Udio reciklirane vlage zraka u ukupnoj količini oborina na lokaciji Zadar

Vujnović, Filip

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:430346

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet
University of Zagreb
Faculty of Agriculture

UDIO RECIKLIRANE VLAGE ZRAKA U UKUPNOJ KOLIČINI OBORINA NA LOKACIJI ZADAR

DIPLOMSKI RAD

Filip Vujnović

Zagreb, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet
University of Zagreb
Faculty of Agriculture

Diplomski studij:

Agroekologija – Agroekologija

UDIO RECIKLIRANE VLAGE ZRAKA U UKUPNOJ KOLIČINI OBORINA NA LOKACIJI ZADAR

DIPLOMSKI RAD

Filip Vujnović

Mentor: doc. dr. sc. Kristina Krklec

Zagreb, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

IZJAVA STUDENTA

O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Filip Vujnović**, JMBAG 1003111980, rođen 20.09.1995. u Bjelovaru, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad pod naslovom:

UDIO RECIKLIRANE VLAGE ZRAKA U UKUPNOJ KOLIČINI OBORINA NA LOKACIJI ZADAR

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica/jedini autor ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata/upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____ _____

Potpis studenta / studentice

Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

University of Zagreb
Faculty of Agriculture

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta **Filip Vujnović**, JMBAG 1003111980, naslova

UDIO RECIKLIRANE VLAGE ZRAKA U UKUPNOJ KOLIČINI OBORINA NA LOKACIJI ZADAR

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____ , dana _____ .

Povjerenstvo:			Potpis:
1.	doc. dr. sc. Kristina Krklec	mentor	_____
2.	izv. prof. dr. sc. Aleksandra Bensa	član	_____
3.	doc. dr. sc. Aleksandra Perčin	član	_____

Sažetak

Diplomskog rada studenta **Filip Vujnović**, naslova

UDIO RECIKLIRANE VLAGE ZRAKA U UKUPNOJ KOLIČINI OBORINA NA LOKACIJI ZADAR

Klimatske promjene i njihove posljedice zabrinjavajući su problem modernog društva. Izvori vlage zraka u oborinama nekog područja potječu od oceanskih i kontinentalnih izvora. Lokalne oborine proistekle od evaporacije nazivaju se „reciklirane“, te se procjenjuje da čine trećinu od ukupne količine oborina. Cilj rada bio je na primjeru oborina na području grada Zadra utvrditi udio reciklirane vlage zraka u ukupnoj količini oborina Također jedan od ciljeva ovog istraživanja bio je i utvrditi utječe li količina reciklirane vlage zraka na povećanje ili smanjenje količine oborina ovog područja. Za dane s količinom oborina >0.5 mm provedene su petodnevne "back trajectories" analize (unazadne putanje) zračnih masa koristeći HYSPLIT model. Za te zračne mase utvrđene su lokacije izdizanja vlage i udio reciklirane vlage u ukupnoj količini oborina. Analizom je utvrđeno da je udio reciklirane vlage u četverogodišnjem razdoblju 41,82% što čini značajan udio u ukupnoj količini oborina.

Ključne riječi: *Zadar, oborine, reciklirana vlaga, HYSPLIT*

Summary

Of the master's thesis – student **Filip Vujnović,** entitled

SHARE OF RECYCLED MOISTURE IN THE TOTAL AMOUNT OF PRECIPITATION AT ZADAR LOCATION

Climate change and its consequences are a growing concern of modern society. Moisture in precipitation over certain location originates from oceanic and continental sources. Local precipitation resulting from evaporation is called "recycled", and is estimated to account for a third of total precipitation. The aim of this work was to determine the share of recycled moisture in the total amount of precipitation on the example of precipitation in the city of Zadar. As well, whether its amount affects the increase or decrease of the amount of precipitation in this area. For the days with precipitation >0.5 mm, five-day "back trajectories" of air masses were determined using the HYSPLIT model. For those air masses locations of moisture uplift and the proportion of recycled moisture in the total precipitation were determined. The analysis showed that the share of recycled moisture in the four-year period was 41,82%, which is a significant share in the total amount of precipitation.

Key words: *Zadar, precipitation, recycled moisture, HYSPLIT*

Sadržaj

1. Uvod 1

2. Dosadašnja istraživanja 2

3. Opis područja 5

3.1. Smještaj i tlo 5

3.2. Klima 7

4. Materijali i metode 11

5. Rezultati istraživanja 13

5.1. „Back trajectories“ analize 13

5.2. „Moisture uptake“ analiza 21

5.3. Udio reciklirane vlage 24

6. Rasprava 25

7. Zaključak 27

8. Literatura 28

Životopis 31

1. Uvod

Klimatske promjene jedan su od najvećih problema s kojim se moderno društvo susreće i na koje treba dati adekvatan i pravovremen odgovor s obzirom na moguće posljedice koje su već sada vidljive. Izazovi globalnog upravljanja okolišem postaju sve složeniji zbog interakcije eksponencijalno rastućih prijetnji klimatskih promjena, promjena u korištenju zemljišta, pritiska stanovništva i promjenjivih obrazaca potrošnje (Steffen i sur., 2015a;, Richardson i sur., 2009.). Istraživanja pokazuju da je područje Mediterana jedno od najrelevantnijih područja koje će biti pod utjecajem globalnog zagrijavanja, te da postoji opći trend smanjenja količine oborina. Predviđanja su da će se taj trend nastaviti u budućnosti ograničavajući razvoj ove regije. Jedan od najkritičnijih aspekata mediteranske regije je hidrološki ciklus i njegova varijabilnost u odnosu na globalne klimatske promjene i klimatske promjene. Ravnoteža između oborina i isparavanja utječe na cirkulaciju i kvalitetu voda u Sredozemnom moru. Promjenjivost oborina u mediteranskoj vlažnoj sezoni utječe na hidrološki proračun područja i ima ključnu ulogu u upravljanju regionalnom poljoprivredom, vodnim resursima, ekosustavima, okolišem, ekonomijom, kao i društvenim razvojem i ponašanjem (Xoplaki i sur. 2004.).

Sve se više prepoznaje, ali nije u potpunosti kvantificirano, da promjene u korištenju zemljišta mogu potaknuti klimatske promjene, ne samo na lokalnom nego i na kontinentalnom nivou. Nedavna istraživanja pokazala su da lokalno isparavanje značajno doprinosi sezonskim i godišnjim količinama oborina u mnogim regijama svijeta recikliranjem vlage (Yasir i Savenije, 2002.). Izvori vlage zraka u oborinama nekog područja potječu od oceanskih i kontinentalnih izvora. Voda koja evapotranspiracijom napušta zemljinu površinu, ne nestaje, već se kreće kroz atmosferu kao vodena para i na kraju padne na tlo kao oborina, poput kiše ili snijega (Lettau i sur. 1979.). Drugim riječima, vlaga se reciklira od točke isparavanja, kroz atmosferu, do mjesta na kojima postaje oborina (van der Ent i sur. 2010.). Procjenjuje se da reciklirane oborine čine trećinu od ukupne količine oborina. Unatoč njihovoj važnosti u hidrološkom ciklusu, za područje Mediterana njihovi izvori su još uvijek nepoznati.

Cilj ovog rada je na primjeru oborina na području grada Zadra utvrditi udio reciklirane vlage zraka u ukupnoj količini oborina. Također, utvrditi će se njena stacionarnost tijekom istraživanog razdoblja, te da li njena količina utječe na povećanje ili smanjenje količine oborina ovog područja.

2. Dosadašnja istraživanja

Oborine su primarni ulaz za globalne i lokalne hidrološke cikluse. Općenito, dolaze iz tri izvora vlage: iz vodene pare od antecedentne atmosfere, bočne advekcije i lokalne evapotranspiracije (Trenberth 1999.). Reciklirana vlaga ima važnu ulogu u lokalnom hidrološkom ciklusu i ključni je dio ravnoteže atmosferske vodene pare u nekim područjima (Seneviratne i sur. 2006 .; Aemisegger i sur. 2014.).

Sastavni dijelovi lokalnog hidrološkog ciklusa su: vlaga u atmosferi, oborine, isparavanje (u svim oblicima), infiltracija i otjecanje. Odnos ovih komponenti izrazito je nelinearan i kompliciran zbog različitih prostornih i vremenskih komponenata. Recikliranje vlage ključni je proces u lokalnom hidrološkom ciklusu i ima izravne posljedice na upravljanje kopnenim i vodnim resursima u regiji. U klimatskom modeliranju također je poznato da je izmjena vlage s kopnenom površinom relevantna, ako ne i presudna za realno predviđanje atmosfere (Yasir i Savenije 2002.).

Isparavanje kao izvor oborina nad površinom ovisi o raspoloživosti površinske vlage, što ovisi o raspoređivanju oborina kad jednom padnu na tlo. Konkretno, određuje se koliko infiltrata može postati podzemna voda, koliko površinski otječe u potoke i rijeke te se zatim učinkovito gubi u tom području kao izvoru daljnjeg isparavanja i koliko se zadržava u blizini površine u ribnjacima, jezerima ili na tlu, te je tako lako dostupno za evapotranspiraciju izravno s površine ili preko površinske vegetacije. Ova podjela na taj način uvelike ovisi o površinskim karakteristikama i vegetaciji (van der Ent i sur. 2010.).

Recikliranje vlage definira se kao proces kojim dio vode koja je isparila s određenog područja doprinosi oborinama na istom području, koje se naziva i lokalnim oborinama. Recikliranje vlage karakterizira nelinearni odnos između lokalnog isparavanja, transporta vlage i oborina. Isparavanje zauzvrat ovisi o raspoloživosti vlage na tom području, bilo kao otvorena vodena površina ili vlaga ispod površine unutar nezasićene zone, koja se isparava izravno ili prelazi vegetacijom. Lokalni prijenos vlage ovisi o atmosferskoj dinamici i izvorima podrijetla vlage. Svaka izmjena procesa na kopnu može utjecati na količinu oborina (Yasir i Savenije 2002.).

Poznato je iz opažanja i iz brojnih eksperimenata da isparavanje s kopnene površine u atmosferu ima dva učinka:

1. Povećava vlagu u atmosferi, što pogoduje većoj količini oborina.

2. Isparavanjem se mijenja termodinamika vertikalnog vodenog stupca, pogodujući budućim oborinama (Yasir i Savenije 2002.).

Značaj recikliranja vlage pokazatelj je klimatske osjetljivosti na promjene u korištenju zemljišta. Kontinentalno isparavanje je jedini protok vlage na koji čovjek može izravno utjecati promjenama u korištenju zemljišta. Zbog proučavanja potencijalnog utjecaja ovih promjena u korištenju zemljišta na naše resurse slatke vode, stoga je važno znati značaj kontinentalnog isparavanja. Općenito, isparavanje se povećava smanjenjem otjecanja (npr. izgradnjom brana i akumulacija) ili povratnim otjecanjem natrag na kopno (npr. navodnjavanjem na prethodno golo tlo). Suprotno tome, isparavanje se smanjuje povećanjem drenaže (npr. sječom šume i prekomjernom ispašom) (van der Ent i sur. 2010.).

Istraživanje koje su proveli Bisselink i Dolman (2009.), a koje između ostalog, uključuje i područje Balkana kaže kako je za Balkan recikliranje oborina veliko u vlažnim ljetima kada su konvekcijske oborine dominantan izvor oborina. To se događa kada je transport vlage slab, a isparavanje i odnos oborina i evapotranspiracije (O-E) velik. Dakle, proces recikliranja intenzivira hidrološki ciklus zbog pozitivne povratne sprege stvaranjem konvekcijskih oborina. Drugim riječima, kombinacija slabog transporta vlage i raspoloživost površinske vlage važna je za postojanje recikliranih oborina iz lokalnog isparavanja. Stoga regionalni hidrološki ciklus Balkana može biti posebno podložan ili budućim klimatskim promjenama ili promjenama pokrovnosti tla.

Izračun putanja zračnih masa (unaprijed i unatrag) omogućava prikaz obrazaca protoka zraka za tumačenje transporta onečišćujućih tvari u različitim prostornim i vremenskim rasponima. Uglavnom se putanje koriste za praćenje povijesti zračne mase ili za predviđanje kretanja zračne mase i za rješavanje nesigurnosti povezanih s obrascima kretanja vjetra. Grupiranje putanji koje dijele neke prostorne i vremenske značajke pojednostavljuje njihovu analizu i interpretaciju, a također smanjuje nesigurnost u određivanju putanji atmosferskog toka (Fleming i sur. 2012).

Povijest zračnih masa može se izračunati korištenjem lokalnih/općih cirkulacijskih modela (npr. Numaguti 1999.; Gimeno i sur. 2010.) ili analizom unazadnih putanja temeljenih na Lagrangian metodama (npr. Stein i sur. 2015.). Atmosferski modeli koji izračunavaju unazadne putanje zračnih masa i koji su relativno jednostavni za korištenje postali su popularni u posljednjem desetljeću (Krklec i sur. 2018.).

Međutim, izračuni putanja zračnih masa tijekom dana prije oborina ne daju izvore vlage za te događaje, odnosno za oborine. Zračne mase ne uzimaju vlagu tijekom njihove pune putanje, već samo kad su ispunjeni određeni uvjeti (Sodemann i sur. 2008b). Slijedom toga, prostorne raspodjele unazadnih putanja i mjesta izdizanja vlage vrlo su različite. Dakle, sama uporaba unazadnih putanja očito je nedovoljna i neadekvatna za utvrđivanje mjesta izdizanja vlage. Izračun lokacija izdizanja vlage pomoću unazadnih putanja zahtijeva pokretanje dodatnog modela za identificiranje lokacija izvora vlage (Sodemann i sur. 2008a; Pfahl i Wernli, 2008.; Baldini i sur. 2010.; Gao i sur. 2011.; Bershaw i sur. 2012.).

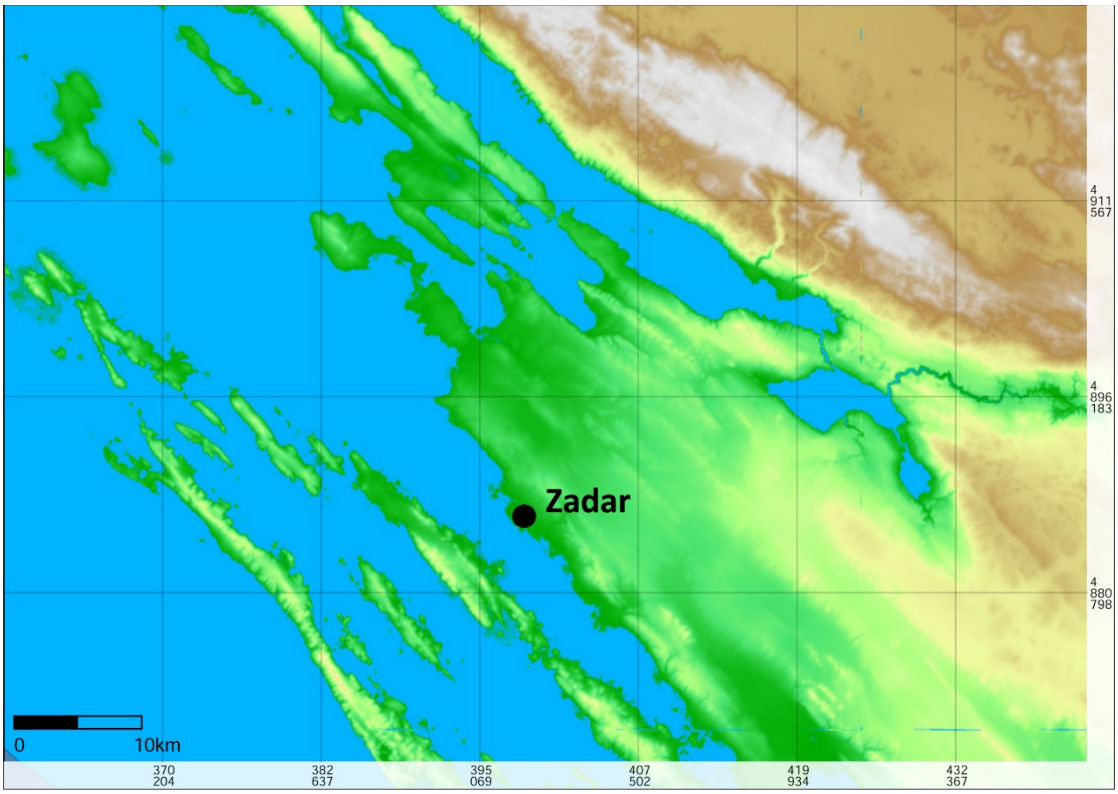
Jedan od popularnijih modela za izračun zračnih masa je HYSPLIT. Znanstveni temelj i nadahnuće za HYSPLIT-ove mogućnosti praćenja putanja mogu se pratiti od 1949., kada je zadužen Posebni projektni odjel (Special Project Section) američkog ureda za vrijeme (sada NOAA-ina nacionalna meteorološka služba (NWS)) s pokušajem pronalaženja izvora radioaktivne krhotine koja potječe iz prvog sovjetskog atomskog testa. U tu svrhu, unazadne putanje izračunate su ručno na temelju podataka o vjetru dobivenim mjerenjem balonima. Iako su ove unazadne putanje izračunate prije više od 60 godina, postotna pogreška između izračunatog i stvarnog izvora u odnosu na udaljenost koju su prekrile putanje bila je nevjerojatno niska (oko 5%; Machta 1992.). Od tada su izračuni putanja jedan od temelja istraživačkih aktivnosti AirResources Laboratory-a (npr. Angell i sur. 1966., 1972., 1976.). U ranim 1980. godinama razvijena je prva verzija HYSPLIT-a , a od tada je razvijeno nekoliko novih verzija ovog modela. Danas Hibridni model jednostrukih Lagrangijevih integriranih putanja (HYSPLIT) Nacionalne uprave za oceane i atmosferu (NOAA) AirResources Laboratory-a, je kompletan sustav za izračunavanje jednostavnih putanja zračnih parcela, kao i složenih transportnih, disperzijskih, kemijskih transformacija i simulacije taloženja. HYSPLIT je jedan od najčešće korištenih modela atmosferskog transporta i disperzije u zajednici atmosferskih znanosti. Jedna od najčešćih primjena modela je analiza unazadnih putanja kako bi se utvrdilo podrijetlo zračnih masa i uspostavila veza izvor-receptor (Fleming i sur. 2012). HYSPLIT se također koristi u raznim simulacijama koje opisuju transport u atmosferi, disperziju i taloženje zagađivača i opasnih materija.

3. Opis područja

3.1. Smještaj i tlo

Grad Zadar smješten je na središnjem dijelu hrvatske obale (Slika 1). Zadar je središte i najrazvijenija upravno- teritorijalna jedinica Zadarske županije. Područje grada Zadra obuhvaća obalu, priobalje i otoke s ukupnom površinom 193,82 km^2, također Zadar je i peti grad po broju stanovnika u Republici Hrvatskoj te broji 75062 stanovnika.

Šire područje grada Zadra uglavnom grade karbonatne stijene mezozojske i kenozojske starosti. To su pretežito kredni i eocenski vapnenci, te eocenske naslage fliša. Dna lokalnih depresija ispunjena su mlađim kvartarnim naslagama (Majcen i sur. 1970.; Majcen i Korolija 1967.)



Slika 1: Šire područje grada Zadra, Izvor: Geoportal GDU

Prostor Zadarske županije raščlanjen je na nekoliko geografskih cjelina, i to Ravni kotari s ninsko-zadarsko-biogradskim priobaljem, zadarski otoci, Bukovica, jugoistočni dio Velebita te istočni dio ličko-krbavskoga prostora s Pounjem (Magaš 2001.)

Geološkim i geomorfološkim procesima formirani su raznovrsni oblici koji čine temelj krajolika, poput planinskoga prostora Velebita i Plješivice, brdsko-dolinskoga prostora Bukovice, blago valovitoga područja Ravnih kotara i brdovito-brežuljkastog otočnog prostora. Najveću vertikalnu raščlanjenost imaju planinski te istaknutiji brdski kontinentalni i otočni dijelovi županije, koje tvore hrptovi i samotne uzvisine (glavice, zaglavi). Pri tome se svojim značenjem ističe visoki hrbat Velebita kao prirodna, ponajprije klimatska, razdjelnica primorskoga i kontinentalnoga dijela županije (Penzar i Penzar 1995.; Perica i Orešić 1999.).

Visinom dominiraju istaknuti vrhovi, poput Vaganskoga vrha (1757 m) i Svetoga brda (1751 m) na Velebitu te Kremena (1591 m) na Plješivici, Kučine kose (1446 m) na Poštaku i dr. u ličko-krbavskom prostoru. Hipsometrijski su istaknuti i pojedini dijelovi Bukovice, osobito Jurišinka na Orljaku (visina 674 m). Na većim otocima također se ističu pojedini hrptovi i osamljene uzvisine, a među njima najviši su Sv. Vid (349 m) i Veli brig (263 m) na Pagu, Vela straža (337 m) i Veli vrh (328 m) na Dugom otoku, Šćah (286 m) na Ugljanu i Veli Bokolj (272 m) na Pašmanu (Faričić i Marelić 2014.).

Osobito važan dio vodnoga sustava Zadarske županije čine tekućice. Među njima najvažnija je rijeka Zrmanja. Njezin je donji tok potopljen, pa danas čini prostrani zaljev koji se naziva Novigradskim morem. Uz Zrmanju i Krupu, u Zadarskoj županiji ima još nekoliko važnih vodotokova. Među njima je posebno važna Una, s time da se u županiji nalazi samo njezin izvorišni dio. U ličko-krbavskom prostoru još nekoliko tekućica imaju obilježja ponornica (Otuća, Ričica, Žižinka, Bašinica i dr.). U Ravnim kotarima ističu se tokovi Miljašić jaruge, koja teče od Zemunika prema Vranskom jezeru. U hrbat Velebita usjekli su se tokovi Velike i Male Paklenice, koji utječu u more u predjelu Starigrada i Selina (Perica i sur. 1995.).

Uz Vransko jezero, veće jezersko-močvarne površine jesu Bokanjačko blato pokraj Bokanjca te Velo, Malo i Kolansko blato na otoku Pagu, a povremeno se ujezeruju Velo i Malo jezero pokraj Žmana na Dugom otoku (Faričić i Marelić 2014.).

Tla Zadarske županije vrlo su raznolika u pogledu fizikalnih svojstava, dominira smeđe tlo na vapnencu, rasprostranjeno na čak 33,3 % površine, zatim crvenica na 12,3 % površine, a treći po zastupljenosti je kamenjar s 9,5 % udjela u ukupnoj površini. Najvrijednije poljoprivredne površine su koluvijalna i aluvijalna tla krških polja, a potom i antropogenizirana tla (nastala od crvenice i smeđih tala) zaravni, dolaca i vrtača (Izvješće o stanju okoliša Zadarske županije 2011).

3.2. Klima

S obzirom na to da klimatski elementi uvelike ovise o klimatsko-geografskim modifikatorima, među kojima se na području Zadarske županije posebno ističu raščlanjeni reljef i Jadransko more, složena geomorfologija te maritimni kontinentalni utjecaji rezultiraju raznovrsnošću klime. Po Köppenovoj klasifikaciji klima, otočni i uski priobalni dio Zadarske županije ima obilježja Csa klime (sredozemna klima sa suhim i vrućim ljetom ili klima masline), najveći dio Ravnih kotara, središnji i sjeveroistočni dio Paga, Bukovica i podvelebitski prostor imaju Cfa klimu (umjereno topla vlažna klima s vrućim ljetom), najviši predjeli Velebita Df klimu (vlažna borealna ili vlažna snježno-šumska klima), a ličko-krbavsko-pounski prostor Cfb klimu (umjereno topla vlažna kima s toplim ljetom ili klima bukve) (Šegota i Filipčić 1996., Kraljev 2001., Faričić i Dominiković 2010.). Ugodna sredozemna klima pogoduje u poljoprivredi uzgoju svih mediteranskih kultura: maslina, vinove loze, smokve, rogača, agruma, breskve, te povrtlarstva koje zbog blage klime uspijeva tijekom cijele godine.

Središnje mjesečne temperature na mjernoj postaji Zadar u razdoblju 1961.-2018. variraju između 7,2 i 24,3 °C. Najviša temperatura izmjerena u ovom razdoblju iznosila je 36,3 °C u kolovozu 2017. godine dok je najniža temperatura izmjerena bila -9,1 °C u siječnju 1963. godine (Tablica 1).

Tablica 1: Temperature zraka na postaji Zadar u razdoblju 1961.-2018., Izvor: DHMZ

	SIJEČANJ	VELJAČA	OŽUJAK	TRAVANJ	SVIBANJ	LIPANJ	SRPANJ	KOLOVOZ	RUJAN	LISTOPAD	STUDENI	PROSINAC
TEMPERATURA ZRAKA												
Srednja (°C)	7,2	7,5	9,9	13,3	17,8	21,7	24,3	23,9	20,1	16,1	12	8,4
Aps. maksimum (°C)	17,4	21,2	22,5	26,5	32	34,6	36,1	36,3	32	27,2	25	18,7
Datum (dan/godina)	10/2016	22/1990	26/2012	20/2018	30/2003	21/2012	22/2015	4/2017	4/2004	2/2011	4/2004	1/2014
Aps. minimum (°C)	-9,1	-6,4	-6,8	0,5	3,4	8,2	12,7	11,5	8	2,3	-1,8	-6,5
Datum (dan/godina)	23/1963	5/2012	1/1963	7/2003	2/1962	8/1962	13/1993	28/1995	29/1977	29/1997	21/1993	28/1996

Na temelju 30-godišnjeg niza podataka (1981.-2011.) o ukupnim mjesečnim i godišnjim količinama oborina meteorološke postaje Zadar (Tablica 2), prosječna godišnja količina oborina je iznosila 853,9 mm, pri čemu je u prosjeku bilo 107 kišnih dana (≥0,1 mm) te jedan

dan sa snijegom (≥1 cm). Najmanja prosječna količina oborina javljala se u srpnju (27,5 mm) (Faričić i Marelić 2014.).

Tablica 2: Srednje mjesečne i godišnje količine oborina (mm) u razdoblju 1982.-2010., Izvor: DHMZ

	SIJEČANJ	VELJAČA	OŽUJAK	TRAVANJ	SVIBANJ	LIPANJ	SRPANJ	KOLOVOZ	RUJAN	LISTOPAD	STUDENI	PROSINAC
Sred.	73,5	63,7	60,1	62,5	61,2	48,8	27,5	49,0	107,1	94,8	108,3	97,4
cv.	0,67	0,69	0,65	0,50	0,66	0,66	0,95	0,99	0,79	0,60	0,48	0,62
Maks.	203,9	164,0	202,4	121,8	175,3	159,6	105,8	189,0	374,5	257	256,3	278,2
God.	2009	1986	1985	1991	1998	1995	2002	2006	1986	1992	1993	1981
Min.	1,6	8,9	3,2	1,4	3,7	0	0,2	0	1,2	24,8	11,7	14,7
God.	1989	2003	2002	2007	1993	2000	1988	2000	1985	1983	1983	1986
Ampl.	202,3	1551	199,2	120,4	171,6	159,6	105,6	189	373,3	232,2	244,6	263,5

Na području grada Zadra prevladavaju vjetrovi iz sjeveroistočnog, istočnog i jugoistočnog smjera, tj. bure i juga, s ukupnim udjelom od 39,1%, a vjetrovi iz ostalih smjerova izraženi su u znatno manjoj mjeri. Nešto je veći udio vjetrova iz Z i SZ smjera (maestral), ukupno 19,5 %. (Lozić i sur. 2016.).

Dalje u radu su prikazane tablice (3, 4, 5, 6) sa dnevnim količinama oborina zabilježenim na meteorološkoj postaji Zadar za razdoblje u kojem je provedeno istraživanje (2000. do 2003. godine).

Tablica 3: Dnevne količine oborina (mm) zabilježene na meteorološkoj postaji Zadar tijekom 2000. godine

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	.	.	.	0,1	1,4	.	0,1	.	22,4	10,5	2,5	.
2	.	.	22,1	19	37,1	.	.	.	2,9	19,1	2,4	.
3	.	1	0,3	0	0,3	.	.	.	3	21,6	0	.
4	.	0,3	.	8,6	.	.	.	.	1,6	0,2	0,4	.
5	.	.	4,9	33,5	.	.	0,1	.	.	.	8	0
6	.	.	.	1,6	.	.	.	0	.	0	2	.
7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,1	13,7	.
8	.	.	.	.	2,6	.	.	.	12,4	22,2	3,5	.
9	0,2	2,3	.	.	0,1	.	4,3	.	.	10,9	0,2	.
10	.	23,4	.	.	.	.	.	.	.	1	6,8	5
11	.	.	.	0,8	.	.	.	.	.	0,2	8,5	.
12	.	.	.	5,8	.	.	19	.	.	0	.	.
13	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
14	5,8	.	.	.	.	0	.	.	.	.	.	.
15	.	.	.	0	.	.	10,6	.	.	.	.	.
16	.	.	14,3	0	.	.	0,3	.	.	.	0	22,3
17	.	6,5	.	.	.	.	0,5	.	.	.	.	1,1
18	.	.	.	.	.	.	.	.	12,7	0,3	.	0,5
19	.	.	0	.	.	.	.	.	0,3	.	15,5	.
20	.	0,7	0,4	1,4	1,8	.	.	.	.	.	64,2	.
21	.	.	.	.	.	.	.	.	3,2	.	0,9	.
22	.	.	.	.	.	.	.	.	0	.	1,7	.
23	48,8	.	.	.	1,2	.	.	.	.	.	0	.
24	.	.	.	.	1,4	0	.	.	.	.	1,3	.
25	.	.	.	0,4	.	.	0	.	.	.	0	12,4
26	.	.	.	.	.	0	.	.	.	.	12,4	30,7
27	.	.	0,4	.	.	.	.	.	.	0,8	13,3	21,8
28	.	.	14,8	.	.	.	.	.	.	4	.	18,4
29	2,2	.	1,2	.	.	.	4	.	.	.	.	6
30	3,5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	36,9	
31	.	.	.	.	.	.	1,1					

Tablica 4: Dnevne količine oborina (mm) zabilježene na meteorološkoj postaji Zadar tijekom 2001. godine

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	.	.	23,2	.	.	9,2	.	.	3,3	4,4	.	0
2	.	.	4,1	.	.	0	0	.	30,5	.	.	.
3	1,7	.	7,1	.	.	14,2	.	.	.	.	.	.
4	2,9	0,2	0,5	.	.	17	.	.	.	.	.	.
5	9,8	0,5	1,8	0	5,1	.	.	.	97,8	.	.	.
6	0,2	0,2	16,1	16,4	.	.	.	.	.	6,5	.	.
7	0	.	.	.	5,9	1,8	.	.	1	0,8	11,5	0,1
8	2,7	.	.	33,8	2,7	.	.	.	.	.	.	.
9	26,4	.	0,4	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10	0,1	11,9	2,9	.	.	.	.	.	13,3	1,9	0,8	.
11	0,3	.	4,5	.	.	0	.	.	0,8	0	14,6	.
12	5,6	.	.	0,9	.	1,2	.	.	10,9	.	38,6	.
13	12,1	.	.	1,6	.	.	.	.	0,3	.	5,2	.
14	1,8	.	14,6	.	.	.	.	.	.	.	2,8	.
15	.	.	.	.	.	.	.	.	15,1	.	.	.
16	.	.	.	0	.	.	.	.	5,6	.	.	.
17	.	.	.	4,9	.	.	2,2	.	8,5	.	.	.
18	.	.	0,9	9,3	.	9,8	.	.	0,5	.	.	.
19	1,4	.	.	.	0,3	0,8	.	.	7,9	.	11,8	.
20	0,1	.	.	0,8	0,1	0,4	.	.	0,1	.	6,7	.
21	18,1	0	.	1	1,6	0,1	1,1	.	.	.	.	14,4
22	1,9	.	.	.	9,7	.	.	0,3	.	3,4	.	1,1
23	.	.	0,7	0,1	6,5	.	.	.	.	.	0	6,8
24	0,2	1,1	.	.	.	.	.	.	0,3	3,5	8	9
25	.	3	.	.	.	.	0,2	.	3,7	9,9	.	.
26	1,1	4	.	.	0,1	.	.	.	6,9	.	.	0
27	3,2	0	1,9	.	.	.	.	.	0	.	.	31,4
28	1,5	.	10,1	.	.	.	.	.	.	.	10	0,1
29	9,9	2,5	.	.	0,5	.	.	.	.	6	.	
30	25,8	.	.	.	0,1	.	.	.	.	.	.	
31	1,9	.	.	.	.	.	2,8					

Tablica 5: Dnevne količine oborina (mm) zabilježene na meteorološkoj postaji Zadar tijekom 2002. godine

Tablica 6: Dnevne količine oborina (mm) zabilježene na meteorološkoj postaji Zadar tijekom 2003. godine

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	4,6	.	0	0	.	.	.	.	0,7	.	0	.
2	.	.	.	.	.	0,2	.	.	1	0	4,2	.
3	.	.	11,6	0	.	0,2	.	.	1	.	0,1	.
4	.	1,6	1,1	0	.	0	.	.	.	.	.	.
5	4,7	7	.	.	.	.	1,1	.	.	5,5	.	.
6	10,9	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	0
7	26,8	.	.	0	.	.	.	.	.	.	.	3,3
8	12,8	.	.	.	.	.	.	.	.	11,7	0	.
9	30	0,3	.	.	.	0,1	.	.	5,7	0,9	.	.
10	2,5	.	.	.	.	.	.	.	10,6	.	.	1,6
11	0,4	.	.	2	0	.	.	.	.	.	.	1,7
12	.	.	.	.	0,1	.	.	.	.	.	.	3,1
13	.	.	0,1	2,2	.	.	.	.	0,4	.	.	9,9
14	.	.	.	0	.	.	.	.	0	.	.	.
15	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1,3	1,1	0,5
16	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,2	.
17	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	.
18	0,1	.	.	.	.	0,1	.	.	.	.	5	.
19	1,7	.	.	.	.	0	.	.	.	.	.	.
20	.	.	.	.	.	.	.	0	.	0,1	.	.
21	.	.	.	.	12,7	.	.	.	.	13,4	.	.
22	10,1	.	.	4,1	0	0	.	.	.	6,2	.	4,9
23	2,6	.	.	.	0	.	.	.	.	10,6	0,1	1
24	.	.	.	0,3	.	0	.	.	3	8,3	4,8	.
25	.	.	.	0,8	.	.	.	.	2,2	0,3	1,3	.
26	.	.	.	.	.	.	.	22,4	.	.	0,4	.
27	.	.	.	.	.	5,7	.	0,1	.	12,6	31,7	.
28	.	0	.	5,5	0	.	.	.	.	1,9	23,8	.
29	1,4	.	.	0	21,4	0,1	.	16,2	0,4	15,2	.	
30	10,8	.	.	.	22,1	.	.	6,3	23,2	10,1	1,4	
31	5,9	.	1,7	.	.	20,7	38,3					
30	.	.	0,3	.	.	0,1	2,4	1,4	.	12,9	.	
31	0,2	.	.	.	.	.	.					

4. Materijali i metode

U pripremnoj fazi istraživanja, od Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) dobavljeni su podaci o dnevnim oborinama i temperaturama zabilježenima na meteorološkoj postaji Zadar za razdoblje 2000.-2018., a za daljnju analizu odabran je niz od četiri godine (2000.-2003.). Za sve dane s oborinama unutar odabranog četverogodišnjeg razdoblja, a čija je količina oborina premašivala 0,5 mm, provedena je „back trajectories" analiza, odnosno izračunate su unazadne putanje zračnih masa za pet dana (120 sati) koji su prethodili dolasku zračne mase nad meteorološku postaju Zadar (44.11889 N, 15.20583 E). Za određivanje unazadne putanje zračnih masa, korišten je online HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectories) model putanja, razvijen od strane Air Resources Laboratorija NOAA-e (National Oceanic and Atmospheric Administration). Pri generiranju unazadnih putanja u HYSPLIT modelu podaci su generirani od strane GDAS-a (Global Data Assimilation System). HYSPLIT izlazni podaci sastoje se od horizontalnih (zemljopisne širine i dužine) i vertikalnih (metara iznad razine tla) koordinata za svaki sat duž putanje, kao i nekoliko meteoroloških varijabli (atmosferskog tlaka, potencijalne i ambijentalne temperature zraka, količine oborina, i relativne vlage zraka). Izlazni podaci također uključuju i grafički prikaz putanje zračne mase u *jpeg, *kmz (za Google Earth), te shapefileove za GIS programe.

Ulazni parametri koji su korišteni za izračun unazadnih putanja zračnih masa su lokacija (koordinate) meteorološke postaje Zadar (44.11889 N, 15.20583 E) i visina od 1000 m iznad tla. Visina od 1000 m iznad razine tla odabrana je kao visina iznad glavnih topografskih uzvišenja (a koja bi mogla utjecati na turbulenciju zračnih masa), odnosno kao visina iznad „boundary layer-a".

Nakon izračuna unazadnih putanja, uz pomoć modela HYSPLIT, u sljedećem koraku analizirani su dobiveni podaci zbog utvrđivanja lokacija na kojima su zračne mase „izdignule vlagu" (engl. *moisture uptake*). Drugi model koristi hidrometeorološke proračune za identificiranje mjesta izdizanja vlage duž prethodno izračunatih putanja. Ovaj model zahtijeva određene podatke koji su već dobiveni tijekom analiza unazadnih putanja: atmosferski tlak za svaki sat, potencijalnu temperaturu i temperaturu okoliša, oborine i relativnu vlagu. Ovi se podaci upotrebljavaju za izračunavanje specifične vlažnosti korištenjem standardnih

jednadžbi za saturaciju vodene pare, odnos miješanja saturirane vlage i specifičnu vlažnost, u skladu s Baldinijem i sur. (2010).

Za izračun izdizanja vlage (prema Sodemann i sur. 2008b) korišteni su podaci o specifičnoj vlažnosti, premda smatra se konzervativniji prag pozitivnog gradijenta specifične vlažnosti (0,5 g / kg unutar 6 h), u skladu s Krklec i Domínguez- Villar (2014) za atmosferski tlak iznad 900 hPa prema Baldini i sur. (2010).

Mjesta izdizanja vlage određena su duž svake putanje. Izračunat je postotak izdizanja vlage na svakom mjestu tijekom određenog razdoblja (u ovom slučaju godina dana). Postotak dnevne oborine varirao je s obzirom na količinu oborina tijekom tog razdoblja. Nakon toga, postotak dnevnih oborina podijelio se podjednako na broj identificiranih mjesta izdizanja vlage duž svake putanje i pripisan je svakom pojedinom mjestu izdizanja vlage. Mjesta izdizanja vlage izračunata su za mjesečne, sezonske (tromjesečne) i godišnje intervale.

Prema metodologiji Krklec i Domínguez-Villar (2014.), mreža prostorne rezolucije 0,5×0,5 ° je korištena za prostorni izračun mjesta izdizanja vlage. Svaka ćelija rešetke integrira postotak unosa vlage nakupljenog tijekom različitih događaja i / ili mjesta izdizanja vlage unutar te ćelije za vremenski interval. Rezultat tog modela je karta s lokacijama koje pokazuju postotak izdizanja vlage koja doprinosi oborinama u Zadru. Karta sadrži područja iznad vodenih površina i područja iznad kopna što predstavlja područje reciklirane vlage. Zatim je još izračunat i postotak reciklirane vlage koji se temeljio na izrađenim kartama i izračunatim podacima.

5. Rezultati istraživanja

Iz podataka Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) o oborinama na meteorološkoj postaji Zadar za razdoblje od 2000. do 2018. godine za istraživanje je odabrano razdoblje od 2000.-2003.

U istraživanom razdoblju ukupno je bilo 510 dana u kojima je bilo oborina, a najviše oborina zabilježeno je 2002. godine (ukupno 149 dana) dok je najmanje padalina zabilježeno 2000. godine (ukupno 110 dana). Tijekom 2001. godine 137 dana su zabilježene oborine dok je 2003. zabilježeno 114 dana sa oborinama (Tablica 7).

Ako gledamo dane u kojima je palo više od 0,5 mm oborina jer su dani sa većom količinom oborina od 0,5 mm analizirani u ovom istraživanju i na njima su provedene back trajectories analize onda se govori o ukupno 352 dana unutar četiri godine u kojima je palo više od 0,5 mm oborina. Godišnji broj dana s oborinama u razdoblju 2000. do 2003. prikazan je u tablici 7.

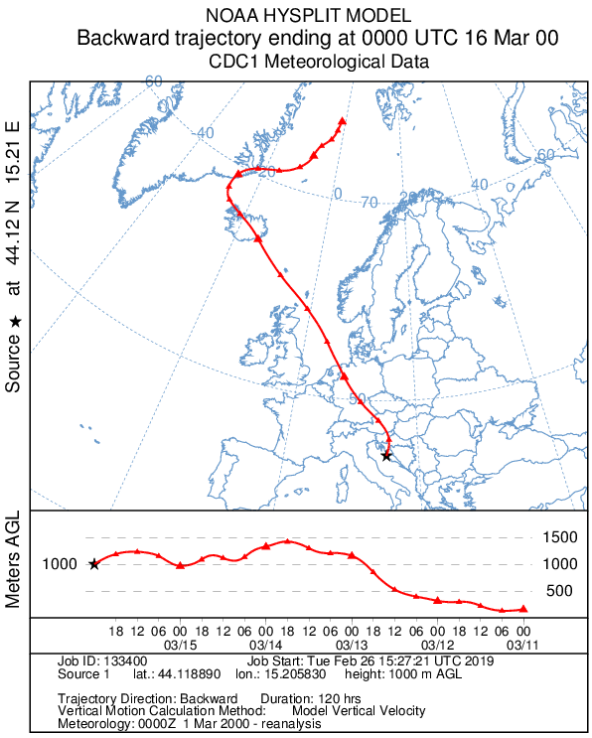
Tablica 7: Broj dana s oborinama u razdoblju 2000.-2003.

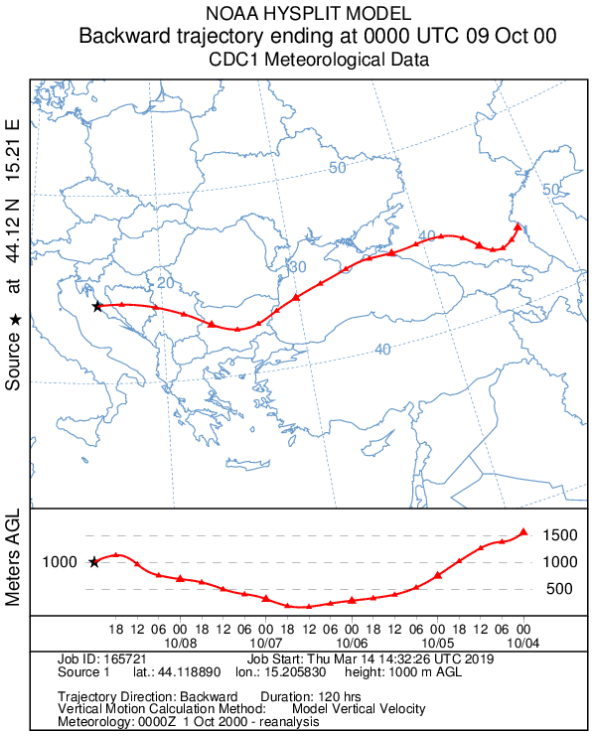
	Ukupno dana	**Dani sa >0,5 mm**
2000.	110	76
2001.	137	104
2002.	149	101
2003.	114	71
UKUPNO	510	352

5.1. „Back trajectories“ analize

Back trajectories analize odnosno izračuni unazadnih putanja zračnih masa provedene su u programu HYSPLIT za sve dane tijekom četverogodišnjeg razdoblja (2000.-2003.) u kojima je količina oborina premašivala 0,5 mm. Dakle, za svaki dan (ukupno njih 352) čija je količina oborina premašivala 0,5 mm u online HYSPLIT model su unijeti podaci o geografskoj širini i dužini meteorološke postaje Zadar (44.11889 N, 15.20583 E) i visini od 1000 m iznad razine tla, a model je zatim nakon generiranja od strane GDAS-a (Global Data Assimilation System) generirao izlazne parametre.

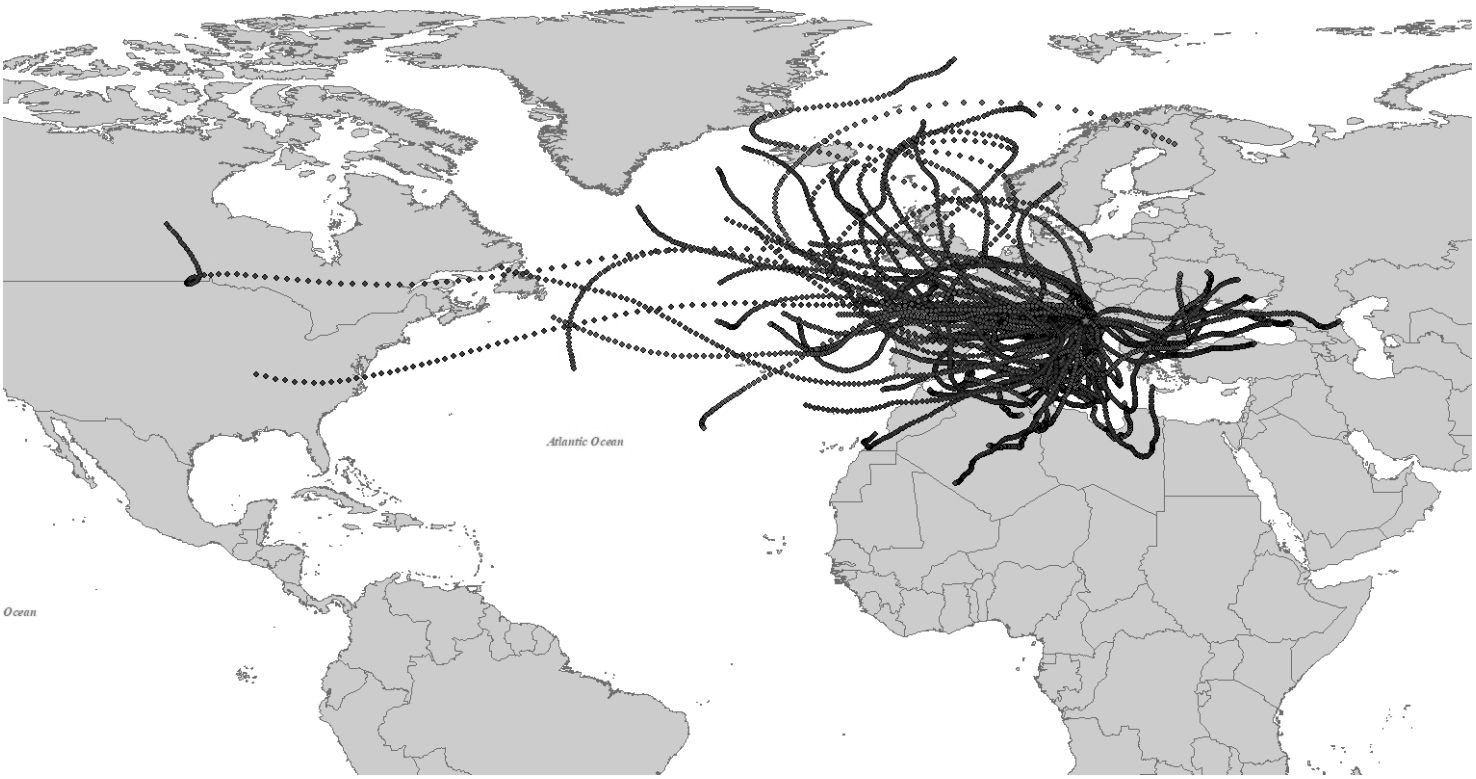
Zračne mase su nad meteorološku postaju Zadar dolazile iz svih smjerova svijeta, odnosno imale su ishodišta iznad kontinenata, ali i iznad oceana. Također zračne mase nisu cijelim putem zadržavale istu visinu nego su varirale što se može vidjeti na Slici 2 na donjoj krivulji koja prikazuje vertikalni profil zračne mase.





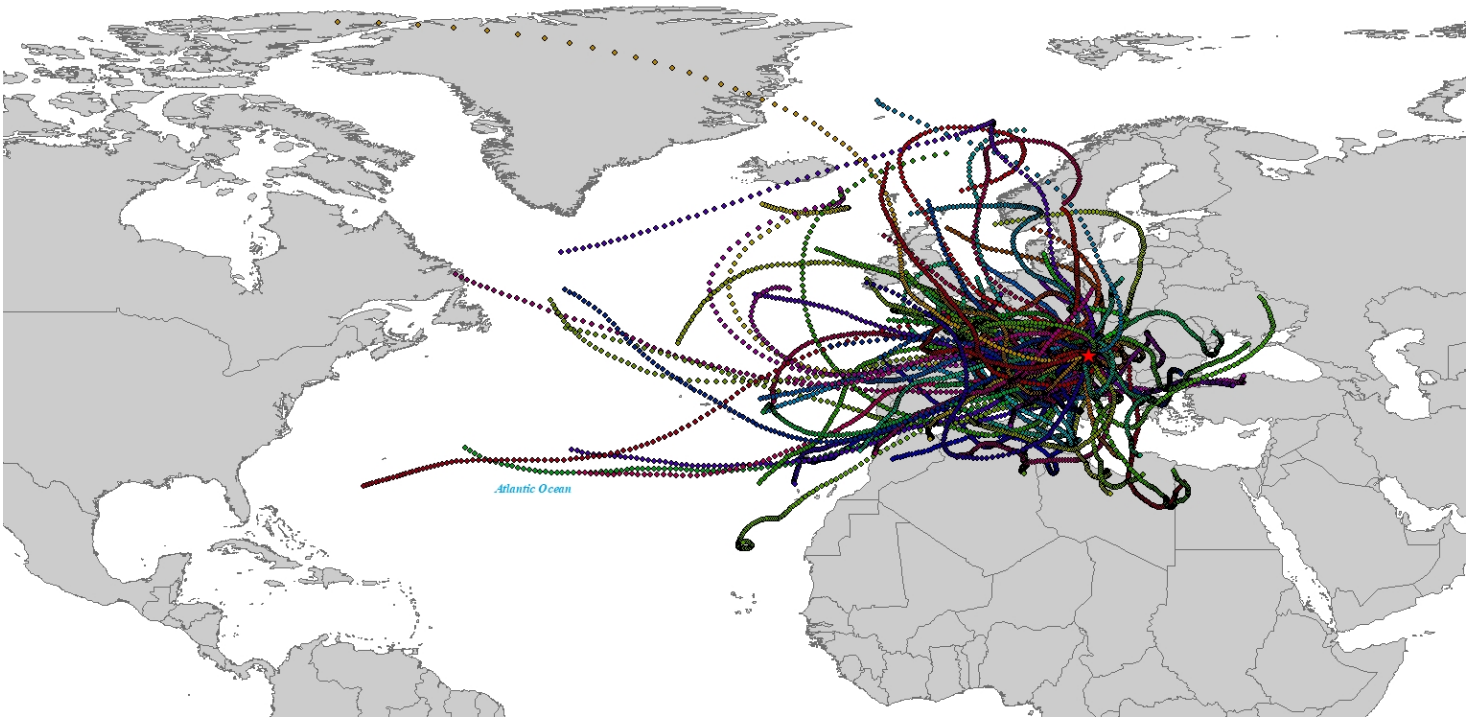
Slika 2.: Primjeri rekonstruirane 5-dnevne unazadne putanje zračne mase za oborine iznad meteorološke postaje Zadar.

Karta na kojoj su prikazani rezultati rekonstrukcije 5-dnevnih unazadnih putanja zračnih masa (back trajectories analize) za 2000. godinu (Slika 3) prikazuje kako su zračne mase koje su nosile oborine dolazile iz više smjerova. Dio zračnih masa koje su stigle sa morskog odnosno oceanskog područja su dominantno pristizale sa područja sjevernog Atlantika te Mediterana, a dio zračnih masa koje su stigle sa kopnenog područja su uglavnom stigle iz smjera sjeverne Afrike te zapadne Europe.



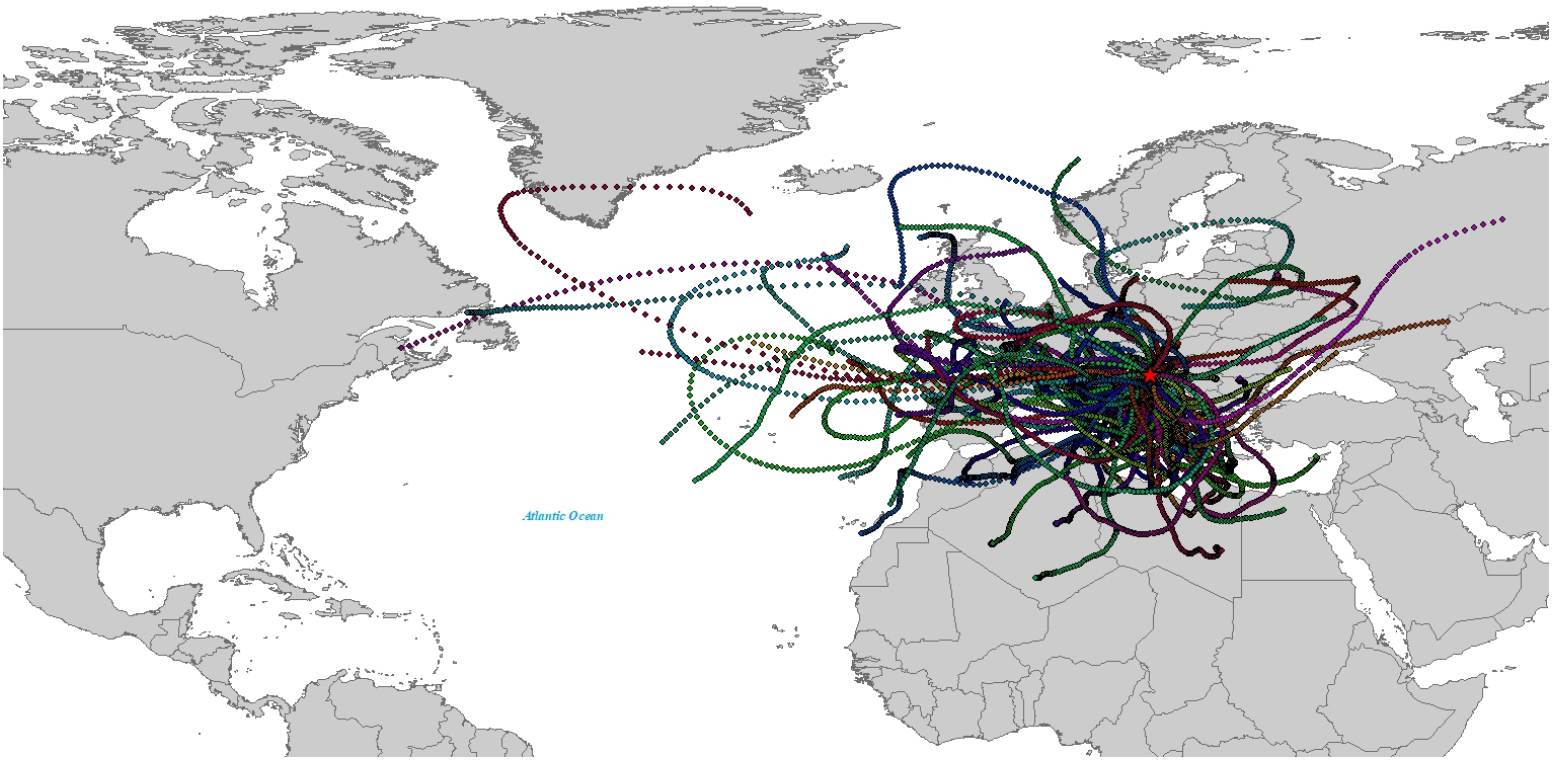
Slika 3 : Karta rekonstruiranih 5-dnevnih unazadih putanja zračnih masa za oborine iznad meteorološke postaje Zadar zabilježene tijekom 2000. godine.

Karta na kojoj su prikazane rekonstruirane 5-dnevne putanje zračnih masa (rezultati back trajectories analize) za 2001. godinu (Slika 4) prikazuje kako su zračne mase također dolazile iz raznih smjerova. Opet je dominantan dio zračnih masa koje su stigle sa oceanskog i morskog područja uglavnom stigao sa područja iznad sjevera Atlantskog oceana i Mediterana. Što se tiče kopnenih područja zračne mase su dominantno stizale sa područja Europe i sjeverne Afrike.



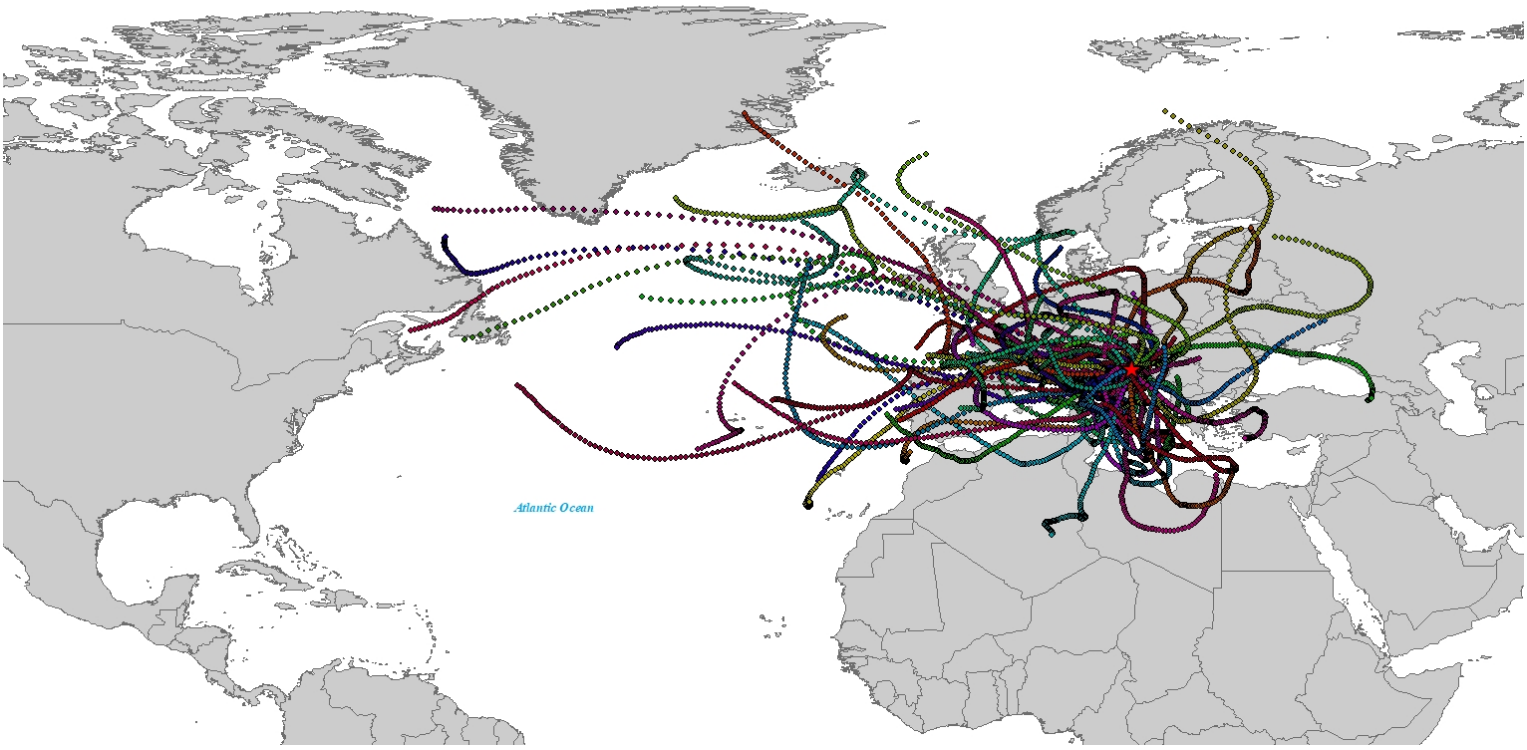
Slika 4 : Karta rekonstruiranih 5-dnevnih unazadih putanja zračnih masa za oborine iznad meteorološke postaje Zadar zabilježene tijekom 2001. godine.

Karta na kojoj su prikazane rekonstruirane 5-dnevne putanje zračnih masa (back trajectories analize) za 2002. godinu (Slika 5) prikazuje sličan tok zračnih masa kao i u 2000. i 2001. godini. Zračne mase su, kao i u protekle dvije godine, pristizale uglavnom sa područja iznad sjevera Atlantskog oceana i Mediterana te s europskog kontinenta i sjevera Afrike.



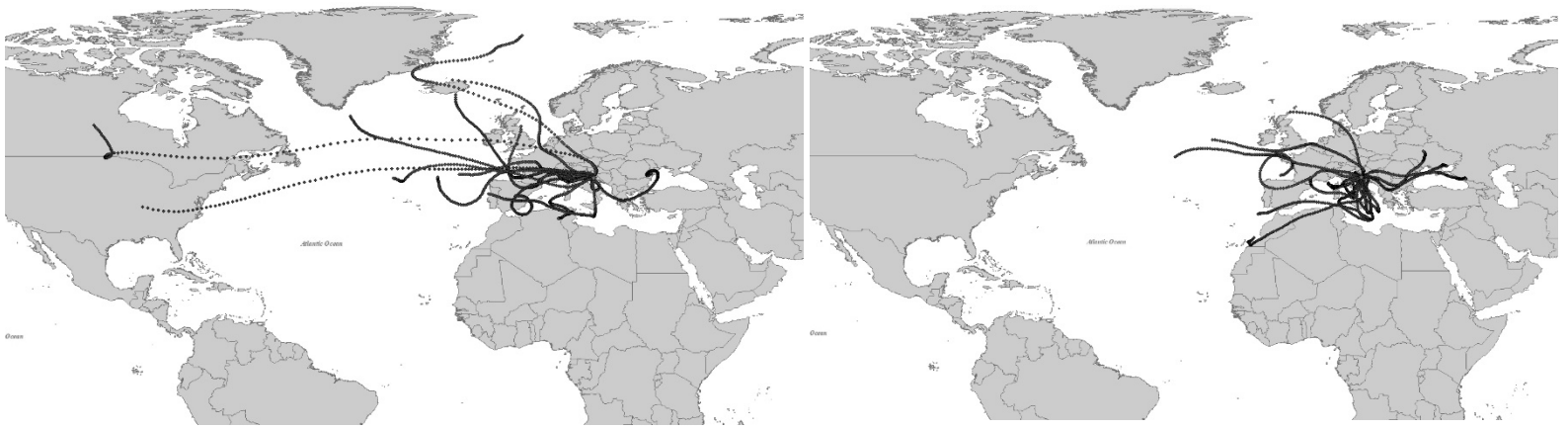
Slika 5 : Karta rekonstruiranih 5-dnevnih unazadih putanja zračnih masa za oborine iznad meteorološke postaje Zadar zabilježene tijekom 2002. godine.

Karta na kojoj su prikazane rekonstruirane 5-dnevne putanje zračnih masa (rezultati back trajectories analize) za 2003. godinu (Slika 6) prikazuje slične tokove zračnih masa kao i prijašnjih godina istraživanog razdoblja. Zračne mase su opet dominantno pristizale sa područja iznad sjevera Atlantskog oceana, Mediterana i europskog kontinenta.



Slika 6: Karta rekonstruiranih 5-dnevnih unazadih putanja zračnih masa za oborine iznad meteorološke postaje Zadar zabilježene tijekom 2003. godine.

Također su napravljene i sezonske karte za 2000. godinu kako bi se mogle vidjeti razlike u putanjama zračnih masa u različitim dijelovima godine. Tako možemo primijetiti da su zračne mase u mjesecima kada je bilo manje oborina (4.-6. i 7.-9. mjesec) uglavnom pristizale sa Europskog kontinenta (Slika 7 a i b) dok je u mjesecima koji su imali više oborina (1.-3. i 10.-12. mjesec) zračne mase osim iz Europe dolazile i sa Atlantskog oceana te Sjevernog i Norveškog mora (Slika 8 a i b).



Slika 7 a i b: Sezonske karte rekonstruiranih 5-dnevnih unazadnih putanja zračnih masa za oborine iznad meteorološke postaje Zadar zabilježene tijekom 2000. godine; a 1.-3. mjesec; b 4.-6. mjesec

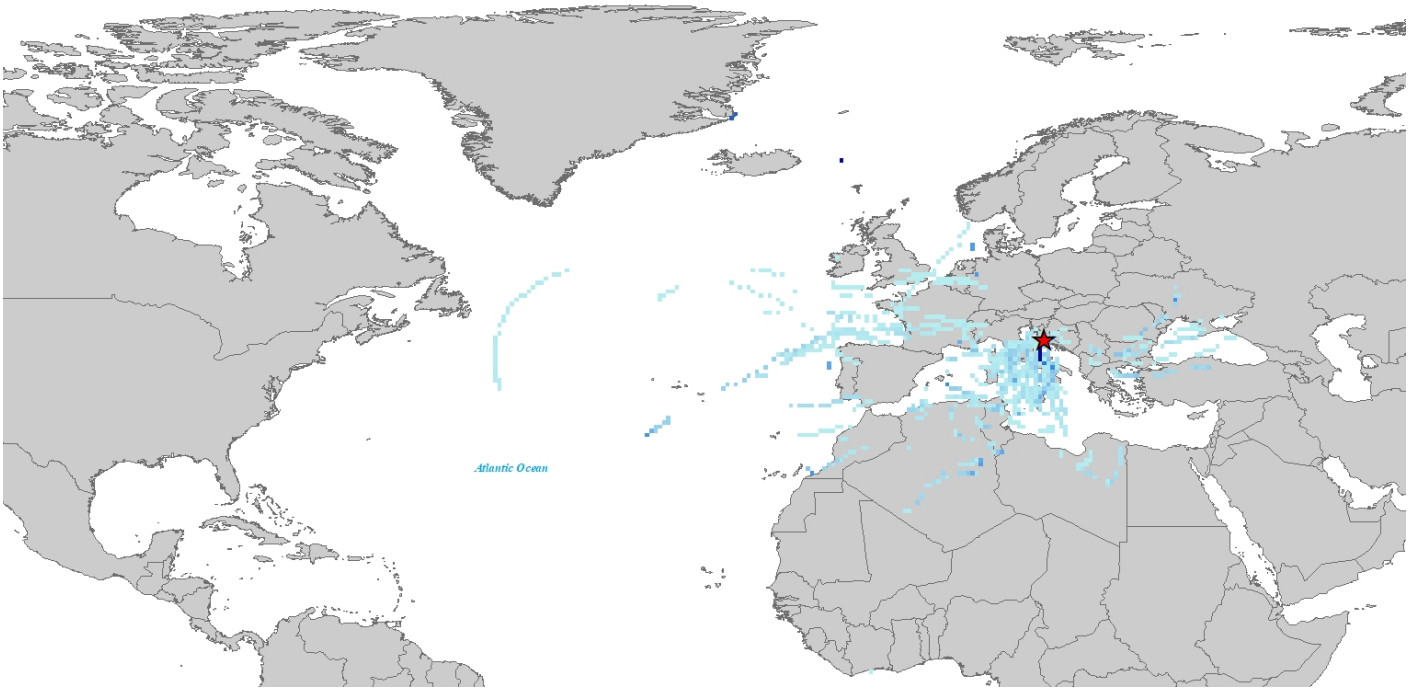


Slika 8 a i b: Sezonske karte rekonstruiranih 5-dnevnih unazadnih putanja zračnih masa za oborine iznad meteorološke postaje Zadar zabilježene tijekom 2000. godine; a 7.-9. mjesec; b 10.-12. mjesec

5.2. „Moisture uptake“ analiza

Nakon back trajectories analiza, pomoću dobivenih podataka, također za sve dane u kojima je palo više od 0,5 mm kiše, napravljene su moisture uptake analize. Primjenom seta matematičkih jednadžbi dobivene su lokacije izdizanja vlage te su zatim napravljene godišnje karte koje prikazuju na kojim mjestima je izdignuta vlaga koja je posljedično zaslužna za padaline iznad meteorološke postaje Zadar. Tijekom četverogodišnjeg razdoblja postotak vlage koji se izdigao sa kopnenog područja iznosi 38,14% dok je postotak vlage koji se izdigao sa morskog odnosno oceanskog područja 47,75%.

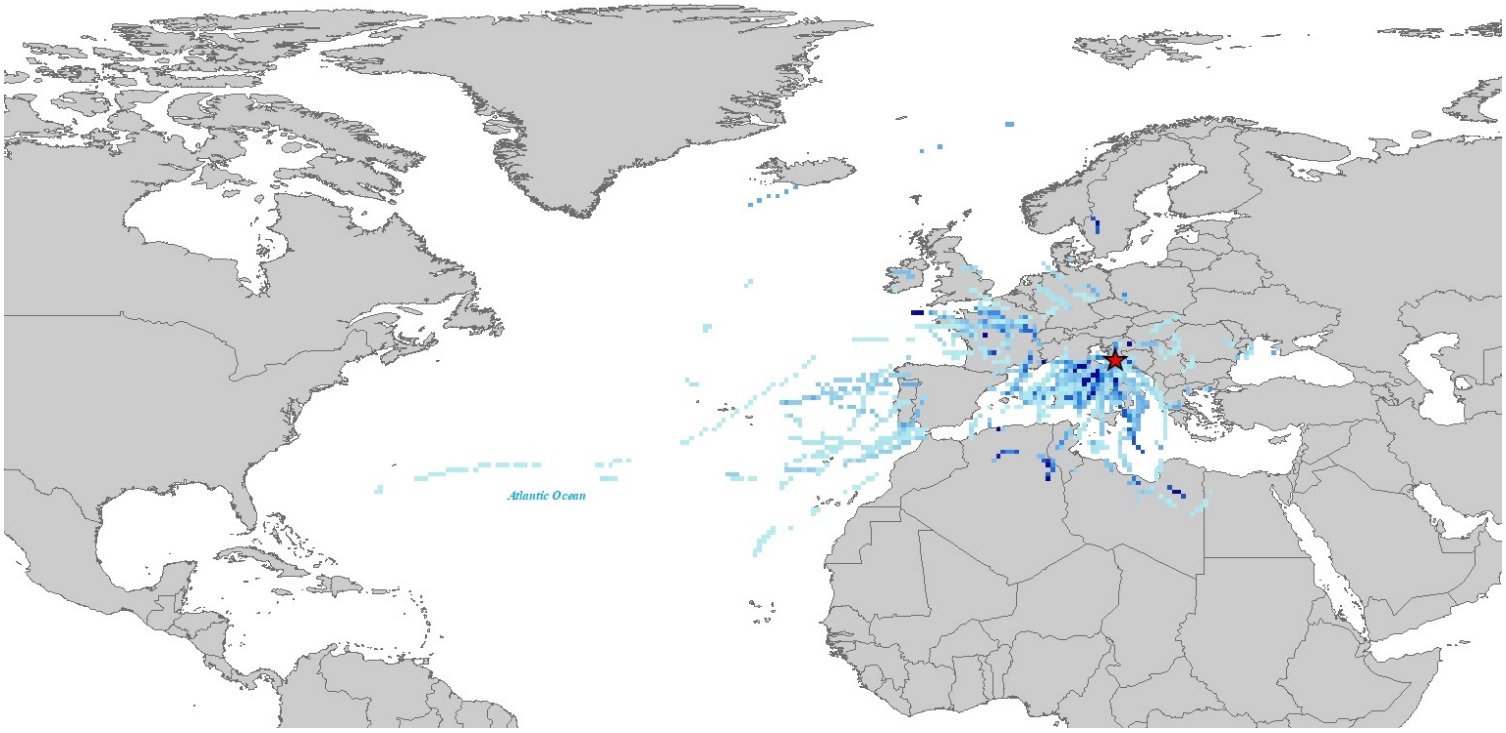
Gledajući kartu (Slika 9) koja prikazuje lokacije na kojima je vlaga izdignuta u 2000. može se reći kako je velik dio vlage izdignut na području Jadranskog, Sredozemnog i Tirenskog mora. Također izdizanje vlage zabilježeno je i iznad Atlantskog oceana i Crnog mora kao i na kopnenim dijelovima iznad Europe i Afrike. Tijekom 2000. godine postotak vlage koji se izdigao sa kopnenog područja iznosi 44,05% dok je sa područja iznad mora



izdignuto 53,63%.

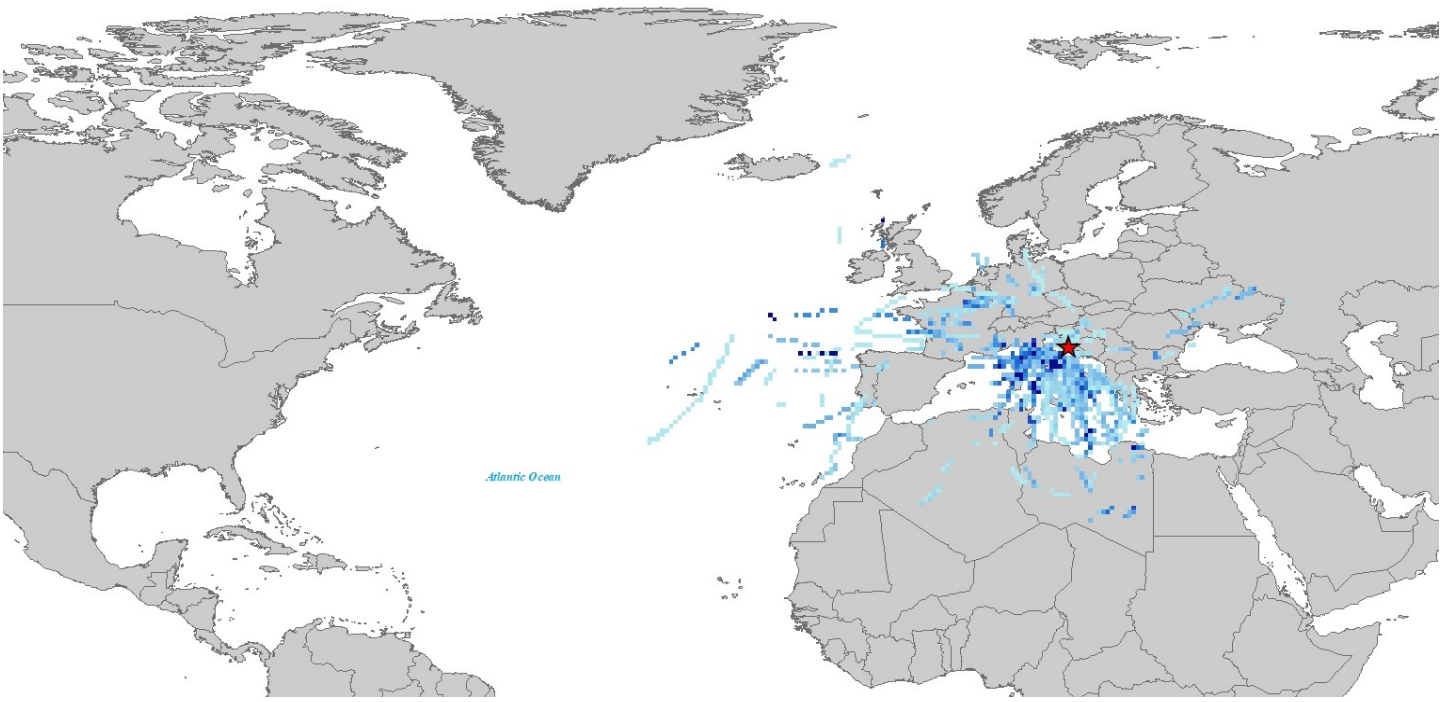
Slika 9: Lokacije izdizanja vlage duž 5-dnevnih unazadnih putanja zračnih masa za oborine iznad meteorološke postaje Zadar tijekom 2000. godine

Tijekom 2001. godine (Slika 10) također je velik dio vlage izdignut iznad Jadranskog, Sredozemnog i Tirenskog mora kao i sa područja iznad Atlantskog oceana. Isto tako izdizanje vlage zabilježeno je i iznad sjevera Afrike te iznad različitih dijelova Europe, poglavito iznad Francuske. U 2001. 41,30% vlage izdignuto je iznad kopna, a 44,86% sa područja iznad mora.



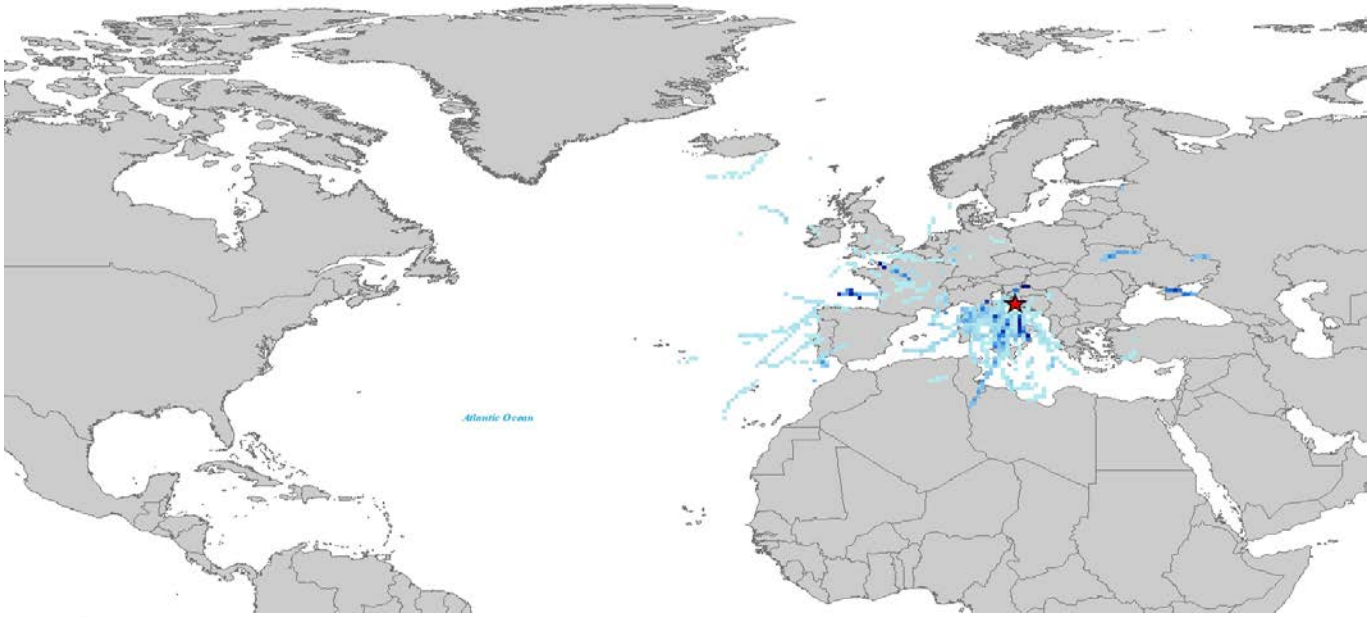
Slika 10: Lokacije izdizanja vlage duž 5-dnevnih unazadnih putanja zračnih masa za oborine iznad meteorološke postaje Zadar tijekom 2001. godine

Isto kao i proteklih godina tako je i 2002. godine vlaga izdignuta sa sličnih područja (Slika 11). Tako je opet glavnina vlage izdignuta sa područja Jadranskog, Sredozemnog i Tirenskog mora kao i sa područja Atlantskog oceana, sjeverne Afrike i iznad Europe. U 2002. godini 43,79% vlage izdignuto je sa područja iznad kopna dok je sa morskog područja izdignuto 47,42%.



Slika 11: Lokacije izdizanja vlage duž 5-dnevnih unazadnih putanja zračnih masa za oborine iznad meteorološke postaje Zadar tijekom 2002. godine

U 2003. godini područja izdizanja vlage ponovno su bila Jadransko, Sredozemno i Tirensko more, područja iznad Atlantskog oceana te područja iznad Europskog kontinenta te ponešto izdizanja je zabilježeno i iznad sjevera Afrike i Azije (Slika 12). U 2003. godini 38,14% vlage izdignuto je sa područja kopna dok je sa morskog područja izdignuto 47,75% vlage.



Slika 12: Lokacije izdizanja vlage duž 5-dnevnih unazadnih putanja zračnih masa za oborine iznad meteorološke postaje Zadar tijekom 2003. godine

5.3. Udio reciklirane vlage

Udio reciklirane vlage izračunat je nakon analiza unazadnih putanja zračnih masa i nakon što smo utvrdili lokacije izdizanja vlage za četverogodišnje razdoblje. Udio reciklirane vlage unutar četverogodišnjeg razdoblja je varirao i uvijek je bio manji od udjela vlage koji je bio izdignut s područja oceana i mora (Tablica 8).

Tablica 8: Udio reciklirane vlage i ukupne količine oborina

Godina	Udio reciklirane vlage (%)	Količina oborina (mm)
2000.	38,14%	782,1 mm
2001.	43,79%	826,1 mm
2002.	41,30%	1195,5 mm
2003.	44,05%	587,8 mm

6. Rasprava

Na temelju podataka dobivenih od Državnog hidrometeorološkog zavoda možemo reći kako je količina oborina, za istraživano razdoblje, na području grada Zadra varirala od 587,8 mm koliko je zabilježeno u 2003. do 1195,5 mm koliko je zabilježeno u 2002. godini dok je broj dana s oborinama varirao od 110 do 149 dana (71-104 dana s oborinama većim od 0,5 mm). Te brojke su u skladu s brojkama koje su u svojoj analiza prikazali Faričić i Marelić (2014.) za 30-godišnje razdoblje i kojemu je prosjek količine oborina bio 915 mm s 107 dana u kojima su zabilježene oborine.

Analiza unazadnih putanja zračnih masa za razdoblje od 2000.-2003. godine pokazuje kako su zračne mase na područje Zadra dominantno dolazile sa područja Sjevernog Atlantika i Mediterana te sa različitih područja europskog kontinenta. Također određen dio zračnih masa stigao je i sa područja Norveškog i Sjevernog mora kao i sa područja sjeverne Afrike te dijelova Azije. Zračne mase su stizale kako sa bližih tako i sa udaljenijih područja svijeta poput američkog kontinenta, na što velik utjecaj ima režim vjetra, odnosno njegova jačina i smjer puhanja. Također primijećena je i razlika u sezonskoj distribuciji zračnih masa. Tako su zračne mase tijekom proljetnih i ljetnih mjeseci dolazile s puno kraćih udaljenosti u odnosu na one u jesenskim i zimskim mjesecima koje su imale brži protok i dolazile sa udaljenijih mjesta.

U razdoblju od 2000.-2003. analiza lokacija izvora vlage koje su uzorkovale oborine na području Zadra pokazuje kako su, bez obzira na godišnju količinu oborina, dominantna područja na kojima je vlaga izdignuta bila Mediteransko područje, odnosno Jadransko, Sredozemno i Tirensko more. Također vlaga je izdignuta i sa nešto udaljenijih područja iznad sjevera Atlantskog oceana i Crnog mora, dok je vlaga izdignuta s kopnenog područja dominantno s područja Europe te nešto manje sa sjevera Afrike i Azije. Ukupno gledajući, veći dio izvora vlage pripada oceanskim i morskim područjima dok je nešto manji udio reciklirana vlaga, odnosno, vlaga iznad kopnenih područja što je u skladu sa prethodnim istraživanjima (npr. Sodemann i sur. 2008a; Baldini i sur. 2010; Krklec i Domínguez-Villar 2014) koja pokazuju da većina atmosferske vlage proizlazi iz isparavanja iznad oceana i mora.

Identificiranjem lokacija izdizanja vlage i analizom tih lokacija dobiveno je da je prosječno u analiziranom četverogodišnjem razdoblju 48,42% vlage izdignuto iznad područja

mora i oceana dok je 41,82% reciklirana vlaga. Najveći udio reciklirane vlage zabilježen je tako 2003. godine i njen udio iznosio je 44,05 %, sličan udio zabilježen je i 2001. godine (43,79%) dok je nešto manji udio zabilježen u 2002. (41,30%) i 2000. (38,14%) što je ujedno i najmanji zabilježeni udio reciklirane vlage. Udio reciklirane vlage koji je veći od 40% zapravo je dosta visok udio ako se usporedi s nekim drugim sličnim istraživanjima koja pokazuju manji udio reciklirane vlage. Razlog tomu mogao bi biti to što je u proljetnim i ljetnim mjesecima koji su vlažni i s višim temperaturama, transport vlage slab, a isparavanje i O-E odnos veliki te su konvekcijske oborine dominantne kao što su u svom istraživanju prikazali Bisselink i Dolman (2009.).

S obzirom da je prosječni udio reciklirane vlage zraka, u četverogodišnjem razdoblju, iznosio 41,82% što čini gotovo polovicu u ukupnoj količini oborina, može se utvrditi kako reciklirana vlaga utječe na povećanje količine oborina ovog područja iako nije utvrđeno da veći udio reciklirane vlage nužno znači i povećanje ukupne količine oborina na ovom području.

7. Zaključak

Istraživanjem provedenim na osnovu podataka prikupljenih s meteorološke postaje Zadar u razdoblju između 2000. i 2003. može se zaključiti kako je količina oborina varirala od 587,8 mm do 1195,5 mm, a broj dana s oborinama varirao je između 110 do 149 dana. Analizom unazadnih putanja („back trajectories“) koje su provedene pomoću programa HYSPLIT za sve dane s količinom oborina većom od 0,5 mm može se zaključiti kako je, u istraživanom razdoblju, glavnina zračnih masa na područje iznad meteorološke postaje Zadar stigla s područja iznad Sjevernog Atlantika i Mediterana te sa područja Sjevernog mora i sa sjevera Afrike. Također postoje i sezonske razlike u dolasku zračnih masa.

„Moisture uptake“ analize, odnosno analize lokacija izdizanja vlage, provedene su za 352 dana u četverogodišnjem razdoblju u kojim je vlaga bila > 0,5 mm. Primijećeno je da su u istraživanom razdoblju dominantne lokacije izdizanja vlage bile Mediteransko područje, odnosno Jadransko, Sredozemno i Tirensko more te područje Europe i sjevera Afrike. Isto tako izdizanja vlage su zabilježena i na nekim udaljenijim područjima poput sjevera Atlantskog oceana i Crnog mora.

Udio reciklirane vlage zraka u ukupnoj količini oborina u istraživanom četverogodišnjem razdoblju kretao se između 38,14 % i 44,05 %, s prosjekom 41,82 % što čini gotovu polovinu ukupnih oborina za grad Zadar te se može zaključiti kako je reciklirana vlaga, u istraživanom razdoblju imala velik doprinos u količini oborina na području Zadra. Iako je u istraživanom razdoblju dokazano kako reciklirana vlaga doprinosi ukupnoj količini oborina za jasniju sliku o utjecaju reciklirane vlage trebalo bi istražiti duže vremensko razdoblje.

8. Literatura

1. Aemisegger, F., Pfahl, S., Sodemann, H., Lehner, I., Seneviratne, S.I., Wernli, H. (2014). Deuterium excess as a proxy for continental moisture recycling and plant transpiration. Atmospheric Chemistry & Physics. 14(8): 29721-29784.
2. Angell, J.K., Pack, D.H., Holzworth, G.C.,Dickson, C.R. (1966). Tetroon trajectories in an urban atmosphere. Journal of Applied Meteorology. 5: 565–572
3. Angell, J.K., Pack, D.H., Machta, L., Dickson, C.R. Hoecker, W.H. (1972). Three-dimensional air trajectories determined from tetroon-flights in the planetary boundary layer of the Los Angeles Basin. Journal of Applied Meteorology. 11: 451–471.
4. Angell, J.K., Dickson, C.R., Hoecker Jr., W.H. (1976). Tetroon trajectories in the Los Angeles Basin defining the source of air reaching the San Bernardino-Riverside area in late afternoon. Journal of Applied Meteorology. 15: 197–204.
5. Baldini, L.M., McDermott, F., Baldini, J.U.L., Fischer, M.J., Möllhoff, M. (2010). An investigation of the controls on Irish precipitation δ18O values on monthly and event timescales. Climate Dynamics 35: 977–993.
6. Bershaw, J., Penny, S.M., Garzione, C.N. (2012). Stable isotopes of modern water across the Himalaya and eastern Tibetan Plateau: Implications for estimates of paleoelevation and paleoclimate. Journal of Geophysical Research. 117: D02110.
7. Bisselink, B., Dolman, A.J. (2008). Precipitation Recycling: Moisture Sources over Europe using ERA-40 Data. Journal of Hydrometeorology. 9(5): 1073-1083.
8. Faričić, J., Dominiković, I. (2010). Klimatološko-geografski uvjeti uzgoja višnje maraske u zadarskoj regiji, u: Višnja maraska – Bogatstvo Zadra i zadarske regije, Sveučilište u Zadru, Maraska d. d., Zavod za povijesne znanosti HAZU u Zadru, Zadar, 81-106.
9. Faričić, J., Marelić, T. (2014). Prirodno-geografske osnove razvitka Zadarske županije, u: Potencijali društveno-gospodarskog razvitka Zadarske županije, Sveučilište u Zadru, Zadarska županija, Grad Zadar, Hrvatska gospodarska komora – Županijska komora Zadar, Zadar, 44-61.
10. Fleming, Z. L., Monks, P.S., Manning, A.J. (2012). Review: Untangling the influence of air-mass history in interpreting observed atmospheric composition. Atmospheric Research. 104–105: 1–39.
11. Gao, J., Masson-Delmotte, V., Yao, T., Tian, L., Risi, C., Hoffmann, G. (2011). Precipitation water stable isotopes in the South Tibetan Plateau: observation and modeling. Journal of Climate. 24: 3161–3178.

12. Gimeno, L., Drumond, A., Nieto, R., Trigo, R.M., Stohl, A. (2010). On the origin of continental precipitation. Geophysical Research Letters. 37: L13804.
13. Izvješće o stanju okoliša Zadarske županije (2011)., Zadarska županija, Zadar
14. Kraljev, D. (2001). Klimatska obilježja, u: Zadarska županija, ZADIZ, Zadar, 50-61.
15. Krklec, K., Domínguez-Villar, D. (2014). Quantification of the impact of moisture source regions on the oxygen isotope composition of precipitation over Eagle Cave, central Spain. Geochimica et Cosmochimica Acta. 134: 39-54.
16. Krklec, K., Domínguez-Villar, D., Lojen, S. (2018). The impact of moisture sources on the oxygen isotope composition of precipitation at a continental site in central Europe. Journal of Hydrology, 561: 810-821.
17. Lettau, H., Lettau, K., Molion, L.C. (1979). Amazonia's hydrologic cycle and the role of atmospheric recycling in assessing deforestation effects. Monthly Weather Review. 107: 227–238.
18. Senevuratne, S. I., Lüthl, D., Litschi, M., Schär, M. (2006). Land-atmosphere coupling and climate change in europe. Nature. 443 (7108): 205-209.
19. Lozić S., Radoš D., Šiljeg A. (2016). Klimatske značajke šireg područja Zemunika, U: Zemunik u prostoru i vremenu, Ur: Josip Faričić, Zdenko Dundović, Sveučilište u Zadru, 26-37.
20. Machta, L. (1992). Finding the site of the first Soviet nuclear test in 1949. Bulletin American Meteorological Society. 73: 1797–1806.
21. Magaš, D. (2001). Osnovna geografska obilježja, u: Zadarska županija, ZADIZ, Zadar, 20-49.
22. Majcen, Ž., Korolija, B. (1967). Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100.000, Tumač za list Zadar L33-139, Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
23. Majcen, Ž., Korolija, B., Sokač, B., Nikler, L. (1970). Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, list Zadar L33-139, Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
24. Numaguti A. (1999). Origin and recycling processes of precipitating water over the Euroasian continent: experiments using an atmospheric general circulation model. Journal of Geophysical Research. 104(D2), 1957–1972.
25. Penzar, B., Penzar, I. (1995). Velebit – klimatska prekretnica, Paklenički zbornik, 1, Nacionalni park Paklenica, Starigrad – Paklenica, 11-15.

26. Perica, D., Orešić, D. (1999). Klimatska obilježja Velebita i njihov utjecaj na oblikovanje reljefa, Senjski zbornik. 26: 1-50.
27. Perica, D., Kukić, B., Trajbar, S. (1995). Egzokrške osobine Nacionalnog parka „Paklenica“, Paklenički zbornik, 1, Nacionalni park Paklenica, Starigrad – Paklenica, 65-69.
28. Pfahl, S., Wernli, H. (2008). Air parcel trajectory analysis of stable isotopes in water vapor in the eastern Mediterranean. Journal of Geophysical Research. 113: D20104.
29. Richardson, K., Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F.S., Schellnhuber, H.J. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. Ecology and Society. 14(2): 32
30. Sodemann, H., Schwierz, C., Wernli, H. (2008a). Interannual variability of Greenland winter precipitation sources: Lagrangian moisture diagnostic and North Atlantic Oscillation influence. Journal of Geophysical Research. 113: D03107.
31. Sodemann, H., Masson-Delmotte, V., Schwierz, C., Vinther, B.M., Wernli, H. (2008b). Interannual variability of Greenland winter precipitation sources: 2. Effects of North Atlantic Oscillation variability on stable isotopes in precipitation. Journal of Geophysical Research. 113: D12111.
32. Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., Ludwig, C. (2015a). The trajectory of the Anthropocene: the great acceleration. Anthropocene Review. 2 (1): 81–98.
33. Stein, A.F., Draraxler, R.R., Rolph, G.D., Stunder, B.J.B., Cohen, M.D., Ngagan F. (2015). NOAA’s HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System. Bulletin of the American Meteorological Society. 96 (12): 2059–2077.
34. Šegota, T., Filipčić, A. (1996). Klimatologija za geografe, Školska knjiga, Zagreb.
35. Trenberth, K.E. (1999). Atmospheric moisture recycling: Role of advection and local evaporation, Journal of Climate. 12: 1368–1381
36. van der Ent, R.J.,. Savenije, H.H.G, Schaefli, B., Steele-Dunne, S.C. (2010). Origin and fate of atmospheric moisture over continents, Water Resource Research. 46: W09525.
37. Yasir, A.M., Savenije, H.H.G. (2002). Moisture Recycling; How important is evaporation to sustain rainfall? Does landuse change affect rainfall significantly?, IHE Delft, Nizozemska
38. Xoplaki, E., González-Rouco, J.F., Luterbacher, J., Wanner, H. (2004). Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics and trends. Climate Dynamics. 23: 63–78

Životopis

Filip Vujnović rođen je 20. rujna 1995. godine u gradu Bjelovaru. Pohađao je 2. Osnovnu školu u Bjelovaru gdje nakon završetka osnovnoškolskog obrazovanja (2010.) upisuje opći smjer u Gimnaziji Bjelovar. Istu završava 2014. godine te se seli u Zagreb gdje upisuje Zdravstveno veleučilište, preddiplomski studij sanitarnog inženjerstva. Nakon završetka preddiplomskog studija 2017. godine upisuje specijalistički diplomski studij sanitarnog inženjerstva na Zdravstvenom veleučilištu u Zagrebu te diplomski studij Agroekologije na Agronomskom fakultetu u Zagrebu. U 2019. godine završava specijalistički diplomski studij sanitarnog inženjerstva te steče titulu diplomiranog sanitarnog inženjera. Razumije, govori i piše (B2) engleski jezik te razumije, govori i piše (A2) njemački jezik. Posjeduje znanja i vještine rada na računalu osobito Microsoft Office paketa (Word, Excel, PowerPoint). Posjeduje vozačku dozvolu B kategorije.