

Utjecaj reciklirane vlage zraka na ukupnu količinu oborina na području otoka Visa

Sabljo, Tomislav

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:450151>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

Tomislav Sabljo

**UTJECAJ RECIKLIRANE VLAGE ZRAKA
NA UKUPNU KOLIČINU OBORINA NA
PODRUČJU OTOKA VISA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET
Agroekologija – Agroekologija

TOMISLAV SABLJO

**UTJECAJ RECIKLIRANE VLAGE ZRAKA
NA UKUPNU KOLIČINU OBORINA NA
PODRUČJU OTOKA VISA**

DIPLOMSKI RAD

Mentor: prof.dr.sc Dražen Perica

Zagreb, 2016.

Ovaj diplomski rad je ocijenjen i obranjen dana _____ s
ocjenom _____ pred Povjerenstvom u sastavu:

1. Izv. prof. dr. sc. Dražen Perica

2. Prof. dr. sc. Stjepan Husnjak

3. Doc. dr. sc. Željka Zgorelec

Sažetak

Klimatske promjene utječu na poljoprivrednu proizvodnju, a time i na ekonomske prilike nekog područja. Promjene klime uključuju varijabilnost u količini oborina, intenzitetu vjetrova i porastu temperature. Oborine zabilježene na nekom području uglavnom potječu od vlage pristigle s područja mora i oceana, no smatra se da je čak jedna trećina oborina lokalnog porijekla proistekla od evaporacije („reciklirana vlaga“).

Regionalne studije za područje Mediterana pokazale su da u drugoj polovici 20-tog stoljeća postoji opći trend smanjenja količina oborina, a predviđanja su da će se taj trend nastaviti. Stoga su na primjeru otoka Visa, tijekom petogodišnjeg razdoblja, korištenjem HYSPLIT modela i primjenom kalkulacija za utvrđivanje izdizanja vlage zraka izračunate unazadne putanje zračnih masa, lokacije izdizanja vlage i udio reciklirane vlage zraka u ukupnoj količini oborina.

Ključne riječi: HYSPLIT, otok Vis, unazadne putanje zračnih masa, reciklirana vlaga

Abstract

Climate changes directly affect agricultural production and economy of certain area. Changes of climate include variability of rainfall, wind intensity and increase of temperature. Precipitation collected on a specific location is mostly derived from sea and ocean moisture, although it is considered that approximately one-third of precipitation is derived from locally originated moisture by evaporation (recycled moisture).

Regional studies for the Mediterranean area have shown a general trend of decrease of amount of precipitation in the second half of 20th century. Furthermore, predictions show that this trend will continue. In order to investigate this we used HYSPLIT model to calculate back trajectories of air masses bringing precipitation over Vis Island, Croatia. Application of calculations for specific humidity allowed us to determine locations of moisture uptake and percentage of recycled moisture in precipitation.

Keywords: HYSPLIT, Vis Island, back trajectories, recycled moisture

Sadržaj:

| | |
|--|----|
| 1. Uvod | 1 |
| 2. Pregled dosadašnjih istraživanja | 3 |
| 3. Područje istraživanja | 4 |
| 3.1. Neke značajke klime otoka Visa | 4 |
| 4. Materijali i metode | 9 |
| 5. Rezultati istraživanja | 11 |
| 5.1 Analiza oborina tijekom istražnog razdoblja na meteorološkoj postaji Komiža..... | 11 |
| 5.2 „Back trajectories“ analize | 11 |
| 5.3 „Moisture uptake“ analize | 16 |
| 5.4 Usporedba količine oborina i postotka reciklirane vlage zraka..... | 21 |
| 6. Rasprava | 22 |
| 7. Zaključci..... | 24 |
| Popis literature..... | 25 |
| Životopis autora..... | 29 |

1. Uvod

Klimatske promjene najprisutniji su ekološki izazov koji se nameće suvremenim društvima. Uz mnoge probleme s kojima se danas susreće naš planet, globalno zatopljenje postalo je jedna od najvažnijih tema o kojoj se raspravlja u cijelome svijetu. Vremenski ekstremi poput intenzivnih suša, poplava ili razornih uragana najčešće se vezuju na globalno zatopljenje, odnosno na utjecaj čovjeka na promjene klime.

Studija Međuvladinog panela o klimatskim promjenama (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) pokazuje kako je globalna temperatura u periodu od 1880. do 2012. porasla za $0,85^{\circ}\text{C}$ ($0,65$ do $1,06^{\circ}\text{C}$; IPCC, 2013), te da se naš planet konstantno zagrijava. Mnoga mjesta doživljavaju promjene u količini oborina, rezultirajući velikim poplavama i sušama, ili intenzivnim oborinama i sve češćih tzv. toplinskih valova. Oceani i ledenjaci također trpe zbog navedenih promjena; oceani se zagrijavaju i raste im kiselost što može direktno utjecati na cjelokupni morski sustav i narušiti prirodnu ravnotežu u svjetskim morima i oceanima. Globalni porast temperature znatno smanjuje količinu ledenjaka koji se tope velikom brzinom zbog čega može doći do značajnijih podizanja razine mora (Melillo i sur., 2014). Različite projekcije i podatci daju naslutiti kako će temperatura na globalnoj razini u sljedećih stotinu godina rasti za $0,5$ do čak $8,6^{\circ}\text{C}$.

Klimatske promjene utječu na poljoprivrednu proizvodnju, a time i na ekonomske prilike nekog područja. Promjene uključuju varijabilnost u količini oborina, intenzitetu vjetrova i porastu temperature. Globalna promjena klime ne zaobilazi ni naše područje. Regionalne studije na području Mediterana pokazale su da u drugoj polovici 20-tog stoljeća postoji opći trend smanjenja količina oborina (Xoplaki i sur., 2004), a predviđanja su da će se taj trend nastaviti (IPCC, 2013). Područje Mediterana smatra se jednim od najrelevantnijih mjesta koje će biti pogođeno globalnim zatopljenjem (Giorgi, 2006). Međutim, zbog složenosti faktora koji utječu na količinu oborina dugoročna predviđanja su i dalje relativno neprecizna (npr. Bojariu i Gimeno, 2003).

Važnu ulogu u količini oborina imaju i izvori vlage zraka. Većina oborina južne Europe dolazi s područja oceana (Gimeno i sur., 2010), no značajan dio oborina potječe s kopna. Ova vlaga/precipitacija koja potječe od isparavanja i biljne transpiracije na kopnu naziva se reciklirana vlaga/precipitacija. S obzirom da recikliranje vlage utječe na količinu oborina, cilj ovog rada je utvrditi udio reciklirane vlage zraka u ukupnoj količini oborina na području

otoka Visa, u skladu s predviđanjima smanjenje količine oborina na području Mediterana. Nadalje, ovim radom će se utvrditi stacionarnost reciklirane vlage zraka tijekom petogodišnjeg razdoblja, točnije od 2005. do 2009. godine, te da li njena količina povećava ili smanjuje količinu oborina na području otoka Visa.

2. Pregled dosadašnjih istraživanja

S aspekta modeliranja postoji više načina proučavanja reciklirane vlage (npr. Numaguti, 1999), no u posljednjem desetljeću razvoj modela putanja zračnih masa koji koriste Lagrangijski pristup izrazito je napredovao, što je rezultirao njihovom implementacijom u „user friendly“ online pakete (Stohl i sur., 2005, Draxler i Rolph, 2013). Takvi modeli omogućuju modeliranje prošlih i budućih pomaka/putanja odsječaka/parcela zraka (engl. „air parcel“) unutar atmosfere i dobivanje njihovih bitnih hidrometeoroloških parametara, a koriste baze podataka poput GDAS baze (Globalni podatkovni asimilacijski sistem) temeljene na globalnim meteorološkim opažanjima tijekom posljednjeg desetljeća.

Njihov razvoj počinje 1949. kada nakon prvih sovjetskih atomskih testova Specijalni projektni odjel (Special Project Section; SPS) Meteorološkog ureda SAD-a dobiva zadatak otkriti izvor radioaktivnog debrisa (Stein i sur., 2015). Počinje razvoj disperzijskih studija koje su kasnije poslužile kao baza za razvoj HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectories) modela (Draxler i Taylor 1982). Ovaj model putanja zračnih masa razvijen u Air Resources Laboratoriju NOAA-e (National Oceanic and Atmospheric Administration) prošao je kroz razne nadogradnje, te se koristi za određivanje izvora zračnih masa, simulacije atmosferskog transporta, disperzije i taloženja onečišćivača. Neki primjeri primjene uključuju praćenje i predviđanje kretanja radioaktivnog materijala (npr. Connan i sur., 2013; Bowyer i sur., 2013), vjetrom nošene prašine (npr. Escudero i sur., 2011), polutanata (npr. Chen i sur., 2013), alergena (npr. Efstathiou i sur., 2011) i vulkanskog pepela (npr. Stunder i sur., 2007).

Posljednjih nekoliko godina istraživači počinju kombinirati izotopni sastav oborina i modele analiza putanja zračnih masa u svrhu utvrđivanja njihove povezanosti (Sjostrom i Welker, 2009; Breitenbach i sur., 2010; Abouelmagd i sur., 2012), a neka od njih uključuju i izvore vlage (tj. dodatna hidrometeorološka modeliranja), te utvrđuju varijabilnu ulogu izvora vlage u razumijevanju varijabilnosti stabilnih izotopa u oborinama (Sodemann i sur., 2008a; Baldini i sur., 2010). Istraživanje provedeno u Španjolskoj pokazalo je da se veliki udio (tj. >30%) izotopnog signala u oborinama može objasniti izvorima vlage (Krklec i Domínguez-Villar, 2014). Konkretno, reciklirana precipitacija dominantan je čimbenik u varijabilnosti izotopa u precipitaciji, povezana s izvorima vlage, odnosno reciklirana precipitacija može imati velik udio u ukupnoj količini oborina.

3. Područje istraživanja

Geografski gledano, otok Vis pripada srednjodalmatinskoj skupini otoka, zauzimajući površinu od 89,7 km², što ga po veličini svrstava na deveto mjesto među hrvatskim otocima (Duplančić et al., 2004). Otok Vis od kopna je udaljen 45 km i najveći je pučinski otok na Jadranu. Otok Vis karakteriziraju tri izdignuta grebena koji se pružaju otprilike u istom pravcu kao i duža os otoka, odnosno smjer pružanja grebena je od istoka prema zapadu. Osim grebena, topografiju otoka Visa čine i dvije udoline koje se nalaze između grebena. Najviši vrhovi na otoku su: Hum (587 m.n.m), Orlovica (567 m.n.m.) i Sv. Duh (563 m.n.m). Sva tri vrha smještena su na zapadnom dijelu otoka, jugoistočno od meteorološke postaje Komiža (Krklec, 2011).

Otok Vis, najvećim je dijelom izgrađen od karbonatnih stijena. Karakteristika tih stijena je izrazito velika infiltracija oborina, te neravnomjerna raspodjela oborina tijekom godine, zbog čega sezonski dolazi do nedostatka pitke vode na otoku (Nejašmić i Mišetić, 2006).

Na području otoka Visa razvijene su različite kombinacije sljedećih tipova tala: litosol, koluvij, crvenica (terra rossa), smeđe tlo na vapnencima i dolomitima, te antropogena tla, s različitim podtipovima (Miloš, 1986; Husnjak i sur., 2008). Zbog izrazite kvalitete tla, trajanja insolacije i obradivosti, otok Vis je poznat po svojim poljima koja su pogodna za uzgoj pojedinih kultura, među koje se naročito ubraja uzgoj vinove loze. Kvalitetna tla i mogućnost razvoja poljoprivrede jedni su od glavnih čimbenika koji su omogućili opstanak stanovništva na otoku Visu.

3.1. Neke značajke klime otoka Visa

Zbog svog geografskog položaja (udaljenosti od okolnih otoka i kontinentalnog kopna), klimatske značajke otoka Visa pod snažnim su utjecajem mora. Prema Köppenovoj klasifikaciji klime (koja se temelji na odlikama srednjega godišnjeg hoda temperature zraka i oborina) područje otoka Visa, te viškog arhipelaga obilježava „Csa“ tip klime (Filipčić, 1998). Temperatura zraka u najhladnijem zimskom mjesecu varira između -3 i 18°C, dok je srednja temperatura u najtoplijim mjesecima (travanj-rujan) viša od 22°C. Prosječna godišnja količina oborina iznosi oko 800 mm (L/m²), no u toplijem dijelu godine prevladavaju sušniji uvjeti, a najsušniji mjesec ima čak manje od 40 mm oborina (gledano za razdoblje 1981-2009.; Krklec, 2012).

S obzirom na to da je dnevna količina oborina jedan od bitnih parametara ovog istraživanja, u nastavku su tablično prikazane dnevne količine oborina za istražno razdoblje (2005.-2009.; tablice 1-5).

Tablica 1. Dnevne količine oborina zabilježene na meteorološkoj postaji Komiža tijekom 2005. godine.

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|----|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,4 |
| 2 | 0 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,1 | 0,1 |
| 3 | 1,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0,7 | 0 | 0 | 4,9 | 0 | 15,2 | 0 | 18,6 |
| 5 | 0 | 0 | 11,8 | 0 | 0 | 0,6 | 0 | 0 | 0 | 8,8 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0,2 | 0 | 0,8 | 0,4 | 6,3 | 0 | 0,2 | 1,2 | 0 | 0,2 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 43 | 0 | 0 | 0 | 0,7 | 3 | 21 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11,1 | 0 | 4,2 | 0 | 33,5 | 28,7 | 8,2 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 46,1 | 0,1 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 16,5 | 0 | 0 | 11,8 | 0 | 1,4 | 0,7 | 0 | 17,5 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0,8 | 0,5 | 0 | 0,7 | 0 | 7,7 | 0 | 0 | 0,1 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 20,8 | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 2,4 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9,5 | 0 | 0 | 0 | 14,5 |
| 14 | 0 | 20,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 46,8 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 52,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,7 | 0 | 0 | 0,5 | 0 |
| 17 | 0 | 8,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,2 | 0 |
| 18 | 0 | 0,8 | 0 | 0 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 11,2 | 0 | 1,2 | 0,4 |
| 19 | 2,1 | 0 | 0 | 0 | 4,3 | 0 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 16,3 | 6,9 | 0 | 1,7 | 0,2 | 0 | 0,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 0 | 38,6 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 1,5 | 0 | 3,9 | 1,3 | 3,3 |
| 22 | 0 | 1,5 | 0 | 23,6 | 0 | 0 | 0 | 6,8 | 0 | 9,7 | 13,2 | 0,1 |
| 23 | 0,1 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32,4 | 0 | 0 | 0,4 | 0 | 0 |
| 24 | 22,6 | 1,7 | 0 | 0 | 1,7 | 0 | 4,4 | 0 | 24,2 | 0 | 14,1 | 0 |
| 25 | 18,9 | 1,5 | 0,3 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,6 | 0 |
| 26 | 24,1 | 0 | 5,8 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,4 | 7 |
| 27 | 2 | 9,9 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,4 |
| 28 | 0 | 0 | 2,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6,6 | 1,8 |
| 29 | 8,6 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,3 | 9,9 | 0 |
| 30 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 3,5 | 13,1 | 0 |
| 31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tablica 2. Dnevne količine oborina zabilježene na meteorološkoj postaji Komiža tijekom 2006. godine.

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|------|----|------|-----|------|------|-----|------|----|---|-----|-----|
| 1 | 0,1 | . | 1,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 10,1 | 0 | 0 | 0 | 1,1 | 53,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8,1 | 0 |
| 3 | 9 | 0 | 3,2 | 0,5 | 0 | 2,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 29,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 11,6 | 0 | 3,7 | 5,7 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 6 | 5,4 | 0 | 5,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 10,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|-----|------|------|------|------|------|-----|------|------|-----|-----|-----|
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0,6 | 0 | 0 | 11,1 | 0 | 0 | 10,5 | 0 | 0 | 0 | 0,2 |
| 11 | 0 | 1,5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 7,2 | 0 | 0 | 0 | 1,1 |
| 12 | 0 | 0 | 24,5 | 0 | 0 | 0,1 | 0 | 34,1 | 0 | 0 | 0 | 4,8 |
| 13 | 0 | 0 | 15,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 62,1 | 0 | 0 | 3,7 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9,8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,9 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 6,1 | 2,3 | 2,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 35,6 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 0 | 2,9 | 3,9 | 1,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,6 | 0 | 0 | 9,5 |
| 19 | 1,7 | 0 | 0 | 33,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26,6 | 0 | 0 | 7,3 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,3 |
| 21 | 0 | 1,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,8 | 0 | 9,2 | 0 | 0 |
| 22 | 0 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 0 | 0 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 |
| 24 | 0 | 22,9 | 9,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 0 | 5,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | 0 | 4,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 21,2 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 0 | 0,4 | 0 | 3,2 | 0 | 0 | 0 | 22,7 | 9,4 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | 2,1 | 10,1 | 0 | 8,7 | 0 | 0 | 0 | 4,5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 29 | 3,4 | 0 | 3,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 23 | 0 | 17,5 | 0 | 0 | 5,1 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 1,2 | 0 |
| 31 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tablica 3. Dnevne količine oborina zabilježene na meteorološkoj postaji Komiža tijekom 2007. godine.

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 83,7 | 0,5 |
| 2 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,7 | 0 |
| 3 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 11,3 | 2,2 | 0 | 0 | 1,9 | 0 | 0 | 0 | 10,1 |
| 5 | 1,2 | 0 | 0 | 22,2 | 5,8 | 0 | 0,2 | 0 | 7,7 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0,3 | 0,2 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | 0,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8,6 | 7,4 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 32,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9,1 | 0 | 5,3 |
| 9 | 0 | 0 | 11,4 | 0 | 0 | 4,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,4 |
| 10 | 0 | 9,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 0 | 7,1 | 3,2 |
| 11 | 0 | 7 | 0,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 | 0 | 21,4 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,9 | 7,4 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 6,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,5 | 0 |
| 14 | 0 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,3 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8,3 | 0 |
| 18 | 0,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,4 |
| 19 | 0 | 1,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26,1 | 0 | 1,6 |
| 20 | 0 | 5,3 | 2,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15,4 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 0 | 2,4 | 3,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 0 | 9,2 | 23,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14,8 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|-----|------|------|------|-----|-----|---|---|-----|------|-----|-----|
| 23 | 0 | 4,3 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9,3 | 0 | 0 |
| 24 | 0,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 3,6 | 2,4 | 5,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8,2 |
| 26 | 0 | 0,3 | 25,8 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6,4 | 7,1 | 5,3 | 0,5 |
| 27 | 1,6 | 0,5 | 21,6 | 2,2 | 0 | 0,7 | 0 | 0 | 5,3 | 2,3 | 0,5 | 0 |
| 28 | 0 | 0 | 49,8 | 0 | 3,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 29 | 0 | 1 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 0 | 1,5 | 0 | 28,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16,3 | 0 | 0 |
| 31 | 0 | 11,4 | 0,3 | 0 | 0 | 8,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tablica 4. Dnevne količine oborina zabilježene na meteorološkoj postaji Komiža tijekom 2008. godine.

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|----|-----|-----|------|------|-----|------|-----|------|-----|-----|------|------|
| 1 | 0 | 1,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 1,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0,2 | 0 | 26 | 0 | 39,9 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0 | 0 |
| 5 | 6,9 | 1,7 | 0 | 0 | 0 | 1,6 | 0 | 0 | 0 | 9,5 | 0 | 18,5 |
| 6 | 5,8 | 0,6 | 33,8 | 0 | 0 | 3,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26,2 | 0,9 |
| 7 | 3 | 0 | 44,8 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 41,4 | 9,4 |
| 8 | 6,6 | 0 | 5,1 | 0 | 0 | 5,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34,6 | 0 |
| 9 | 0,4 | 0 | 0,7 | 11,1 | 0 | 10,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,2 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 21 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,9 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 6,7 | 0 | 4,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15,9 |
| 13 | 5,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0,1 | 0 | 0 | 15,2 |
| 14 | 3,8 | 0 | 0 | 0 | 5,2 | 0,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 54,3 | 10,8 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 6,4 | 0 | 1,8 | 0 | 0 | 6,2 | 0 | 4,1 | 8,6 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 27,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 12,6 |
| 17 | 4,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 0,2 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 2,4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0,4 | 0 | 22,8 |
| 19 | 0 | 0 | 4,9 | 9,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20,2 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 0 | 0 | 13,3 | 0 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 0 | 0,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8,4 | 0 | 4,5 | 0 | 4,9 | 0 |
| 23 | 2,2 | 0 | 0,2 | 9,2 | 0 | 0 | 5,5 | 0 | 2,2 | 0 | 0,8 | 0 |
| 24 | 0 | 0 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 2,1 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0 |
| 25 | 0 | 0 | 3,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 |
| 26 | 0 | 0 | 0,1 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15,1 | 0 |
| 27 | 0 | 0 | 4,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | 0 | 0,3 | 56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,4 | 9,3 | 0 |
| 30 | 0 | 0 | 1,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tablica 5. Dnevne količine oborina zabilježene na meteorološkoj postaji Komiža tijekom 2009. godine.

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|----|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 2,9 | 3,9 | 5,9 | 0,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6,8 |
| 2 | 25,8 | 26,7 | 0,8 | 10,3 | 0 | 35,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,6 |
| 3 | 1,3 | 8,3 | 0,9 | 5,3 | 0 | 6,4 | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 20,2 | 0,1 |
| 4 | 0,1 | 12,2 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10,7 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 21 | 0 | 0 | 0,1 | 0 | 0,2 | 0 | 0 | 0,9 | 68,2 |
| 6 | 0 | 0 | 4,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 0 |
| 7 | 1 | 1,4 | 7,7 | 0 | 0 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,7 | 0 |
| 8 | 2,6 | 11 | 0,5 | 0 | 0 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,1 | 1,8 |
| 10 | 0 | 0 | 4,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 43,5 | 0 |
| 11 | 1,6 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,7 | 1,5 | 0 | 0 | 4,8 | 0 |
| 12 | 0 | 0,2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 |
| 13 | 0,8 | 0 | 0 | 0,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18,7 | 0 | 0 |
| 14 | 28,8 | 0 | 0 | 1,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8,1 | 0 | 0 | 20,6 |
| 15 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14,8 | 0 | 0 | 92,2 |
| 16 | 0,1 | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 0 | 0 | 29,6 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 1,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11,1 |
| 19 | 0 | 3,2 | 0 | 1,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,7 |
| 20 | 0 | 0 | 36,4 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,5 |
| 21 | 6 | 0 | 0 | 4,7 | 0 | 10,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 26,2 | 0 | 0 | 13,9 | 0 | 38,2 | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 0 | 0 |
| 23 | 38,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,8 | 0 | 0 | 0 | 6,5 | 0 | 1,5 |
| 24 | 1,9 | 0 | 0 | 9,7 | 0 | 17,6 | 0 | 0 | 0 | 62,8 | 0 | 0 |
| 25 | 3,1 | 0 | 7,8 | 6,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9,5 | 0 | 4,7 |
| 26 | 2,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 11,3 | 0 | 1 | 0,5 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| 28 | 3,6 | 0 | 0 | 5 | 46,3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1 |
| 29 | 1,3 | 9,8 | 0,3 | 0 | 5,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,2 | 0,1 | 0 |
| 30 | 0 | 9,6 | 34 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,3 | 0 |
| 31 | 0 | 0,1 | 0 | 0 | 1,7 | 0 | 0,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

4. Materijali i metode

U prvoj fazi analizirane su godišnje količine oborina zabilježene na meteorološkoj postaji Komiža na otoku Visu u razdoblju od 1981. do 2014. godine. Ovo je razdoblje odabrano s obzirom na činjenicu da su efekti promjene klime kao posljedica globalnog zatopljenja na ovom području zabilježeni od kraja 1970-tih, odnosno od početka 1980-ih godina (Bindoff i sur., 2007; Domínguez-Villar i sur., 2015). Odabran je niz od 5 godina među kojima je uočena najveća varijabilnost u godišnjoj količini oborina. Za sve dane s oborinama unutar tog petogodišnjeg perioda, a čija je količina premašivala 0,5 mm, provedena je „back trajectories“ analiza, odnosno izračunate su unazadne putanje zračnih masa za pet dana koji su prethodili dolasku zračne mase nad meteorološku postaju Komiža (43,0429 N, 16,0921 E). Kako bi odredili unazadne putanje zračnih masa, koristili smo online HYSPLIT model putanja Air Resources Laboratorija NOAA-e (Draxler i Rolph, 2013). Pri generiranju unazadnih putanja u HYSPLIT modelu podatci su generirani od strane GDAS-a (Global Data Assimilation System). Ovaj model izračunava lokaciju (geografsku širinu, dužinu, te visinu iznad tla) i hidrometeorološke parametre za parcelu zraka svakoga sata. Ti hidrometeorološki podatci uključuju: tlak, ambijentalnu i potencijalnu temperaturu zraka, količinu oborina, te relativnu vlagu zraka. Nadalje, izlazni podatci uključuju i grafički prikaz putanje zračne mase u *.jpeg, *.kmz (za Google Earth), te shapefileove za GIS programe.

Kao ulazni parametri za izračun unazadnih putanja zračnih masa korišteni su lokacija meteorološke postaje Komiža (43,0429 N, 16,0921 E), te visina od 1000 m iznad razine tla (ne iznad razine mora). 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 podatci u svrhu utvrđivanja lokacija na kojima su zračne mase „izdignule vlagu“ (engl. moisture uptake) (prema Krklec i Domínguez-Villar, 2014). U tu svrhu primijenjen je set matematičkih jednadžbi za izračun saturacije vodene pare zraka, tlak vodene pare zraka, odnos miješanja saturirane vlage, te specifične vlage zraka u skladu s istraživanjem Baldini i sur. (2010). Specifična vlaga razmatrana je pri izračunu lokacija izdizanja vlage (prema Sodemannu i sur., 2008b), te je korišten prag pozitivnog gradijenta specifične vlage (0,5 g/kg unutar 6 h) za atmosferski tlak iznad 900 hPa (prema Baldini i sur., 2010). Nakon što su određene lokacije izdizanja vlage, dnevni podatci integrirani su u

godišnja i petogodišnja vremenska razdoblja. Ovo integriranje zahtjeva konvertiranje linearnih značajki u kontinuirane dvodimenzionalne datoteke, a što je učinjeno korištenjem mreže 0,5° prostorne rezolucije. Postotak izdizanja vlage ponderiran je količinom oborina u promatranom razdoblju, a potom je svaka lokacija izdizanja vlage biti promijenjena da odgovara centru ćelije. Unutar svake ćelije zbrojeni su omjeri izdignute vlage u različitim događajima, a ti su podatci korišteni za izradu kvantitativne karte izvora vlage. Na karti su određena dva područja: (1) područje iznad vodenih površina, te (2) područje iznad kopna koje predstavlja područja recikliranja vlage. Na temelju te karte izračunat je udio ukupne reciklirane vlage za oborine iznad meteorološke postaje Komiža.

5. Rezultati istraživanja

5.1 Analiza oborina tijekom istražnog razdoblja na meteorološkoj postaji Komiža

Analizom godišnje količine oborina zabilježene na meteorološkoj postaji Komiža u razdoblju od 1981. do 2014. godine, odabran je niz od 5 godina, počevši od 2005., među kojima je uočena najveća varijabilnost u godišnjoj količini oborina (tablice 1, 2, 3, 4 i 5).

U tom razdoblju utvrđen je 501 dan s oborinama. Godina s najviše dana s oborinama (ukupno 118 dana) bila je 2009., dok je 2007. godina imala najmanje dana u kojima su registrirane oborine (svega njih 89). Tijekom 2006. i 2008. godine broj dana s oborinama je bio približno isti, 91 dan u 2006. i 90 dana u 2008. godini. Godina 2005., ujedno i prva analizirana godina, imala je svega nekoliko dana manje oborina od 2009. godine, odnosno 113 dana.

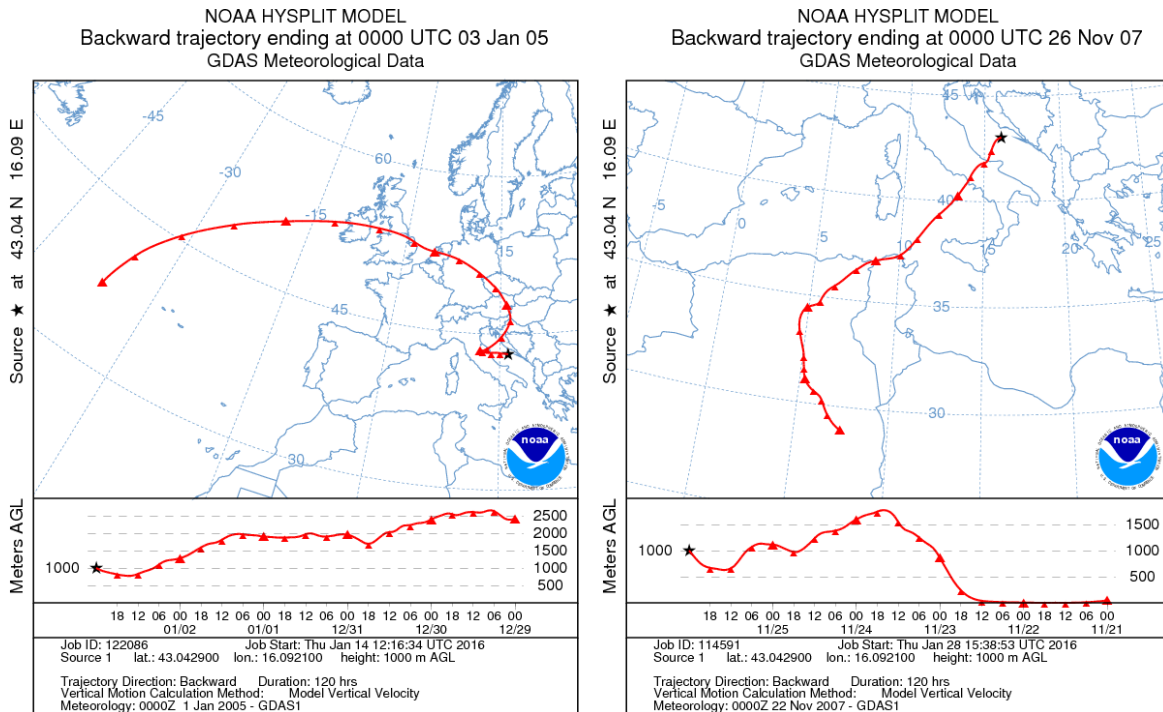
Za potrebe „back trajectories“ analize, tj. analize unazadnih putanja zračnih masa, razmatrani su samo dani s količinom oborina $>0,5$ mm. Broj dana s količinom oborina $>0,5$ mm u petogodišnjem razdoblju (2005.-2009.) iznosio je 425 dana.

Godina s najviše dana u kojima je količina oborina bila veća od 0,5 mm je 2009. u kojoj je registrirano 97 takvih dana (tablica 5). Najmanje dana s količinom oborina koje su bile veće od 0,5 mm zabilježeno je u 2006. godini, svega 74 dana (tablica 2). U 2007. i 2008. godini broj dana s količinom oborina $>0,5$ mm bio je identičan, i iznosio je 79 dana (tablica 3 i 4). Godina koju smo prvu analizirali, 2005., imala je svega jedan dan manje, 96 dana, od 2009. godine, u kojoj je zabilježen najveći broj dana s količinom oborina većom od 0,5 mm (tablica 1).

5.2 „Back trajectories“ analize

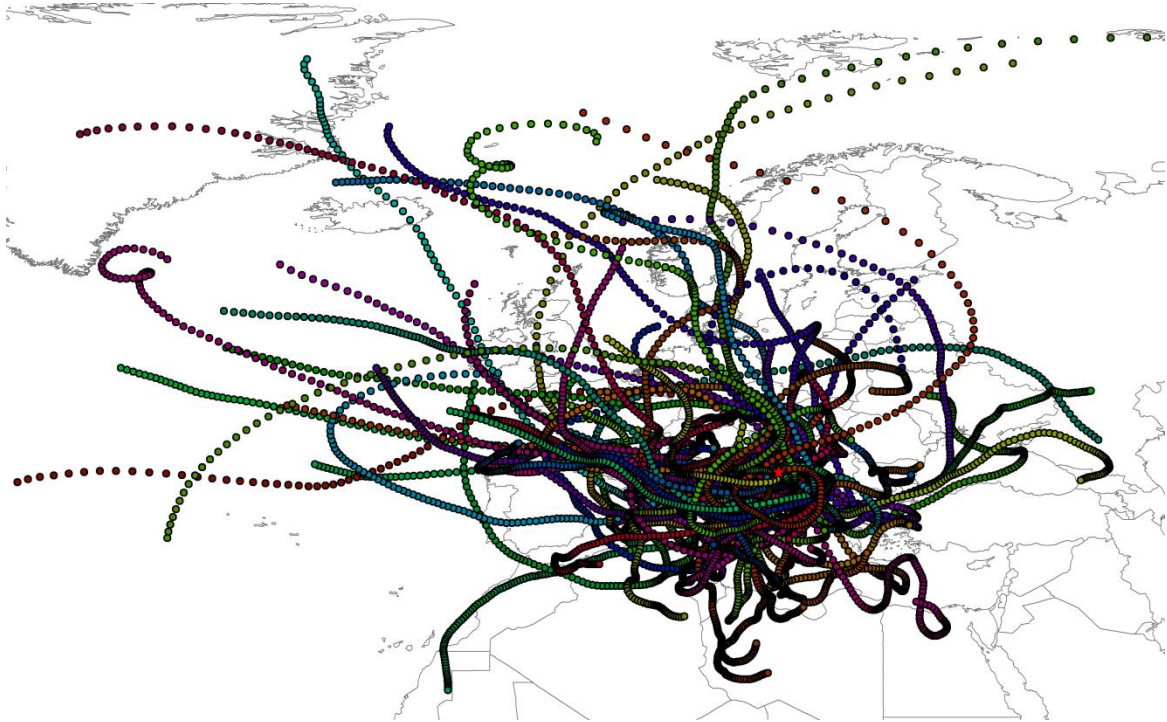
„Back trajectories“ analize provedene su za sve dane u kojima je zabilježena količina oborina premašivala 0,5 mm (u petogodišnjem razdoblju, 2005.-2009. registriran je 501 dan s količinom oborina $> 0,5$ mm). Za svaki dan s oborinama većim od 0,5 mm u program HYSPLIT uneseni su unaprijed definirani ulazni parametri (geografska širina, dužina i visina iznad razine tla). Izlazni podatci uključivali su tlak, ambijentalnu i potencijalnu temperaturu zraka, količinu oborina, te relativnu vlagu zraka. Nadalje, izlazni podatci uključivali su i grafički prikaz putanje zračne mase u *.jpeg (slike 1, 2 i 3), te shapefileove za GIS programe.

Dolazak zračnih masa nad meteorološku postaju Komiža zabilježen je iz svih smjerova (npr. s područja Atlantskog oceana (sl. 1a), Sjeverne Afrike (sl. 1b)).



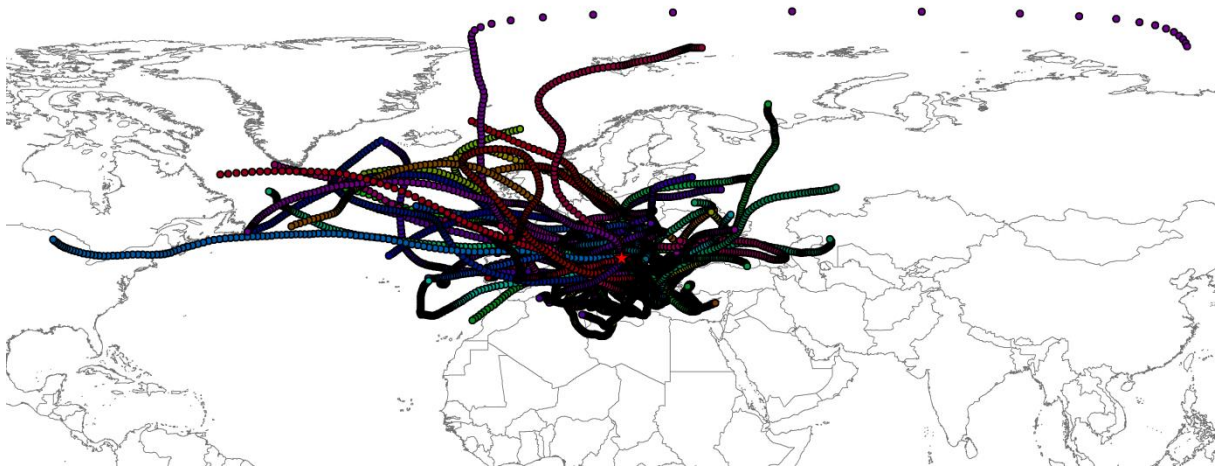
Slika 1a i 1b Primjeri rekonstruirane 5-dnevne unazadne putanje zračne mase za oborine iznad meteorološke postaje Komiža. Gornji dio slike prikazuje horizontalnu putanju zračne mase, dok donji prikazuje njen vertikalni profil.

Tijekom 2005. godine glavnina zračnih masa koje su donijele oborine zabilježene na meteorološkoj postaji Komiza pristigle su iz smjera Sjevernog Atlantskog oceana i Norveškog mora (sl. 2), dok je tek manji dio zračnih masa pristiglo s područja sjeverne Afrike.



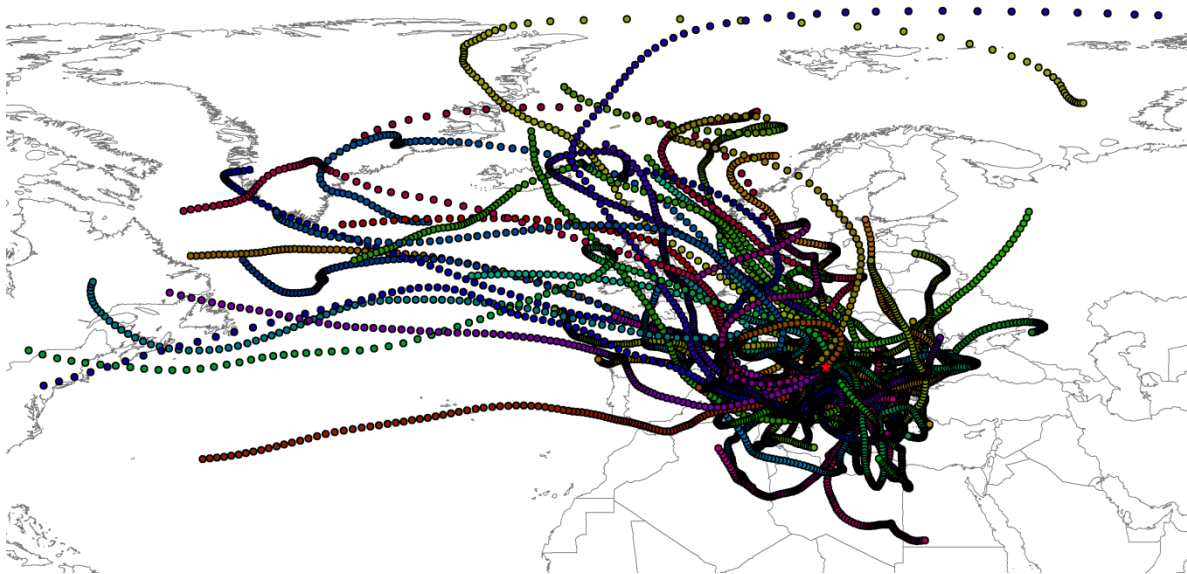
Slika 2. Rekonstruirane 5-dnevne unazadne putanje zračnih masa za oborine iznad meteorološke postaje Komiza zabilježene tijekom 2005. godine.

Tijekom 2006. godine glavnina zračnih masa koje su donijele oborine zabilježene na meteorološkoj postaji Komiza pristigle su iz smjera Sjevernog Atlantika (slika 3). Nešto veći broj zračnih masa pristigao je s područja Istočne Europe, te s područja Sjeverne Afrike. Udaljenije zračne mase, kao što je prikazano na slici, pristigle su s područja Sibirskog mora, a druga s područja SAD-a.



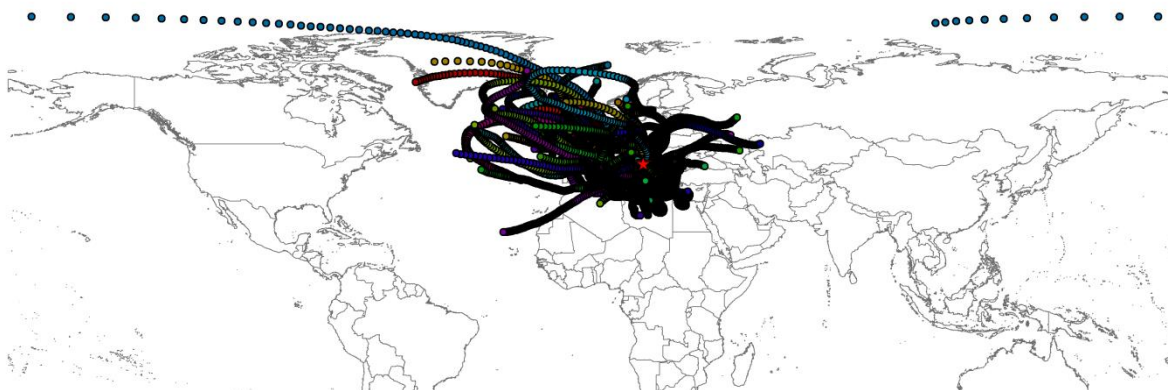
Slika 3. Rekonstruirane 5-dnevne unazadne putanje zračnih masa za oborine iznad meteorološke postaje Komiža zabilježene tijekom 2006. godine.

Tijekom 2007. godine glavnina zračnih masa koje su donijele oborine zabilježene na meteorološkoj postaji Komiža pristigle su iz smjera Norveškog mora i Sjevernog Atlantskog oceana (slika 4). U 2007. godini zabilježen je nešto veći dio zračnih masa (za razliku od proteklih godina) koji je pristigao s područja SAD-a. Dolazak zračnih masa također je registriran i s hladnijeg područja Sibirskog mora.



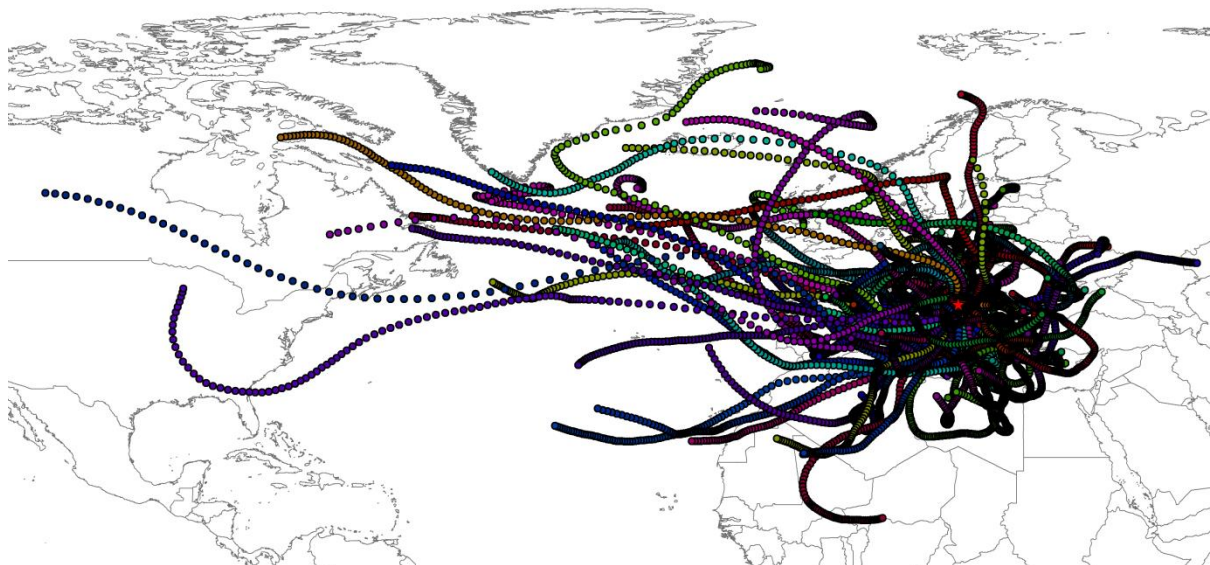
Slika 4. Rekonstruirane 5-dnevne unazadne putanje zračnih masa za oborine iznad meteorološke postaje Komiža zabilježene tijekom 2007. godine.

Tijekom 2008. godine glavnina zračnih masa koje su donijele oborine zabilježene na meteorološkoj postaji Komiža pristigle su s područja Sjevernog Atlantika. Također, zamjetan je dolazak zračnih masa s područja Istočne Europe i Sjeverne Afrike. Manji broj zračnih masa pristigao je s područja Greenlanda, dok je s područja Sibirskog mora pristigla tek jedna zračna masa (slika 5).



Slika 5. Rekonstruirane 5-dnevne unazadne putanje zračnih masa za oborine iznad meteorološke postaje Komiža zabilježene tijekom 2008. godine.

Tijekom 2009. godine glavnina zračnih masa koje su donijele oborine zabilježene na meteorološkoj postaji Komiža pristigle su iz smjera Norveškog mora i Sjevernog Atlantskog oceana. U 2009. godini nešto veći dio zračnih masa (za razliku od proteklih godina) pristigao je s područja Sjeverne Afrike. Dolazak nekolicine zračnih masa, koje su kasnije donijele oborine na meteorološkoj postaji Komiža može se pratiti s područja Kanade (slika 6).



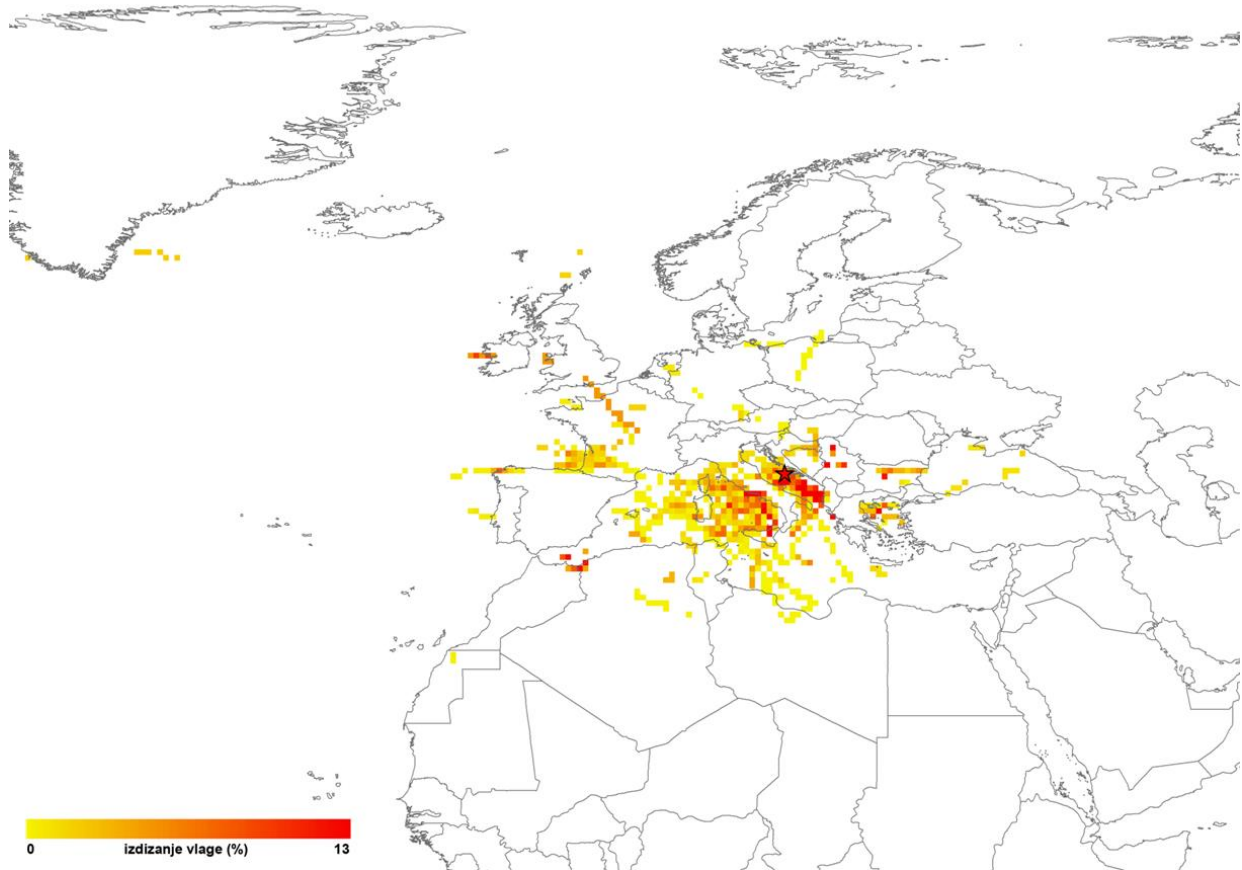
Slika 6. Rekonstruirane 5-dnevne unazadne putanje zračnih masa za oborine iznad meteorološke postaje Komiža zabilježene tijekom 2009. godine.

5.3 „Moisture uptake“ analize

U petogodišnjem razdoblju od 2005. do 2009. godine zabilježen je 501 dan s oborinama na meteorološkoj postaji Komiža. Od toga, duž petodnevnih unazadnih putanja njihovih zračnih masa utvrđeno je izdizanje vlage zraka na njih 359.

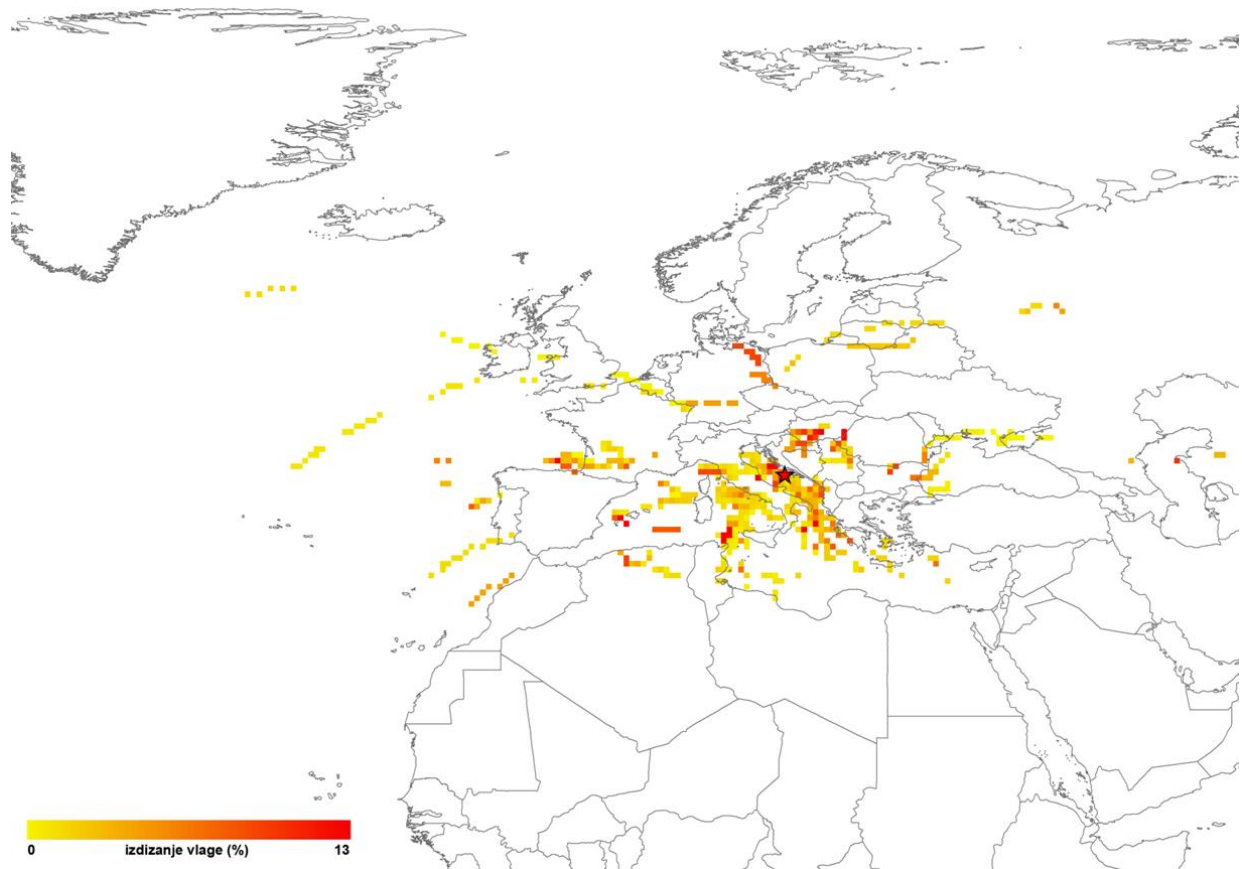
Za 2005. godinu izvršeno je 95 analiza unazadnih putanja zračnih masa, ali samo u njih 81 (85%) identificirali smo uzdizanje vlage zraka. U 2006. godini broj dana za koje je izvršena analiza unazadnih putanja zračnih masa iznosio je 74, dok je izdizanje vlage zraka identificirano u njih 62. Posebnost 2007. godine jest mjesec srpanj, u kojemu nisu zabilježene oborine na meteorološkoj postaji Komiža, pa samim time nisu vršene analize unazadnih putanja zračnih masa, niti izdizanja vlage zraka. Tijekom 2007. godine zabilježeno je 75 dana s oborinama za koje je napravljena analiza unazadnih putanja zračnih masa, ali samo kod njih 62 smo mogli registrirati izdizanje vlage. U 2008. godini broj dana s oborinama iznosio je 79, dok je izdizanje vlage zraka identificirano duž 70 izračunatih unazadnih putanja zračnih masa. U ovoj godini, kao i u prethodnoj 2007., u mjesecu kolovozu nisu zabilježene oborine na meteorološkoj postaji Komiža. Tijekom 2009. godine identificiran je najveći broj putanja zračnih masa s izdizanjem vlage, njih 84, od ukupno 95 dana s oborinama za koje je izvršena „back trajectories“ analiza.

Tijekom 2005. godine glavina vlage za oborine zabilježene na meteorološkoj postaji Komiža došla je s područja Jadranskog mora i Mediterana (sl. 7). Tijekom 2005. godine 45,89% vlage zraka došlo je s područja iznad mora, a 18,35% s kopna.



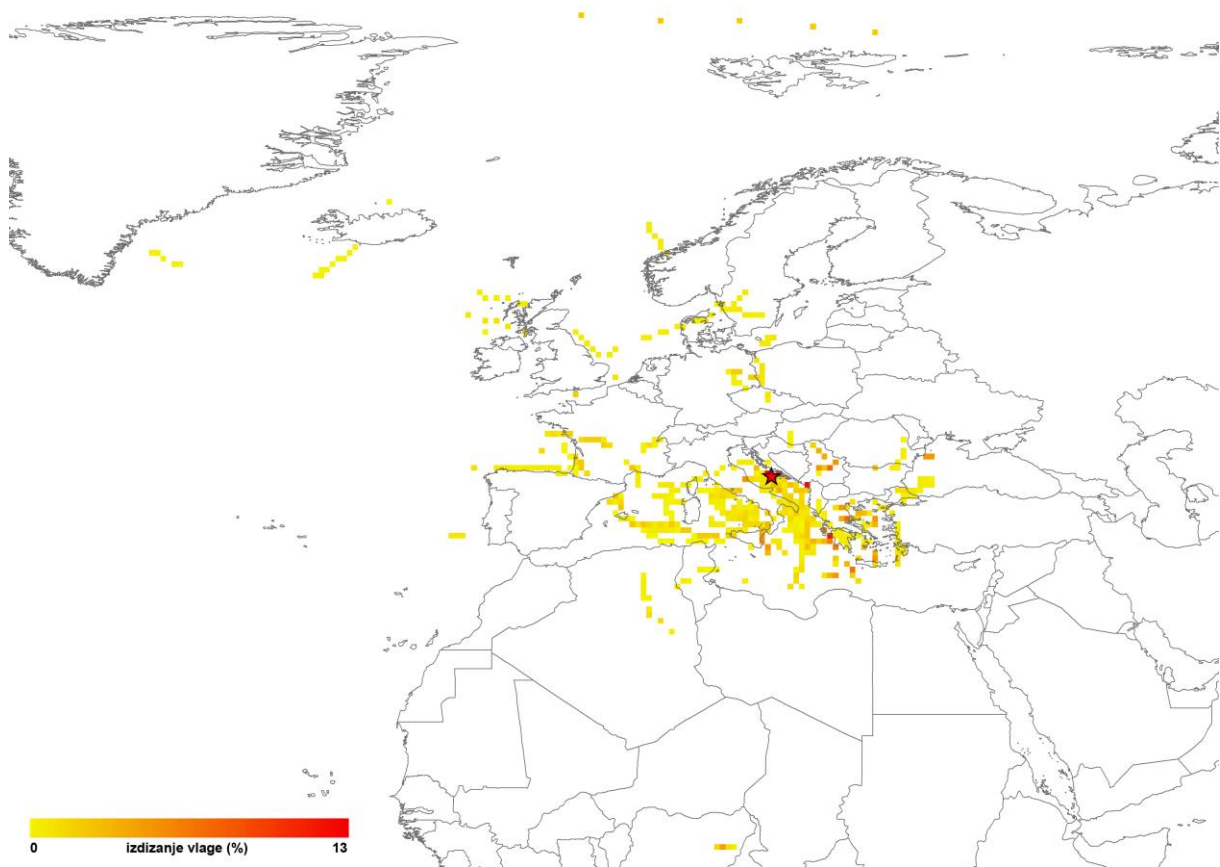
Slika 7. Lokacije izdizanja vlage duž 5-dnevnih unazadnih putanja zračnih masa za oborine iznad meteorološke postaje Komiža tijekom 2005. godine.

Tijekom 2006. godine glavina vlage za oborine zabilježene na meteorološkoj postaji Komiža došla je s područja Jadrana, Jonskog i Sredozemnog mora (sl. 8). Tijekom 2006. godine 26,56% vlage zraka došlo je s kopna, a 54,24% s područja iznad mora.



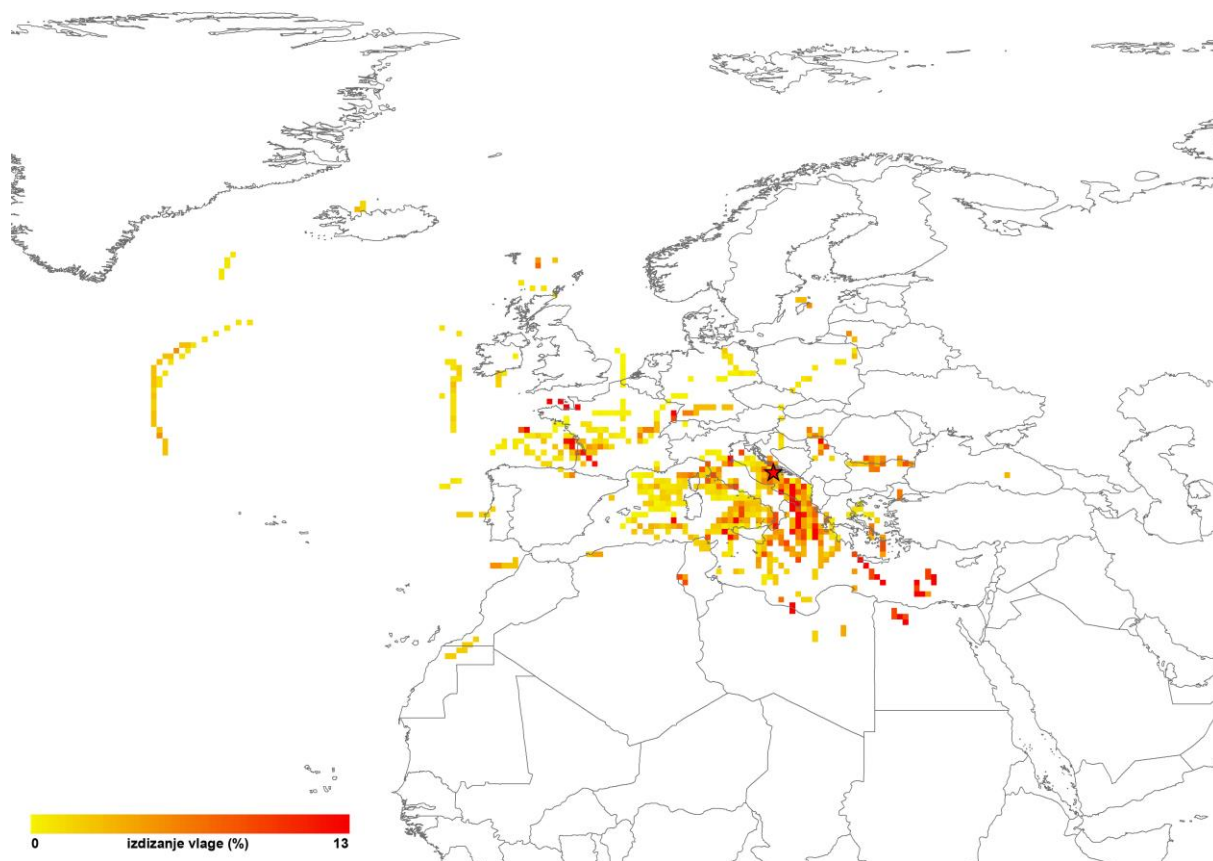
Slika 8. Lokacije izdizanja vlage duž 5-dnevnih unazadnih putanja zračnih masa za oborine iznad meteorološke postaje Komiža tijekom 2006. godine.

Tijekom 2007. godine glavnina vlage za oborine zabilježene na meteorološkoj postaji Komiža došla je s područja Mediterana, Jonskog i Jadranskog mora (sl. 9). Tijekom 2007. godine 59,74% vlage zraka došlo je s područja iznad mora, a 25,86% s kopna.



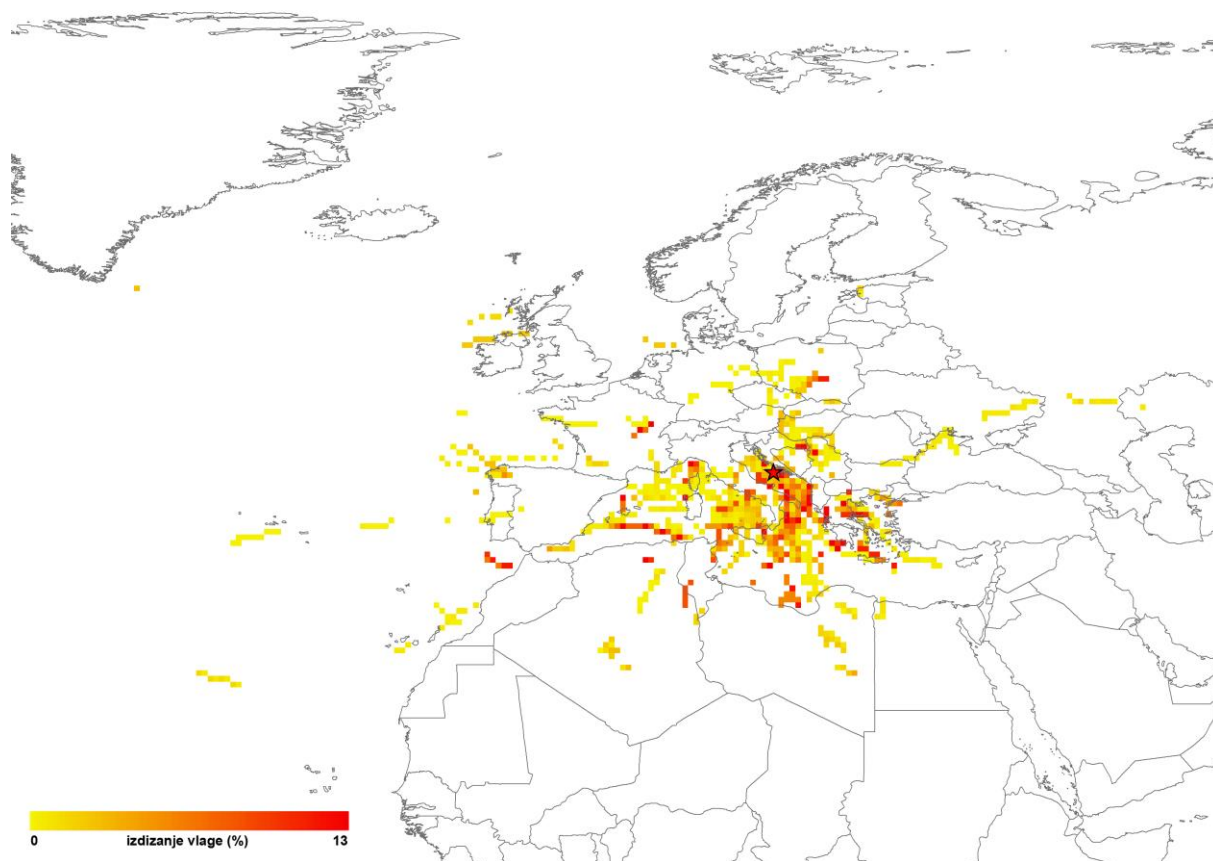
Slika 9. Lokacije izdizanja vlage duž 5-dnevnih unazadnih putanja zračnih masa za oborine iznad meteorološke postaje Komiža tijekom 2007. godine.

Tijekom 2008. godine glavina vlage za oborine zabilježene na meteorološkoj postaji Komiža došla je s područja Jadranskog i Sredozemnog mora. U 2008. godini registriran je dolazak vlage s nešto udaljenijeg područja, točnije s Biskajskog zaljeva (sl. 10). Tijekom 2008. godine 68,77% vlage zraka došlo je s područja iznad mora, a 22,33% s kopna.



Slika 10. Lokacije izdizanja vlage duž 5-dnevnih unazadnih putanja zračnih masa za oborine iznad meteorološke postaje Komiža tijekom 2008. godine.

Tijekom 2009. godine glavina vlage za oborine zabilježene na meteorološkoj postaji Komiža došla je s područja Jadranskog mora i Mediterana (sl. 11). Tijekom 2009. godine 17,75% vlage zraka došlo je s područja iznad mora, a 46,21% s kopna.



Slika 11. Lokacije izdizanja vlage duž 5-dnevnih unazadnih putanja zračnih masa za oborine iznad meteorološke postaje Komiža tijekom 2009. godine.

5.4 Usporedba količine oborina i postotka reciklirane vlage zraka

Nakon utvrđivanja lokacija izdizanja vlage zraka i izračuna udjela reciklirane vlage u oborinama, uspoređene su ukupna količina oborina i postotci reciklirane vlage zraka za istražno razdoblje (tablica 6).

Tablica 6. Usporedba količine oborina i postotka reciklirane vlage zraka.

| Godina | Količina reciklirane vlage (%) | Količina oborina (mm) |
|---------------|---------------------------------------|------------------------------|
| 2005. | 45,89 | 924,1 |
| 2006. | 54,24 | 747,3 |
| 2007. | 59,74 | 695,3 |
| 2008. | 68,77 | 812,4 |
| 2009. | 17,75 | 1116,6 |

6. Rasprava

Tijekom istražnog razdoblja (2005.-2009.) godišnja količina oborina znatno je varirala. Maksimalna godišnja količina oborina zabilježena je 2009. (1116,6 mm), a minimalna 2007. godine (695,3 mm). Tu razliku u količini oborina možemo pripisati kretanju zračnih masa, odnosno izvorima izdizanja vlage zraka. Tijekom spomenutog petogodišnjeg razdoblja, najveći dio zračnih masa pristigao je s područja Sjevernog Atlantika, te nešto manji dio, ali ne i zanemarujući, s područja Norveškog mora. Na režim oborina određenog područja utječe njegov zemljopisni položaj, ali i cirkulacija zraka u atmosferi, stoga je taj režim uvjetovan različitim lokalnim uvjetima, kao što su reljef i udaljenost od mora.

Analiza unazadnih putanja zračnih masa pokazala je da su zračne mase koje su donijele oborine iznad meteorološke postaje Komiža tijekom razdoblja 2005.-2009. uglavnom pristizale s područja Sjevernog Atlantskog oceana i Norveškog mora. Iako je većina zračnih masa pristigla s već spomenutih područja, ne smijemo zanemariti pritek zračnih masa iz udaljenijih područja, poput hladnog Sibirskog mora, te područja SAD-a.

Tijekom istražnog razdoblja, bez obzira na varijabilnost u godišnjoj količini oborina, većina izvora vlage zabilježeno je na području Jadranskog mora, te Sredozemlja. Lokacije izdizanja vlage utvrđene i na nekim udaljenijim mjestima, poput Biskajskog zaljeva, sjeverozapada Afrike, Kaspijskog jezera, Sjevernog mora itd. Samostalno gledajući, postotak izdizanja vlage na ovim lokacijama je zanemariv, ali na godišnjoj razini daju svoj udio u ukupnom postotku, posebno kada je riječ o izdizanju vlage iznad mora, koja je dominantna nad izdizanjem vlage s kontinenta.

Ovi rezultati u skladu su s prethodnim istraživanjima (npr. Sodemann i sur., 2008a; Baldini i sur., 2010; Sodemann i Zubler, 2010; Krklec i Domínguez-Villar, 2014) koja pokazuju da većina atmosferske vlage proizlazi iz isparavanja iznad oceana i mora. Iako mora i oceani imaju dominantnu ulogu, tijekom ljetnih mjeseci isparavanje iznad kontinenata, odnosno „reciklirana vlaga“ dobiva na važnosti u ukupnom udjelu oborina (npr. Sodemann i Zubler, 2010; Krklec i Domínguez-Villar, 2014).

Analizom unazadnih putanja i identificiranih lokacija izdizanja vlage zraka, utvrđeno je da je udio reciklirane vlage zraka u ukupnoj količini oborina zabilježenoj na meteorološkoj postaji Komiža tijekom 2005. godine iznosio 18%, a tijekom 2006. iznosio je 26,6%. Za 2007. godinu taj udio iznosi 25,8%, za 2008. 22,3%, a za 2009. 46%. Dakle, najmanja količina

padalina i najniži udio reciklirane vlage zraka zabilježeni su tijekom 2007. godine (slijedi ju 2006. godina), a najveća količina padalina, te najveći udio reciklirane vlage zraka zabilježeni su tijekom 2009. godine. Ove trendove ne slijede 2005. i 2008. godina.

7. Zaključci

Analizom rezultata „back trajectories“ analiza (za dane s količinom oborina $>0,5$ mm) možemo zaključiti da je dolazak zračnih masa nad meteorološku postaju Komiža ponajviše zabilježen iz smjera Sjevernog Atlantskog oceana, zatim Sjevernog mora, s područja Sjeverne Afrike, te s nešto hladnijih lokacija poput Sibirskog mora.

U petogodišnjem razdoblju, od 2005. do 2009. godine „moisture uptake“ analize provedene su za 359 dana, u kojima je utvrđeno izdizanje vlage zraka. Većina lokacija u kojima je utvrđen izvor vlage su na području Mediterana i Jadranskog mora. Izvori vlage su utvrđeni i na udaljenijim lokacijama Biskajskog zaljeva, Kaspijskog jezera i sjevernog Maroka.

Analiza godišnje količine oborina i udjela reciklirane vlage zraka u ukupnoj količini oborina zabilježenoj na meteorološkoj postaji Komiža tijekom razdoblja 2005.-2009. pokazala je da je moguće utvrditi vezu između količine oborina i količine reciklirane vlage tijekom 2006., 2007, i 2009. godine, dok istu vezu nije moguće utvrditi za 2005. i 2008. godinu. Ovi podatci pokazuju da je za donošenje točnijih zaključaka o vezi količine oborina i postotka reciklirane vlage zraka potrebna analiza višegodišnjeg niza podataka.

Popis literature

- Abouelmagd A., Sultan M., Milewski A., Kehew A. E., Sturchio N. C., Soliman F., Krishnamurthy R. V. and Curtim E. (2012). Towards a better understanding of palaeoclimatic regimes that recharged the fossil aquifers in North Africa: inferences from stable isotope and remote sensing data. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 329–330, 137–149.
- Baldini L. M., McDermott F., Baldini J. U. L., Fischer M. J. and Möllhoff M. (2010). An investigation of the controls on Irish precipitation $\delta^{18}\text{O}$ values on monthly and event timescales. *Climate Dyn.* 35, 977–993.
- Bojariu, R. and Gimeno, L. (2003). Predictability and numerical modelling of the north Atlantic Oscillation. *Earth-Science Reviews* 63, 145-168.
- Bindoff, N. L et al. in *IPCC Climate Change 2007: The Physical Science Basis* (eds Solomon, S. et al.) (Cambridge Univ. Press, 2007).
- Bowyer, T. W., R. Kephart, P. W. Eslinger, J. I. Friese, H. S. Miley, and P. R. J. Saey, 2013: Maximum reasonable radioxenon releases from medical isotope production facilities and their effect on monitoring nuclear explosions. *J. Environ. Radioact.*, 115, 192–200,
- Breitenbach S. F. M., Adkins J. F., Meyer J. F., Marwan N., Krishna Kumar K. and Haug G. H. (2010). Strong influence of water vapour source dynamics on stable isotopes in precipitation observed in southern Meghalaya, NE India. *Earth Planet. Sci. Lett.* 292, 212–220.
- Chen, B., A. F. Stein, P. Guerrero Maldonado, A. M. Sanchez de la Campa, Y. Gonzalez-Castanedo, N. Castell, and J. D. de la Rosa, 2013: Size distribution and concentrations of heavy metals in atmospheric aerosols originating from industrial emissions as predicted by the HYSPLIT model. *Atmos. Environ.*, 71, 234–244,
- Connan, O., K. Smith, C. Organo, L. Solier, D. Maro, and D. Hébert, 2013: Comparison of RIMPUFF, HYSPLIT, ADMS atmospheric dispersion model outputs, using emergency response procedures, with ^{85}Kr measurements made in the vicinity of nuclear reprocessing plant. *J. Environ. Radioact.*, 124, 266–277,

- Domínguez-Villar, D., Lojen, S., Krklec, K., Baker, A. & Fairchild, I.J. (2015): Is global warming affecting cave temperatures? Experimental and model data from a paradigmatic case study. *Climate Dynamics*. 45, 569–581.
- Draxler R. R., Rolph G. D. 2013. HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) model access via NOAA ARL READY Website (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.
- Draxler, R. R., and A. D. Taylor, 1982: Horizontal dispersion parameters for long-range transport modeling. *J. Appl. Meteor.*, 21, 367–372
- Duplančić Leder T., Ujević T., Čala M. 2004. Duljine obalne crte i površine otoka na hrvatskom dijelu Jadranskog mora određene s topografskih karata mjerila 1:25 000, *Geoadria*, 9/1, 5-32. Zadar.
- Efstathiou, C., S. Isukapalli, and P. Georgopoulos, 2011: A mechanistic modeling system for estimating large-scale emissions and transport of pollen and co-allergens. *Atmos. Environ.*, 45, 2260–2276,
- Escudero, M., A. Stein, R. R. Draxler, X. Querol, A. Alastuey, S. Castillo, and A. Avila, 2011: Source apportionment for African dust outbreaks over the Western Mediterranean using the HYSPLIT model. *Atmos. Res.*, 99 (3–4), 518–527
- Filipčić A. 1998. Klimatska regionalizacija Hrvatske po Köppenu za standardno razdoblje 1961.-1990. u odnosu na razdoblje 1931.-1960. *Acta Geographica Croatica*, 34, 1-15.
- Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophys. Res. Lett.* 33, L08707.
- Gimeno, L., A. Drumond, R. Nieto, R. M. Trigo, and A. Stohl (2010). On the origin of continental precipitation. *Geophys. Res. Lett.* 37, L13804.
- Husnjak S., Perica D., Kušan V., Crević T., Kaučić, D. 2008. Uporabna vrijednost i mogućnost navodnjavanja tla krških polja na otocima Visu i Biševu. *Hrvatske vode* 24, 179-189, Zagreb.
- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Stocker T. F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S. K., Boschung J.,

- Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P. M., eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- 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.
- Krklec K., Lozić S., Perica D. 2012. Neke značajke klime otoka Visa. *Naše more*, 59, 3-4, 148-160.
- Melillo J. M., Richmond T., Yohe G. W. (eds.) 2014. *Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment*. U.S. Global Change Research Program, SAD.
- Miloš B. 1986. Tla sekcije Vis 1, 2, 3 i 4; 1: 50000. Institut za jadranske kulture i melioraciju krša, Sveučilište u Splitu, Split, 1-22.
- Nejašmić, I., Mišetić, R. (2006). Depopulation of Vis Island, Croatia. *Geoadria* 11 (2), 283-309.
- Numaguti A. (1999). Origin and recycling processes of precipitating water over the Euroasian continent: experiments using an atmospheric general circulation model. *J. Geophys. Res.* 104(D2), 1957–1972.
- Sjostrom D. J. and Welker J. M. (2009). The influence of air mass source on the seasonal isotopic composition of precipitation, eastern USA. *J. Geochem. Explor.* 102, 103–112
- Sodemann H., Masson-Delmotte V., Schwierz C., Vinther B. M. and Wernli H. (2008b). Interannual variability of Greenland winter precipitation sources: 2. Effects of North Atlantic Oscillation variability on stable isotopes in precipitation. *J. Geophys. Res.* 113, D12111.
- Sodemann H., Schwierz C. and Wernli H. (2008a). Interannual variability of Greenland winter precipitation sources: Lagrangian moisture diagnostic and North Atlantic Oscillation influence. *J. Geophys. Res.* 113, D03107.
- Sodemann H. and Zubler E. (2010). Seasonal and inter-annual variability of the moisture sources for Alpine precipitation during 1995–2002. *Int. J. Climatol.* 30, 947–961.

- 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*, 2059-2077.
- Stohl, A., Forster, C., Frank, A., Seibert, P. and Wotawa, G. (2005). Technical Note: The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART version 6.2. *Atmos. Chem. Phys.* 5, 2461-2474.
- Stunder, B. J. B., J. L. Heffter, and R. R. Draxler, 2007: Airborne volcanic ash forecast area reliability. *Wea. Forecasting*, 22, 1132–1139
- Xoplaki, E., González-Rouco and Luterbacher, J. (2004). Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics and trends. *Climate Dyn.* 23, 63–78.

Životopis autora

Tomislav Sabljo rođen je 12. 09. 1991. godine. Osnovnu školu pohađao je u gradu Samoboru, te nakon završetka iste, upisao je i završio Opću gimnaziju u Samoboru. Oduvijek se interesirao za biologiju, te za različite prirodne fenomene i samu prirodu. Zbog velike svijesti o nepovoljnoj klimatskoj situaciji, klimatskim promjenama, onečišćenju okoliša, voda i prirodnih dobara, te želji za zaštitu spomenutih i inih resursa, 2010. godine odlučuje se upisati na studij agroekologije na Agronomskom fakultetu u Zagrebu. Osim biologije i klime, veliku pažnju pridaje stranim jezicima, te svakodnevnim aktivnostima poput planinarenja ili sporta.

Preddiplomski studij završava 2013. godine i već iste godine upisuje diplomski studij na svom matičnom fakultetu, usmjerenja agroekologija. Za diplomski rad odlučio se iz predmeta Geomorfologija, zbog zanimanja kako je zapravo naš planet izgrađen i kako današnja promijenjena klima utječe na svakodnevni život ljudi, te željom da se u skorijoj budućnosti poduzmu mjere kako bi se zaštitio naš okoliš i u konačnici naš planet Zemlja.