

# Atmosferska termička cirkulacija na obali Kozjaka

---

Staver, Darko

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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:217:998399>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-12**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOFIZIČKI ODSJEK

Darko Staver

Atmosferska termička cirkulacija na obali  
Kozjaka

Diplomski rad

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
FIZIČKI ODSJEK

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

**Darko Staver**

Diplomski rad

**Atmosferska termička cirkulacija na  
obali Kozjaka**

Voditelj diplomskog rada: prof. dr. sc. Zvezdana Bencetić Klaić

Ocjena diplomskog rada: \_\_\_\_\_

Povjerenstvo: 1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

Datum polaganja: \_\_\_\_\_

Zagreb, 2021.

Zahvaljujem se mentorici prof. dr. sc. Zvezdani Bencetić Klaić što je bila redovito dostupna za sva pitanja i diskusije te me uvijek usmijerila na pravi put uz opuštenu radnu atmosferu.

Temperature jezera mjerene su u okviru projekta "Hidrodinamičko modeliranje sustava Plitvičkih jezera" financiranog od Nacionalnog parka "Plitvička jezera" (ugovor br. 7989/16), a meteorološki podaci su dobiveni od Državnog hidrometeorološkog zavoda.

Zahvaljujem se svojoj obitelji na strpljenju, podršci i povjerenju koje su mi ukazali tijekom studija.

## Sažetak

U ovom radu je proučavana atmosferska termička cirkulacija zbog utjecaja jezera Kozjak u Plitvičkim jezerima. Napravljen je filter pomoću kojega su detektirani dani s obalnom cirkulacijom. Proučavano razdoblje je 2018-2020, gdje je analizirano 85 dana tijekom ljeta za svaku godinu. Pokazalo se da je učestalost obalne cirkulacije oko jezera Kozjak između 15% i 36%. Najmanje dana u kojima je postignuta cirkulacija bilo je 2019. godine, a najviše je bilo 2018. godine. Dobiveni rezultati su u skladu s onima koje su dobili drugi autori. Napravljen je jednostavan statistički model pomoću kojega se procijenilo koliko bi dana filteri trebali eliminirati iz skupa početnih podataka. Sveukupan broj dana koje filteri eliminiraju u skladu je sa statistički dobivenim, ako se promatra cijelo razdoblje od 255 dana. Uočila se korelacija između ukupnog broja dana s obalnom cirkulacijom i pojedinačnih uvjeta filtera. Ti uvjeti su vezani uz vjetar tijekom dana, vjetar tijekom noći i dnevnu amplitudu tlaka. Proučavan je i srednji dnevni hod vjetra u danima s razvijenom obalnom cirkulacijom. Dobivene krivulje za srednji dnevni hod se razlikuju ovisno o godini, ali sve prate istu putanju, bez ikakvih odstupanja. Za provjeru dobivenih rezultata koristila se Morlet valićna metoda. Svi rezultati su u skladu s onima dobivenim Morlet valićnom metodom.

Ključne riječi: diferencijalno zagrijavanje, obalna cirkulacija, međudjelovanje atmosfere i jezera

# Atmospheric thermal circulation on the shores of Lake Kozjak

## Abstract

Lake-land breeze circulation in the vicinity of lake Kozjak in Plitvička Jezera was studied. A filter was created to detect all days when lake-land breeze was present. The period of the study was 2018-2020, 85 summer days of each year. It is shown that the frequency of lake-land breezes around lake Kozjak was from 15% to 36%. The year with the smallest number of lake-land breeze days was 2019, and the year with the highest number of days was 2018. Results are similar to those obtained by other authors. A simple statistical model was designed to estimate the number of days that the filter should eliminate from initial data set. The number of days eliminated by filter is similar to the number of these predicted by statistical methods if we observe all 255 days. Clear correlation was noticed between the number of days with lake-land breeze and individual filter conditions. These conditions were tied with wind during the day, wind during the night and diurnal pressure amplitude. Diurnal cycles of surface winds in the days where lake-land breeze was present, were examined. It was shown that there is a clear daily pattern which the wind follows. The Morlet wavelet method was used to check the obtained results, all results are in accordance with the obtained graphs of the morlet wavelet method.

Keywords: air-lake interactions, diferential heating, lake breeze

# Sadržaj

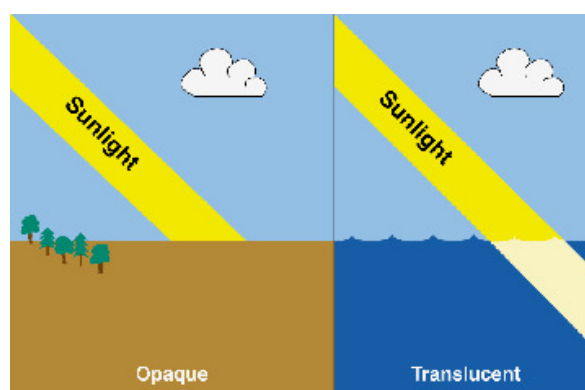
<b>1</b>	<b>Teorijski uvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Materijali i metode</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Rezultati</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Zaključak</b>	<b>26</b>
	<b>Literatura</b>	<b>28</b>

# 1 Teorijski uvod

Toplinski kapacitet vode je puno veći od toplinskog kapaciteta većine materijala, ovo je prikazano na tablici 1.1. U vodi se stvaraju razni vrtlozi i cirkulacije koje miješaju vodu i na taj način se sprječava zagrijavanje/hlađenje samo površinskog djela vode.

Tablica 1.1: Tablica specifičnog toplinskog kapaciteta. Vrijednosti su prikazane u  $Jkg^{-1}K^{-1}$ . Izvor: The Engineering ToolBox (2021).

Materijal	Voda (20°C)	Pijesak	Suho tlo	Vlažno tlo	Mokro blato
Toplinski kapacitet	4182	830	800	1480	2512



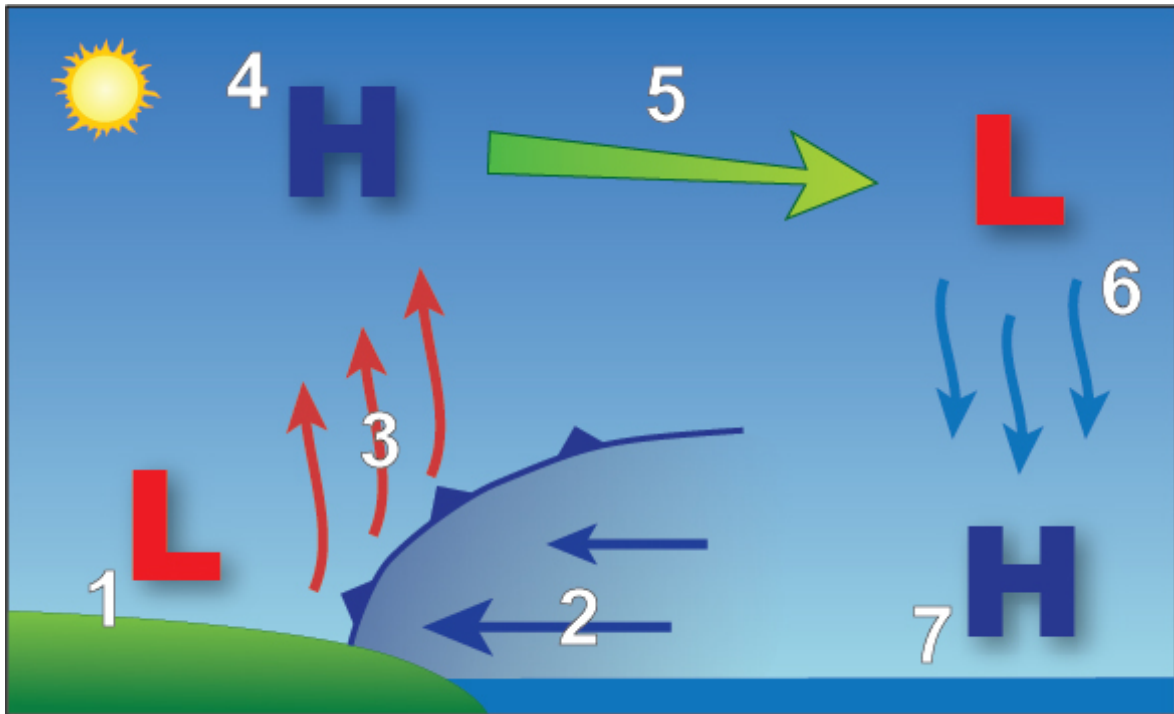
Slika 1.1: Prikaz prodiranja fotona u tlo i vodu. Izvor: Weather & Climate Lecture (2021).

Budući da voda propušta fotone duboko, zagrijava se do većih dubina, a ne samo na površini, što je prikazano na slici 1.1. Na kopnu fotoni zagrijavaju samo površinski sloj i ne dopiru dublje, pa se zbog toga površina tla po danu puno brže zagrijava. Hladniji, dublji dijelovi zemlje, imaju slab utjecaj na temperaturu na površini. Sve navedeno uzrokuje razliku temperature tla i vode pod istim uvjetima.

Tlo se naglo zagrijava i zrači toplinu natrag u atmosferu. Zrak na površini tla upija tu toplinu i zagrijava se. Zrak nad kopnom se brže zagrijava od zraka nad površinom vode. Zbog razlike temperatura javlja se gradijent tlaka u zraku između kopna i vode.

National Weather Service (2021) objašnjava ovaj proces (slika 1.2). Nad kopnom je niži tlak zraka. Gušći, hladniji zrak iznad vode se zbog sile teže koja ga spušta prema vodi, počinje širiti prema kopnu gdje je manji tlak zraka i tu se stvara hladna



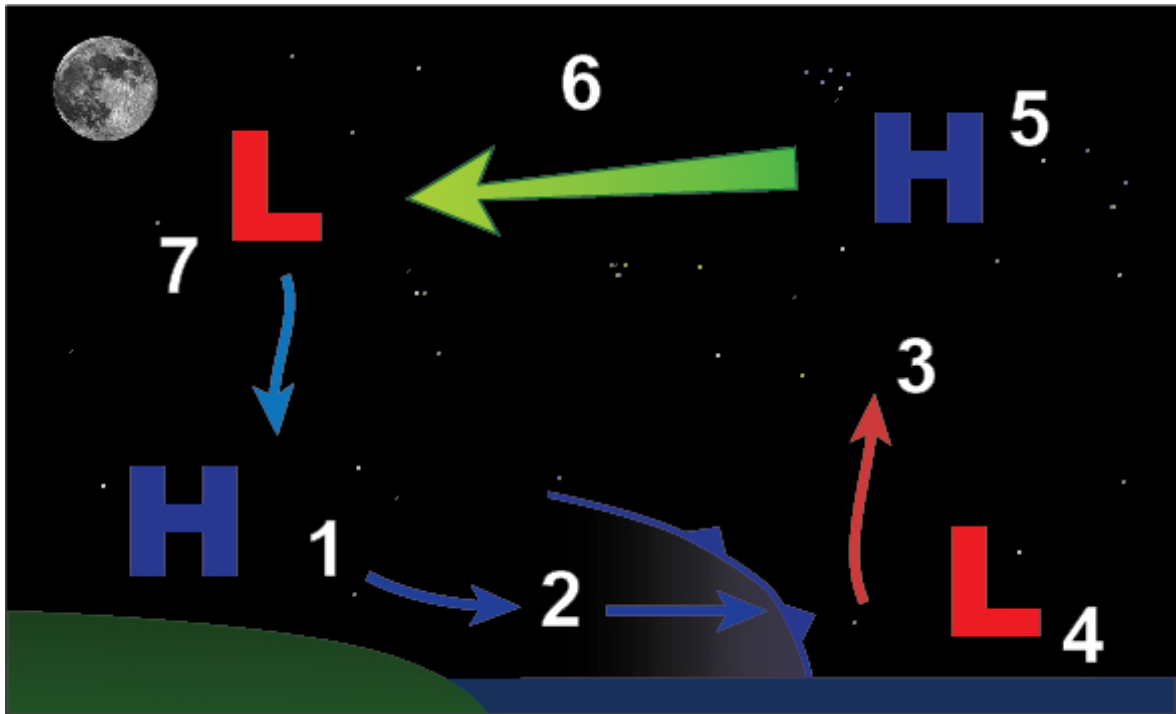


Slika 1.2: Dnevna cirkulacija zraka potaknuta diferencijalnim zagrijavanjem vode i kopna. Strelice prikazuju smjer gibanja zraka, H i L označavaju područja visokog i niskog tlaka. Izvor: National weather service (2021).

fronta (broj 2 na sl. 1.2). On diže topliji zrak (3 na sl. 1.2), koji je iznad kopna. Ova hladna fronta osim na gibanje zraka, utječe i na temperaturu zraka na kopnu. Prema National Weather Service (2021), nakon prolaska fronte može doći do pada temperature zraka na površini tla u iznosu do čak 11°C. Nakon prolaska ove fronte naoblaka se smanji i relativna vlažnost poveća. Zrak koji se podiže od tla (3 na sl. 1.2), adijabatski se hladi. Hladniji zrak je gušći i zbog toga se stvara područje povišenog tlaka, u visini iznad tla (4 na sl. 1.2). Zrak se zbog toga dalje giba prema području nižeg tlaka u visini iznad površine vode (5 na sl. 1.2), nastavlja se hladiti i postaje gušći. Zbog sile teže spušta se natrag prema površini vode (6 na sl. 1.2).

Sličan proces javlja se noću (slika 1.3). Tijekom noći voda se sporije hladi od površine kopna. Hladniji zrak iznad kopnene površine je pod većim tlakom pa se pomiče prema vodi (broj 2 na sl. 1.3). Topliji zrak iznad vode se diže u visinu iznad vode (3), hladi se i stvara se područje višeg tlaka (5). Zrak se giba iz područja višeg tlaka, te u visini dolazi iznad kopna (6). Nastavlja se hladiti i spušta se na hladno tlo (7).

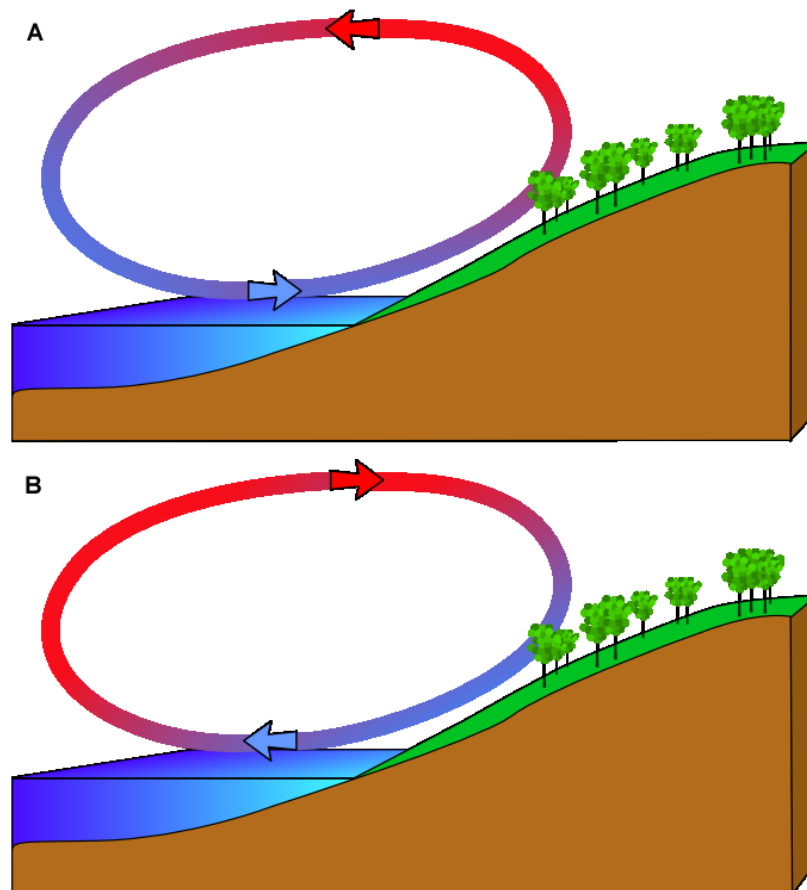
Na slici 1.4 vidi se cirkulacija po danu i po noći. Cirkulacije su suprotnog



Slika 1.3: Noćna cirkulacija zraka potaknuta diferencijalnim zagrijavanjem vode i kopna. Strelice prikazuju smjer gibanja zraka, H i L označavaju područja povišenog i sniženog tlaka. Izvor: National weather service (2021).

smjera no one nisu istog intenziteta. Preko dana zrak se pri površini giba od vode prema kopnu. Trenje je nad vodenom površinom malo. Ovdje se može raditi o jezeru ili moru. Na obali postoje brojne prepreke poput stabala, zgrada, planina i ostalih prepreka koje usporavaju vjetar zbog trenja. Ovaj vjetar postaje sve slabiji što dublje ide prema kopnu pa se zbog toga ovakva cirkulacija zraka primjećuje samo blizu obale. Po danu vjetar na obalu dolazi punom snagom, pa su brzine vjetra koje se javljaju na obali velike. Po noći, vjetar struji iznad brojnih mehaničkih prepreka koje blokiraju tok prema obali, Crosman i Horel (2010). Ovisno o podlozi i reljefu ova razlika može biti minimalna, no uvijek postoji. Osim efekta terena postoji i razlika u samom hlađenju tijekom noći. Noćno hlađenje izaziva pliću cirkulaciju. Često se primjećuje upola slabija noćna cirkulacija od one tijekom dana.

Skala na kojoj se javlja ova baroklina cirkulacija, mezoskala, je relativno mala u odnosu na sinoptičke poremećaje. Ako se takvi poremećaji jave, obalna cirkulacija se ne razvija. Vodene površine tijekom sinoptičkih poremećaja utječu na lokalno vrijeme. Ovo je više izraženo blizu mora i velikih jezera, gdje je puno veća površina vode i fronte koje se javljaju imaju veći utjecaj na lokalnu klimu. Nije rijetko



Slika 1.4: Prikaz obalne cirkulacije. Gornja slika dan, donja noć. Visina i intenzitet cirkulacije su radi jednostavnosti ilustracije prikazani jednako tijekom dana i noći. Izvor: Meteo-info (2021).

da se tada razviju oluje pored fronti obalnih cirkulacija. Prema Penzar i sur. (2001) bitna je i udaljenost obale od otvorenog mora.

Uzrok obalne cirkulacije je nejednoliko zagrijavanje površine vode i kopna. Postizanje temperaturne razlike je potrebno da se cirkulacija pokrene. Iz ovog bi se moglo zaključiti da će veće temperaturne razlike dovesti do intenzivnijih cirkulacija, međutim to nije točno, kao što su pokazali Laird i sur. (2001), Miller i sur. (2003), Prtenjak i Grisogono (2007): intenzivnost obalne cirkulacije počinje opadati povećanjem razlike temperatura površine kopna i mora nakon nekog  $\Delta T$ , koji je većinom između  $3^{\circ}\text{C}$  i  $8^{\circ}\text{C}$ . Po Arritt (1987): kada je voda hladna u odnosu na zrak iznad nje, stabilna stratifikacija sprječava razvoj turbulentnih tokova, i na taj način izolira zrak od hladne vode. Nakon što  $\Delta T$  pređe tu graničnu vrijednost, temperatura vode nema više velik utjecaj na zrak iznad nje, a povećanjem  $\Delta T$  jača efekt stratifikacije. To uzrokuje nelinearnu, paraboličnu ovisnost brzine vjetra o  $\Delta T$ .

Utjecaj vode na okolnu klimu uvijek postoji, ali za postizanje cirkulacije potrebna su dva uvjeta. Potrebno je diferencijalno zagrijavanje kopna i vode, te mirno vrijeme bez sinoptičkih poremećaja. Naoblaka, kiša i slični uvjeti sprječavaju postizanje potrebne razlike u temperaturi vode i kopna. Vrijeme mora biti pretežito sunčano. Sinoptički poremećaji će dominirati nad efektom cirkulacije, pa oni ne smiju biti prisutni. Obalna cirkulacija mijenja smjer dva puta dnevno. Zbog toga se, ako su prethodni uvjeti zadovoljeni, dva puta dnevno, brzina vjetrova približava nuli. To se događa ujutro i navečer kada se sustav stabilizira i temperature kopna i mora su podjednake, odnosno kad atmosfera postane barotropna.

Cilj ovog rada je proučiti efekt obalne cirkulacije na području Kozjačkog jezera, što do sada nije učinjeno (Klaić i sur., 2018.), dobiti što pouzdanije rezultate i usporediti ih s već dobivenim rezultatima za neka druga jezera. Dobivene rezultate treba također usporediti s efektom obalne cirkulacije zbog utjecaja mora. To je cirkulacija koja se stvara zbog diferencijalnog zagrijavanja mora i kopna. Obalne cirkulacije uzrokovane jezerom i morem su teorijski slične, no zbog bitno drugačijih dimenzija njihovi utjecaji na okolnu klimu se uvelike razlikuju. Korisno bi bilo naći i određene korelacije između meteoroloških podataka i detektiranih dana s obalnom cirkulacijom.



Slika 1.5: Fotografija Plitvičkih jezera. Izvor: CroVista (2021).

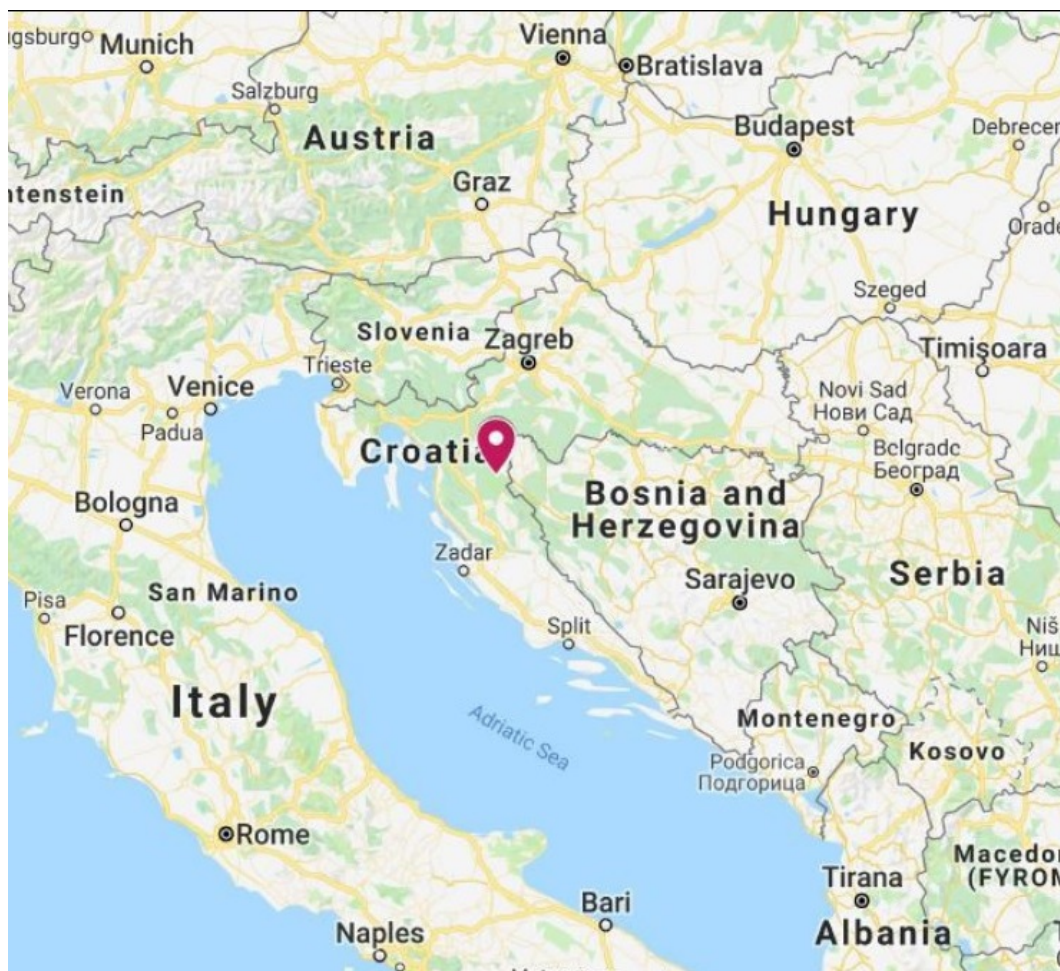
## 2 Materijali i metode

Mjerenja su vršena u nacionalnom parku Plitvička Jezera, 44° 52' N, 15° 36' E. Prema CroVista (2021) područje Nacionalnog parka Plitvička jezera dio je Dinarskog krškog područja, sa specifičnim geološkim, geomorfološkim i hidrološkim osobinama. Jezero Kozjak je prikazano na slici 2.1. Jezerski se sustav dijeli na Gornja i Donja jezera. Gornja jezera su prostorno i volumenski dominantna. Na slici 2.2 vide se točna mjesta gdje je mjerena temperatura vode i zraka. Jezero Kozjak pripada grupi Gornjih jezera. Iako je ono najveće od svih Plitvičkih jezera, jezero Kozjak je relativno maleno u



Slika 2.1: Jezero Kozjak. Izvor: CroVista (2021).

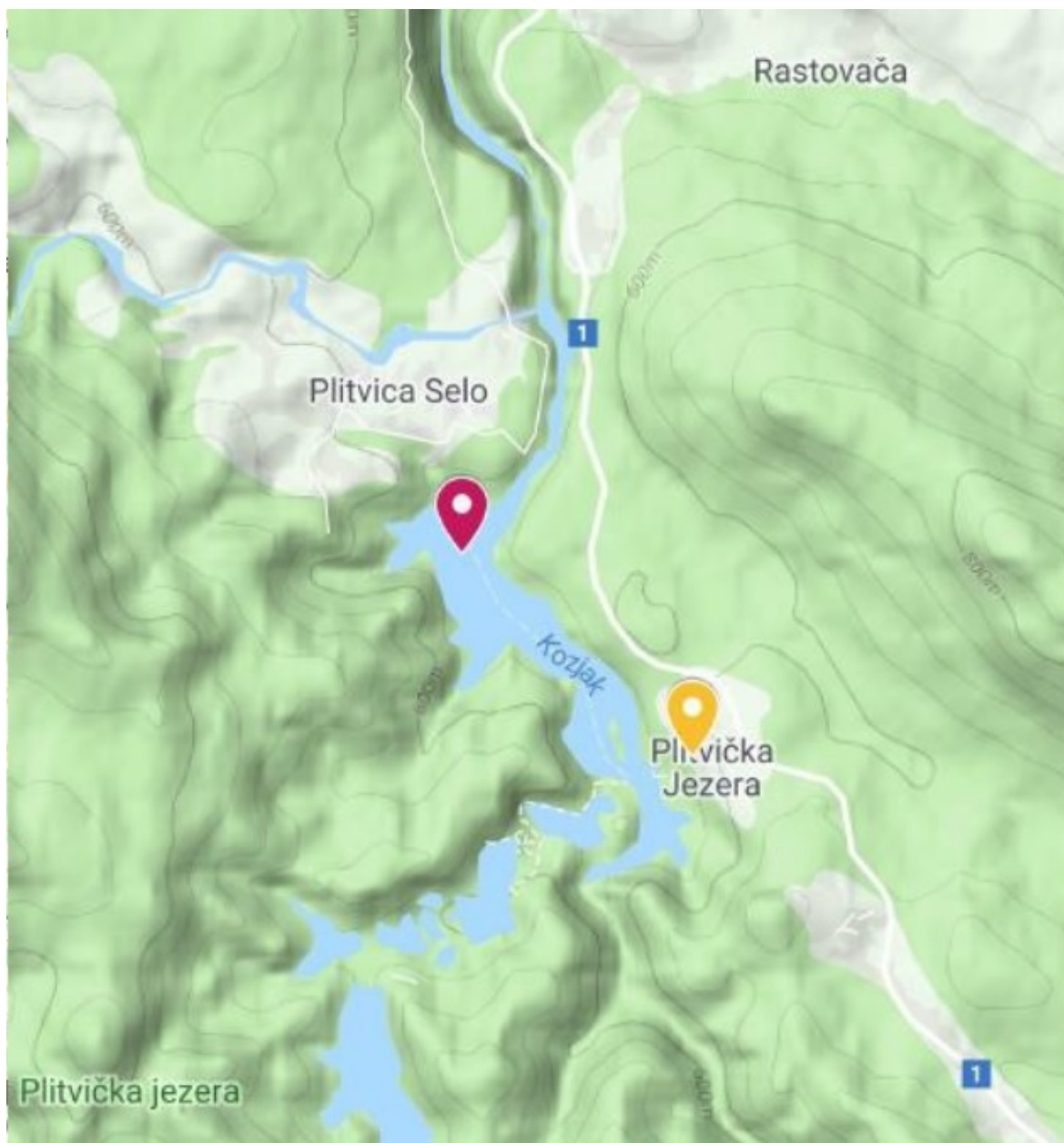
odnosu na veća svjetska jezera. Njegova površina je 0,82  $km^2$ , (npr. Klaić i sur. 2018). Prema Segal i sur. (1997): jezera kojima je širina ili duljina manja od 50 km smatraju se malim jezerima. Jezera koja su puno veća od jezera Kozjak mogu biti u toj skupini, pa je jezero Kozjak maleno i u odnosu na ostala mala jezera. Oblik jezera Kozjak je vrlo nepravilan. Jezero se pruža od sjeverozapada prema jugoistoku te onda naglo skreće prema jugozapadu. Ovdje se radi jednostavnosti promatra samo sjeverniji, veći dio jezera, te se smjer južnog dijela zanemaruje kako bi se moglo definirati smjer pružanja jezera. Ovo je potrebno da se poslije može odrediti smjer prema kopnu/jezeru. Sjeverni dio jezera je također puno otvoreniji, što je bitno za razvoj obalne cirkulacije.



Slika 2.2: Lokacija Plitvičkih jezera. Izvor: Klaić i sur. (2020).

Za detekciju dana kod kojih se javlja obalna cirkulacija, napravljen je filtar. On eliminira sve dane koji ne zadovoljavaju određene uvjete. Cilj ovog filtra je da što bolje eliminira dane u kojima se obalna cirkulacija ne pojavljuje, a one u kojima se pojavljuje da propušta. Uvjeti trebaju biti dovoljno strogi da se dobiveni dani mogu uzeti kao oni s obalnom cirkulacijom, ali ne toliko strogi da se dani kod kojih se javila slabija obalna cirkulacija eliminiraju. Odabralo se sedam blažih uvjeta, prilagođeno prema Laird i sur. (2001) te Prtenjak i Grisogono (2007). Uvjeti sami po sebi nisu strogi (većina dana pojedinačno zadovoljava te uvjete), ali samo mali dio dana zadovoljava sve navedene uvjete istovremeno. Ti uvjeti su:

1. u terminu od 9 do 18 h, satno usrednjeni vjetar mora barem tri uzastopna sata puhati prema kopnu
2. od ponoći do 5 sati ujutro, satno usrednjeni vjetar ne smije više od 2 sata puhati prema kopnu s brzinom većom od 0.2 m/s



Slika 2.3: Lokacija mjernih stanica. Crvena boja pokazuje točku mjerenja temperature vode na dubini 20 cm. Žuta boja pokazuje lokaciju meteorološke stanice. Izvor: Klaić i sur. (2020).

3. dnevna fluktuacija tlaka mora imati amplitudu manju od 5 hPa
4. maksimalna temperatura vode na dubini 20 cm mora biti manja od maksimalne temperature zraka
5. prosječna temperatura zraka u terminima od 5 do 7 h mora biti niža od prosječne temperature u terminima od 16 do 18 h
6. prosječna brzina vjetra ujutro u terminima 5 do 7 h mora biti manja od prosječne brzine vjetra tog ljeta

## 7. kiša ne smije padati

Prvi uvjet služi za eliminaciju dana kod kojih nije primijećena jasna dominacija vjetra usmjerenog prema kopnu tijekom dnevnih sati, što je uzeto po uzoru na Prtenjak i Grisogono (2007). Smjer prema kopnu uzet je za svaki vektor koji ima komponentu prema kopnu, tj. zanemaruju se smjerovi paralelni s glavnom osi jezera (smjer od sjeverozapada prema jugoistoku), a ostali se dijele na one prema kopnu i prema jezeru. Budući da se radi o jezeru, a ne o moru, uvjet je ublažen s četiri na tri uzastopna sata. Razlog tome je što su brzine vjetra kod obalne cirkulacije zbog utjecaja malih jezera puno manje od onih kod obalne cirkulacije zbog utjecaja mora. Ovdje se traži da obalna cirkulacija dominira, no uz nju smiju biti i drugi slabiji efekti koji sporadično mijenjaju smjer vjetra.

Drugi uvjet je uzet prema Prtenjak i Grisogono (2007). Cilj ovog uvjeta je da se izbace dani koji nisu u skladu s noćnom obalnom cirkulacijom. Obalna cirkulacija ima većinom manje brzine vjetra tijekom noći, pa se neovisno o smjeru prihvaćaju mirne noći.

Treći uvjet služi kako bi se izbacili dani sa sinoptičkim poremećajima kod kojih su ispunjeni prethodni uvjeti, a preuzeto je iz Prtenjak i Grisogono (2007). Ovdje efekt jezera ne dominira, pa se ne uzima kao dan s obalnom cirkulacijom.

Četvrti uvjet izbacuje dane u kojima smjer vjetra odgovara postavljenim uvjetima, no ne zbog utjecaja jezera. Ovo je preuzeto iz Laird i sur. (2001). Kako bi se opravdala obalna cirkulacija mora postajati temperaturni gradijent između kopna i vode.

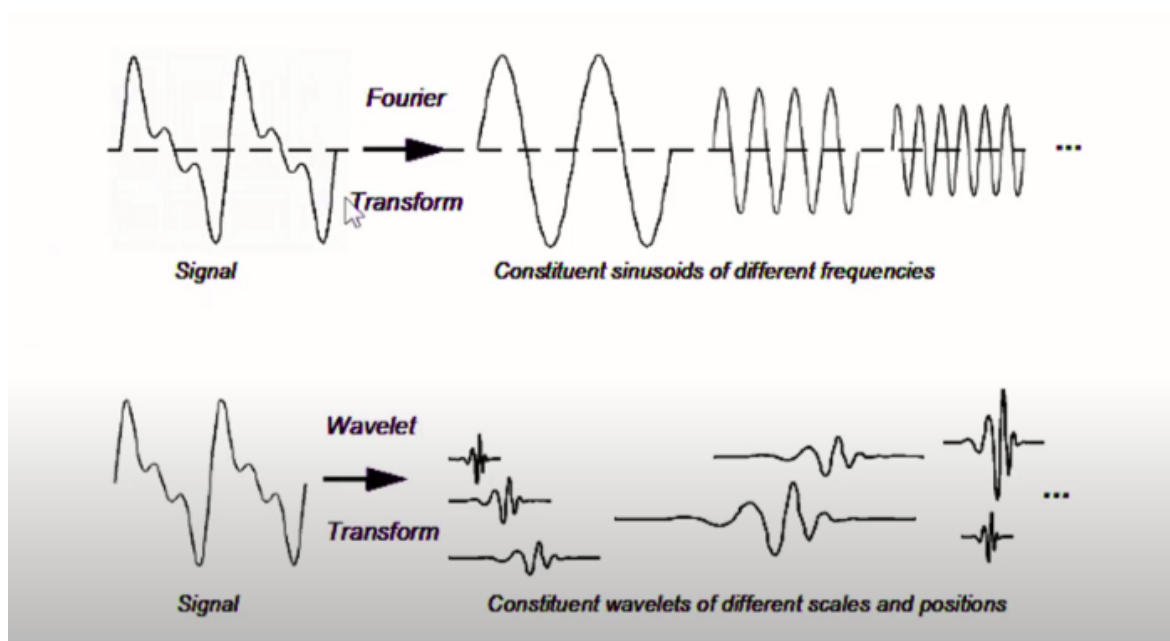
Peti i šesti uvjeti su preuzeti iz Laird i sur. (2001). Peti uvjet služi za eliminaciju dana kod kojih nemamo uobičajeni dnevni hod temperature. Razlog tome je većinom naoblaka, pa se ovo uzima slično kao uvjet naoblake iz Prtenjak i Grisogono (2007). Šesti uvjet služi za nadopunu trećem. Cilj je izbaciti sve dane kod kojih se primjećuju jači sinoptički poremećaji.

Posljednji uvjet je da ne smije biti kiše. Odnosi se na cijeli dan od 0 do 24 h. Njime se također eliminiraju sinoptički poremećaji, budući da su dimenzije Kozjaka



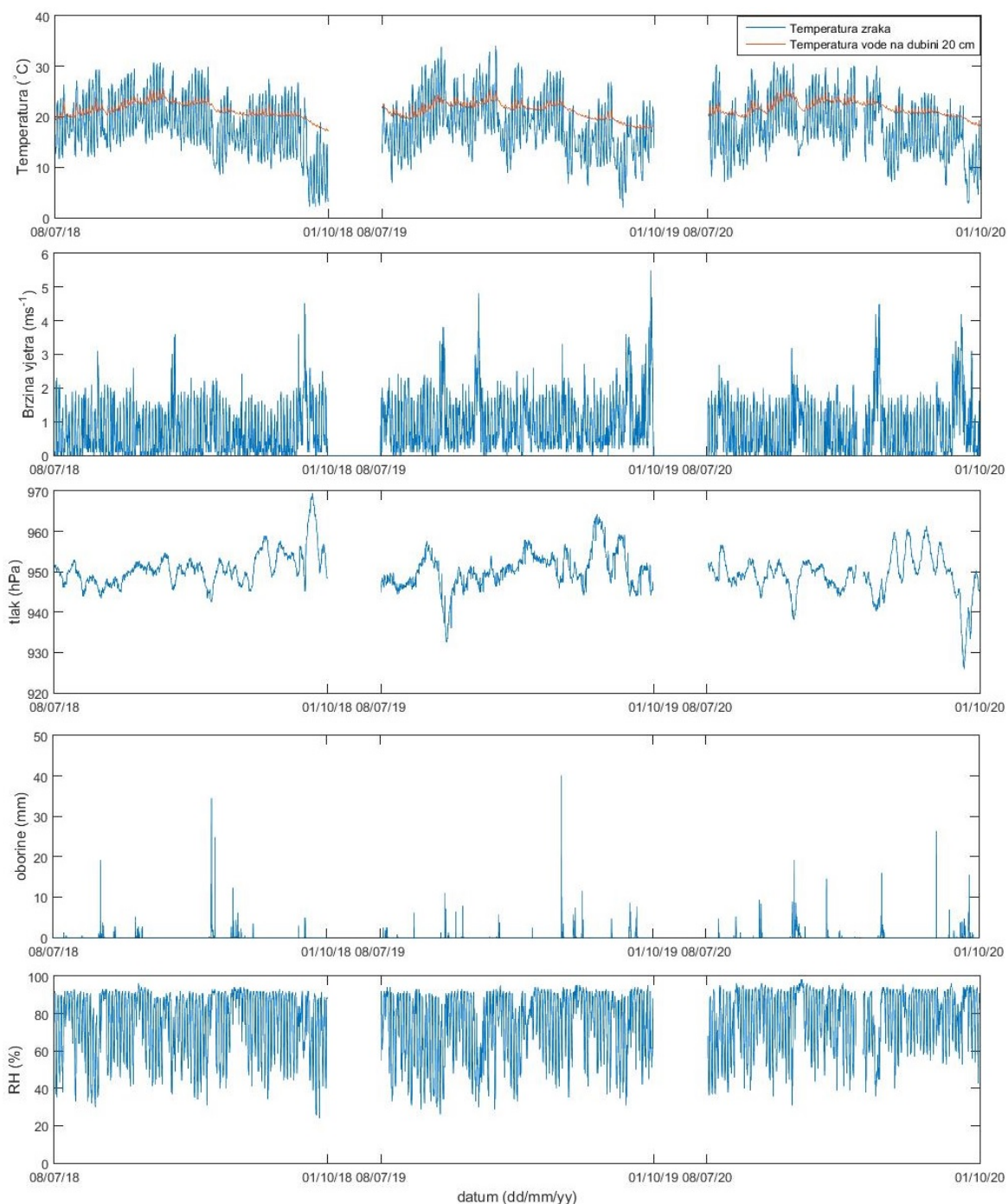
premale da bi jezero utjecalo na nastanak oborine.

Za provjeru dobivenih rezultata napravio se statistički model koji pomoću grubih i nepreciznih pretpostavki izračunava očekivani broj dana s obalnom cirkulacijom. Za provjeru se također koristi valična analiza. Prema Torrence i Compo (1998): valična analiza razlaže vremenske nizove podataka na vremensko-frekvencijski prostor kako bi se odredili dominantni modovi i njihova varijabilnost. Ovo se radi pomoću valičnog transformata. Usporedba valičnog i Fourierovog transformata je prikazana na slici 2.4. Prema Daubechies (1990): Valični transform se može koristiti za analizu vremenskog niza podataka, koji sadrži nestacionarne energijske nivoe, na više različitih frekvencija. Ovdje se odabrao Morletov valić čija je valna funkcija Gausovska. Rezultati dobiveni ovom metodom su normalizirani, pa se mogu koristiti samo za usporedbu s ostalim podacima u tom vremenskom nizu. Prema Mihanović i sur. (2009), Morletov valić je vrlo koristan za detekciju lokaliziranih, sporadičnih periodičnosti u vremenskom nizu podataka te za praćenje njihove vremenske evolucije.



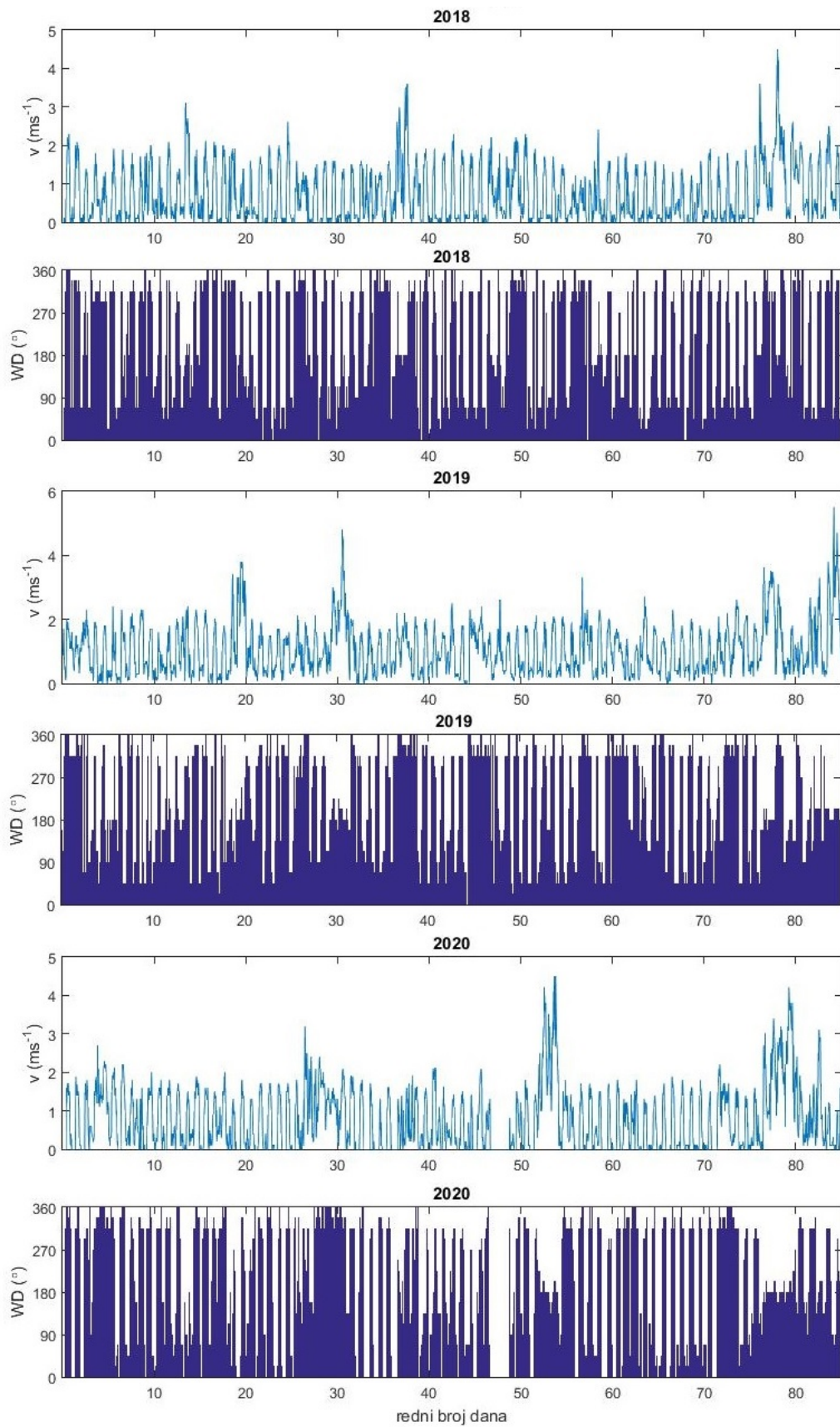
Slika 2.4: Usporedba valičnog i Fourierovog transformata. Izvor: Image Vision (2021).

### 3 Rezultati



Slika 3.1: Grafovi temperature zraka i vode, brzine vjetra, tlaka, oborina i relativne vlažnosti. RH prikazuje relativnu vlažnost.

Slike 3.1 i 3.2 Prikazuju sve podatke koji su na raspolaganju za ovaj rad. Tablica 3.1 pokazuje neke od filtra/uvjeta koji su opisani u prethodnom poglavlju, te ukupan broj dana za svaku godinu koji su zadovoljili svih 7 uvjeta. To su dani gdje se primijetila obalna cirkulacija.



Slika 3.2: Grafovi brzine vjetra i smjera vjetra za razdoblje od 85 dana od 8. srpnja do 1. listopada, za godine 2018-2020.

Tablica 3.1: Prikaz uvjeta i broja dana koji su zadovoljili te uvjete za ljeta 2018-2020. Simboli su redom: T0 - maksimalna temperatura zraka je veća od maksimalne temperature vode. Tj<Tv - temperatura zraka je manja ujutro nego navečer.  $\Delta p < 5$  - amplituda tlaka tijekom dana je manja od 5hPa. Vnoc - vjetar tijekom noći puše prema jezeru. Vdan - vjetar tijekom dana puše prema kopnu.

Godina	Vdan	Vnoc	$\Delta p < 5$ hPa	T0	Tj<Tv	Svi uvjeti
2018	40	75	73	68	81	21
2019	37	63	54	61	82	10
2020	33	68	70	58	78	14

U prosjeku ljeto ima 15 dana kod kojih je i danju i noću uočena obalna cirkulacija. Najmanje je 2019. godine (10), a najviše 2018. godine (21). Najstroži je prvi uvjet. On je u sve tri promatrane godine eliminirao više od pola dana. Sličan rezultat su dobili Grau i sur. (2020). Autori su proučavali obalnu cirkulaciju na području otoka Mallorca. Razdoblje koje su proučavali je bilo (2009-2017). Proučavali su cijelu godinu, a ne samo ljeto, koristili su vrlo slične uvjete filtra. Prvi uvjet bio je vezan uz smjer vjetra tijekom dnevnih sati. Dobili su rezultat da on sam eliminira oko pola proučavanih dana. Njihov drugi uvjet, koji je vezan uz smjer vjetra tijekom noći, je eliminirao oko pola dana koji su prošli kroz prvi uvjet filtra. Ovdje je taj broj puno manji i većina dana koji prolaze prvi uvjet prolaze i drugi. Najveći utjecaj drugog uvjeta je bio 2019. godine, gdje je eliminirao 26% dana, koji su prošli kroz prvi uvjet filtra.

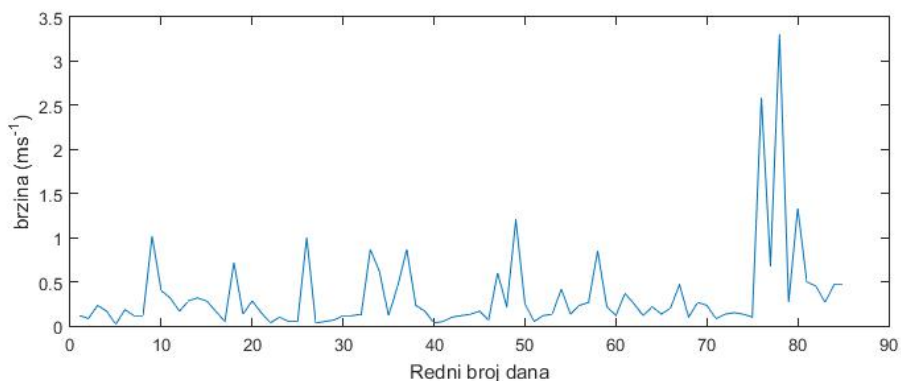
Asefi-Najafabady i sur. (2012) su proučavali obalnu cirkulaciju zbog utjecaja jezera Wheeler u Alabami. Jezero Wheeler također pripada skupini malih jezera. Njegova srednja širina je 2 km, a duljina 46 km. Njihova istraživanja pokazuju da jezero Wheeler uzrokuje pojavu signifikantne i dugotrajne obalne cirkulacije. To je u skladu s ovdje dobivenim rezultatima.

Pogleda li se tablica 3.1 uočava se velik broj dana koji zadovoljavaju uvjet vjetra tijekom noći. Vjetar tijekom noći je dominantno prema jezeru, što je upravo smjer koji obalna cirkulacija potiče. Temperaturni gradijent između jezera i kopna potiče strujanje vjetra u tom smjeru čak i ako se cirkulacija ne postigne. Usporedbom dana u kojima se uočio temperaturni gradijent s onima gdje je vjetar tijekom noći dominantno prema jezeru, primjećuje se da je uvjet noćnog vjetra češće ispu-

njen. Jasno se vidi da razlog dominantnosti noćnog vjetra ne može biti isključivo temperaturni gradijent između jezera i kopna. Katabatički vjetar s planine koja se nalaze na sjeveroistoku (meteorološka postaja se nalazi na jugozapadnom obronku planine Medveščak), se spušta niz planinu. To je upravo smjer koji se pruža prema jezeru. Ovaj efekt uvelike utječe na broj dana koji prolaze kroz filter za noćni vjetar. Noćni vjetar je superpozicija vjetra koji se stvara zbog obalne cirkulacije tijekom noći i noćnog vjetra niz obronak.

Prva dva uvjeta filtra zajedno pokazuju postizanje vjetra koji odgovara vjetru koji se javlja kod obalne cirkulacije. Ovaj vjetar može biti uzrokovan samom obalnom cirkulacijom ili gibanjima zraka koja nisu vezana uz obalnu cirkulaciju. Ostali uvjeti služe za eliminaciju svih dana gdje je smjer vjetra odgovarajući, ali je postignut zbog drugih razloga, a ne zbog utjecaja jezera. Treći uvjet filtra je najznačajniji uvjet ove skupine. Velike amplitude tlaka impliciraju sinoptičke poremećaje. Unatoč tome što prva dva uvjeta eliminiraju većinu dana, oni sami po sebi nisu strogi. Točna vjerojatnost da dan s vjetrom nasumičnog smjera zadovolji prva dva uvjeta je produkt vjerojatnosti prolaska kroz svaki uvjet pojedinačno. Ovo se izračunalo izradom programa koji generira slučajne smjerove vjetra za velik broj dana (80000). Te podatke se ubacilo u filter i dobio se rezultat. Za prolaz kroz prvi uvjet filtra dobilo se 38% dana, a za drugi 23% dana. Drugi uvjet filtra ima dodatni uvjet za mirne noći koji se na ovaj način ne može statistički izračunati (23% je broj dana koji zadovoljavaju drugi uvjet uz pretpostavku da je brzina vjetra uvijek veća od  $0.2 \text{ ms}^{-1}$ ). Usporedbom rezultata dobivenog statističkom metodom s rezultatom koji se dobio filtriranjem stvarnih podataka, može se pretpostaviti broj dana koje bi druga grupa filtra trebali eliminirati. Kako bi se ovo napravilo potrebno je znati broj dana u kojima je srednji vjetar tijekom noći manji od  $0.2 \text{ ms}^{-1}$ . Slika 3.3 prikazuje srednju brzinu vjetra tijekom noći u 2018. godini. Broj dana kod kojih je srednja brzina ispod  $0.2 \text{ ms}^{-1}$  je 44.

Za svaki dan koji ima srednju noćnu brzinu ispod  $0.2 \text{ ms}^{-1}$  može se pretpostaviti da će zadovoljiti drugi uvjet filtra. Za dane koji imaju srednju noćnu brzinu iznad  $0.2 \text{ ms}^{-1}$  uzima se pretpostavka da je brzina vjetra u svakom satu veća od te granične brzine i promatra se samo prvi dio uvjeta vezan uz smjer vjetra, koji je prije izračunat (23%). Sveukupno se dobiva da 62% dana zadovoljavaju drugi uvjet filtra.



Slika 3.3: Graf srednje noćne brzine za godinu 2018. Razdoblje 85 dana od 8. srpnja do 1. listopada.

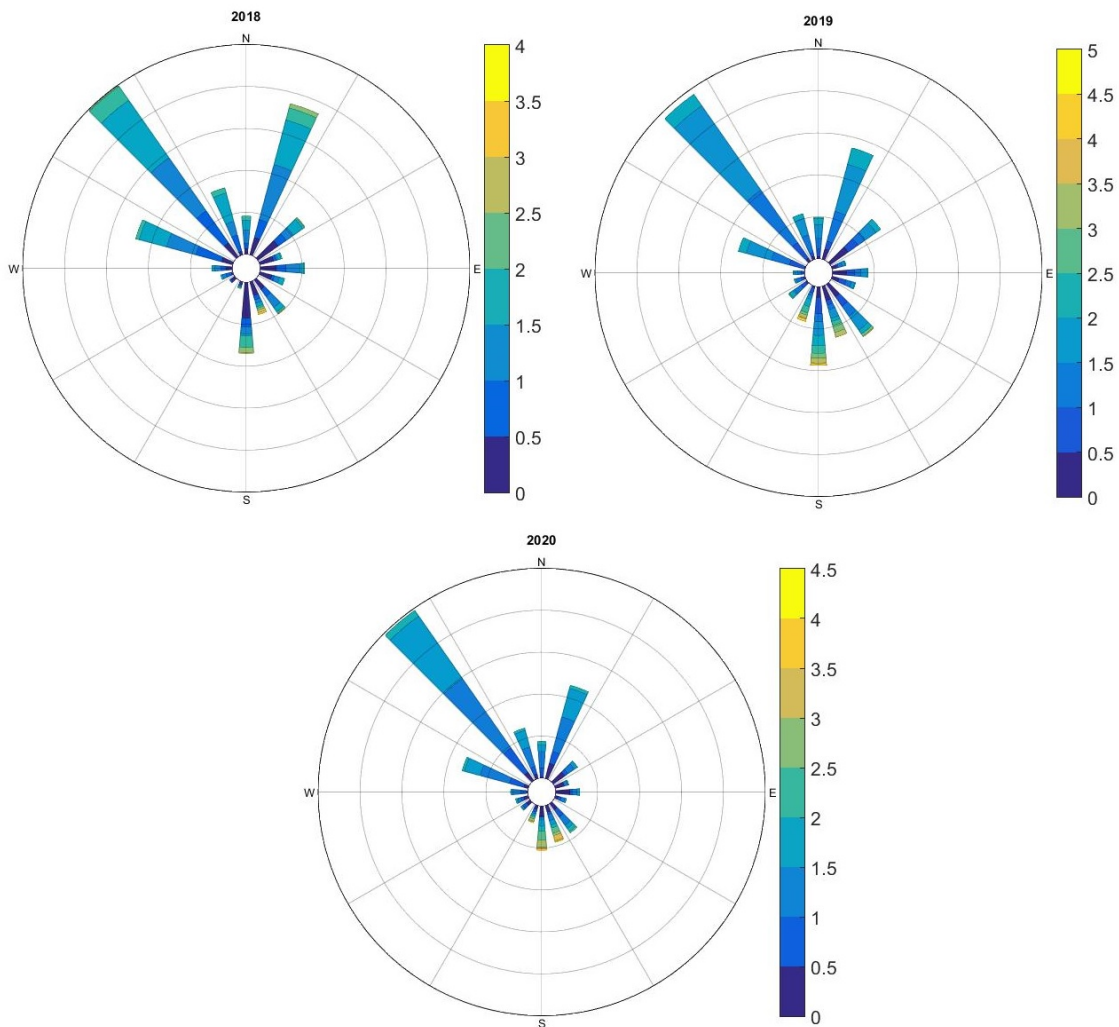
Ukupno je tada 23% dana koji će nasumično zadovoljiti prva dva uvjeta filtra. To je upravo broj koji se uvjetima druge grupe želi ukloniti. Bitno je istaknuti da se ovdje radi samo o statistici i da je pretpostavka da je vjetar nasumičan, potpuno neopravdana i uzeta samo zbog jednostavnosti računa. Ovaj postupak je napravljen za sve tri godine. Podaci za sve tri godine su prikazane u tablici 3.2.

Tablica 3.2: Usporedba očekivanih dana s obalnom cirkulacijom dobivenom statističkom metodom s danima koji su prošli kroz sve filtre. Vdan - broj dana koji su zadovoljili uvjet vjetra tijekom dana (mjereni podaci), Vnoc - broj dana koji su zadovoljavaju uvjet vjetra tokom noci (mjereni podaci). Vdan+Vnoc pokazuje broj dana u kojima su prva dva uvjeta filtra zadovoljeni. Stupac "slučajno" pokazuje broj dana koji se očekuje da su zadovoljili prva dva uvjeta, a da obalna cirkulacija nije postojala (statistički dobiven)

Godina	Vdan	Vnoc	Vdan+Vnoc	slučajno	Vdan+Vnoc-slučajno	Svi uvjeti
2018	40	75	36	20	16	21
2019	37	63	27	10	17	10
2020	33	68	25	20	5	14

Slika 3.1 prikazuje tlak zraka u ljetima 2018-2020. Najviše dana u kojima su uočeni sinoptičkim poremećaji ima 2019. godina, a najmanje 2018. godina. Usporedbom sa slikom 3.3 vidi se da je velika brzina srednjeg noćnog vjetra uzrokovana naglim promjenama tlaka, a to ukazuje da sinoptičke smetnje onemogućuju razvoj obalne cirkulacije. Jedina godina u tablici 3.1. za koju se dobilo više dana s obalnom cirkulacijom statističkom metodom je 2019. godina. Ona ima samo sedam dana koji imaju srednji noćni vjetar manji od  $0.2 \text{ ms}^{-1}$ . Tablica 3.1 jasno pokazuje negativnu

korelaciju između sinoptičkih poremećaja i dana s obalnom cirkulacijom. Unatoč jasnoj korelaciji vidi se da za 2018. i 2020. postoji mala razlika u broju dana sa detektiranim sinoptičkim poremećajima, a velika u broju uočenih dana s obalnom cirkulacijom. Stabilno vrijeme je samo jedan od uvjeta za postizanje obalne cirkulacije. Na slici 3.1 vidi se veliki skok i nagli pad tlaka pred kraj ljeta 2018. U ovom kraćem razdoblju se nije razvila obalna cirkulacija. Usporedbom s grafom za tlak 2019. godine vidi se da u niti jednom trenutku nije postignut toliko veliki skok. Tlak se mijenja manje, ali kroz duže razdoblje, što je dovoljno da zaustavi razvoj obalne cirkulacije. Za nastanak obalne cirkulacije bitno je da sinoptički (prostorni) gradijenti tlaka ne budu veliki.



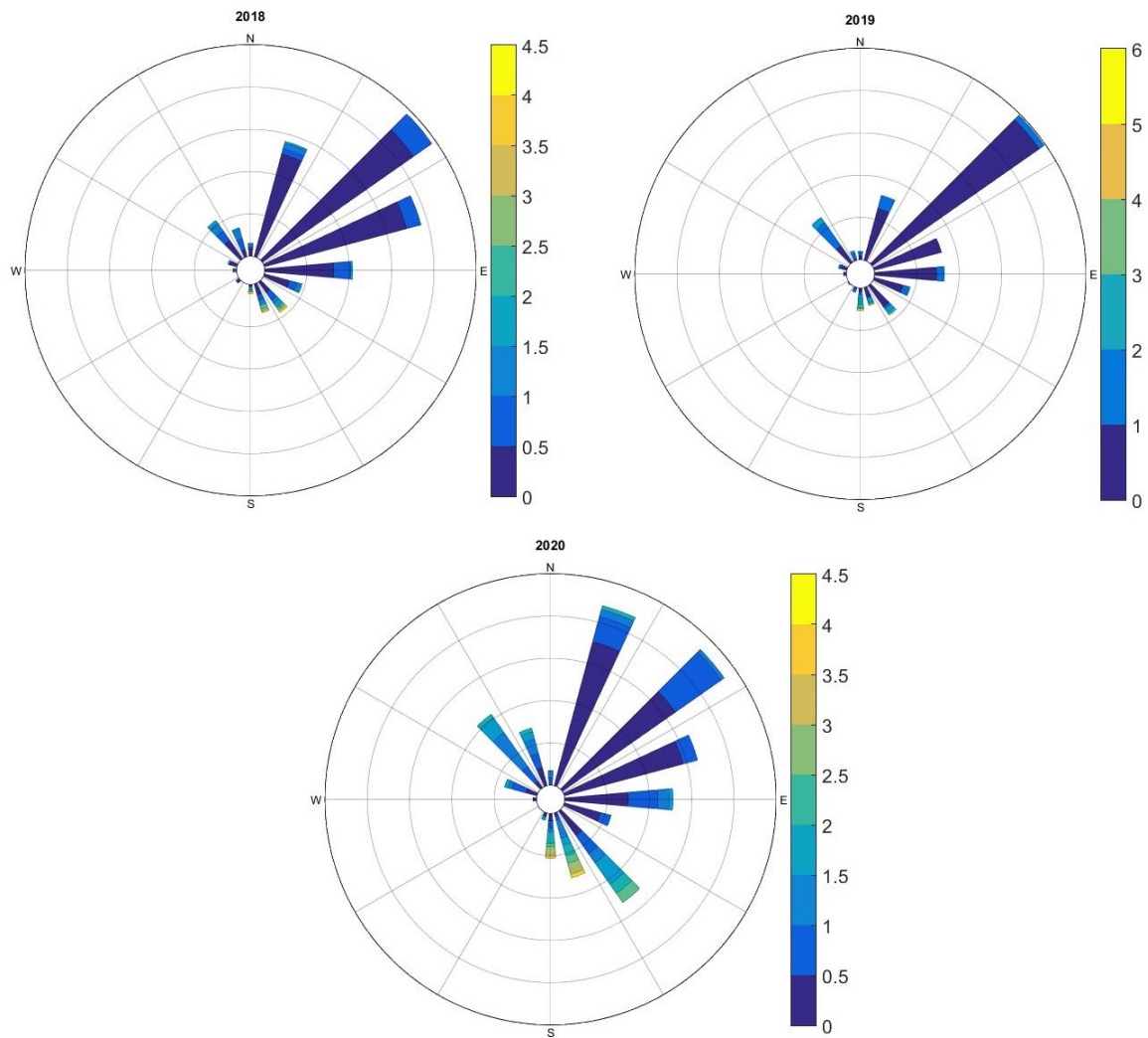
Slika 3.4: Ruže vjetrova za dnevne sate (od 7 do 19 h) u razdoblju od 8. srpnja do 1. listopada za godine 2018-2020. Brzine su prikazane u  $ms^{-1}$ .

Ruže vjetrova pokazuju brzinu i smjer iz kojeg puše vjetar. Usporedbom dana i noći, vidi se efekt obalne cirkulacije. Vjetar po danu (od 7 do 19 h) je vrlo promje-

njiv te dominira smjer paralelan s jezerom (smjer vjetra koji puše iz sjeverozapada prema jugoistoku, slika 3.4). Ovo vrijedi za sva tri promatrana ljeta. Vjetar koji puše paralelno s jezerom kanaliziran je okolnom topografijom, pa se taj vjetar najčešće detektira. Jezero je locirano između dvije topografske prepreke, što kanalizira strujanje. Strujanje zraka se može i usmjeriti paralelno s glavnom osi jezera zbog okolnog terena. Kanaliziranje strujanja jedan je od razloga zašto su izmjerene obalne cirkulacije češće od onih dobivenih statističkom metodom za 2018. i 2020. Vjetar paralelan s glavnom osi jezera se definirao kao smjer koji nije niti prema jezeru niti prema kopnu. Zbog toga se stvaran broj dana koji slučajno prolaze kroz prva dva uvjeta filtra uvelike smanjuje. Tijekom noći vjetar je puno slabiji i dominira smjer prema jezeru. U smjeru prema jezeru se ne javljaju jaki vjetrovi. Jezero nije dovoljno veliko da izazove jače strujanje, ali je dovoljno da tijekom noći stvori cirkulaciju sa slabijim vjetrom. Vjetar u suprotnom smjeru od onog koje zahtijevaju prva dva uvjeta se javlja samo ako nema obalne cirkulacije u tom danu. Razlog može biti taj što se tog dana ne postigne diferencijal tlaka između kopna i jezera i/ili zbog prije spomenutih sinoptičkih poremećaja. Sinoptički poremećaji uzrokuju jače strujanje zraka koje dominira nad slabijim efektom jezera.

Usporedbom ruža vjetrova za noć (od ponoći do 7 h) 2018. i 2019. primjećuje se velika razlika u učestalosti smjera vjetra prema jezeru. Ovo je prikazano na slici 3.5. Dominantan smjer vjetra prema jezeru tijekom noći jedan je od uvjeta koji su zadani za obalnu cirkulaciju. Ovo potvrđuje i tablica 3.1 gdje se vidi da je 2018. godine čak 75 dana, od ukupno 85, zadovoljilo uvjet smjera vjetra tijekom noći, a 2019. godine je samo 63 dana zadovoljilo isti uvjet. Niti jedan od ovih uvjeta sam po sebi ne može implicirati dominantnost obalne cirkulacije za promatranu godinu, no za sve tri promatrane godine dobila se korelacija između obalne cirkulacije i određenih uvjeta. Ti uvjeti su dominantan smjer vjetra prema kopnu tijekom dana, dominantan smjer vjetra prema jezeru tijekom noći i dnevna amplituda tlaka manja od 5 hPa. Razlog tome je što su ti uvjeti samo po sebi vezani. Ukoliko postoje jači sinoptički poremećaji neće se razviti obalna cirkulacija. Kada obalne cirkulacije nema, vjetar može biti usmjeren tako da zadovoljava prva dva uvjeta filtra. Ovdje se radi o vjerojatnosti, pa se može dogoditi nekakvo odstupanje, ali ono se ne očekuje. Jedino odstupanje se primijetilo kod dnevnog vjetra 2019. godine, gdje je više dana prošlo



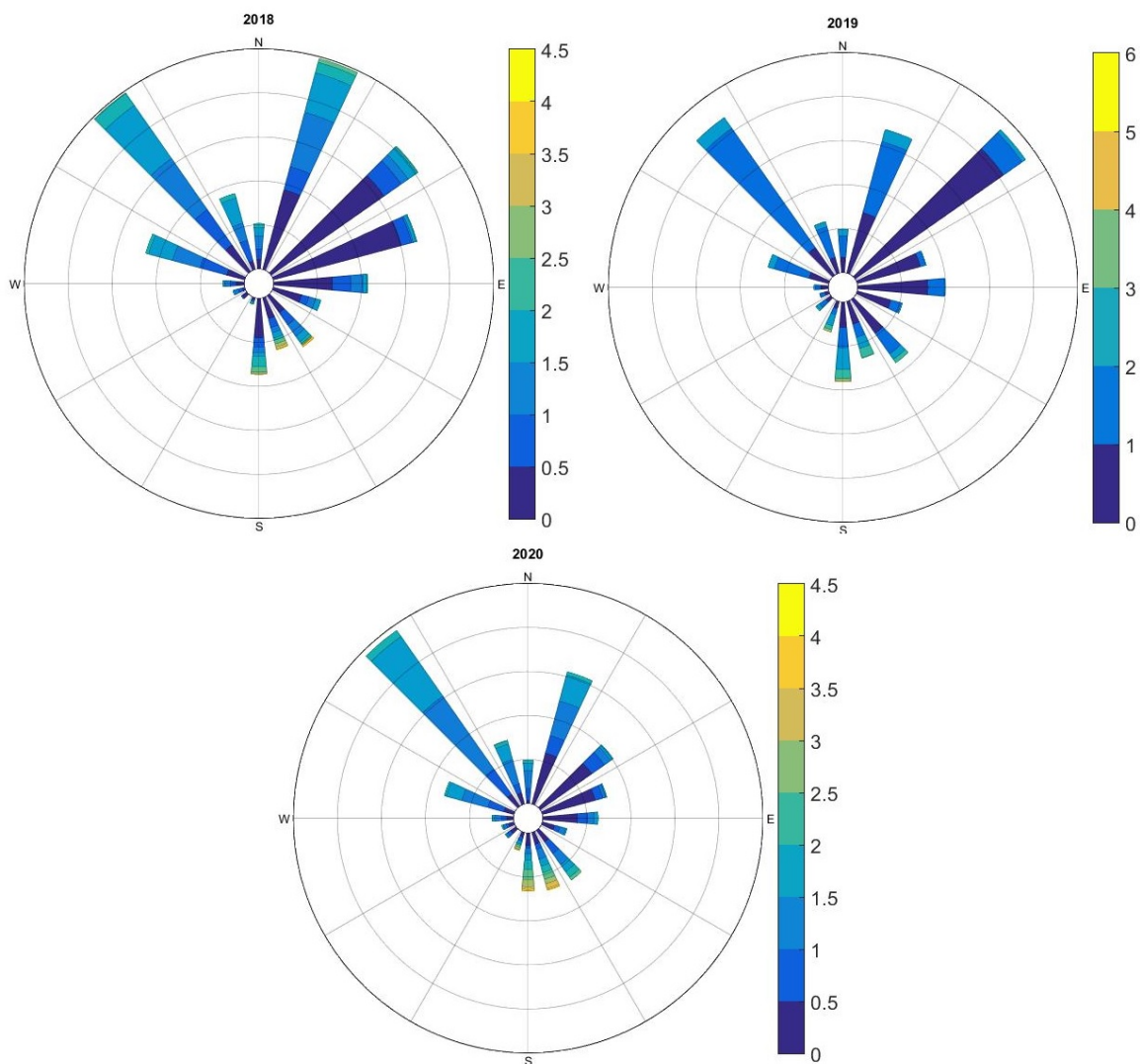


Slika 3.5: Ruže vjetrova za noći (od ponoći do 6 h) u razdoblju od 8. srpnja do 1. listopada. za godine 2018-2020. Brzine su prikazane u  $ms^{-1}$ .

kroz filtar nego 2018. godine, a manje je dana detektirano s obalnom cirkulacijom.

Ruža vjetra za noć 2020. godine pokazuje dominantan smjer prema jezeru. Komponente smjera vjetra prema jezeru su vrlo slične kao one za godinu 2018. Za razliku od ruža vjetrova za godine 2018. i 2019. ovdje se primjećuje veća učestalost vjetra prema kopnu. Iz ovog se očekuje da će najviše dana s obalnom cirkulacijom imati 2018. godina, a najmanje 2019. godina. Ovo je u skladu s ovdje dobivenim rezultatima.

Ruže vjetrova za cijeli dan pokazuju sve smjerove iz kojih vjetar puše (slika 3.6). Zbog jakih sinoptičkih poremećaja u godini 2019. ova ruža je puno sličnija slučajnim smjerovima. To uzrokuje manju dominantnost smjera paralelnog s jezerom. U kombinaciji s činjenicom da samo sedam noći ima srednju brzinu vjetra ispod

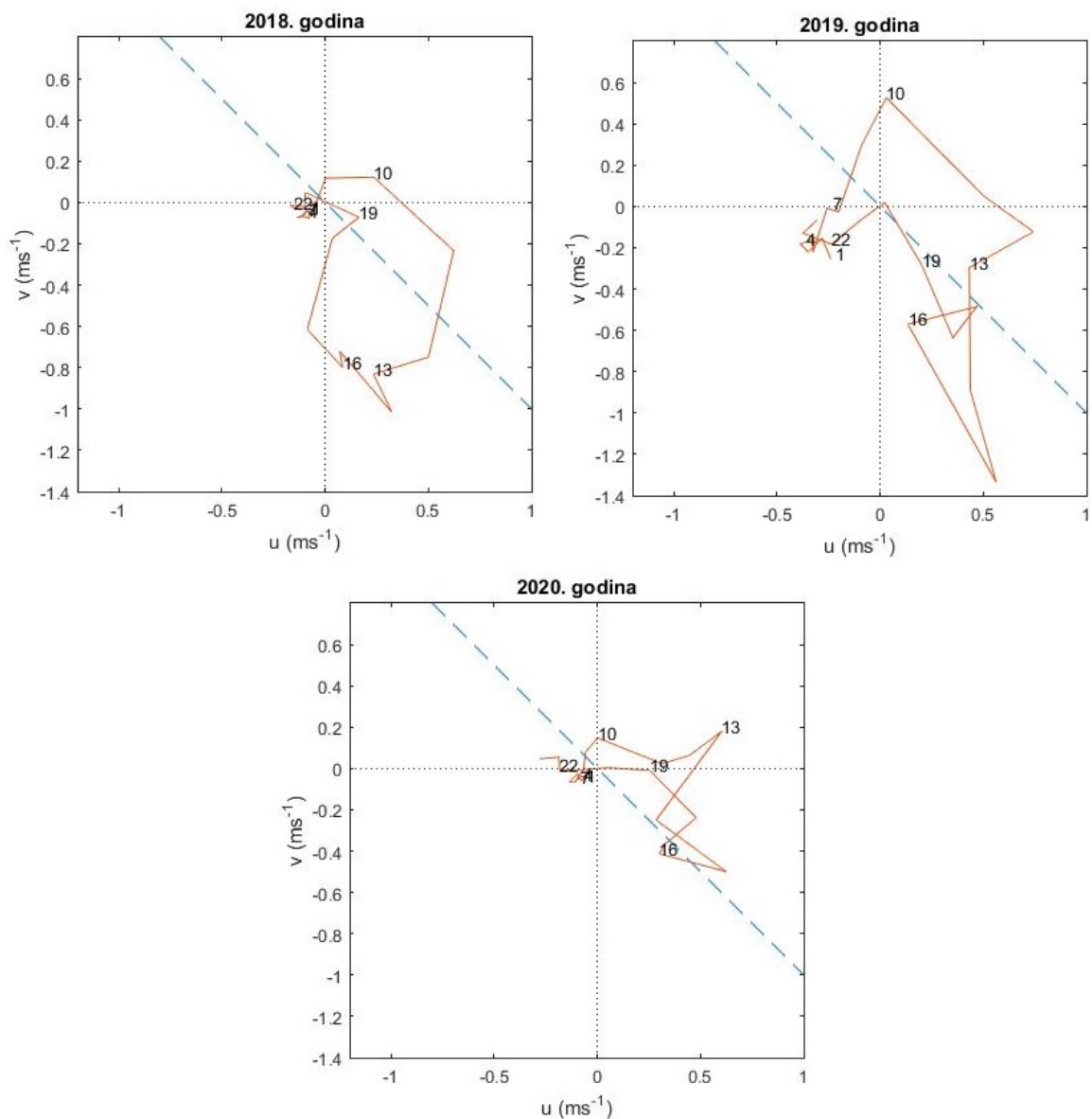


Slika 3.6: Ruže vjetrova za dane razdoblju od 8. srpnja do 1. listopada za godine 2018-2020. Brzine su prikazane u  $m s^{-1}$ .

$0.2 m s^{-1}$  u 2019. godini, statistički dobiven broj dana s obalnom cirkulacijom je veći od onog dobivenog sa stvarnim podacima.

Statistički dobiveni podaci za godine s malo sinoptičkih poremećaja pokazuju manje razvijanja obalne cirkulacije od izmjerenih, dok za godine s puno sinoptičkih poremećaja pokazuju više. Cilj ovog testa bio je da se dobiju dodatne informacije o očekivanim danima s obalnom cirkulacijom. Rezultati statističkog modela su tu za usporedbu i ne služe za prognozu ili potvrđivanje rezultata dobivenih za stvarni vjetar. Budući da se radi o statistici korisno je usporediti ukupan broj statistički dobivenih dana s obalnom cirkulacijom s onima koji su dobiveni stvarnim podacima. Statističkim modelom se za ova tri ljeta dobilo 38 dana kod kojih se stvara obalna cirkulacija, 45 dana je zadovoljilo sve uvjete filtra, što je vrlo sličan rezultat. Kada bi

smjer vjetra uistinu bio nasumičan ovo bi impliciralo da su korišteni filtri bili malo blaži nego bi bilo idealno. Grube pretpostavke i jasno dominantan smjer vjetra koji uvelike mijenja udio dana koji zadovoljavaju prva dva uvjeta filtra, ukazuju na to da je ovaj statistički dobiven rezultat vrlo nepouzdan. Iz ovoga se ne može pretpostaviti koliko zahtjevne uvjete bi filter trebao imati. Podudaranje statistički dobivenog rezultata s onim što se izmjerilo je svakako poželjno, a ovdje su dobivene vrijednosti vrlo slične.



Slika 3.7: Srednji dnevni hod vjetra tijekom dana. Razdoblje od 8. srpnja do 1. listopada za godine 2018-2020. Koriste se samo podaci za dane koji su zadovoljili sve uvjete filtra. Isprekidana crta pokazuje smjer pružanja jezera.

Slika 3.7 prikazuje dnevni hod vjetra za dane s obalnom cirkulacijom. Za sva tri ljeta dobiva se jako slično ponašanje vjetra .Od ponoći do 7 h ujutro vjetar

puše iz smjera sjeveroistoka (prema jezeru). Prema popodnevnim satima, vjetar se pojačava i smjer od kud puše se mijenja prema zapadu, tako da oko 10 h ujutro puše južni vjetar. Zapadni vjetar počinje dominirati između 11 i 13 h, nakon kojeg slijedi sjeverni vjetar oko 16 h. Kasnije vjetar počinje mijenjati smjer iz kojeg puše natrag prema zapadu, brzina vjetra se počinje smanjivati. Oko 20 h vjetar je jako slab i mijenja smjer iz kojeg puše natrag prema sjeveroistoku. Najjači vjetrovi se javljaju u terminima između 10 i 16 h s maksimum u smjeru koji puše prema jugoistoku. Ovo je smjer paralelan s jezerom. Unatoč vizualno dosta drugačijim krivuljama koje opisuju dnevni hod vjetra, ovo vrijedi za sva tri promatrana ljeta bez ikakvih iznimka. Uočava se da je kruženje vjetra tijekom dana anticiklonalno, s maksimalnim brzinama vjetra u popodnevnim satima.

Tablica 3.3: Tablica Prikazuje srednje dnevne maksimume brzina i srednje dnevne brzine za godine 2018-2020. SM: Srednjak dnevnih maksimuma, AVR srednjak dnevnih brzina, LB: Samo dani gdje je uočena obalna cirkulacija. Sve vrijednosti su prikazane u  $ms^{-1}$  i zaokružene na najbližu decimalu.

Godina	SM	AVR	LB-SM	LB-AVR
2018	1.9	0.7	1.8	0.6
2019	2.2	1.1	1.9	0.8
2020	1.9	0.8	1.7	0.6

Tablica 3.3. prikazuje srednje dnevne i srednje maksimalne dnevne brzine za godine 2018-2020. Jasno se vidi da su brzine kod dana s razvijenom obalnom cirkulacijom manje od brzina za cijelo promatrano razdoblje. Eliminacijom dana sa sinoptičkim poremećajima se smanjuju srednja i maksimalna brzina vjetra. Srednje dnevne brzine vjetra su oko  $1 ms^{-1}$  za cijelo razdoblje, a oko  $0.7 ms^{-1}$  za dane s razvijenom obalnom cirkulacijom. Srednjaci maksimalnih dnevnih brzina su oko  $2 ms^{-1}$  za cijelo razdoblje, a oko  $1.8 ms^{-1}$  za dane s razvijenom obalnom cirkulacijom.

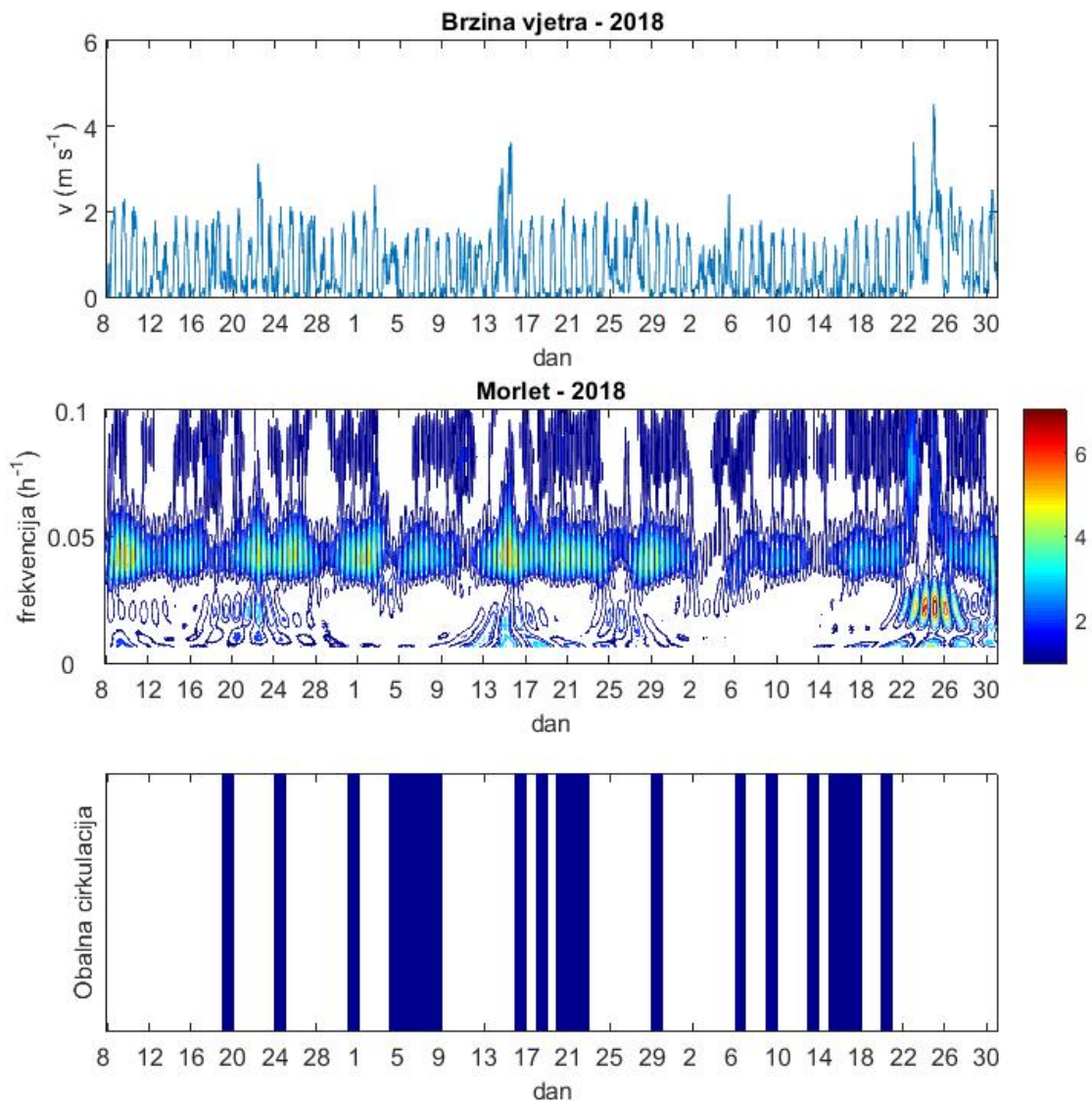
Promatrano razdoblje je 85 dana. Raspon dana gdje je uočena obalna cirkulacija kroz te tri godine je 15%-36%. Slične rezultate dobili su Laird i sur. (2001) pri proučavanju obalne cirkulacije uz puno veće jezero Michigan. Oni su proučavali razdoblje od svibnja do rujna 1996-1997. Rezultate koje su dobili pokazuju da je u 35% dana uočena obalna cirkulacija na istočnoj strani, 21% na zapadnoj. Vjetrovi

koji se postižu na jezeru Michigan su poprilično jači od onih na jezeru Kozjak.

Rezultate se može usporediti i s onima koje su dobili Grau i sur. (2020) pri proučavanju obalne cirkulacije na otoku Mallorca te Prtenjak i Grisogono (2007) pri proučavanju obalne cirkulacije na sjevernom Jadranu. Obalna cirkulacija na otoku Mallorca u razdoblju svibanj-kolovoz kroz godine 2009-2017 ima mjesečno usrednjeni minimum od 20 dana u kolovozu. Na sjevernom Jadranu su rezultati vrlo raznoliki ovisno o točnoj lokaciji, od oko 17% u Puli tijekom rujna do oko 70% u Zadru tijekom kolovoza. Ovo je puno više nego što se ovdje dobilo za obalnu cirkulaciju na jezeru Kozjak.

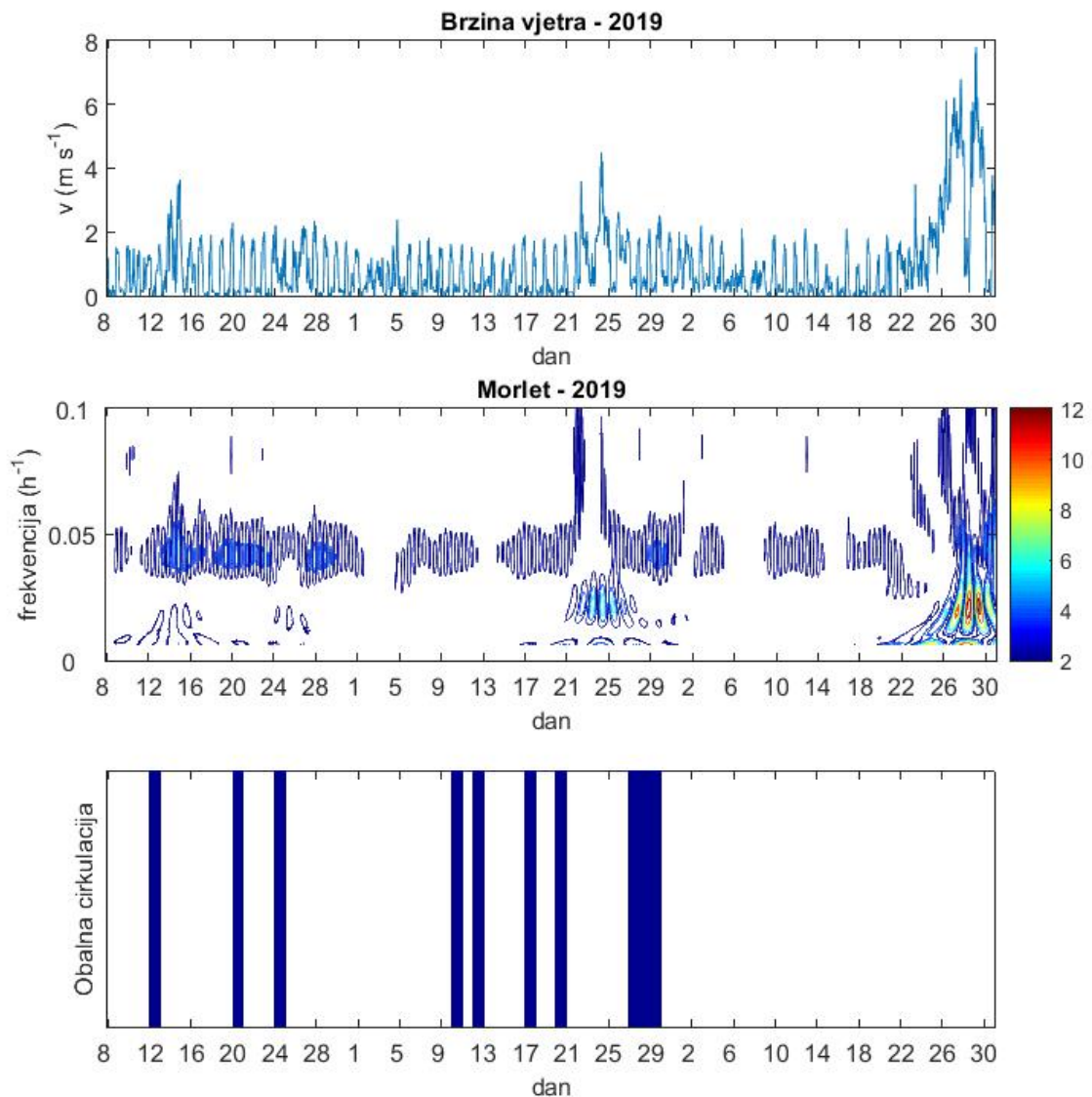
Promatrano jezero je puno manje od mora pa je efekt na cirkulaciju okolnog zraka puno manji. Također udaljenost od otvorenog mora je bitan faktor za obalnu cirkulaciju (Penzar i sur., 2001). Obalna cirkulacija zbog mora je učestalija i postižu se vjetrovi većih brzina nego kod obalne cirkulacije zbog malih jezera. Uspoređivanje obalne cirkulacije uzrokovane morem i jezerom, može poslužiti za određivanje granice, točnije maksimalne učestalosti i snage za obalnu cirkulaciju uzrokovanu jezerom. Ovdje dobivene vrijednosti su daleko ispod te granice.

Na slikama 3.8-3.10 prikazani su graf brzine vjetra, graf dobiven Morlet valičnom metodom i graf koji prikazuje dane u kojima je uočena obalna cirkulacija. Usporedbom grafa dobivenog Morlet valičnom metodom i grafa obalne cirkulacije može se provjeriti točnost prije dobivenih rezultata. Na slici 3.8 prikazani su podaci za godinu 2018. Do 04.08. obalna cirkulacija se rjetko razvija zbog dugoperiodičnih poremećaja koji su ovdje prisutni tijekom cijelog sedmog mjeseca, oni su prikazani plavom bojom na donjem dijelu grafa. Od 04.08. do 08.08. se razvila obalna cirkulacija svaki dan. Na grafu se vidi da nema nikakvih dugoperiodičkih poremećaja u tom razdoblju, a jasno je izražen 24 h period (frekvencija od  $0.042 \text{ h}^{-1}$ ) svjetlo plavom bojom. To je upravo period obalne cirkulacije koja se tu primijetila. Nakon toga se opet pojavljuju dugoperiodički poremećaji pa se obalna cirkulacija nije razvila. Od 20.08. do 22.08. te od 15.09. do 17.09. je svaki dan primijećena obalna cirkulacija. Sve ovo je u skladu s grafom dobivenim metodom Morletovog valića, dugoperiodički poremećaji u tim razdobljima nisu prisutni, a 24 h periodi jasno dominiraju. Od 31.08. do 04.09. nema 24 h perioda, u tom razdoblju se nije detektirala obalna cirkulacija.



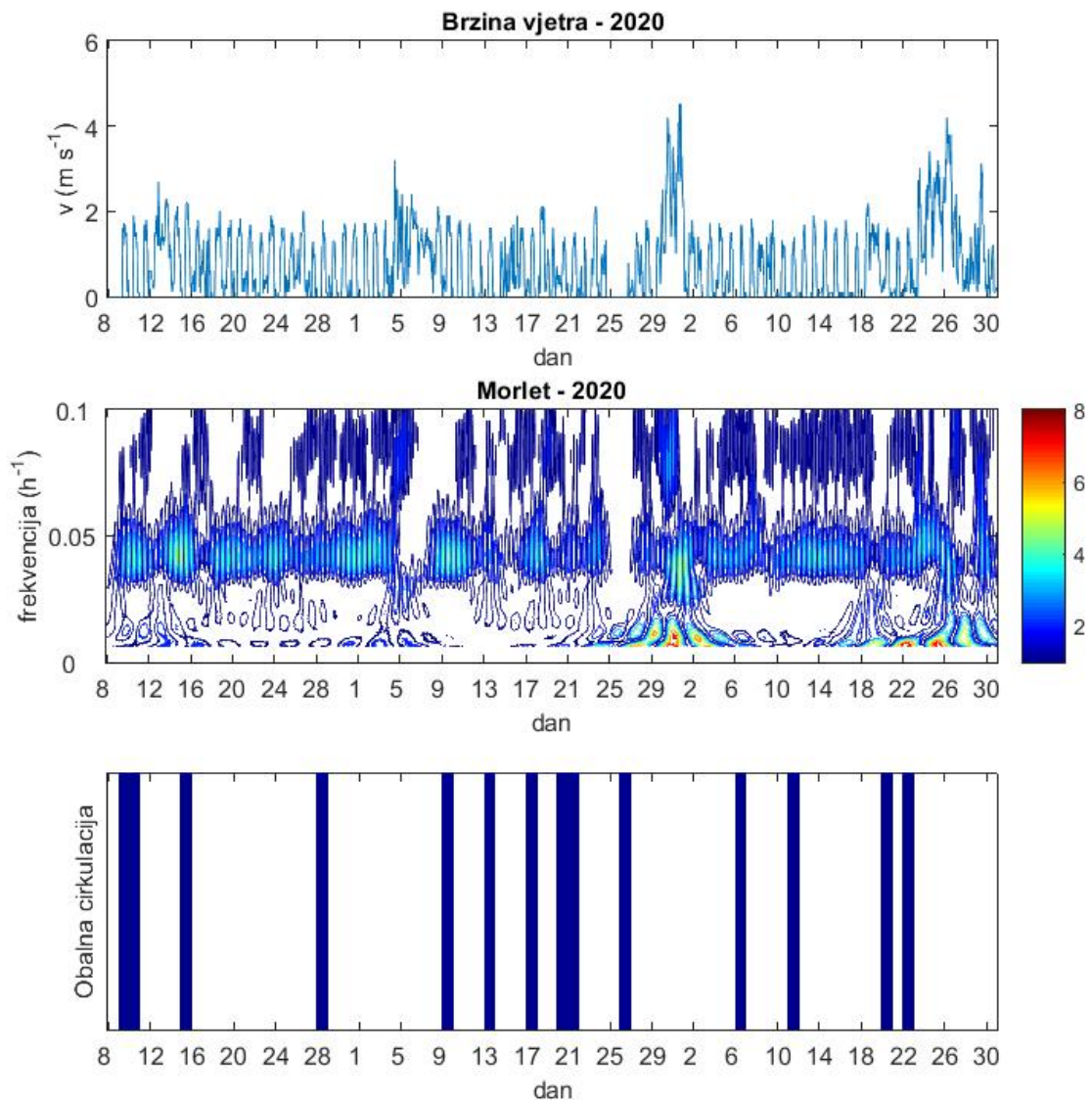
Slika 3.8: Graf brzine vjetra, graf dobiven Morlet valićnom metodom i graf koji prikazuje dane s detektiranom obalnom cirkulacijom za godinu 2018. za razdoblje od 8. srpnja do 1. listopada.

Na slici 3.9 vide se rezultati za godinu 2019. Graf dobiven metodom Morletovog valića je ovdje pretežito bijele boje jer su vrijednosti normalizirane, a na grafu se prikazuju samo vrijednosti veće od 2. Kao što je već rečeno u prethodnom poglavlju ovo se ne može uspoređivati s vrijednostima na grafu za godinu 2018. Ovaj graf pokazuje na to da su energije periodičkih gibanja pred kraj promatranog razdoblja bile puno veće od onih prije tog razdoblja. Posljednji dan u kojem je uočena obalna cirkulacija, u godini 2019. za promatrano razdoblje, je 29. kolovoza. U devetom mjesecu nije niti jedan dan primijećena obalna cirkulacija. Jasno se vidi da se u dru-



Slika 3.9: Graf brzine vjetra, graf dobiven Morlet valićnom metodom i graf koji prikazuje dane s detektiranom obalnom cirkulacijom za godinu 2019. za razdoblje od 8. srpnja do 1. listopada.

goj polovici devetog mjeseca nije niti mogla razviti obalna cirkulacija. To je vidljivo iz povećanih energija za frekvencije manje od  $0.042 \text{ h}^{-1}$ , odnosno periode veće od jednog dana (slika 3.9, sredina). Sve to ukazuje na utjecaj sinoptičkog forsiranja u zadnjoj trećini rujna, što je u skladu s rezultatima koji su prikazani na najdonjoj slici. Od 27.08. do 29.08. je svaki dan uočena obalna cirkulacija. Plavom bojom je istaknut 24 h period, a dugoperiodičkih poremećaja koji bi tu cirkulaciju nadjačali ovdje nema. Cijelo promatrano razdoblje je u skladu s prije dobivenim rezultatima za obalnu cirkulaciju.



Slika 3.10: Graf brzine vjetra, graf dobiven Morlet valićnom metodom i graf koji prikazuje dane s detektiranom obalnom cirkulacijom za godinu 2020. za razdoblje od 8. srpnja do 1. listopada.

Slika 3.10 prikazuje rezultate za godinu 2020. Od 27.08. do 04.09. se primjećuju jači dugoperiodički poremećaji zbog kojih se u tom razdoblju nije razvila obalna cirkulacija. Situacija je vrlo slična kao i za godinu 2018. Sva tri grafa su u skladu jedan s drugim.



## 4 Zaključak

Proučavana je atmosferska obalna cirkulacija zbog jezera Kozjak u Plitvičkim jezerima, u razdoblju 2018-2020. Na podatke koji su se dobili mjerenjem temperature vode, temperature zraka, brzine vjetra, tlaka i ostalih meteoroloških podataka primijenjen je filter koji se sastojao od 7 uvjeta. Filter je služio za eliminaciju dana kod kojih se ne uočava obalna cirkulacija. Razdoblja od 85 ljetnih dana su filtrirana za svaku od navedenih godina zasebno. Pokazalo se da je učestalost obalne cirkulacije uz jezero Kozjak između 15% i 36% s minimumom 2019. godine, a maksimum 2018. godine. Rezultati su u skladu s istraživanjima od Laird i sur. (2001), gdje se proučavala obalna cirkulacija oko puno većeg jezera (Michigan). Usporedbu se napravilo i s radovima gdje se proučavala obalna cirkulacija zbog djelovanja mora. Proizlazi da je obalna cirkulacija uz more puno učestalija od ovdje dobivene obalne cirkulacije. Ovo je u skladu s teorijskim očekivanjima zbog razlike u dimenzijama jezera i mora. Uspoređen je i sam filter, točnije prvi najstroži uvjet filtra. Dobilo se slično zadovoljavanje prvog uvjeta filtra kao i u članku Grau i sur. (2020), no oni su proučavali cijelu godinu, a ne samo ljetno pa se može pretpostaviti da je to vrlo vjerojatno samo slučajnost i nema bitne korelacije. Usporedio se broj dana s obalnom cirkulacijom i onih s jačim sinoptičkim poremećajima. Negativna korelacija je očita, godina s najviše dana sa sinoptičkim poremećajima ima najmanje dana s obalnom cirkulacijom i obratno. Bilo bi dobro da se ova negativna korelacija ispita. Promatrao se i dnevni hod vjetra kod dana s obalnom cirkulacijom. Vidi se jasan hod u svakoj od tri promatrane godine, sve tri godine pokazuju anticiklonalno zakretanje vjetra tijekom dana s maksimalnim brzinama vjetra u popodnevnim satima, kada je smjer vjetra paralelan s glavnom osi jezera. Brzine vjetra su manje kod dana s razvijenom obalnom cirkulacijom od ostalih dana kada obalne cirkulacije nema: Srednje satne brzine su manje oko 20%, a maksimalne dnevne brzine oko 10% od onih za sve promatrane dane. Srednja brzina vjetra je oko  $0.7 \text{ m.s}^{-1}$  za dane s obalnom cirkulacijom. Napravljen je i statistički račun kojime se aproksimira broj dana koje bi druga skupina uvjeta (svi zajedno od trećeg na dalje) trebali izbaciti. Rezultati se za svaku godinu pojedinačno ne poklapaju, ali sveukupno je dobiven broj dana vrlo sličan statistički očekivanom. Napravila se i Morlet valična metoda pomoću koje su se proučavala kraća razdoblja s određenim meteorološkim svojstvima kako bi se potvr-

dila točnost dobivenih dana s obalnom cirkulacijom. Svi dobiveni podaci su u skladu s dobivenim rezultatima Morlet valićne metode, za razdoblja gdje se obalna cirkulacija ne bi trebala razvijati nema detektiranih dana, a za razdoblja gdje Morlet valićna metoda prikazuje stanje koje pogoduje razvoju obalne cirkulacije se često detektirala periodičnost od 24 sata i za nekoliko uzastopnih dana.

## Literatura:

- Arritt, R. W., (1987): The effect of water surface temperature on lake breezes and thermal internal boundary layers. // Bound.-Layer Meteor., Vol 40, str 101–125. Citirano po Laird i sur. (2001).
- Asefi-Najafabady S., Knupp K., Mecikalski J. R., Welch R. M. (2012), Radar observations of mesoscale circulations induced by a small lake under varying synoptic-scale flows // Journal of Geophysical research, Vol. 117, D01106.
- CroVista (2021), Plitvička jezera <https://crovista.com/istra%C5%BEi/12-plitvihttps://crovista.com/istra%C5%BEi/12-plitvi%C4%8Dka-jezera%C4%8Dka-jezera>, 28.5.2021.
- Crosman E.T, Horel J.D (2010), Sea and Lake Breezes: A Reiview of Numerical Studies. // Boundary-Layer Meteorology. Vol. 137, str. 1-29.
- Daubechies, I., (1990), The wavelet transform time-frequency localization and signal analysis. IEEE Trans. Inform. Theory, 36, 961–1004. Citirano po Torrence i Compo (1997).
- Grau A., Jiménez M. A., Cuxart J. (2020), Statistical characterization of the sea-breeze physical mechanism through in-situ satellite observations. // International Journal of Climatology . Vol. 1-14, str. 1-12.
- Image Vision 2D-DWT (2021): A brief intro <https://medium.com/image-vision/2d-dwt-a-brief-intro-89e9ef1698e3>, 16.6.2021.
- Klaić Z.B., Rubinić J., Kapelj S. (2018), Review of research on Plitvice Lakes, Croatia in the fields of meteorology, climatology, hydrology, hydrogeochemistry and physical limnology. // Geofizika. Vol. 35, str 189-278.
- Klaić Z.B., Babić K., Orlić M. (2020), Evolution and dynamics of the vertical temperature profile in an oligotrophic lake. // Hydrol. Earth Syst. Sci., 24, 3399–3416, 2020.
- Laird, N.F., Kristovich A.R., Liang X., Arritt R. W., Labas K. (2001), Lake Michigan Lake Breezes: Climatology, Local Forcing, and Synoptic Environment. // Journal of applied meteorology. Vol. 40, str. 409-423.

- Meteo-info, Obalna cirkulacija (2021) <http://blog.meteo-info.hr/meteorologija/obalna-cirkulacija/>, 28.5.2021.
- Mihanović H., Orlić M., Pasarić Z. (2009), Diurnal thermocline oscillations driven by tidal flow around an island in the Middle Adriatic. // *Journal of Marine Systems* Vol. 78, S157-S168.
- Miller S.T.K., Keim B.D., Talbot R.W., Mao H. (2003) Sea breeze: Structure, forecasting, and impacts // *Rev Geophys* Vol. 41, str. 1-31, Citirano po Prtenjak i Grisogono (2007) .
- National weather service, The Sea Breeze <https://www.weather.gov/jetstream/seabreeze>, 28.5.2021.
- Penzar B., Penzar I., Orlić M. (2001), *Vrijeme i klima hrvatskog Jadrana*. Zagreb: Nakladna kuća Dr. Feletar, pp 258. Citirano po Prtenjak i Grisogono (2007).
- Plitvička Jezera, Krški Krajobraz <https://np-plitvicka-jezera.hr/prirodna-i-kulturna-bastina/prirodna-bastina/krski-krajobraz/>, 28.5.2021.
- Prtenjak M.T., Grisogono B. (2007), Sea/land breeze climatological characteristics along the northern Croatian Adriatic coast. // *Theoretical and Applied Climatology*. Vol. 90, str. 201-215.
- Segal M., Leuthold M. ,Arritt R. W , Anderson C.,Shen J. (1997), Small lake daytime breezes: Some observational and conceptual evaluations // *Bull. Am. Meteorol. Soc.*,Vol 78, 1135–1147. Citirano po Asefi-Najafabady i sur. (2012).
- The Engineering ToolBox :[https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-d\\_391.html](https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-d_391.html) 10.6.2021.
- Torrence C., Compo G. P. (1997), *A Practical Guide to Wavelet Analysis* // *American Meteorological Society*. Vol 79, str. 61-64.
- Weather and Climate Lecture [https://www.shsu.edu/~dl\\_www/bkonline/131online/f03continent/03index.htm](https://www.shsu.edu/~dl_www/bkonline/131online/f03continent/03index.htm) 10.6.2021.