postaja u 2018. godini kod kojih je granica kategorije određena kao 50. percentil izmjerene brzine udara vjetra u testnom razdoblju. ROC krivulje obalne (d), planinske (e) i kontinentalne (f) grupe postaja u 2018. godini kod kojih je granica kategorije određena kao 90. percentil izmjerene brzine udara vjetra u testnom razdoblju.

većeg udjela neostvarenih prognoza, dok je udio točnih prognoza veći nakon naknadne obrade. Pri tome bi se kao najuspješnija prognoza mogla izdvojiti prognoza AnEnK.

### 5.2.2. Analiza ROC krivulja

Na slikama 5.24a i 5.24d prikazane su ROC krivulje za dvije kategorije određene premašivanjem 50. (gore) i 90. (dolje) percentila izmjerenih vrijednosti brzina udara vjetra za obalnu grupu postaja. Može se primijetiti kako je krivulja za 90. percentil bliže gornjem lijevom kutu kvadrata, točki (0,1), što znači da je prognoza ALADIN uspješnija kod prognoziranja pojave vjetra u slučaju kada je granica određena kao 90. percentil izmjerene brzine udara vjetra nego kad je ta granica 50. percentil. Drugim riječima, prognoza ALADIN ima veći udio točnih prognoza udara vjetra u odnosu na udio neostvarenih prognoza u kategoriji brzina iznad 90. percentila nego je to slučaj za udjele prognoza koji se odnose na prognoze iznad 50. percentila brzina udara. Prognoze dobivene metodom analogona u odnosu na prognozu ALADIN, pokazuju bolje rezultate te su također uspješnije kod prognoze kada je granica kategorije jednaka 90. percentilu brzine udara vjetra nego za granicu određenu 50. percentilom. Upravo je



Slika 5.25. ROC krivulje svih postaja (a), te postaja sjevernog (b) i južnog (c) Jadrana u 2018. godini, kod kojih je granica kategorije određena kao 50. percentil izmjerene brzine udara vjetra u testnom razdoblju. ROC krivulje svih postaja (d), te postaja sjevernog (e) i južnog (f) Jadrana u 2018. godini, kod kojih je granica kategorije određena kao 90. percentil izmjerene brzine udara vjetra u testnom razdoblju.

u ovoj grupi postaja poboljšanje u odnosu na prognozu ALADIN najviše izraženo. Pritom su rezultati za AnEn neznatno lošiji nego za AnEnT i AnEnK prognoze.

U odnosu na obalnu grupu postaja, ROC krivulje prognoze ALADIN planinske grupe postaja (slike 5.24b i 5.24e) pokazuju uspješniju prognozu pojave vjetra obiju kategorija. Pritom prognoza ALADIN ima bolji rezultat za prognozu udara vjetra većeg od 90. percentila nego je to slučaj za 50. percentil brzine udara. Sve prognoze dobivene metodom analogona pokazuju bolje rezultate u odnosu na prognozu ALADIN. Razlike između prognoza dobivenih metodom analogona su gotovo neprimjetne. Može se uočiti ponešto manji udio točnih prognoza (manji H za gotovo isti F) za prognozu AnEn u odnosu na druge dvije prognoze u blizini točke (0,0). Taj rezultat uočljiviji je za prognoze brzina iznad 90. nego iznad 50. percentila.

Na slikama 5.24c i 5.24f vidi se da prognoza ALADIN kontinentalne grupa postaja, u usporedbi s tom prognozom kod drugih grupa postaja, pokazuje najlošiji rezultat kod prognoziranja pojave udara vjetra većeg od 90. percentila. Uz to, iako sve prognoze dobivene metodom analogona pokazuju bolje rezultate nego prognoza ALADIN, najmanja se razlika između tih prognoza kod svih grupa postaja vidi upravo na slici

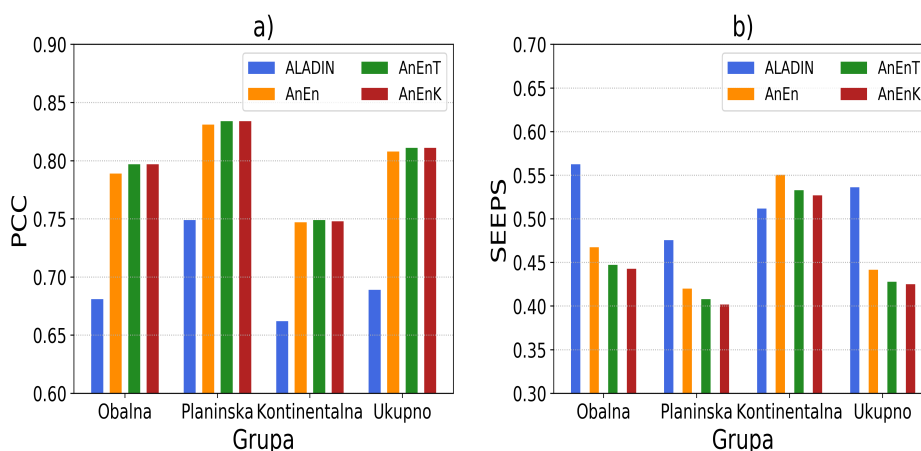
5.24f. Slično prethodnim rezultatima, prognoza AnEn u blizini točke (0,0) pokazuje najmanji udio točnih prognoza (manji H za sličan F).

Na slici 5.25a i 5.25d prikazane su ROC krivulje za sve postaje. Ove slike pokazuju ono što je već i potvrđeno kod analize pojedinih grupa postaja - svi analogoni pokazuju bolje rezultate od prognoze ALADIN, a bolji rezultat sve prognoze pokazuju pri prognoziranju pojave vjetera čija je granica određena kao 90. percentil brzine udara nego je to slučaj s 50. percentilom. Pri tome su razlike između svih prognoza dobivenih metodom analogona vrlo malene.

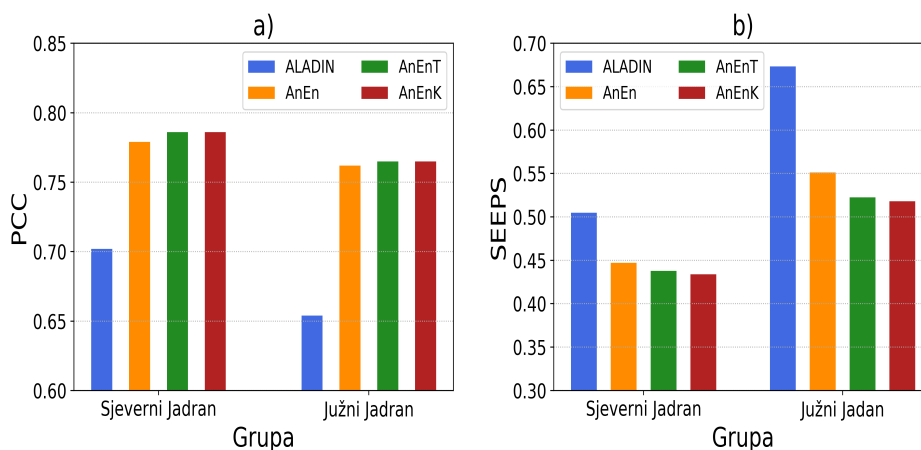
Kod usporedbe ROC krivulja sjevernog (5.25b i 5.25e) i južnog (5.25c i 5.25f) Jadrana može se uočiti da prognoza ALADIN pokazuje lošije rezultate kod postaja južnog Jadrana. Prognoze dobivene metodom analogona malo bolje rezultate pokazuju kod postaja sjevernog Jadrana, no relativno poboljšanje u odnosu na prognozu ALADIN veće je kod postaja južnog Jadrana. Razlike među rezultatima za prognoze dobivene metodom analogona nešto su više izražene na južnom nego na sjevernom Jadranu, pri čemu prognoza AnEn ostvaruje nešto lošiji rezultat od druge dvije prognoze (AnEnT i AnEnK).

### 5.2.3. Analiza sumarnih mjera

Na slici 5.26 prikazane su mjere PCC (a) i SEEPS (b) svih grupa postaja i za sve postaje ukupno. Kod prikaza mjere PCC vidi se da najveće vrijednosti sve prognoze poprimaju kod planinske grupe postaja, a najmanje kod kontinentalne grupe postaja, što je u skladu s rezultatima dobivenima kod analize vjetera kao kontinuirane varijable. Uočljivo je i izrazito poboljšanje svih prognoza dobivenih metodom analogona u odnosu na prognozu ALADIN. Najveće se poboljšanje svih prognoza dobivenih metodom analogona u odnosu na prognozu ALADIN može vidjeti kod obalne grupe postaja.



Slika 5.26. Prikaz mjera PCC (a) i SEEPS (b) za sve prognoze svih grupa postaja, i za sve postaje ukupno u 2018. godini.



Slika 5.27. Prikaz mjera PCC (a) i SEEPS (b) svih prognoza za postaje sjevernog i južnog Jadrana u 2018. godini.

Kod prognoza dobivenih metodom analogona obalne i planinske grupe postaja, prognoza AnEn poprima najmanje vrijednosti mjere PCC, dok su razlike između preostale dvije prognoze (AnEnT i AnEnK) vrlo malene. Kod kontinentalne grupe postaja sve prognoze dobivene metodom analogona poprimaju vrlo slične rezultate, te bi se prognoza AnEnT mogla izdvojiti kao prognoza s najvećim iznosom mjere PCC.

Na slici 5.26b vidi se da prognoza ALADIN najveće vrijednosti mjere SEEPS poprima kod obalne grupe postaja, dok najmanje (najbolje) vrijednosti poprima kod planinske grupe postaja. Prognoze dobivene metodom analogona bolje rezultate od prognoze ALADIN pokazuju kod obalne i planinske grupe postaja, pri čemu je poboljšanje više izraženo za obalnu grupu. No, zanimljivo je i uočiti da kod kontinentalne grupe postaja prognoze dobivene metodom analogona poprimaju veće vrijednosti mjere SEEPS, tj. pokazuju lošiji rezultat, u odnosu na samu prognozu ALADIN. Kod međusobne usporedbe prognoza dobivenih metodom analogona, prognoza AnEnK pokazuje najmanje (najbolje) vrijednosti ove mjere, dok prognoza AnEn pokazuje najveće vrijednosti ove mjere, kod svih grupa postaja.

Na slici 5.27 prikazane su mjere PCC (a) i SEEPS (b) za postaje sjevernog i južnog Jadrana. Vidi se da sve prognoze poprimaju manje vrijednosti mjere PCC kod postaja južnog Jadrana. Sve prognoze dobivene metodom analogona pokazuju bolje rezultate nego prognoza ALADIN, a veće (relativno) poboljšanje vidljivo je kod postaja južnog Jadrana, iako je ukupan rezultat za metodu analogona bolji za sjeverni Jadran. Najveće vrijednosti ove mjere poprima prognoza AnEnK, a najmanje prognoza AnEn. Kod prikaza mjere SEEPS također se vidi da sve prognoze poprimaju veće vrijednosti, tj. lošije rezultate, kod postaja južnog Jadrana. Sve prognoze dobivene metodom analogona pokazuju bolje rezultate nego prognoza ALADIN, a veće poboljšanje i ovdje je vidljivo kod postaja južnog Jadrana. U konačnici, manje apsolutne vrijednosti (bolji ukupan rezultat) su za metodu analogona postignute na sjevernom Jadranu. Za cijeli



Jadran je najuspješnija prognoza AnEnK, a najmanje uspješna je prognoza AnEn.

### **5.3. Diskusija**

Iz prethodno navedenih rezultata može se vidjeti da prognoze dobivene metodom analogona u većini slučajeva pokazuju bolje rezultate od prognoze ALADIN.

Štoviše, analizom mjera koje opisuju točnost (RMSE, ETS, EDI, SEEPS, ROC krivulje) pokazano je da kod svih grupa postaja (obalne, planinske i kontinentalne) prognoze dobivene metodom analogona najčešće pokazuju bolje rezultate od prognoze ALADIN. Te prognoze smanjuju RMSE prognoze ALADIN za sve prognostičke sate i mjesece, te povećavaju vrijednost mjere ETS za sve kategorije (A-E). Kod analize ekstremnih događaja i mjere EDI pokazano je da prognoza ALADIN poprima bolje rezultate jedino u kontinentalnoj grupi postaja kod kategorija V i VI, dok metoda analogona bolje prognozira navedene kategorije jakog udara vjetra u svim ostalim slučajevima. Kod analize ROC krivulja svih grupa postaja pokazano je da prognoza ALADIN poprima najlošije rezultate. Mjera SEEPS također pokazuje da je metoda analogona bolja za prognoziranje brzine udara vjetra u obalnom i planinskom području, dok je jedina grupa postaja kod koje prognoza ALADIN poprima najmanje (najbolje) vrijednosti kontinentalna grupa.

Analizom mjera koje opisuju pristranost (pristranost srednjaka, pristranost standardne devijacije, Fbias) rezultati pokazuju da prognoze dobivene metodom analogona za sve grupe postaja u pravilu smanjuju iznos pristranosti srednjaka i povećavaju iznos pristranosti standardne devijacije brzine udara vjetra. Pritom su godišnji i dnevni hodovi tih prognoza manje amplitude nego kod prognoze ALADIN. Važno je uočiti da prognoze dobivene metodom analogona bolje prilagođavaju prognozu različitim vrstama geografskih područja u smislu da se srednje vrijednosti (npr. srednjaka i/ili standardne devijacije) često više razlikuju za različite grupe postaja nego je to slučaj za ALADIN prognozu. Prognoza ALADIN, iako posjeduje manje iznose pristranosti standardnih devijacija, s druge strane, precjenjuje srednjak i varijabilnost u područjima gdje su one manjih iznosa, i podcjenjuje ih u područjima gdje su one većih iznosa, često pokazujući sličan rezultat neovisno o geografskom području. Prognoze dobivene metodom analogona konzistentno podcjenjuju varijabilnost, što bi se moglo pripisati svojstvu same metode. Općenito, sustavne pogreške prognoza dobivenih metodom analogona ponekad se mogu pripisati činjenici da je prisutna razlika u iznosima srednjaka i standardnih devijacija promatranih varijabli između razdoblja učenja i testnog razdoblja (npr. Odak Plenковиć i sur., 2018). No, s obzirom na to da je u razdoblju učenja standardna devijacija brzine udara vjetra bila čak i nešto veća u odnosu na testno razdoblje, podcjenjivanje varijabilnosti svih prognoza dobivenih metodom analogona nije moguće obrazložiti takvim argumentom. Kod mjere Fbias prognoza

ALADIN pokazuje malo bolje rezultate nego ostale prognoze. No, i kod te je mjere uočljivo da prognoza ALADIN posjeduje izraženu pristranost srednjaka, dok ostale prognoze posjeduju pristranost standardne devijacije za sve grupe postaja.

Analizom mjera koje opisuju korelaciju između prognoza i mjerenja (koeficijent korelacije, PCC) pokazano je da prognoze dobivene metodom analogona uvijek pokazuju bolje rezultate. Sumarna mjera PCC tih prognoza poprima veće vrijednosti u odnosu na prognozu ALADIN, a analiza kod koje se vjetar promatra kao kontinuirana varijabla pokazuje da taj rezultat vrijedi i za sve mjesece i prognostičke sate.

Kod usporedbe različitih prognoza dobivenih metodom analogona postoje indikacije da prognoza AnEnK pokazuje najbolje, a prognoza AnEn najlošije rezultate, iako su razlike između svih tih prognoza vrlo malene. Pritom, te su razlike izraženije kod ekstremnih događaja. U nastavku diskusije komentiraju se razlike između samih prognoza dobivenih metodom analogona ističući specifičnosti za pojedine grupe postaja.

### **Obalna grupa**

Između svih prognoza dobivenih metodom analogona, prognoza AnEn pokazuje najlošije rezultate, a prognoza AnEnK pokazuje najbolje rezultate, iako su razlike između nje i prognoze AnEnT često vrlo malene. Iako su ovi zaključci vidljivi i kod dekompozicije pogreške RMSE, najveće se prednosti prognoze AnEnK mogu vidjeti kod analize ekstremnih događaja pomoću mjere EDI. Naime, prognoza AnEnK pokazuje konstantno najbolje rezultate, što je pogotovo vidljivo kod kategorije VI. Zanimljiva pojava kod ove grupe postaja je poboljšanje koeficijenta korelacije prognoza dobivenih metodom analogona u odnosu na prognozu ALADIN, u vremenu oko 13 UTC (slika 5.3a). Ova bi se pojava mogla pripisati poboljšanju prognoziranja vjetra maestrala naknadnom obradom. Kod razmatranja dnevnog hoda srednjaka u ovisnosti o prognostičkom satu (slika 5.4a) pokazano je da se maksimum dnevnog hoda prognoze ALADIN pojavljuje prije izmjerenog maksimuma. Takva fazna pogreška u prognoziranju dnevnog hoda (u vidu ranijeg modeliranja dnevnog maksimuma) nije prisutna kod prognoza metodom analogona, što može sugerirati da metoda analogona tu pogrešku popravljala .

### **Usporedba sjevernog i južnog Jadrana**

S ciljem analize prognoza bure i juga, dodatna analiza napravljena je za postaje sjevernog i južnog Jadrana. S obzirom da je bura češća na sjevernom Jadranu, a jugo na južnom Jadranu, ovakva analiza može sugerirati koji je od ovih vjetrova bolje predviđen analiziranim prognozama. Pokazano je kako su izmjerene vrijednosti srednjaka i standardnih devijacija manje u toplijem dijelu godine, a veće u hladnijem dijelu godine (slike 5.11 i 5.12), kada se češće pojavljuju snažni vjetrovi bura i jugo. Iako se maksimum svih srednjaka nalazi u 2. mjesecu na sjevernom Jadranu, općenito veće vrijednosti srednjaka izmjerene su kod postaja južnog Jadrana, dok su veće vrijednosti

standardne devijacije izmjerene kod postaja sjevernog Jadrana. Ti podaci u skladu su s činjenicom da je bura jak vjetar koji je češći na sjeveru Jadrana i izrazito je varijabilan, dok je jugo jak vjetar koji je češći na jugu Jadrana i manje je varijabilnosti. Iako prognoze kod postaja sjevernog Jadrana često pokazuju bolje apsolutne vrijednosti rezultata od prognoza kod postaja južnog Jadrana, veće se relativno poboljšanje prognoza dobivenih metodom analogona u odnosu na prognozu ALADIN može vidjeti kod postaja južnog Jadrana. Ova se pojava može uočiti kod analize sustavnih pogrešaka u ovisnosti o mjesecima i UTC prognostičkom satu, kod kategoričkih mjera Fbias i ETS, kod analize ROC krivulja, te čak i kod sumarnih mjera PCC i SEEPS. Osim što je kod postaja južnog Jadrana veća razlika između prognoza dobivenih metodom analogona i prognoze ALADIN, kod tih je postaja primijećeno i da su razlike između samih prognoza dobivenih metodom analogona često međusobno više izražene. Tako kod postaja južnog Jadrana korištenje prognoze AnEnK daje veće poboljšanje u odnosu na prognoze AnEn i AnEnT nego li je to slučaj kod postaja sjevernog Jadrana. Ova se pojava može jasnije vidjeti kod prognoze jačih nego slabijih vjetrova. Primjerice, kod prikaza mjera Fbias i ETS (slika 5.21) prognoza AnEn pokazuje poprilično lošije rezultate kod kategorija relativno jakih udara vjetra (D i E) na južnom Jadranu nego li je to slučaj kod postaja sjevernog Jadrana. Kod prikaza mjere EDI (slika 5.22) prognoza AnEnK često poprima najviše vrijednosti na cijelom Jadranu, no kod postaja južnog Jadrana ova je tvrdnja još i izraženija. Kod postaja južnog Jadrana prognoze AnEn i AnEnT, primjerice, uopće ne prognoziraju ekstremnu kategoriju VI, dok je prognoza AnEnK prognozira te pritom pokazuje bolji rezultat i od prognoze ALADIN. No, ipak su, u konačnici, apsolutni iznosi rezultata prognoza ekstremnih kategorija bolji za postaje sjevernog nego južnog Jadrana, bilo kod mjere EDI, ili npr. mjere ETS. Pokazano je da je vrijednost mjere ETS rubne kategorije E (najjači udari) kod postaja sjevernog Jadrana vidljivo veća od rubne kategorije (najslabiji udari) A. Takav rezultat nije zabilježen kod postaja južnog Jadrana, već su rezultati za rubne kategorije relativno usporedive veličine. Općenito, navedeni rezultati sugeriraju da prognoze bolje modeliraju buru nego jugo, no relativno poboljšanje prognoza dobivenih metodom analogona u odnosu na prognozu ALADIN je izraženije kod juga. Međutim, ovi su rezultati dobiveni analizom postaja kod kojih su ti vjetrovi učestaliji, te svi ovi zaključci samo sugeriraju kvalitetu opisa navedenih vjetrova. Za detaljniju analizu modeliranja tih vjetrova potrebno je izdvojiti udare bure i juga, te sličnu analizu primijeniti na te podatke. Zanimljivo je i uočiti da je dnevni minimum koeficijenta korelacije oko 13 UTC više izražen kod postaja južnog nego kod sjevernog Jadrana. S obzirom na to da je vjetar maestral češći na južnom Jadranu, ovaj rezultat ide u prilog tvrdnji da je porast koeficijenta korelacije obalne grupe postaja oko 13 UTC uzrokovan boljim opisom vjetra maestrala.

## Planinska grupa

Iako su razlike među prognozama metodom analogona u odnosu na obalnu grupu postaja manje, i kod ove grupe postaja prognoza AnEn pokazuje najlošije, a prognoza AnEnK najbolje rezultate. Ovo se posebno odnosi na kategorije jakog udara vjetra. Primjer ove tvrdnje može se jasno vidjeti kod prikaza mjere EDI (slika 5.20) prognoza AnEnK pokazuje najbolje rezultate, no to je najizraženije tek kod najekstremnije kategorije udara vjetra (kategorija VI). Iako manje izraženo, najbolji rezultat prognoze AnEnK može se uočiti i kod sumarnih mjera, npr. kod prikaza mjere SEEPS (slika 5.26).

## Kontinentalna grupa

Za razliku od prethodno razmatranih grupa postaja, pokazano je da prognoza AnEn u ovoj grupi postaja u nekim mjesecima i prognostičkim satima pokazuje čak i bolje rezultate od prognoza AnEnT i AnEnK. No, taj rezultat ne vrijedi za sve mjere. Primjerice, kod analize mjera Fbias i ETS pokazano je da su rezultati prognoze AnEn malo lošiji od prognoza AnEnT i AnEnK, pogotovo za ekstremne kategorije. Mjera ETS prognoza dobivenih metodom analogona za rubne kategorije (A i E) poprima slične vrijednosti u ovom području, što nije slučaj kod drugih grupa postaja gdje je kategorija najjačih udara bolje prognozirana od kategorije najslabijih udara. Iz takvog rezultata može se zaključiti da kod ove grupe postaja kvaliteta prognoze jakog vjetra metodom analogona manja nego za ostala geografska područja. Ovaj je zaključak vidljiv i kod mjere EDI, te prognoza ALADIN pokazuje najveće vrijednosti ove mjere za dvije kategorije najjačeg udara vjetra (kategorije V i VI). Sve prognoze dobivene metodom analogona izrazito podcjenjuju učestalost svih ekstremnih kategorija na ovom području. Pokazano je da prognoze dobivene metodom analogona vrlo malo poboljšavaju udio točnih prognoza u odnosu na neostvarene prognoze u kontinentalnoj grupi postaja, posebno za brzinu udara iznad 90. percentila. Posljedično, u tom slučaju se ROC krivulja najmanje razlikuje od krivulje za prognozu ALADIN u odnosu na sve promatrane grupe (slika 5.24f). Zanimljivo je i primijetiti kako koeficijent korelacije ove grupe postaja raste u razdoblju kada su vrijednosti srednjaka i standardne devijacije konstantne (za vrijeme noćnih sati), te pada u razdoblju kada srednjaci i standardne devijacije mijenjaju vrijednosti (za vrijeme dana). Ova pojava nije primijećena kod drugih grupa postaja. Iako rezultati prognoza osnovnih kategorija pokazuju poboljšanje svih prognoza dobivenih metodom analogona u odnosu na prognozu ALADIN, pokazano je i da taj efekt nije prisutan za prognoze jakih vjetrova u ovoj grupi postaja. Također, prognoza AnEn u nekim slučajevima pokazuje bolje rezultate od prognoza AnEnT i AnEnK na kontinentalnom području. Razlog ovakvih rezultata može ležati u detaljima same metode. Naime, prognoze ove grupe postaja mogle bi imati koristi od dodatnih testova osjetljivosti, primjerice korištenja većeg broja prediktora kod pro-

cesa odabira najbližnjih prognoza. S obzirom na to da udar vjehra ove grupe postaja često poprima male vrijednosti, kod pretraživanja analogona ova bi prognoza mogla koristiti ako bi se u analizu uključilo više varijabli, tj. slična bi se atmosferska situacija pronalazila korištenjem većeg broja stupnjeva slobode. Također, bolji bi se rezultat potencijalno mogao ostvariti produljenjem razdoblja treninga, te bi samo poboljšanje kod ove grupe postaja u tom slučaju moglo biti veće od poboljšanja u ostalim grupama postaja.

## 6. Zaključak

Cilj ove radnje bio je pokazati kompleksnost i važnost pravilnog odabira verifikacijskih alata te ih iskoristiti za odabir adekvatne prognoze udara vjetra na visini od 10 m za različita geografska područja Republike Hrvatske. Prostor Republike Hrvatske podijeljen je pritom na 3 glavne grupe - obalnu, kontinentalnu i planinsku. Također, s ciljem usporedbe rezultata postaja kod kojih je frekvencijski dominantan vjetar bura ili jugo, iz obalne grupe postaja dodatno je izdvojeno 20 postaja koje su ravnopravno pridijeljene grupama sjeverni Jadran ili južni Jadran. Verificirana je prognoza numeričkog modela ALADIN i 3 dodatne prognoze koje se temelje na tzv. metodi analogona: osnovna prognoze AnEn, AnEnT kod koje je rađena dodatna optimizacija težina, i AnEnK kod koje je izvršena i dodatna korekcija radi utvrđivanja uspješnosti za velike brzine udara vjetra.

Kod analize vjetra kao kontinuirane varijable prognoza ALADIN najveće vrijednosti pogreške poprima kod obalne grupe postaja, dok se analizom vjetra kao kategoričke varijable pokazalo da prognoza ALADIN najlošije rezultate pokazuje u kontinentalnoj grupi postaja. U ovome je radu također pokazano da sve tri prognoze dobivene metodom analogona u većini slučajeva poboljšavaju rezultate prognoze numeričkog modela ALADIN. Sumarne verifikacijske mjere najčešće pokazuju poboljšanje rezultata svih prognoza dobivenih metodom analogona. Kod usporedbe različitih grupa postaja, pokazano je da su najveća poboljšanja prognoza dobivenih metodom analogona u odnosu na prognozu ALADIN postignuta kod obalne grupe postaja, dok su najmanja poboljšanja postignuta kod kontinentalne grupe postaja. Dodatno, promatranjem članova dekompozicije srednje kvadratne pogreške ( $RMSE^2$ ) u ovisnosti o UTC prognostičkom satu i mjesecu, uz lošiju točnost, pokazana je i lošija prilagodba prognoze ALADIN za različite tipove terena, što kod prognoza dobivenih metodom analogona nije uočeno.

Analizom kategoričkih mjera za uobičajene događaje pokazana je veća točnost svih prognoza dobivenih metodom analogona, dok kod ekstremnih događaja prognoza ALADIN pokazuje veću točnost jedino za najjače vjetrove kontinentalne grupe postaja. Kod kontinentalne grupe postaja primjetan je i lošiji opis jakih vjetrova. Poboljšanje prognoze u toj grupi postaja moglo bi se postići variranjem parametara kod samog modela, no za to je potrebna daljnja analiza.

Općenito, rezultati navedeni u ovom radu sugeriraju da sve promatrane prognoze bolje modeliraju buru nego jugo, no relativno poboljšanje prognoza dobivenih metodom analogona u odnosu na prognozu ALADIN je izraženije kod juga. No, za potvrdu tih rezultata bilo bi potrebno ovakvu analizu primijeniti na epizode navedenih vjetrova. Uz to, rezultati sugeriraju da prognoze dobivene metodom analogona potencijalno poboljšavaju prognozu maestrala čiji se maksimum javlja sredinom dana.

Između samih prognoza dobivenih metodom analogona razlike su najčešće male, no

ne i nezamjetne. Tako se prognoza s korekcijom za velike brzine udara vjetra AnEnK može izdvojiti kao prognoza s općenito najboljim rezultatima, pogotovo za jake vjetrove u obalnoj i planinskoj grupi postaja. Poboljšanje prognoze AnEnK u odnosu na druge prognoze dobivene metodom analogona (AnEn i AnEnT) pritom je jače izraženo kod postaja južnog nego kod sjevernog Jadrana.

## Literatura

- Alessandrini, S., L. Delle Monache, S. Sperati, i G. Cervone (2015, 11). An analog ensemble for short-term probabilistic solar power forecast. *Applied Energy* 157, 95–110.
- Alessandrini, S., L. Delle Monache, S. Sperati, i J. Nissen (2015, 04). A novel application of an analog ensemble for short-term wind power forecasting. *Renewable Energy* 76, 768–781.
- Alessandrini, S., S. Sperati, i L. Delle Monache (2019). Improving the analog ensemble wind speed forecasts for rare events. *Monthly Weather Review* 147(7), 2677–2692.
- Bouttier, F. i P. Courtier (2002). Data assimilation concepts and methods.
- Casati, B., L. J. Wilson, D. B. Stephenson, P. Nurmi, A. Ghelli, M. Pocerlich, U. Dammrath, E. E. Ebert, B. G. Brown, i S. Mason (2008). Forecast verification: current status and future directions. *Meteorological Applications* 15(1), 3–18.
- Delle Monache, L., F. Eckel, D. Rife, B. Nagarajan, i K. Searight (2013, 10). Probabilistic weather prediction with an analog ensemble. *Monthly Weather Review* 141, 3498–3516.
- Delle Monache, L., T. Nipen, Y. Liu, G. Roux, i R. Stull (2011). Kalman filter and analog schemes to postprocess numerical weather predictions. *Monthly Weather Review* 139, 3554–3570.
- Djalalova, I., L. Delle Monache, i J. Wilczak (2015). Pm2.5 analog forecast and kalman filter post-processing for the community multiscale air quality (cmaq) model. *Atmospheric Environment* 108, 76–87.
- Drosowsky, W. (1994). Analog (nonlinear) forecasts of the southern oscillation index time series. *Weather and Forecasting* 9(1), 78–84.
- Ferro, C. A. T. i D. B. Stephenson (2011, 10). Extremal Dependence Indices: Improved Verification Measures for Deterministic Forecasts of Rare Binary Events. *Weather and Forecasting* 26(5), 699–713.
- Fischer, C., T. Montmerle, L. Berre, L. Auger, i S. Briceag (2006, 12). An overview of the variational assimilation in the aladin/france nwp system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 131, 3477 – 3492.
- Gao, L., H. Ren, J. Li, i J. Chou (2006, apr). Analogue correction method of errors and its application to numerical weather prediction. *Chinese Physics* 15(4), 882–889.



- Gerrity, J. P. (1992). A note on gandin and murphy's equitable skill score. *Monthly Weather Review* 120(11), 2709–2712.
- Grisogono, B. i D. Belušić (2009). A review of recent advances in understanding the meso- and micro-scale properties of the severe bora wind. *Tellus. A* 61(1), 1–16.
- Hoffman, R. N., Z. Liu, J.-F. Louis, i C. Grassoti (1995). Distortion representation of forecast errors. *Monthly Weather Review* 123(9), 2758–2770.
- Horvath, K., S. Ivatek-Šahdan, B. Ivancan-Picek, i V. Grubišić (2009, 08). Evolution and structure of two severe cyclonic bora events: Contrast between the northern and southern adriatic. *Weather and Forecasting - WEATHER FORECAST* 24, 946–964.
- Horvath, K., D. Koracin, R. Vellore, J. Jiang, i R. Belu (2012). Sub-kilometer dynamical downscaling of near-surface winds in complex terrain using wrf and mm5 mesoscale models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 117, D11111.
- Jolliffe, I. T. i D. B. Stephenson (2012). *Forecast Verificaton: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science* (Second Edition ed.). Wiley-Blackwell, Oxford, 274pp.
- Junk, C., L. Delle Monache, S. Alessandrini, G. Cervone, i L. von Bremen (2015, 07). Predictor-weighting strategies for probabilistic wind power forecasting with an analog ensemble. *Meteorologische Zeitschrift* 24(4), 361–379.
- Juras, J. i Z. Pasarić (2006). Application of tetrachoric and polychoric correlation coefficients to forecast verification. *Geofizika* 23(1), 59–81.
- Keller, D. E., A. M. Fischer, M. A. Liniger, C. Appenzeller, i R. Knutti (2017). Testing a weather generator for downscaling climate change projections over switzerland. *International Journal of Climatology* 37(2), 928–942.
- Klausner, Z., H. Kaplan, i E. Fattal (2009). The similar days method for predicting near surface wind vectors. *Meteorological Applications* 16(4), 569–579.
- Lorenz, E. N. (1969). Atmospheric predictability as revealed by naturally occurring analogues. *Journal of the Atmospheric Sciences* 26(4), 636–646.
- Mass, C., D. Ovens, K. Westrick, i B. Colle (2002). Does increasing horizontal resolution produce more skillful forecasts? *Bulletin of the American Meteorological Society* 83, 407–430.
- Murphy, A. H. (1988, 12). Skill Scores Based on the Mean Square Error and Their Relationships to the Correlation Coefficient. *Monthly Weather Review* 116(12), 2417–2424.

- Murphy, A. H. (1996). The finley affair: A signal event in the history of forecast verification. *Weather and Forecasting* 11(1), 3–20.
- Nagarajan, B., L. Delle Monache, J. Hacker, D. Rife, K. Searight, J. Knievel, i T. Nipen (2015). An evaluation of analog-based post-processing methods across several variables and forecast models. *Weather and Forecasting* 30, 1623–1643.
- Odak Plenković, I. (2020). *Wind speed prediction using the analog method over complex topography*. Ph. D. thesis, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet.
- Odak Plenković, I., L. Delle Monache, K. Horvath, i M. Hrastinski (2018). Deterministic wind speed predictions with analog-based methods over complex topography. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 57(9), 2047–2070.
- Odak Plenković, I., I. Schicker, M. Dabernig, K. Horvath, i E. Keresturi (2020). Analog-based post-processing of the aladin-laef ensemble predictions in complex terrain. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 146, 1842– 1860.
- Panziera, L., U. Germann, M. Gabella, i P. V. Mandapaka (2011). Nora–nowcasting of orographic rainfall by means of analogues. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 137(661), 2106–2123.
- Pearson, K. (1900). I. mathematical contributions to the theory of evolution. vii. on the correlation of characters not quantitatively measurable. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A* 195(262-273), 1–47.
- Rabier, F., A. McNally, E. Andersson, P. Courtier, P. Undén, J. Eyre, A. Hollingsworth, i F. Bouttier (1998). The ecmwf implementation of three-dimensional variational assimilation (3d-var). ii: Structure functions. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 124(550), 1809–1829.
- Ren, H. i J. Chou (2006). Analogue correction method of errors by combining statistical and dynamical methods. *Journal of Meteorological Research* 20(20060309), 367–373.
- Rife, D. i C. Davis (2005). Verification of temporal variations in mesoscale numerical wind forecasts. *Monthly Weather Review - MON WEATHER REV* 133, 3368–3381.
- Rodwell, M. J., D. S. Richardson, T. D. Hewson, i T. Haiden (2010). A new equitable score suitable for verifying precipitation in numerical weather prediction. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 136(650), 1344–1363.
- Schaefer, J. T. (1990). The critical success index as an indicator of warning skill. *Weather and Forecasting* 5(4), 570–575.

- Stephenson, D. B., B. Casati, C. A. T. Ferro, i C. A. Wilson (2008). The extreme dependency score: a non-vanishing measure for forecasts of rare events. *Meteorological Applications* 15(1), 41–50.
- Tudor, M., A. Stanešić, S. Ivatek-Šahdan, M. Hrastinski, I. Odak Plenković, K. Horvath, A. Bajić, i T. Kovačić (2015). Changes in the aladin operational suite in croatia in the period 2011-2015. *Hrvatski meteorološki časopis* 50, 71–89.
- Untch, A. i M. Hortal (2004, 04). A finite-element scheme for the vertical discretization of the semi-lagrangian version of the ecmwf forecast model. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 130, 1505 – 1530.
- van den Dool, H. M. (1989). A new look at weather forecasting through analogues. *Monthly Weather Review* 117(10), 2230–2247.
- Vanvyve, E., L. Delle Monache, A. Monaghan, i J. Pinto (2015, 02). Wind resource estimates with an analog ensemble approach. *Renewable Energy* 74, 761–773.
- Wilcox, R. R. (2009). Comparing pearson correlations: Dealing with heteroscedasticity and nonnormality. *Communications in Statistics-Simulation and Computation* 38(10), 2220–2234.
- Wilks, D. S. (1997). Resampling hypothesis tests for autocorrelated fields. *Journal of Climate* 10(1), 65–82.
- Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (Third Edition ed.). Amsterdam; Boston: Elsevier Academic Press, 676pp.
- Xavier, P. i B. N. Goswami (2007, 12). An analog method for real-time forecasting of summer monsoon subseasonal variability. *Monthly Weather Review - MON WEATHER REV* 135, 4149–4160.
- Zaninović, K., M. Gajić-Čapka, M. Perčec Tadić, M. Vučetić, J. Milković, A. Bajić, K. Cindrić, L. Cvitan, Z. Katušin, i D. Kaučić (2008). *Climate atlas of Croatia : 1961-1990. : 1971-2000*. Državni hidrometeorološki zavod, 200pp.
- Zhang, J., C. Draxl, T. Hopson, L. Delle Monache, E. Vanvyve, i B.-M. Hodge (2015, 10). Comparison of numerical weather prediction based deterministic and probabilistic wind resource assessment methods. *Applied Energy* 156, 528–541.

# Dodatci

## A Dodatak

Tablica A1. Udio nedostajućih podataka udara vjetra VMAXo za 2016. godinu po mjesecima za svaku postaju.

Postaja	Sij	Velj	Ožu	Tra	Svi	Lip	Srp	Kol	Ruj	Lis	Stu	Pro
14200	0.001	0.012	0.009	0.000	0.011	0.007	0.000	0.006	0.005	0.000	0.000	0.000
14201	0.000	0.012	0.025	0.259	1.000	1.000	1.000	1.000	0.403	0.000	0.000	0.000
14202	0.000	0.010	0.012	0.000	0.000	0.014	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14204	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000
14205	0.000	0.013	0.012	0.000	0.000	0.008	0.003	0.000	0.000	0.000	0.243	0.000
14215	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.197	0.011	0.039	0.000	0.000	0.000	0.019
14216	0.000	0.058	0.011	0.000	0.014	0.208	0.000	0.000	0.148	0.001	0.000	0.000
14219	0.010	0.029	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.012
14230	0.005	0.012	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14232	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14234	0.007	0.003	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006
14235	0.000	0.000	0.008	0.022	0.000	0.000	0.005	0.004	0.000	0.017	0.000	0.012
14236	0.018	0.000	0.008	0.000	0.000	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.012
14240	0.000	0.000	0.000	0.000	0.045	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004
14244	0.002	0.010	0.057	0.001	0.000	0.000	0.000	0.017	0.000	0.000	0.000	0.015
14246	0.003	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.189	0.004	0.000	0.000	0.000	0.006
14248	0.007	0.016	0.012	0.001	0.000	0.011	0.014	0.011	0.000	0.015	0.001	0.021
14253	0.000	0.029	0.009	0.000	0.039	0.074	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.027
14256	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.132	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14258	0.001	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.062	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000
14268	0.000	0.010	0.012	0.000	0.026	0.000	0.261	0.080	0.000	0.000	0.000	0.015
14280	0.000	0.012	0.011	0.000	0.000	0.000	0.007	0.003	0.000	0.003	0.001	0.000
14282	0.324	0.001	0.013	0.857	1.000	1.000	1.000	0.107	0.322	0.074	0.863	0.472

14291	0.176	0.487	0.011	0.170	0.000	0.000	0.133	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000
14292	0.000	0.010	0.172	0.000	0.232	0.142	0.000	0.076	0.017	0.007	0.310	0.036
14293	0.000	0.010	0.011	0.021	0.071	0.007	0.001	0.000	0.000	0.039	0.000	0.000
14294	0.000	0.010	0.011	0.000	0.000	0.018	0.000	0.000	0.000	0.292	0.349	0.000
14295	0.000	0.010	0.011	0.000	0.000	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14298	0.000	0.010	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14303	0.000	0.012	0.009	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14305	0.324	0.000	0.000	0.317	1.000	1.000	1.000	0.000	0.322	0.074	0.000	0.009
14308	0.000	0.000	0.012	0.008	0.057	0.009	0.001	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000
14309	0.000	0.087	0.106	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14310	0.245	0.136	0.017	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14314	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.417	0.191	0.000	0.000	0.000
14316	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.134	0.011	0.000	0.000	0.000	0.457	0.045
14320	0.056	0.007	0.012	0.029	0.000	0.015	0.001	0.000	0.000	0.057	0.080	0.124
14321	0.024	0.024	0.016	0.000	0.001	0.054	0.314	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000
14323	0.009	0.203	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.011	0.017
14326	0.000	0.010	0.012	0.000	0.000	0.008	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.028
14327	0.682	0.019	0.005	0.023	0.000	0.005	0.012	0.013	0.066	0.019	0.008	0.009
14328	0.003	0.000	0.008	0.000	0.003	0.000	0.000	0.219	0.005	0.000	0.000	0.000
14330	0.000	0.000	0.013	0.003	0.005	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000
14334	0.000	0.002	0.000	0.090	0.000	0.012	0.005	0.000	0.000	0.003	0.007	0.000
14335	0.324	0.042	0.000	0.317	1.000	1.000	1.000	0.052	0.329	0.074	0.001	0.501
14365	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000
14370	0.004	0.000	0.034	0.000	0.007	0.053	0.000	0.020	0.000	0.001	0.000	0.015
14382	0.005	0.006	0.003	0.035	0.015	0.011	0.011	0.000	0.000	0.024	0.003	0.047
14422	0.023	0.189	0.000	0.000	0.007	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.463	0.295
14428	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14433	0.324	0.000	0.000	0.327	1.000	1.000	1.000	0.313	0.342	0.074	0.047	0.142
14438	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

14442	0.000	0.000	0.012	0.000	0.011	0.025	0.026	0.005	0.054	0.000	0.003	0.118
14445	0.210	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.008	0.000	0.000	0.002
14447	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.005	0.003	0.009	0.000	0.020	0.021	0.000
14452	0.000	0.015	0.012	0.000	0.000	0.675	0.000	0.031	0.000	0.000	0.000	0.021
14462	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.031	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000
14464	0.340	0.010	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000
14465	0.803	1.000	0.935	0.317	1.000	1.000	1.000	0.007	0.322	0.477	0.899	0.169
14472	0.003	0.000	0.009	0.001	0.000	0.001	0.036	0.000	0.005	0.019	0.000	0.003
14477	0.000	0.012	0.009	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000

Tablica A2. Udio nedostajućih podataka udara vjetra VMAXo za 2017. godinu po mjesecima za svaku postaju.

Postaja	Sij	Velj	Ožu	Tra	Svi	Lip	Srp	Kol	Ruj	Lis	Stu	Pro
14200	0.196	0.214	0.000	0.004	0.143	0.000	0.403	0.079	0.068	0.001	0.021	0.000
14201	0.199	0.235	0.000	0.000	0.001	0.124	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
14202	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14204	0.011	0.052	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.000	0.018	0.000	0.000	0.000
14205	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14215	0.000	0.004	0.032	0.000	0.000	0.000	0.151	0.059	0.337	0.482	0.000	0.001
14216	0.000	0.000	0.000	0.007	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
14219	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015
14230	0.000	0.297	0.001	0.129	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14232	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.072	0.000	0.000	0.000
14234	0.003	0.001	0.001	0.000	0.005	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000
14235	0.000	0.040	0.005	0.000	0.048	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14236	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004
14240	0.004	0.000	0.000	0.000	0.079	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007
14244	0.001	0.002	0.000	0.003	0.207	0.001	0.003	0.000	0.000	0.021	0.003	0.009
14246	0.002	0.000	0.000	0.003	0.005	0.008	0.005	0.001	0.013	0.000	0.000	0.000

14248	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.011	0.000	0.013	0.000	0.019	0.000	0.000
14253	0.000	0.000	0.005	0.001	0.001	0.010	0.052	0.076	0.000	0.000	0.000	0.000
14256	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14258	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14268	0.000	0.000	0.000	0.029	0.000	0.013	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
14280	0.000	0.001	0.000	0.004	0.000	0.008	0.004	0.004	0.003	0.005	0.001	0.000
14282	0.389	0.270	0.640	0.000	0.000	0.036	0.005	0.004	0.010	0.005	0.000	0.000
14291	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.108	0.000
14292	0.032	0.000	0.000	0.106	0.003	0.000	0.000	0.078	0.110	0.000	0.126	0.000
14293	0.000	0.000	0.023	0.058	0.046	0.024	0.000	0.455	0.686	0.000	0.000	0.009
14294	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14295	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.192	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14298	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14303	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14305	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
14308	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.000	0.000	0.003	0.000
14309	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14310	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000
14314	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.163	0.000	0.712	1.000
14316	0.003	0.000	0.000	0.010	0.023	0.000	0.001	0.000	0.151	0.005	0.000	0.000
14320	0.097	0.001	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.033	0.000	0.086	0.001
14321	0.052	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.024	0.000	0.001	0.000
14323	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.011	0.003	0.000
14326	0.008	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14327	0.032	0.001	0.001	0.000	0.000	0.011	0.000	0.027	0.015	0.005	0.000	0.011
14328	0.000	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.060
14330	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.231	0.125	0.171	0.070	0.000	0.000
14334	0.639	0.085	0.000	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000
14335	0.474	0.417	0.976	0.086	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009

14365	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.253	0.000	0.005	0.000	0.000
14370	0.049	0.008	0.006	0.005	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.018	0.000
14382	0.033	0.058	0.008	0.024	0.003	0.011	0.000	0.001	0.004	0.005	0.000	0.007
14422	0.304	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.115
14428	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
14433	0.434	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
14438	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.001	0.011	0.000
14442	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001
14445	0.000	0.015	0.003	0.000	0.000	0.001	0.005	0.000	0.325	0.004	0.000	0.005
14447	0.001	0.003	0.000	0.181	0.000	0.000	0.219	0.250	0.013	0.192	0.001	0.005
14452	0.012	0.000	0.013	0.307	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14462	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.224	0.000	0.000	0.000	0.000
14464	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14465	0.372	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000
14472	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000
14477	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000

Tablica A3. Udio nedostajućih podataka udara vjetra VMAXo za 2018. godinu po mjesecima za svaku postaju.

Postaja	Sij	Velj	Ožu	Tra	Svi	Lip	Srp	Kol	Ruj	Lis	Stu	Pro
14200	0.034	0.104	0.000	0.000	0.054	0.013	0.008	0.000	0.000	0.011	0.000	0.030
14201	0.141	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.136	0.000	0.000	0.030
14202	0.033	0.089	0.005	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.030
14204	0.033	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.097	0.000	0.030
14205	0.033	0.001	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
14215	0.033	0.000	0.014	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
14216	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
14219	0.033	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.030
14230	0.033	0.018	0.474	0.082	0.050	0.077	0.017	0.000	0.005	0.004	0.143	0.600



14232	0.036	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
14234	0.049	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.030
14235	0.033	0.000	0.000	0.000	0.120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
14236	0.034	0.001	0.000	0.011	0.000	0.012	0.003	0.001	0.000	0.000	0.011	0.030
14240	0.033	0.021	0.002	0.000	0.000	0.003	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.030
14244	0.038	0.000	0.003	0.001	0.074	0.001	0.001	0.001	0.000	0.007	0.003	0.166
14246	0.033	0.000	0.000	0.000	0.015	0.001	0.000	0.014	0.007	0.000	0.000	0.032
14248	0.033	0.003	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.003	0.000	0.001	0.000	0.030
14253	0.034	0.004	0.011	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
14256	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
14258	0.038	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.046	0.000	0.000	0.000	0.030
14268	0.033	0.001	0.000	0.000	0.001	0.163	0.009	0.020	0.019	0.011	0.154	0.030
14280	0.038	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.012	0.003	0.000	0.000	0.000	0.037
14282	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.385	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.030
14291	0.435	0.000	0.154	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.115	0.196
14292	0.458	0.000	0.164	0.000	0.000	0.000	0.394	0.531	0.447	0.000	0.128	0.279
14293	0.033	0.000	0.109	0.000	0.030	0.024	0.021	0.156	0.360	0.116	0.153	0.181
14294	0.033	0.000	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
14295	0.033	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.203	0.014	0.000	0.000	0.000	0.030
14298	0.086	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.194	0.000	0.065
14303	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
14305	0.033	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.030
14308	0.033	0.000	0.000	0.000	0.020	0.268	0.003	0.039	0.003	0.000	0.000	0.030
14309	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
14310	0.038	0.000	0.353	0.550	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
14314	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.181	0.160	0.000	0.030
14316	0.033	0.001	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.030
14320	0.033	0.079	0.012	0.000	0.000	0.047	0.000	0.000	0.014	0.000	0.037	0.129
14321	0.033	0.003	0.007	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030

14323	0.033	0.007	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.032
14326	0.033	0.035	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.030
14327	0.048	0.098	0.003	0.433	0.000	0.125	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.030
14328	0.054	0.000	0.004	0.000	0.000	0.003	0.136	0.022	0.000	0.000	0.000	0.030
14330	0.033	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.272	0.007	0.030
14334	0.033	0.362	0.019	0.061	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.187	0.206	0.030
14335	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.048	0.000	0.001	0.000	0.000	0.003	0.046
14365	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.085	0.000	0.000	0.000	0.030
14370	0.033	0.000	0.000	0.000	0.195	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.032
14382	0.037	0.008	0.009	0.007	0.000	0.007	0.000	0.007	0.000	0.001	0.020	0.033
14422	0.587	0.273	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.001	0.068	0.061
14428	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.036
14433	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.176	0.015	0.000	0.000	0.000	0.030
14438	0.033	0.000	0.000	0.000	0.003	0.300	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	0.030
14442	0.033	0.000	0.001	0.015	0.005	0.000	0.000	0.332	0.000	0.000	0.000	0.030
14445	0.036	0.016	0.001	0.000	0.020	0.013	0.000	0.005	0.380	0.070	0.003	0.030
14447	0.033	0.000	0.000	0.000	0.001	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
14452	0.036	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
14462	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.032	0.000	0.000	0.000	0.001	0.044
14464	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
14465	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
14472	0.033	0.007	0.000	0.005	0.022	0.015	0.273	0.023	0.011	0.007	0.000	0.033
14477	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030

Tablica A4. Popis postaja sa pripadnim geografskim i statističkim obilježjima podataka varijable VMAXo za razdoblja 2016.-2017. i 2018. godinu. Oznake Lat, Lon i H označavaju geografska obilježja neke postaje-njenu geografsku širinu, dužinu, te nadmorsku visinu. Oznake stupaca tablice od Vm do VMAXmed redom označavaju: srednju brzinu vjetra, srednju brzinu maksimalnog udara vjetra, standardnu devijaciju brzine vjetra, standardnu devijaciju brzine maksimalnog udara vjetra, te medijan brzine maksimalnog udara vjetra. Mjerne jedinice koje se odnose na brzinu su izražene u  $m/s$ , dok je mjerna jedinica nadmorske visine  $m$ . Oznaka posljednjeg stupca označava pripadnost jednoj od 3 grupe postaja: obalnoj (O), planinskoj (P) ili kontinentalnoj (K).

Postaja	Ime postaje	Lat	Lon	H (m)	Vm (m/s)	VMAXm (m/s)	Vstd (m/s)	VMAXstd (m/s)	VMAXmed (m/s)	Grupa
2016.- 2017. godina										
14230	Gorinci	45.4	15.3	185	1.08	3.28	1.26	2.97	2.4	K
14232	Karlovac	45.4	15.6	110	1.17	3.29	1.09	2.54	2.4	K
14234	Krapina	46.1	15.9	202	1.20	3.66	1.28	3.11	2.5	K
14370	Slavnoski Brod	45.2	18	88	1.23	3.29	1.22	2.59	2.5	K
14282	Kopački Rit	45.7	18.8	83	0.71	2.86	0.55	2.07	2.6	K
14244	Sisak	45.5	16.4	98	1.56	3.77	1.40	2.77	2.9	K
14240	ZG Maksimir	45.8	16	123	1.65	4.14	1.24	2.76	3.3	K
14253	Bjelovar	45.9	16.9	141	1.50	4.16	1.12	2.85	3.4	K
14365	Gorice	45.2	17.3	135	1.79	3.91	1.05	2.15	3.4	K
14258	Daruvar	45.6	17.2	161	1.86	4.39	1.44	3.04	3.6	K
14382	Gradište	45.2	18.7	97	2.07	4.28	1.50	2.56	3.6	K
14246	Varaždin	46.3	16.4	167	2.27	4.48	1.72	2.94	3.7	K
14248	Križevci	46	16.6	155	2.11	4.58	1.65	3.18	3.7	K
14280	Osijek	45.5	18.6	89	2.00	4.83	1.27	2.69	4.3	K
14236	ZG Grič	45.8	16	157	2.15	5.28	1.53	3.28	4.4	K
14215	Opatija	45.3	14.3	5	1.18	3.47	1.35	2.82	2.4	O
14316	Malinska	45.1	145	1	1.59	4.14	1.42	3.19	2.9	O

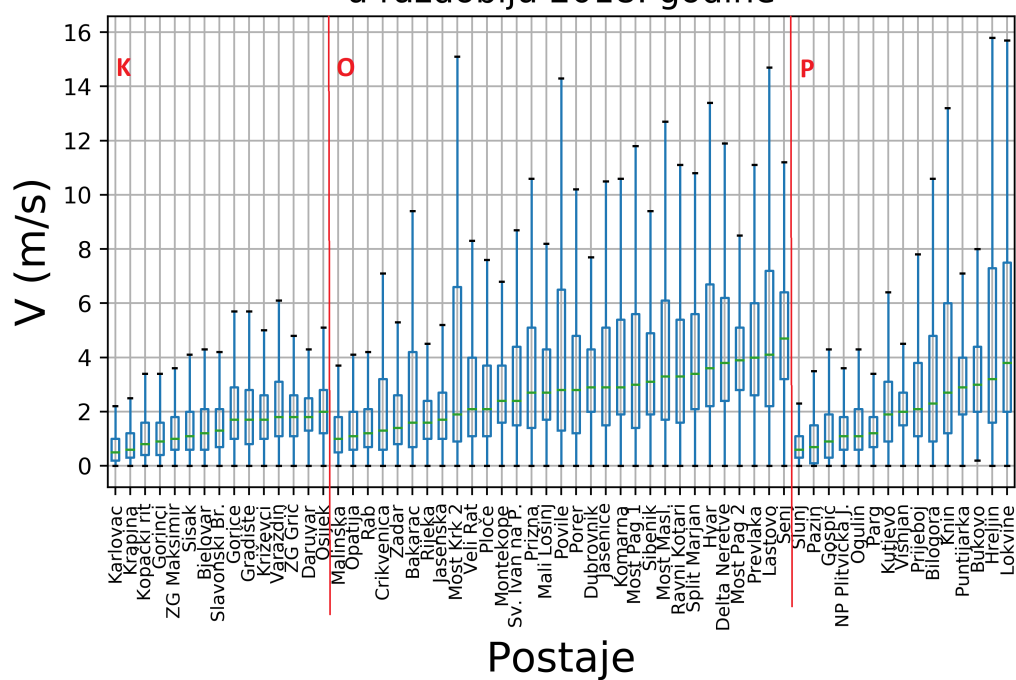
14216	Rijeka	45.3	14.4	120	1.63	4.31	1.25	3.08	3.4	O
14321	Rab	44.8	14.8	24	2.18	5.16	2.00	4.29	3.4	O
14202	Bakarac	45.3	14.6	2	2.73	6.85	3.62	7.02	3.7	O
14464	Jasenska	43	17.5	1	2.38	5.55	1.99	4.06	4.2	O
14320	Crikvenica	45.2	14.7	2	2.16	5.85	1.86	4.43	4.3	O
14462	Ploče	43	17.4	2	2.39	5.81	2.27	4.07	4.6	O
14445	Split Marjan	43.5	16.4	122	3.06	6.53	3.12	5.47	4.7	O
14204	Mosr Krk 2	45.2	14.6	57	3.43	8.04	4.27	7.84	4.9	O
14428	Zadar	44.1	15.2	5	3.21	6.22	2.77	4.45	4.9	O
14303	Sv. Ivan na P.	45	13.6	8	3.63	5.91	2.72	3.71	5	O
14309	Montekope	44.8	13.9	48	3.47	6.36	2.50	4.30	5.1	O
14422	Veli Rat	44.2	14.8	2	3.53	6.04	2.47	3.73	5.1	O
14326	Prizna	44.6	15	233	4.03	8.65	4.42	8.13	5.2	O
14205	Povile	45.1	14.8	54	4.21	9.54	5.13	8.81	5.5	O
14293	Most Maslenica	44.2	15.5	54	3.25	8.22	3.17	6.70	6	O
14472	Dubrovnik	42.6	18.1	52	4.17	7.92	3.48	5.57	6	O
14295	Jasenice	44.2	15.6	170	5.10	9.52	5.29	8.48	6.2	O
14310	Porcer	44.8	13.9	5	4.66	7.84	3.11	5.02	6.3	O
14291	Most Pag 1	44.3	15.3	42	4.63	8.96	4.40	7.57	6.4	O
14447	Hvar	43.2	16.4	20	3.44	7.84	2.75	5.17	6.4	O
14314	Mali Lošinj	44.5	14.5	53	3.31	7.40	2.27	4.35	6.5	O
14292	Most Pag 2	44.3	15.3	42	4.79	9.05	4.21	7.19	6.7	O
14298	Komarna	42.9	17.5	99	4.03	7.65	3.14	5.00	6.7	O
14433	Ravni Kotari	44	15.5	134	4.97	8.59	3.32	5.36	7.1	O
14452	Lastovo	42.8	16.9	186	4.24	8.25	2.74	4.71	7.2	O
14465	Delta Neretve	43	17.6	60	4.20	7.80	2.22	3.53	7.2	O
14477	Prevlaka	42.4	18.5	68	5.51	8.78	3.72	5.06	7.4	O
14438	Šibenik	43.7	15.9	77	3.82	8.71	3.08	5.79	7.7	O
14323	Senj	45	14.9	26	4.05	10.26	3.78	7.81	8.1	O

14327	Slunj	45.1	15.5	390	1.13	3.72	1.46	3.19	2.7	P
14334	NP Plitvička J.	44.9	15.6	579	1.15	4.15	1.18	3.39	3.3	P
14328	Ogulin	45.3	15.2	328	1.47	4.45	1.34	3.32	3.4	P
14308	Pazin	45.2	13.9	291	1.76	5.15	1.87	4.85	3.5	P
14330	Gospić	44.6	15.4	564	1.66	4.43	1.35	3.07	3.5	P
14219	Parg	45.6	14.6	863	1.52	5.21	1.02	3.18	4.3	P
14268	Kutjevo	45.4	17.9	270	2.42	5.45	2.19	4.09	4.3	P
14305	Višnjan	45.3	13.8	335	2.46	5.58	1.27	3.25	4.8	P
14200	Bukovo	45.3	14.6	700	2.94	7.27	2.51	4.90	5.4	P
14256	Bilogora	45.9	17.2	262	3.14	6.33	1.86	3.44	5.6	P
14335	Prijeboj	44.8	15.7	704	2.99	6.50	2.11	4.20	5.8	P
14442	Knin	44	16.2	255	3.02	7.49	2.56	5.44	6.3	P
14201	Hreljin	45.3	14.6	716	4.24	9.41	3.83	6.37	6.8	P
14235	Puntijarka	45.9	16	991	3.72	8.69	2.09	4.57	7.6	P
14294	Lokvine	44.2	15.8	490	5.61	11.65	4.82	8.33	9.6	P
2018. godina										
14232	Karlovac	45.5	15.6	110	0.92	2.75	0.94	2.07	2.00	K
14234	Krapina	46.1	15.9	202	1.10	3.19	1.03	2.43	2.30	K
14282	Kopački rit	45.7	18.8	83	0.66	2.77	0.52	1.89	2.50	K
14230	Gorinci	45.4	15.3	185	1.23	3.47	1.22	2.61	2.70	K
14240	ZG Maksimir	45.8	16	123	1.43	3.64	1.13	2.39	2.90	K
14244	Sisak	45.5	16.4	98	1.58	3.69	1.32	2.51	2.90	K
14253	Bjelovar	45.9	16.9	141	1.26	3.60	0.93	2.32	3.00	K
14370	Slavonski Brod	45.2	18	88	1.48	3.71	1.21	2.39	3.10	K
14365	Gorice	45.2	17.3	135	1.95	4.14	1.02	2.09	3.60	K
14382	Gradište	45.2	18.7	97	1.95	4.11	1.32	2.31	3.60	K
14248	Križevci	46	16.6	155	2.08	4.45	1.51	2.80	3.70	K
14246	Varaždin	46.3	16.4	167	2.31	4.73	1.82	3.14	3.80	K
14236	ZG Grič	45.8	16	157	2.04	4.57	1.33	2.51	4.00	K

14258	Daruvar	45.6	17.2	161	1.96	4.55	1.49	2.90	4.00	K
14280	Osijek	45.5	18.6	89	2.00	4.51	1.18	2.24	4.10	K
14316	Malinska	45.1	14.5	1	1.50	4.00	1.34	2.98	2.8	O
14215	Opatija	45.3	14.3	5	1.35	3.84	1.31	2.84	2.9	O
14321	Rab	44.8	14.8	24	1.92	4.62	1.67	3.54	3.2	O
14320	Crikvenica	45.2	14.7	2	1.64	4.72	1.48	3.89	3.3	O
14428	Zadar	44.1	15.2	5	2.09	4.07	1.75	2.69	3.4	O
14202	Bakarac	45.3	14.6	2	2.78	6.99	3.61	6.97	3.9	O
14216	Rijeka	45.3	14.4	120	1.88	4.83	1.34	3.25	3.9	O
14464	Jasenska	43	17.5	1	2.66	5.93	2.10	3.96	4.6	O
14204	Most Krk 2	45.2	14.6	57	3.33	8.04	4.25	8.04	4.7	O
14422	Veli Rat	44.2	14.8	2	3.18	5.55	2.07	3.20	4.8	O
14462	Ploče	43	17.4	2	2.76	6.24	2.28	4.03	5.0	O
14309	Montekope	44.8	13.9	48	3.53	6.35	2.43	4.64	5.1	O
14303	Sv.Ivan na P.	45	13.6	8	3.72	6.06	2.61	3.45	5.2	O
14326	Prizna	44.6	15	233	4.28	9.14	4.82	8.91	5.2	O
14314	Mali Lošinj	44.5	14.5	53	2.79	6.27	1.73	3.69	5.3	O
14205	Povile	45.1	14.8	54	4.54	10.30	5.51	9.53	5.7	O
14310	Porcer	44.8	13.9	5	3.98	7.30	3.40	5.78	5.7	O
14472	Dubrovnik	42.6	18.1	52	4.26	8.21	3.65	5.82	6.0	O
14295	Jasenice	44.2	15.6	170	5.15	9.50	5.03	8.25	6.1	O
14298	Komarna	42.9	17.5	99	3.82	7.25	3.15	5.06	6.1	O
14291	Most Pag 1	44.3	15.3	42	4.67	8.92	4.15	7.15	6.5	O
14438	Šibenik	43.7	15.9	77	3.25	7.31	2.48	4.59	6.5	O
14293	Most Maslenica	44.2	15.5	54	3.55	8.42	2.82	5.93	6.6	O
14433	Ravni Kotari	44	15.5	134	4.76	8.32	3.28	5.38	6.7	O
14445	Split Marijan	43.5	16.4	122	4.76	9.00	3.47	5.77	7.1	O
14447	Hvar	43.2	16.4	20	3.65	8.39	3.01	5.45	7.1	O
14465	Delta Neretve	43	17.6	60	4.11	7.72	2.16	3.64	7.1	O

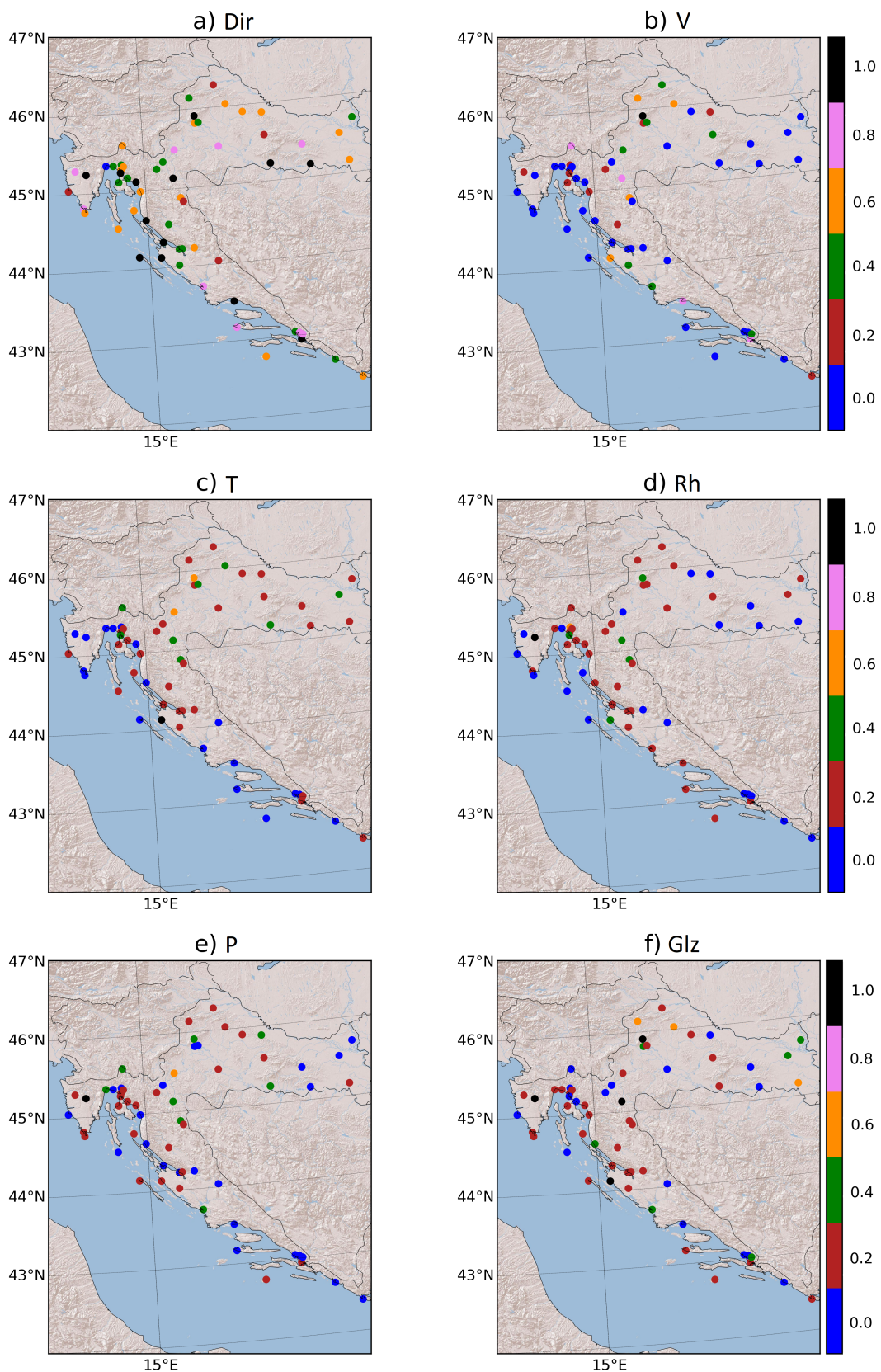
14292	Most Pag 2	44.3	15.3	42	5.35	9.80	4.24	7.42	7.3	O
14477	Prevlaka	42.4	18.5	68	5.50	8.77	3.65	4.96	7.4	O
14452	Lastovo	42.8	16.9	186	4.58	8.58	2.65	4.51	7.6	O
14323	Senj	45	14.9	26	4.11	9.96	3.58	6.99	8.4	O
14327	Slunj	45.1	15.5	390	0.92	2.87	1.06	2.35	2.2	P
14308	Pazin	45.2	13.9	291	1.25	3.79	1.21	2.99	2.8	P
14330	Gospić	44.6	15.4	564	1.52	4.07	1.20	2.82	3.1	P
14334	NP Plitvička J.	44.9	15.6	579	1.00	3.88	1.12	3.05	3.1	P
14328	Ogulin	45.3	15.2	328	1.36	4.02	1.14	2.90	3.2	P
14219	Parg	45.6	14.6	863	1.36	4.82	0.96	2.99	4.0	P
14268	Kutjevo	45.4	17.9	270	2.23	5.06	1.83	3.35	4.2	P
14305	Višnjan	45.3	13.8	335	2.22	5.20	1.20	3.08	4.4	P
14335	Prijeboj	44.8	15.7	704	2.59	5.62	1.91	3.58	5.0	P
14256	Bilogora	45.9	17.2	262	3.03	5.92	1.61	2.91	5.3	P
14442	Knin	44	16.2	255	3.04	7.57	2.58	5.33	6.4	P
14235	Puntijarka	45.9	16	991	3.38	7.96	1.87	4.16	7.0	P
14200	Bukovo	45.3	14.6	700	3.80	9.39	3.08	6.03	7.4	P
14201	Hreljin	45.3	14.6	716	4.74	9.95	3.80	6.50	7.6	P
14294	Lokvine	44.2	15.8	490	4.99	9.89	3.79	6.33	8.4	P

Dijagrami s pravokutnikom za  $V_0$   
u razdoblju 2018. godine



Slika A1. Dijagrami s pravokutnikom svih postaja za varijablu  $V_0$  za razdoblje 2018. godine. Postaje su podijeljene u 3 grupe, kontinentalnu K, obalnu O i planinsku P. Unutar svake grupe postaje su poredane po medijanu brzine maksimalnog udara vjeta, u uzlaznom poretku.





Slika A2. Prostorna razdioba optimiziranih vrijednosti svih prediktora na 61 postaji diljem Republike Hrvatske izračunatih za 2017. godinu. Prediktori prikazani na slikama od a) do f) su redom: smjer udara vjetra (Dir), srednja brzina vjetra (V), temperatura (T), relativna vlažnost (Rh), tlak (P) i globalno zračenje (Glz).