

ISSN 1849-0700  
ISSN 1330-0083  
CODEN HMCAE7

Hrvatsko meteorološko društvo  
Croatian Meteorological Society

# HRVATSKI METEOROLOŠKI ČASOPIS CROATIAN METEOROLOGICAL JOURNAL

**54/55**

Hrv. meteor. časopis	Vol. 54/55	p. 1-154	ZAGREB	2019/20
----------------------	------------	----------	--------	---------

**HRVATSKI METEOROLOŠKI ČASOPIS**  
**CROATIAN METEOROLOGICAL JOURNAL**

*Izdaje*

**Hrvatsko meteorološko društvo**  
Ravnice 48, 10000 Zagreb  
Hrvatska

*Published by*

**Croatian Meteorological Society**  
Ravnice 48, 10000 Zagreb  
Croatia

*Glavna i odgovorna urednica / Chief Editor*

Vesna Đuričić, Zagreb [djuricic@cirus.dhz.hr](mailto:djuricic@cirus.dhz.hr)

*Zamjenica glavne i odgovorne urednice / Assistant Editor*

Marjana Gajić-Čapka, Zagreb

*Urednički odbor / Editorial board*

Ksenija Cindrić Kalin

Ivan Güttler

Amela Jeričević

Antun Marki

Renata Sokol Jurković

Višnja Vučetić

*Recenzenti / Reviewers*

Alemko Gluhak, Hrvatska

Ivan Güttler, Hrvatska

Valeriy Khokhlov, Ukrajina

Svitlana Krakovska, Ukrajina

Branka Penzar, Hrvatska

Melita Perčec Tadić, Hrvatska

Lidija Srnec, Hrvatska

Nataša Strelec-Mahović, Hrvatska

Ivana Šestak, Hrvatska

Višnja Vučetić, Hrvatska

*Lektura / Proofreading*

Integra

*Korektura / Corrections*

Vesna Đuričić, Hrvatska

*Časopis se referira u / Abstracted in*

Scopus

Geobase

Elsevier/Geoabstracts

Zugänge der Bibliothek des Deutschen Wetterdienstes

Meteorological and Geostrophysical Abstracts

Abstracts Journal VINITI

*Časopis sufinancira / Journal is Subsidized by:*

Ministarstvo znanosti i obrazovanja

*Adrese za slanje radova / Addresses for papers acceptance*

[hmc@meteohmd.hr](mailto:hmc@meteohmd.hr)

[djuricic@cirus.dhz.hr](mailto:djuricic@cirus.dhz.hr)

Časopis izlazi jedanput godišnje

Web izdanje: <http://hrcak.srce.hr/hmc>

Prijelom i tisak: ABS 95

Naklada: 150 komada

Hrvatsko meteorološko društvo  
Croatian Meteorological Society

**HRVATSKI METEOROLOŠKI ČASOPIS**  
**CROATIAN METEOROLOGICAL JOURNAL**

**54/55**

Hrv. meteor. časopis	Vol. 54/55	p. 1-154	ZAGREB	2019/20
----------------------	------------	----------	--------	---------

Znanstveni časopis *Hrvatski meteorološki časopis* nastavak je znanstvenog časopisa *Rasprave* koji redovito izlazi od 1982. godine do kada je časopis bio stručni pod nazivom *Rasprave i prikazi* (osnovan 1957.). U časopisu se objavljuju znanstveni i stručni radovi iz područja meteorologije i srodnih znanosti. Objavom rada u Hrvatskom meteorološkom časopisu autori se slažu da se rad objavi na internetskim portalima znanstvenih časopisa, uz poštivanje autorskih prava

Scientific journal *Croatian Meteorological Journal* succeeds the scientific journal *Rasprave*, which has been published regularly since 1982. Before the year 1982 journal had been published as professional one under the title *Rasprave i prikazi* (established in 1957). The *Croatian Meteorological Journal* publishes scientific and professional papers in the field of meteorology and related sciences.

Authors agree that articles will be published on internet portals of scientific magazines with respect to author's rights.

Doktorska disertacija – sažetak  
D.Sc. Thesis – Summary

## MEĐUGODIŠNJA VARIJABILNOST IZMJENE CO<sub>2</sub> IZMEĐU ŠUME HRASTA LUŽNJAKA (*QUERCUS ROBUR L.*) I ATMOSFERE

Inter-annual variability of CO<sub>2</sub> exchange between pedunculate oak forest  
(*Quercus robur L.*) and the atmosphere

MISLAV ANIĆ

Datum obrane: 23. 1. 2019.

**Sažetak:** Vodena para (H<sub>2</sub>O) i ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>) glavni su atmosferski sastojci koji kontroliraju klimu na Zemlji. Dok sadržaj vodene pare u atmosferi nije direktno pod utjecajem antropogene aktivnosti, količina CO<sub>2</sub> u atmosferi, koja je u konstantnom porastu od početka industrijske revolucije, direktno je uvjetovana antropogenom djelatnošću. Od ukupne antropogene emisije CO<sub>2</sub> 40 % ostaje u atmosferi, dok se preostali postotak emisije CO<sub>2</sub> pohranjuje u oceanima i kopnu. Globalne šume, zajedno s tlom, predstavljaju značajan kopneni ponor ugljika. Procesom fotosinteze šume uzimaju ugljik iz atmosfere te ga ugrađuju u nadzemnu i podzemnu biomasu čime djelomično ublažuju antropogenu emisiju CO<sub>2</sub> te na taj način sudjeluju u regulaciji klime. Globalne šume trenutno pohranjuju otprilike 30 % od ukupne antropogene emisije CO<sub>2</sub>, no moguće zasićenje, zajedno s klimatskim promjenama, doveli su u pitanje postojanost i snagu ponora ugljika u šumskim ekosustavima. Stoga je praćenje produktivnosti globalnih šuma, kao i razumijevanje međugodišnje varijabilnosti godišnjih budžeta ugljika u globalnim šumama, u posljednjih nekoliko godina postalo značajno. Razvitak mikrometeorološke metode kovarijance turbulentnih vrtloga (eng. eddy covariance (EC) method) omogućio je direktno mjerenje tokova ugljika između atmosfere i ekosustava, kao i drugih stakleničkih plinova, te izračun njihovih godišnjih budžeta na razini kompletnog ekosustava.

Istraživanje je provedeno u mladoj (~35 – 44 godina staroj) sastojini hrasta lužnjaka (*Quercus robur L.*) koja je dio 13600 ha velikog šumskog kompleksa bazena rijeke Kupe smještenog otprilike 35 km jugoistočno od Zagreba. Mlada sastojina hrasta lužnjaka bila je u periodu 2008. – 2017. prosječni ponor ugljika u iznosu od  $-319 \pm 30$  gC m<sup>-2</sup> god<sup>-1</sup>. Neto izmjena CO<sub>2</sub> (*NEE*) pokazala je visoku međugodišnju varijabilnost koja je bila uvjetovana okolišnim čimbenicima. Procijenjena neto izmjena CO<sub>2</sub> (*NEE*) razdijeljena je u dva velika toka ugljika u šumskim ekosustavima, bruto primarnu produkciju (*GPP*) te respiraciju ekosustava (*R<sub>ECO</sub>*). Nadalje, *R<sub>ECO</sub>* je razdijeljena u autotrofnu (*R<sub>a</sub>*) i heterotrofnu respiraciju (*R<sub>h</sub>*), a najvažniji tok ugljika u ekosustavu, neto primarna produkcija (*NPP*), određen je oduzimanjem *NEE-a* od heterotrofne respiracije. Procjena neto produkcije šume EC metodom (*NPP<sub>EC</sub>*) uspoređena je s procjenom dobivenom biometrijskom metodom (*NPP<sub>BM</sub>*). Usporedba je pokazala dobro slaganje u rezultatima ( $R^2=0,46$ ), no godišnje sume *NPP<sub>EC</sub>* su u svim godinama bile veće od godišnjih suma *NPP<sub>BM</sub>*. Razlog tome najvjerojatnije leži u činjenici da *NPP* procijenjen EC metodom predstavlja *NPP* cijelog ekosustava, dok *NPP<sub>BM</sub>* ovdje predstavlja samo produkciju drveća te ne uključuje produkciju trava i sitnog korijenja. Prema tome, razlika između dvije nezavisne izmjere *NPP-a* najvjerojatnije je nastala zbog neizmjerene produkcije trava i sitnog korijenja.

**Abstract:** Water vapor (H<sub>2</sub>O) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) are the main atmospheric constituents which are controlling the Earth's climate. The rapid increase in the atmospheric content of CO<sub>2</sub> since the beginning of the industrial revolution is considered as one of the main drivers of the recent climate changes on Earth. Only about 40% of the total anthropogenic emissions of CO<sub>2</sub> remain in the atmosphere, while the rest of the emitted CO<sub>2</sub> is stored in oceans and land. The terrestrial sinks of carbon are global soils and forests. Forests sequester CO<sub>2</sub> from the atmosphere and assimilate carbon into above- and belowground biomass and by that partially offset anthropogenic emission of

CO<sub>2</sub> and participate in a regulation of climate. Currently global forests store approximately 30% of total anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions, however, the potential of forests to act as a carbon sink in the future is uncertain due to possible saturation effect, or negative impact of changed environmental conditions forest productivity. Because of these findings, monitoring of CO<sub>2</sub> exchange between atmosphere and underlying forest ecosystems has gained significant importance. Micrometeorological eddy covariance technique has shown as the most accurate way for direct flux measurement of trace gases, and today it is a widely used standard tool for estimating net ecosystem exchange (*NEE*) of trace gases between the atmosphere and the underlying surface.

Within this research 10-year eddy covariance experiment (2008–2017) was carried out in young pedunculate oak (*Quercus robur L.*) stands (35–44 years old) which are part of the forest complex of the Kupa River basin, about 35 km SW from Zagreb, Croatia. Over the entire study period, Jastrebarsko forest acted as a carbon sink, with an average annual *NEE* of  $-319 \pm 30 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ . Annual *NEE* showed high inter-annual variability which was driven by environmental conditions. Estimated *NEE* was partitioned into gross primary production (*GPP*) and ecosystem respiration (*R<sub>ECO</sub>*). Furthermore, *R<sub>ECO</sub>* was partitioned into heterotrophic (*R<sub>h</sub>*) and autotrophic respiration (*R<sub>a</sub>*). Most important carbon flux in forest ecosystems, net primary production (*NPP*), was estimated by subtracting *NEE* from *R<sub>h</sub>*. For validation of EC measurements, a biometric estimate of the net primary productivity (*NPP<sub>BM</sub>*), which was built on periodic measurement and simple modelling, was compared with *NPP<sub>EC</sub>*. Comparison of *NPP<sub>EC</sub>* and *NPP<sub>BM</sub>* showed good agreement ( $R^2=0.46$ ), although in all years *NPP<sub>BM</sub>* estimate was lower than *NPP<sub>EC</sub>*, with averages of  $680 \pm 88 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$  and  $819 \pm 89 \text{ gC m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ . Lower values of *NPP<sub>BM</sub>* indicate that fine roots and grasses contribution to *NPP*, which were not measured, might have an important contribution to the overall ecosystem *NPP*.

Doktorska disertacija – sažetak  
D.Sc. Thesis – Summary

**OBILJEŽJA VJETRA U SADAŠNJOJ I BUDUĆOJ KLIMI NA TEMELJU  
SIMULACIJA REGIONALNIH KLIMATSKIH MODELA  
ZA ŠIRE PODRUČJE JADRANA**

**Wind characteristics in the present and future climate obtained  
from regional climate models' simulations over broader Adriatic region**

ANDREINA BELUŠIĆ VOZILA

Datum obrane: 21. 6. 2019.

**Sažetak:** Jadran je područje kompleksne orografije stoga predstavlja izazov za realistično simuliranje polja vjetra regionalnim klimatskim modelima (RCM-ima). Analizirani RCM-i uključuju modele CORDEX inicijative s prostornim korakom od  $0,11^\circ$  i  $0,44^\circ$  te model ETH instituta u Zürichu s prostornim korakom od  $0,11^\circ$  i  $0,02^\circ$ . Simulirani prizemni vjetar usporedio se s prizemnim vjetrom standardne mreže kopnenih meteoroloških postaja, s podacima dobivenih pomoću QuikSCAT satelita te s podacima ERA-Interim reanalize za šire područje Jadrana. U svrhu evaluacije koristilo se nekoliko osnovnih (pristranost, standardna devijacija, itd.), izvedenih (mjere uspješnosti) i naprednih (EOF analiza i spektralna analiza) statističkih metoda. Ova analiza je rezultirala procjenom ograničenja u simuliranju tipičnih vjetrovnih režima današnjom generacijom RCM-a. Uspješnijima su se pokazale simulacije s manjim prostornim korakom mreže, osobito u obalnom području i kod ekstremnih brzina vjetra.

Klimatske promjene u prizemnom vjetru odredile su se usporedbom polja strujanja u sadašnjoj i budućoj klimi iz CORDEX simulacija s prostornim korakom od  $0,11^\circ$ . Analizirao se utjecaj izbora RCM-a, rubnih uvjeta i scenarija koncentracije stakleničkih plinova (RCP4.5 i RCP8.5), a rasap među simulacijama je mjera vjerojatnosti određenih promjena. Polje strujanja analiziralo se u smislu promjena u raspodjeli brzina vjetra i u smjeru vjetra duž Jadrana. Dan je fokus na smjerove vjetra koji odgovaraju buri i jugu. Analiza je pokazala da se buduće promjene intenziviraju odabirom jačeg (RCP8.5) scenarija i približavanjem kraju 21. stoljeća. Buduće su promjene često istog reda veličine kao i interkvartilni raspon među simulacijama, međutim postoje naznake da će se broj događaja bure smanjiti duž Jadrana, ali će srednja brzina porasti u sjevernom Jadranu krajem stoljeća. Za jugo je pokazano da broj događaja u srednjem Jadranu raste, a srednja brzina vjetra opada.

Buduće promjene u buri i jugu povezane su s promjenama u strujanju nad Jadranom koristeći podatke o polju tlaka svedenog na srednju morsku razinu te geopotencijalne visine 500 hPa plohe. Razvijen je novi algoritam za određivanje tipova vremena na sinoptičkoj skali nad širim jadranskim područjem. Pokazano je da se broj ciklona nad Jadranom, osobito zimi, smanjuje te su one uglavnom zamjenjene anticiklonalnim strujanjem.

**Abstract:** Due to its complex terrain, the broader Adriatic region represents a major challenge to state-of-the-art RCMs in simulating local wind systems realistically. In the Adriatic region typical winds are Bora (blowing from NE quadrant perpendicular to the Dinaric Alps) and Sirocco (blowing from SE quadrant parallel to the coastline), associated with the interaction between the synoptic atmospheric disturbances passing over the Adriatic and local orography. For the purpose of this study, a multi-model ensemble composed of CORDEX regional climate simulations at  $0.11^\circ$  and  $0.44^\circ$  grid spacing, COSMO convection-parameterizing simulation at  $0.11^\circ$  and a COSMO convection-resolving simulation at  $0.02^\circ$  grid spacing are examined. Furthermore, a moderate (RCP4.5) and a high-end (RCP8.5) GHG scenarios are considered for all available CORDEX simulations, and five different CMIP5 GCMs provide BCs for selected RCMs to quantify the sensitivity to GCM forcing. The multi-model ensemble therefore consists of 19 simulations for each

scenario. The near-surface wind, mean sea-level pressure and geopotential at 500 hPa level over the Adriatic region are examined in the near present-day (P0: 1971–2000) and future climate conditions (P1: 2011–2040, P2: 2041–2070, P3: 2071–2099). Two direction ranges are analyzed in detail on the daily and sub-daily scale: NNE (22,5°) – ENE (67,5°) and ESE (112,5°) – SSE (157,5°), which correspond to Bora and Sirocco directions respectively.

Surface station observations from this region and satellite QuikSCAT data over the Adriatic Sea have, first, been compared against daily output obtained from the available simulations. Moreover, added value in near-surface wind due to the refined grid spacing of RCMs and the influence of particular combinations of regional climate models and global climate models and emission scenarios on the future changes in the near-surface wind field has been explored in detail. Finally, possible links between changes in Bora and Sirocco to changes in synoptic systems (cyclones and anticyclones) are assessed. For this purpose a novel semi-objective method for defining weather types (16 categories) over the entire domain is introduced.

Results disclose that refining the grid spacing to a few km is needed to capture the small-scale wind systems properly. The analysis, further, reveals the strong sensitivity of the climate change signal in the simulated wind flow to (i) the choice of the global climate model that provides the boundary conditions and (ii) the analyzed locations across the Adriatic region. The results of the 21st-century projections indicate that the changes in synoptic activity have an impact on the wind field at the (sub)daily time scale. We found a reduction in the number of Bora days (due to the decrease in cyclonic events) and increase in the number of Sirocco days (due to the increase in anticyclonic events) in northern Adriatic during the cold season. Overall, the mean wind speed during Bora and Sirocco events is reduced, except for Bora in northern Adriatic. For the summer season, we found a large increase in the number of thermally induced flows, which is probably caused by the weakening of the Azores High.



Doktorska disertacija – sažetak  
D.Sc. Thesis – Summary

## TERMOHALINA SVOJSTVA I DINAMIČKI PROCESI U JADRANSKOME MORU SIMULIRANI REGIONALNIM KLIMATSKIM MODELIMA

**Termohaline properties and dynamical processes in the Adriatic Sea  
simulated with regional climate models**

NATALIJA DUNIĆ

Datum obrane: 26. 9. 2019.

**Sažetak:** Tijekom zimskog razdoblja, zbog izloženosti udarima hladne i snažne bure, na sjevernom i južnom Jadranu se stvaraju guste vodene mase, koje utječu na termohalinu cirkulaciju u istočnom Sredozemlju. Stvaranje guste vode u Jadranu utječe i na Jadransko-jonsku bimodalnu oscilaciju (engl. Adriatic-Ionian Bimodal Oscillating System, BiOS), koja određuje termohaline karakteristike Jadrana.

U doktorskom istraživanju se ispituje koliko dobro regionalni oceanski klimatski modeli za Sredozemlje reproduciraju navedene procese kao i termohalina svojstva u Jadranu.

Analizirano je sedam regionalnih klimatskih simulacija modelom NEMOMED. Cilj istraživanja je testiranje različitih modelskih postavki na ponašanje modela pri reprodukciji termohalinih svojstava jadransko-jonskog bazena te njihovih varijabilnosti. Simulacije su verificirane pomoću *in situ* hidroloških podataka prikupljenih na više klimatoloških postaja u razdoblju 1960. – 2012., te pomoću podataka razine mora dobivenih altimetrijskim mjerenjima.

Simulacije spregnutih modela su pokazale bolju sposobnost reprodukcije stvaranja guste vode u Jadranu, s nižim zabilježenim odstupanjima temperature i saliniteta, varijabilnosti te promjena vezane uz BiOS: promjena u cirkulaciji sjevernog Jonskog mora i povezanu dekadsku varijabilnost termohalinih svojstava Jadrana. Simulacije nespregnutih modela koji imaju višu vertikalnu rezoluciju oceanskog modela pokazuju bolju sposobnost reproduciranja svojstava i dinamike Levantinske intermedijarne vode. Upotreba veće rezolucije atmosferskog i oceanskog modela je rezultirala realističnijim prostornim obilježjima procesa stvaranja guste vode u kompleksnom području sjevernog Jadrana. Utjecaj riječnih forsiranja na termohalina svojstva jadransko-jonskog sustava nije izražen. Uključivanje trenda aerosola je poboljšalo reprodukciju promjene u cirkulaciji sjevernog Jonskog mora. Simulacije spregnutih modela u načelu imaju bolju sposobnost reprodukcije stvaranja duboke vode u Jadranu te BiOS-a i svojstava jadransko-jonskog sustava. Stoga je i analizirana simulacija buduće klime Jadrana pomoću potpuno spregnutog atmosfersko-morskog modela NEMOMED za Sredozemlje, pri čemu su pretpostavljena tri uobičajena scenarija emisije stakleničkih plinova (RCP2.6, RCP4.5 i RCP8.5). Projekcije za sva tri scenarija pokazuju porast površinske temperature i saliniteta u Jadranu i jačanje mehanizma BiOS-a do kraja 21. stoljeća, posebice izraženo u scenariju RCP8.5.

**Abstract:** During the winter period, due to exposure of cold and strong bora wind, in Northern and Southern Adriatic dense water masses are formed, which affect the thermohaline circulation of the eastern Mediterranean. The formation of Adriatic dense waters also affects the Adriatic-Ionian Bimodal Oscillating System (BiOS), which determines the thermohaline characteristics of the Adriatic. This doctoral research examines how well the regional ocean climate models designed for the Mediterranean region reproduce these processes as well as the Adriatic thermohaline properties.

In order to quantify long-term changes of oceanographic properties related to the Adriatic-Ionian thermohaline circulation, and to test the performance of climate models with different setup in the basin, seven different regional hindcast simulations based on various configurations of NEMO–Mediterranean versions covering ERA-Interim period (1960–2012) were tested. This

work is also testing the performance of coupled vs. non-coupled modelling approach. The chosen simulations of regional climate models are produced within the framework of the Med-CORDEX initiative ([www.medcordex.eu](http://www.medcordex.eu)), and are differing in their vertical and horizontal resolution, fresh-water load, surface heat fluxes, air-sea interaction, and inclusion or not of the aerosol trend. The objective of this research is to evaluate the reliability of regional climate models for the Mediterranean region to reproduce the Adriatic-Ionian ocean dynamics, through their validation on in situ hydrological data collected at several climatological stations during the period 1960–2012, and through detailed assessment of both Adriatic DWF processes and the BiOS, as well as their multi-decadal variability.

Simulations of coupled models showed better ability to reproduce the formation of AdDW, with lower recorded temperature and salinity biases, better variability and connection with the BiOS: North Ionian Sea circulation change and associated decadal variability of the Adriatic thermohaline properties. Simulations of forced models with higher vertical resolution in the ocean model show better ability to reproduce the properties and the dynamics of Levantine Intermediate Water. The use of higher resolutions in both atmosphere and ocean model resulted in more realistic spatial features of the dense water formation process in the complex area of the Northern Adriatic. The influence of river forcing on the thermohaline properties of the Adriatic-Ionian system is not significantly pronounced. The inclusion of the aerosol trend improved the representation of the circulation regime change in the Northern Ionian Sea (BiOS). In summation, simulations of coupled models are generally showing better ability to reproduce the AdDW formation, the BiOS and the thermohaline properties of the Adriatic-Ionian system. For that reason, the simulation of the future climate of the Adriatic Sea was analyzed using a fully coupled atmosphere-ocean model NEMOMED for the Mediterranean, assuming three common scenarios of the greenhouse gas emissions (RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5). The projections for all three scenarios show an increase in the Adriatic Sea surface temperature and salinity and a strengthening of the BiOS mechanism by the end of the 21<sup>st</sup> century, particularly expressed in scenario RCP8.5.

Doktorska disertacija – sažetak  
D.Sc. Thesis – Summary

## PROGNOZA BRZINE VJETRA UPOTREBOM METODE ANALOGONA NAD SLOŽENOM TOPOGRAFIJOM

Wind speed prediction using the analog method over complex topography

IRIS ODAK PLENKOVIĆ

Datum obrane: 9. 7. 2020.

**Sažetak:** Metoda analogona, koja se koristi za naknadnu obradu produkata numeričkog modela, testirana je za prognoze vjetra na 10 m iznad tla na lokacijama koje pripadaju topografski i klimatološki različitim područjima te uspoređena s metodom koja koristi Kalmanov filtar (KF). Deterministički produkt metode analogona ima veću koreliranost prognoze i mjerenja te manju pogrešku u odnosu na numerički model koji metoda koristi kao ulazni podatak, neovisno o složenosti topografije. Metoda naknadne obrade KF iznimno je uspješna u uklanjanju pristranosti prognoze. Kombinacija metode analogona i KF gotovo je jednako uspješna u uklanjanju pristranosti, pri čemu pokazuje i dodatne prednosti svojstvene metodi analogona.

U obalnom području, karakteriziranom kompleksnom topografijom i učestalim jakim vjetrom, metoda analogona uspješnija je od KF u uklanjanju pogreške disperzije. Dodatno, primjena Kalmanovog filtra u takozvanom prostoru analogona (KFAS) je eksperiment koji je najmanje podložan podcjenjivanju prirodne varijabilnosti vjetra, mjereno standardnom devijacijom. Svi eksperimenti koji koriste analogije poboljšavaju prognoze na vremenskim skalama duljima od jednog dana. Međutim, na skalama kraćima od jednog dana je KFAS najuspješniji eksperiment. Korištenje modela veće rezolucije kao ulazni podatak za metodu analogona doprinosi da prognoza lakše razlikuje kategorije vjetra.

Metoda analogona primijenjena je i na ansambl prognozu numeričkog modela. Pritom je testirano nekoliko različitih konfiguracija metode kroz testove osjetljivosti. Eksperimenti se prvenstveno razlikuju po ulaznim parametrima, tj. po načinu korištenja informacija iz početne ansambl prognoze modela. Rezultati metode analogona uspoređeni su s metodom naknadne obrade koja je bazirana na statistici simuliranih podataka za ansambl prognoze (EMOS). Obje testirane metode naknadne obrade vidno poboljšavaju prognozu ulaznog modela. Pritom je metoda analogona usporediva s metodom EMOS, ili čak i bolja. Dodatno, metoda analogona ostvaruje signifikantno bolji rezultat za prognozu jakog vjetra od početnog modela te metode EMOS. U numeričkom modelu procesi su bolje razlučeni za lokacije smještene na nižoj nadmorskoj visini nego za planinske lokacije. Posljedično, to znači i bolji rezultat nakon naknadne obrade produkata modela te bolji ukupan rezultat za lokacije nižih nadmorskih visina. Općenito, razlika među eksperimentima s različitim konfiguracijama metode analogona manje je izražena. Štoviše, pokazano je da je upravo korištenje sažetih informacija o prognozi ulaznog modela optimalan način da se poboljša točnost prognoze.

**Abstract:** The performance of the analog-based post-processing method is tested in climatologically and topographically different regions, for point-based wind speed predictions at 10 m above the ground, and compared to the baseline Kalman filter (KF) model. This research shows that the deterministic analog-based predictions products using deterministic numerical weather prediction (NWP) model output improve the correlation between predictions and measurements while reducing the forecast error compared to the starting model predictions regardless of the terrain complexity. While the KF based approach generally outperforms the analog-based predictions in the bias reduction, the combination of the KF and analog approach can be similarly successful. In the coastal complex area, characterized by a larger frequency of high wind speed, the analog-based predictions are more successful in reducing the dispersion error than the KF. The applica-

tion of the KF algorithm to the analogs in the so-called analog space (KFAS) is the least prone to the standard deviation underestimation among the analog-based predictions. All analog-based predictions improve prediction of larger than diurnal motions while the KFAS is superior among all analog-based predictions in predicting alternating wind regimes on the time scales shorter than a day. The analog-based predictions better distinguish different wind speed categories in the coastal complex topography by using a higher-resolution model input.

The analog method is also applied to the ensemble NWP. Evaluation of several configurations using various predictor variables is conducted through a set of sensitivity experiments. The results are compared to the ensemble model output statistic (EMOS) baseline model. Results show that both analog-based and EMOS experiments considerably improve the raw model forecast. The analog-based predictions are overall comparable to or even outperform the EMOS. Assessing the post-processing performance for high wind speeds, it is shown that the analog experiments can improve the raw forecast, exhibiting significantly higher skill than the EMOS. The processes at lower altitude stations seem to be better represented by the raw model, which leads to better input forecast to the post-processing and better overall result than for the mountain stations. Generally, the difference between several analog-based experiments is less pronounced. Furthermore, it is demonstrated that the usage of summarized ensemble measures is an optimal way to improve the forecast skill, compared to the other analog-based experiments.

Doktorska disertacija – sažetak  
D.Sc. Thesis – Summary

## METODE ANALIZE TRAJANJA SUŠNIH RAZDOBLJA POMOĆU TEORIJE EKSTREMA

### Analyses of dry spells duration using extreme value distribution

KSENIJA CINDRIĆ KALIN

Datum obrane: 19. 11. 2020.

**Sažetak:** Analiza razdiobe vjerojatnosti trajanja sušnih razdoblja pruža korisnu informaciju za planiranje i upravljanje, osobito u poljoprivrednom sektoru gdje suša uzrokuje najveće štete. Sušna razdoblja ovdje su definirana kao nizovi uzastopnih sušnih dana s dnevnom količinom oborine manjom od zadanog praga (1 mm, 5 mm, 10 mm). Glavni cilj ovog rada je preporučiti metodologiju za procjenu visokih kvantila trajanja sušnih razdoblja. U tu svrhu primjenjene su opća razdioba ekstrema (GEV) i opća Paretova razdioba (GP) na nizove godišnjih maksimalnih sušnih razdoblja, odnosno na nizove premašaja različitih pragova trajanja sušnih razdoblja. Najprije su detaljno ispitane klasične metode procjene parametara razdiobi, metoda maksimalne vjerodostojnosti i metoda linearnih momenata (L–momenti), za dvije meteorološke postaje: Zagreb-Grič i Split-Marjan. Pri tome je analizirana i mogućnost odabira optimalnog praga za konstruiranje nizova premašaja. Pored toga, velik dio rada posvećen je razmatranju mogućnosti primjene bayesovskog pristupa analizi sušnih razdoblja koji je slabo zastupljen u primijenjenim klimatološkim analizama. Pokazano je da klasična primjena metoda za procjenu parametara razdiobe GP dovodi do proturječnih rezultata kad se primjenjuje na diskretne nizove premašaja sušnih razdoblja. Stoga su predložene određene modifikacije, i to kod procjene parametra lokacije razdiobe GP. Rezultati bayesovskog pristupa ukazali su na stabilnost procjena parametara počevši čak i od niskih pragova, dok gubitak podataka upotrebom vrlo visokih pragova može prouzročiti znatne nesigurnosti njihovih procjena. Usporedna analiza godišnjih maksimuma primjenom razdiobe GEV te Gumbelove razdiobe kao njezinog posebnog slučaja, ukazala je da s potonjom razdiobom treba biti oprezan. Naime, Gumbelova razdioba može znatno potcjeniti vrlo duga sušna razdoblja. U radu su nadalje istaknute prednosti bayesovskog pristupa koji je preporučan za daljnju primjenu u teoriji ekstrema u klimatološkoj praksi u Hrvatskoj. Na kraju su procijenjena očekivana trajanja sušnih razdoblja za različite povratne periode (10, 25, 50 i 100 godina) za 131 postaju u Hrvatskoj, a njihova prostorna razdioba kao i osnovna klimatologija analizirane su za sedam regija ukazujujući na najdulja sušna razdoblja u najistočnijim i najjužnijim predjelima Hrvatske. Dobiveni rezultati pružaju jednu od podloga za procjenu rizika od suše.

**Abstract:** Analysis of the probability distribution of dry spell characteristics provides useful information for the planning and management of drought-prone areas, particularly in the agriculture sector in which drought causes the highest economic losses. Here, dry spells are defined as consecutive sequences of days with daily precipitation lower than a predefined amount (1 mm, 5 mm, and 10 mm). The main goal of this study was to propose a method for reliable estimation of expected dry spells durations corresponding to different return periods. To that purpose, the generalized extreme value distribution (GEV) was applied to annual maxima (AM) of dry spells and the generalized Pareto (GP) distribution was applied to the peak-over-threshold (POT) series.

First, the two classical methods for the GEV and GP parameters' estimation were investigated: Maximum likelihood (ML) and L-moments (LMOM) at the two meteorological stations, Zagreb-Grič and Split-Marjan. The given methods are designed for continuous distributions, without taking into account the discrete nature of the data. A possibility to define an optimal threshold of dry spell duration for POT construction was also discussed. Furthermore, a large

part of this study was devoted to the application of extreme value theory on dry spells within the Bayesian paradigm, which has rarely been used in the applied climatological studies.

It was shown that substantial differences occurred in the GP distribution parameters' estimates between the corresponding classical methods after they were applied to dry spells series. A detailed Monte Carlo analysis revealed that the GP location parameter should be appropriately adjusted to apply classical methods for the estimation of the parameters. The Bayesian approach revealed good stability of the GP parameters estimations even from very low thresholds. On the other hand, the data loss caused by choosing very large thresholds ( $> 90^{\text{th}}$  percentile) may result in remarkable uncertainties of the parameter estimates. Furthermore, the results revealed that the GEV model with its heavy tail is always able to yield higher return values than its special case of the Gumbel domain, resulting in more precautionary projections. The advantages of using Bayesian approach were emphasized and it was recommended for the analysis of dry spells in Croatia. Finally, the expected duration of DS associated to different return periods (5, 10, 25, 50, and 100 years) were estimated at 131 meteorological stations. Both, the GEV-AM and GP-POT approaches were applied with Bayesian method for parameters estimation. Spatial distribution of the return values and the general climatology of dry spells were analyzed across seven regions in Croatia revealing the longest DS in the Easternmost and Southernmost regions. The obtained results of this study may serve as a basis for drought risk assessment in Croatia.

Doktorska disertacija – sažetak  
D.Sc. Thesis – Summary

## RAZVOJ I PRIMJENA ZDRUŽENOGA ATMOSFERSKO-KEMIJSKOGA MODELSKOGA SUSTAVA NA PODRUČJE HRVATSKE

Development and application of the coupled atmospheric-chemistry  
modelling system over the republic of Croatia

GORAN GAŠPARAC

Datum obrane: 17. 12. 2020.

**Sažetak:** Doktorski rad rezultat je istraživanja primjene združenih regionalnih atmosfersko-kemijskih modelskih sustava (WRF-Chem, engl. Weather Research and Forecast with chemistry module i EMEP, engl. European Monitoring and Evaluation Programme) na područje Hrvatske. Verifikacija modelskih rezultata provedena je na temelju raspoloživih mjerenja pozadinskih koncentracija lebdećih čestica ( $PM_{10}$ ), prizemnih meteoroloških parametara, radiosondažnih podataka te mjerenja s mjernih stupova s posebnim fokusom na statički stabilne atmosferske uvjete u atmosferi. Cilj istraživanja bio je uspostaviti i validirati združeni atmosfersko-kemijski modelski sustav na područje Hrvatske te odrediti performanse modela tijekom razdoblja povišenih pozadinskih koncentracija  $PM_{10}$ . Utvrđene su prostorno vremenske varijabilnosti pozadinskih koncentracija  $PM_{10}$  na području Europe i istraženi procesi koji doprinose iznimno visokim pozadinskim koncentracijama  $PM_{10}$  s fokusom na istočni dio Europe. Rezultati su pokazali najbolju izvedbu modela na nizinjskim postajama (do 200 m visine), te generalno podcjenjivanje modeliranih koncentracija  $PM_{10}$  za oba modela na svim visinama postaja. Razlozi podcjenjivanja modeliranih vrijednosti koncentracija  $PM_{10}$  dodijeljeni su neodređenosti primijenjenih parametrizacija koji uobičajeno mogu izuzeti neke komponente atmosferskih aerosola te u konačnici podcijeniti ukupnu masu PM. Pokazana je dobra izvedba EMEP modela u simuliranju prizemnog polja brzine vjetra, te WRF-Chem modela u polju temperature zraka. Rezultati WRF-Chem modela dali su znatno niže vrijednosti visine graničnog sloja u odnosu na vrijednosti EMEP modela, pogotovo na područjima gdje su evidentirane epizode povećanih koncentracija  $PM_{10}$ . Mali iznosi brzine vjetra i niske vrijednosti graničnog sloja atmosfere (statički stabilni atmosferski uvjeti), prepoznati su kao glavni mehanizam za "nagomilavanje" koncentracija u jednoj od analiziranih epizoda povećanih koncentracija. Provedeno znanstveno istraživanje doprinosi boljem razumijevanju specifičnih meteoroloških situacija kada se javljaju povećane koncentracije  $PM_{10}$  u zraku. Detaljne analize osiguravaju potrebne informacije o združenim atmosfersko-kemijskim modelskim sustavima koje mogu pomoći u daljnjem razvijanju modela, njihovoj primjeni u stručnim i znanstvenim studijama te procjeni i upravljanju kvalitetom zraka.

**Abstract:** This work is the result of the application of regional-scale air quality models (WRF-Chem, Weather Research and Forecast with chemistry module and EMEP, European Monitoring and Evaluation Programme) in Croatia. The verification of modeling results is performed against available measurements from background air quality and meteorological stations, soundings, and mast tower measurements with a focus on statically stable atmospheric conditions in the atmosphere. The main objective of this research was to establish and validate regional air quality modelling system over Croatia and to determine modeling performance during high pollution episodes. Further on, to identify the spatial and temporal variability of background particulate matter ( $PM_{10}$ ) concentrations across Europe and to investigate processes that contribute to regionally increased PM concentrations with special focus on Eastern Europe. The results showed the best modelling performance at sea-level stations (up to 200 m high) and general underestimation of  $PM_{10}$  concentrations in both models at all station heights. The reasons for underestimating the modelling  $PM_{10}$  concentrations were attributed to uncertainties of used physical and chemical

parametrizations, which can exclude some components of atmospheric aerosols and therefore underestimate the total PM mass. A good performance of the EMEP model in simulating the wind speed and the WRF-Chem model in simulating air temperature was found. The WRF-Chem modelling results gave significantly lower values of planetary boundary layer height (PBLH) in respect to the EMEP model, especially over areas with increased PM<sub>10</sub> concentrations. Low wind speed and PBLH values (statically stable atmospheric conditions) were recognized as the key mechanism for building up of concentrations in one of the analysed high pollution episodes. This research contributes to a better understanding of specific meteorological situations when increased PM<sub>10</sub> concentrations occur. Detailed analyses provides essential information on coupled air quality modeling systems that can help in further model developing, their application in both professional and scientific studies, and air quality assessment and management.



Doktorska disertacija – sažetak  
D.Sc Thesis. – Summary

## MEĐUDJELOVANJE OBALNE CIRKULACIJE ZRAKA I DUBOKE MOKRE KONVEKCIJE NA ISTOČNOJ OBALI JADRANA

**The relationship between deep convection and sea/land breeze circulation  
along the eastern Adriatic coast**

GABRIJELA KEHLER POLJAK

Datum obrane: 18. 12. 2020.

**Sažetak:** Sjeverno-istočni dio Jadrana predstavlja područje s najvećom frekvencijom grmljavinskih oluja u Hrvatskoj te učestalom pojavom smorca duž obale. U ovoj disertaciji provedeno je istraživanje utjecaja združenog djelovanja sinoptičog vjetera (koji je vezan uz određenu sinoptičku situaciju) i smorca na razvoj duboke konvekcije iznad spomenutog područja. Šest slučajeva (C1 – C6) i) odabrana su na temelju postojanja dnevne duboke konvekcije; ii) obilježena dominantnim sinoptičkim strujanjem prema kopnu (sjeveroistočnog i sjeverozapadnog smjera) ili prema moru (jugooistočnog i jugozapadnog smjera) te iii) simulirana numeričkim modelom WRF (na tri (ugnježdene) domene modela, pri čemu je horizontalna rezolucija najmanje domene iznosila 1,5 km). Ukoliko su zabilježene brzine sinoptičkog strujanja bile manje od  $9 \text{ ms}^{-1}$ , dnevni razvoj prizemnog polja vjetera (s pojavom smorca duž obale) proizveo je prostorno zakrivljenu zonu konvergencije, koja se pomicala prema istoku poluotoka. Osim nastale prizemne zone konvergencije, značajan utjecaj na životni vijek i kretanje početnih ćelija Cb-a imala je i advekcija zraaka sinoptičkim vjetrom. Dok je sudar lokalnih fronti s advekcijom zraaka sjeveroistočnoga strujanja uzrokovao pomicanje oluje prema jugu, interakcija zone konvergencije i fronti odredila je sjeverozapadni pomak oluje u slučaju postojanja sjeverozapadnoga sinoptičkog strujanja. Zbog postojanja specifične sinoptičke situacije, životni vijek nastale oluje u slučaju kada je zabilježeno sinoptičko strujanje jugooistočnog smjera je najkraće (s neznatnim utjecajem na razvoj smorca). Za „najtipičniji“ slučaj nastanka konvekcije, sa zabilježenim toplim i vlažnim sinoptičkim strujanjem jugozapadnog smjera, početak i prostorna lokacija nastanka oluje bile su u potpunosti pod utjecajem prizemne zone konvergencije te uzlazne advekcije vlažnog zraaka nad frontom smorca. Stoga je tako nastalo strujanje samo djelomično podržalo međudjelovanje smorca i Cb-a. U drugom dijelu ove disertacije provedena je analiza osjetljivosti simulacija mezoskalnog modela na i) različite postavke modela, ii) topografiju i iii) raspodjelu površinske temperature mora. U tu svrhu odabrana su tri slučaja (C1 – C3) iz prvog dijela ove studije. Prvi skup simulacija dobiven je modificiranjem postavki modela, točnije parametrizacijom mikrofizike i AGS-a. Na drugom skupu simulacija provedena je modifikacija topografije, pri čemu je visina planinskog dijela Istre smanjena na 30 % njihove početne visine. Raspodjela površinske temperature mora preuzeta je iz dva izvora: 1) kao konstatno polje površinske temperature mora iz ECMWF baze podataka te 2) kao promjenjivo polje površinske temperature mora, dobiveno iz geostacionarnih satelitskih podataka. Dobiveni numerički eksperimenti statistički su analizirani putem dva različita pristupa: standardnim statističkim veličinama i analizom momenata slika te je uz pomoć dobivenih rezultata odabrana najoptimalnija kombinacija shema. Rezultati svakog testa su također uspoređeni s mjerenjima, dobivenim na postajama ili iz radarskih podataka. Modifikacijom terena utvrđene su varijacije u nastanku, vremenskom trajanju te količini konvektivne aktivnosti, kao i u razvoju i dimenzijama smorca. Promjena polja površinske temperature mora imala je pak znatan utjecaj na AGS, razvoj turbulentnih tokova, smorca te ćelija Cb-a.

**Abstract:** The northeastern Adriatic is the area with the highest frequency of thunderstorms in Croatia and frequent appearances of sea breeze (SB) along the coast. This study investigates the impact of the combined large-scale wind (associated with particular synoptic conditions) and the

SB on the deep convection development over the NE Adriatic. The six selected cases were (C1–C6) (i) chosen on the basis of a daytime deep convection; (ii) supplemented by one of the dominant large-scale winds with seaward (NE, NW) and landward (SW, SE) directions and (iii) simulated by WRF numerical model (at three (nested) model domains, where the innermost domain involves 1.5-km horizontal grid spacing). The near-surface wind patterns consisted of SBs along the coastline, generated a narrow eastward-moving convergence zone along the area if the large-scale wind was less than  $9 \text{ ms}^{-1}$  (below 500 hPa). Apart from the low-level convergence zone, the advection of large-scale wind influenced the lifetime and movement of the initial Cb cells. While the local front collision with the NE wind advection caused the thunderstorm to propagate southward, the convergence zone and fronts interaction determined the afternoon northwestward storm movement against the NW large-scale wind. Due to particular synoptic background, the thunderstorm event in SE case was the shortest with only a minor impact on the SB. While the origins and location of storm cells were completely controlled by the low-level convergence zone and the upward advection of low-level moisture at the SB front, the most typical convective case with SW warm-wet wind only partially supported the sea breeze–Cb interaction. In the second part of this dissertation the sensitivity of a high-resolution mesoscale atmospheric model to (i) the different model setup, (ii) the model topography and (iii) the sea surface temperature distribution was performed. For this purpose three cases (C1–C3) were selected from the first part of the study. The first set of simulations is conducted by modifying the model setup, microphysics and the boundary layer parameterizations. The second set of simulation was obtained by modification of the topography, where the mountain heights in Istria were reduced to 30% of their initial height. The sea surface temperature distribution has two representations in the model: 1) a constant sea surface temperature field from the ECMWF skin temperature analysis and 2) a varying sea surface temperature field, which is provided by hourly geostationary satellite data. A comprehensive set of numerical experiments is statistically analyzed through two different approaches: by the standard statistical measures and the image moment analysis approach. The results of each model setup are compared with available measurements, which are provided by standard station and radar measurements, and each of these approaches shows optimal combinations of the model schemes. The modified topography exposes variations in the origin, timing and the amount of the convective activity and the evolution and dimensions of sea breezes, while the sea surface temperature variations revealed the effect on the boundary layer and on the evolution of turbulent fluxes, as well as on the sea breeze and cumulonimbus clouds.



## SADRŽAJ CONTENTS

*Pregledni rad  
Review paper*

<p><b>Renko, T.</b> <b>Mikuš Jurković, P.</b> <b>Kalin, L.</b> <b>Hojsak, T.</b> <b>Mokorić, M.</b> <b>Kozarić, T.</b></p>	<p>Sustav upozorenja na opasne vremenske pojave u Sektoru za vremenske i pomorske analize i prognoze Državnoga hidrometeorološkog zavoda The Weather Warning System in Weather and Marine Analysis and Forecasting Sector in Croatian Meteorological and Hydrological Service</p>	3
--	---	---

*Pregledni rad  
Review paper*

<p><b>Vučetić, M.</b></p>	<p>Odstupanja u meteorološkom nazivlju Deviations in meteorological terminology</p>	25
---------------------------	---	----

*Stručni rad  
Professional paperr*

<p><b>El Hadri, Y.</b> <b>Khokhlov, V.</b> <b>Slizhe, M.</b> <b>Sernytska, K.</b></p>	<p>Surface downwelling shortwave radiation flux projections for 2021–2025 in Morocco according to CORDEX-Africa regional climate models Projekcije površinskoga dolaznog kratkovalnog zracenja za razdoblje 2021. – 2025. u Maroku prema CORDEX-Africa regionalnim klimatskim modelima</p>	35
---	--	----

*Stručni rad  
Professional paper*

<p><b>Shevchenko, O.</b> <b>Snizhko, S.</b> <b>Matviienko, M.</b></p>	<p>Human biometeorological assesment of Kharkiv (Ukraine) in the summer season Ocjena ljetnih biometeoroloških prilika u Harkovu (Ukrajina)</p>	43
---	---	----

*Stručni rad  
Professional paper*

<p><b>Bilandžija, D.</b> <b>Martinčić, S.</b></p>	<p>Agroclimatic conditions of the Osijek area during referent (1961–1990) and recent (1991–2018) climate period Agroklimatski uvjeti na području Osijeka tijekom referentnog (1961. – 1990.) i sadašnjega klimatskog razdoblja (1991. – 2018.)</p>	55
---	--	----

*Doktorska dizertacija-sažetak  
D.Sc. Thesis-Summary*

<p><b>Anić, M.</b></p>	<p>Međugodišnja varijabilnost izmjene CO<sub>2</sub> između šume hrasta lužnjaka (<i>Quercus Robur L.</i>) i atmosfere</p>	65
<p><b>Belušić Vozila, A.</b></p>	<p>Obilježja vjetra u sadašnjoj i budućoj klimi na temelju simulacija regionalnih klimatskih modela za šire područje Jadrana</p>	67
<p><b>Dunić, N.</b></p>	<p>Termohalina svojstva i dinamički procesi u Jadranskome moru simulirani regionalnim klimatskim modelima</p>	69
<p><b>Odak Plenković, I.</b></p>	<p>Prognoza brzine vjetra upotrebom metode analogona nad složenom topografijom</p>	71
<p><b>Cindrić Kalin, K.</b> <b>Gašparac, G.</b></p>	<p>Metode analize trajanja sušnih razdoblja pomoću teorije ekstrema Razvoj i primjena združenoga atmosfersko-kemijskoga modelskoga sustava na područje Hrvatske</p>	73 75
<p><b>Kehler Poljak, G.</b></p>	<p>Međudjelovanje obalne cirkulacije zraka i duboke mokre konvekcije na istočnoj obali Jadrana</p>	77

*Otvoreni stupci*

<p>Znanstveno-stručni skup Meteorološki izazovi 7 – sažeci Prikaz knjige: Primijenjena znanstvena istraživanja u Državnom hidrometeorološkom zavodu In memoriam: Tomislav Dimitrov (7. 5. 1930. – 14. 5. 2020.) In memoriam: dr. sc. Josip Juras (22. 6. 1936. – 7. 10. 2019.)</p>	79 147 150 151
--	-------------------------