KRATKI SAŽETCI



Povezanost čovjeka s vremenom i njegova svakodnevna ovisnost o meteorološkim uvjetima neprestano raste, osobito u doba klimatskih promjena i sve češćih i intenzivnijih ekstremnih vremenskih (ne)prilika. Zbog toga se povećava i važnost pravovremene i pouzdane vremenske prognoze na svim vremenskim skalama – od nekoliko sati i dana unaprijed, sve do sezonske i godišnje prognoze.

Ciljevi skupa su: • analiziranje mogućnosti unaprjeđenja proizvoda meteorološke struke, posebice prognoze vremena; • razmjena znanja i najnovijih rezultata znanstvenih istraživanja iz raznih područja meteorologije: sinoptičke meteorologije, numeričkog modeliranja, klimatologije, primijenjene meteorologije, zaštite okoliša i održivog razvoja; • jačanje komunikacije znanstvene zajednice s korisnicima meteoroloških podataka i produkata, općom javnošću i medijima i • aktivno promicanje i popularizacija meteorologije.

Očekivani rezultati skupa uključuju • jačanje interdisciplinarne suradnje meteorologa s korisnicima iz različitih područja društvenih i gospodarskih sektora te • podizanje svijesti o važnosti kvalitetne i kontinuirane komunikacije među svim relevantnim dionicima.

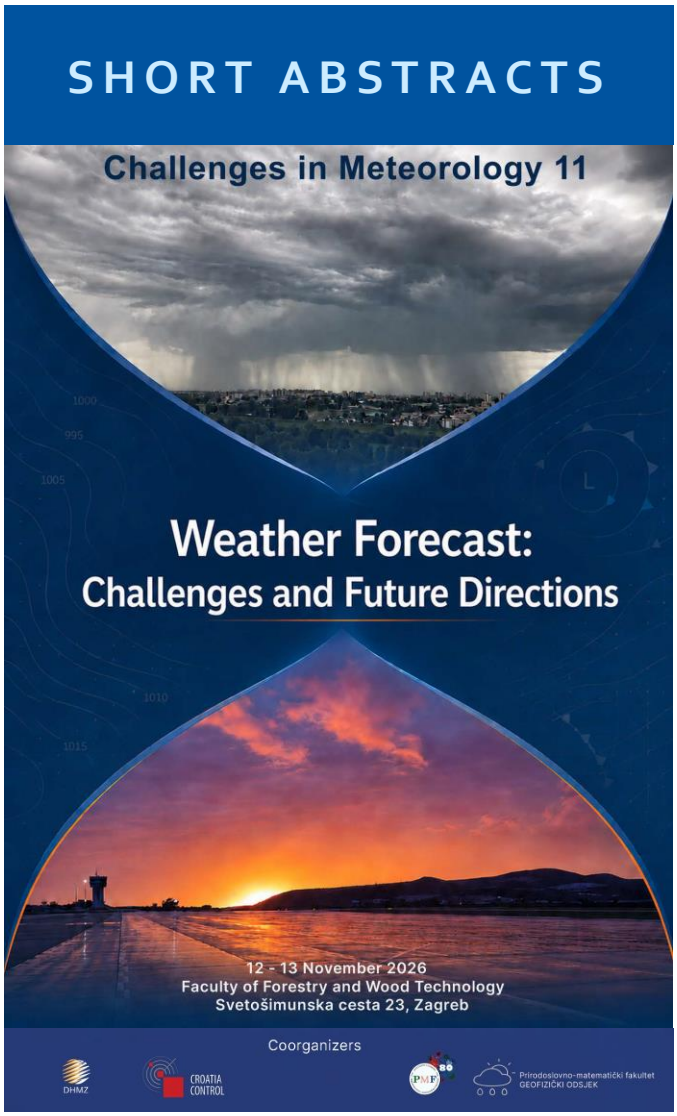
Pozvani predavači su: Ivan Smiljanić (EUMETNET, Darmstadt, Njemačka), Branislava Lalić (Sveučilište Novi Sad, Srbija), Višnjica Vučetić (HMD, Hrvatska), Iris Odak (DHMZ, Hrvatska).

Pokrovitelji: Ministarstvo znanosti, obrazovanja i mladih, Grad Zagreb

Sponzor: Fakultet šumarstva i drvne tehnologije

Podržava: Europsko meteorološko društvo

Skup je otvoren za sve korisnike i pružatelje meteoroloških informacija.



The connection between humans and weather, as well as our daily dependence on meteorological conditions, is constantly increasing, especially in this era of climate change and increasingly frequent and intense extreme weather events. Consequently, the importance of prompt and reliable weather forecasts is growing, across all time scales – from nowcasting to daily prediction, up to seasonal and annual forecasting.

The conference objectives are: • discussing ways in which meteorology can improve its products, especially weather forecasts, with the aim of ensuring safety and smooth continuation of human activities; • exchanging knowledge and the latest scientific achievements in the fields of synoptic and general meteorology, numerical modelling, climatology, applied meteorology, environmental protection and sustainable development; • strengthening communication between the scientific community and users of meteorological data and products, the general public and the media and • actively promote and popularize meteorology.

The expected outcomes of the conference include • strengthening interdisciplinary cooperation between meteorologists and users from various social and economic sectors and • raising awareness of the importance of quality and continuous communication among all relevant stakeholders.

Invited speakers are Ivan Smiljanić (EUMETSAT, Darmstadt, Germany), Branislava Lalić (University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Serbia), Višnjica Vučetić (HMD, Croatia), Iris Odak (DHMZ, Croatia)

Under the auspices of: Ministry of Science, Education and Youth, City of Zagreb

Sponsor: Faculty of Forestry and Wood Technology

Supported by: European Meteorological Society.

The meeting is open to all users and providers of meteorological information.

PREDAVANJA
PRESENTATIONS

ULOGA I ZNAČAJ MTG SATELITA U PRAĆENJU OPASNIH VREMENSKIH POJAVA

IVAN SMILJANIĆ

EUMETSAT
Eumetsat Allee 1, 64319 Darmstadt, Njemačka

Ivan.Smiljanic@external.eumetsat.int

Dolazak Meteosat Treće Generacije (MTG) označava prekretnicu u meteorološkom daljinskom istraživanju i prognoziranju vremena u realnom vremenu (nowcasting). Zahvaljujući znatno višoj prostornoj i vremenskoj rezoluciji te novim instrumentima poput slikovnog sustava Flexible Combined Imager (FCI) i Lightning Imager-a (LI) za praćenje munja, MTG omogućuje dosad neviđenu detaljnost u praćenju razvoja konvektivnih oluja i brzih atmosferskih procesa.

Ovo predavanje pruža pregled ključnih inovacija koje MTG donosi u operativni rad meteorologa, s naglaskom na rano otkrivanje i praćenje opasnih vremenskih pojava poput grmljavinskog nevremena, tuče i jakog udara vjetra. Raspravljat će se o tome kako kontinuirano praćenje iz svemira unapređuje preciznost sustava ranog upozoravanja, smanjuje vrijeme reakcije te premošćuje jaz između opažanja i numeričkih modela za prognozu vremena.

Ključne riječi: daljinsko istraživanje, Meteosat Treće Generacije (MTG), nowcasting, opasne vremenske pojave

ASSESSMENT OF IASI ALL-SKY INFRARED RADIANCE ASSIMILATION IN THE C-LAEF ALPEADRIA ENSEMBLE SYSTEM

SUZANA PANEŽIĆ[1] and BENEDIKT STRAJNAR[2]

[1]Croatian Meteorological and Hydrological Service
Ravnice 48, 10000 Zagreb, Croatia
[2]ARSO, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana, Slovenia
panezic@dhz.hr

Satellite radiance observations have become an essential component of numerical weather prediction, particularly over regions where conventional observations are sparse. Hyperspectral infrared sounders provide detailed information on atmospheric temperature and humidity, but operational data assimilation systems have traditionally been restricted to clear-sky observations. Cloud-affected observations are usually rejected because of the difficulty of accurately representing clouds in numerical weather prediction models. As a result, a considerable amount of potentially useful information is not used, especially in dynamically active regions.

Recent developments in radiative transfer modeling, cloud representation, and observation-error modeling have made it possible to assimilate cloud-affected, or all-sky, infrared radiances. Positive impacts have been demonstrated in operational global forecasting systems, while several studies have shown promising results in regional research data assimilation systems. However, the implementation of all-sky infrared radiance assimilation in operational regional systems has been limited.

An evaluation of all-sky infrared radiance assimilation in the operational Convection-permitting Limited-Area Ensemble Forecasting system (C-LAEF) AlpeAdria jointly developed and operated by GeoSphere Austria, the Slovenian Environment Agency (ARSO), and the Croatian Meteorological and Hydrological Service (DHMZ) will be presented. The implementation follows the methodology recently introduced by the Japan Meteorological Agency for hyperspectral infrared sounders and serves as preparation for the future assimilation of observations from the InfraRed Sounder (IRS) aboard the Meteosat Third Generation (MTG-S1) satellite, Europe's first hyperspectral infrared sounding instrument in geostationary orbit.

The experiments were performed using the 3D-EnVar member of the C-LAEF AlpeAdria data assimilation system during a one-month period from 15 January to 15 February 2025. Radiance observations from the IASI instruments aboard the Metop-B and Metop-C satellites were used as a proxy for future IRS observations because of the similar characteristics of the two instruments. A total of 44 IASI channels were assimilated, of which four humidity-sensitive channels were treated using the all-sky methodology, while the remaining channels were assimilated under clear-sky conditions. The implementation includes a cloud-dependent observation error model, extensive quality control, and a variational bias correction adapted for all-sky infrared radiance assimilation.

The presentation will describe the implementation of the all-sky methodology in the operational C-LAEF AlpeAdria data assimilation system and present initial results from the evaluation period. The impact on analyses and short-range forecasts will be discussed, together with the practical challenges encountered during the implementation. The work represents an important step towards the future operational assimilation of MTG-IRS observations in the C-LAEF AlpeAdria system, as well as the operational ALADIN configuration at DHMZ.

Key words: NWP, data assimilation, all-sky, satellite data, ensemble

OPERATIVNA VREMENSKA PROGNOZA U DRŽAVNOM HIDROMETEOROLOŠKOM ZAVODU

KLARA SEVERIĆ, MATEA ŠTIBUHAR i TOMISLAV KOZARIĆ

Državni hidrometeorološki zavod
Ravnice 48, 10000 Zagreb, Hrvatska
kseveric@dhz.hr

Prezentacija u obliku kratkog filma daje uvid u rad operativne vremenske prognoze u Državnom hidrometeorološkom zavodu (DHMZ), radnom okruženju u kojem se meteorolozi prognostičari u dežurstvima gotovo neprekidno susreću s različitim izazovima. Raspon tih izazova iz dana u dan sve je veći. Povećavaju se zahtjevi javnosti i medija koji sve češće posežu za različitim, ponekad i nepoznatim izvorima meteoroloških informacija te pritom koriste dramatične i senzacionalističke naslove. Prisutni su i tehnički izazovi održavanja svakodnevnih operativnih smjena i ispunjavanja brojnih korisničkih zahtjeva, kao i nagli porast količine meteorološkog materijala koji je potrebno pratiti i interpretirati u stvarnom vremenu. U taj proces sve više ulaze i alati temeljeni na umjetnoj inteligenciji.
Dodatni izazov predstavljaju ekstremni vremenski događaji koji postaju sve češći i intenzivniji, poput izraženog grmljavinskog nevremena, obilne oborine ili dugotrajnih toplinskih valova, čineći posao prognostičara još zahtjevnijim.

Operativna dežurstva u prostorima središnjice DHMZ-a u Zagrebu svakodnevno obuhvaćaju izradu tekstualnih i grafičkih vremenskih prognoza, upozorenja na opasne vremenske pojave, radijske govorne izvještaje te posebne vremenske prognoze za različite javne i privatne korisnike. Pritom je obuhvaćen vremenski raspon od vrlo kratkoročnih prognoza, preko kratkoročnih i srednjoročnih pa sve do dugoročnih prognoza. One su same po sebi poseban stručni izazov jer se ne predviđaju precizne vrijednosti temperature zraka i količine oborine u pojedinom danu, već se temelje na trendovima i očekivanim odstupanjima u odnosu na klimatološki prosjek.

Kroz film će biti prikazan jedan radni dan u prognostičkoj operativi, od ranih jutarnjih sati do večeri. Dežurni prognostičari organizirani su u četiri različite smjene svaki dan u godini koje se razlikuju prema trajanju i opisu radnih zadataka. Na taj se način građanima, službama, medijima i drugim korisnicima osigurava kontinuirana dostupnost vremenske prognoze i upozorenja na opasne vremenske pojave.

Izrada subjektivne vremenske prognoze započinje analizom prošlog i trenutačnog stanja atmosfere te se nastavlja procjenom njezina budućeg stanja na temelju objektivne numeričke prognoze. No najvažniji, često i presudni koraci u izradi prognoze proizlaze iz iskustva prognostičara i međusobnih konzultacija, koje često uključuju i stručnjake izvan prognostičke operative. Upravo se na taj način stvara dodatna vrijednost konačnim prognostičkim produktima.

Poseban izazov predstavljaju upozorenja na opasne vremenske pojave. Za razliku od većine subjektivnih prognostičkih produkata, sustav upozorenja zahtijeva kontinuiran razvoj kroz periodičko osvježavanje kriterija i metoda rada, unaprjeđenje programskog sustava te jasnu i pravodobnu komunikaciju prema javnosti i nadležnim službama. Prognoza koja nije prenesena jasno, pravodobno i razumljivo, osobito u slučajevima opasnih vremenskih pojava, neće ispuniti svoju osnovnu svrhu: zaštitu ljudskih života i imovine te donošenje kvalitetnih odluka u svakodnevnom životu. Sve to dodatno naglašava potrebu za stručnim kadrom spremnim za timski rad u okruženju koje nikada nije isto i ne miruje te pokazuje koliko su znanje, iskustvo i odgovornost prognostičara važni za sigurnost društva u cjelini.

Ključne riječi: subjektivna prognoza, prognostičar, upozorenja na opasne vremenske pojave, operativni rad, DHMZ

NAPREDAK PROGNOZE VREMENA ZA ZRAKOPLOVSTVO

JADRAN JURKOVIĆ, VINKO ŠOLJAN i NEVIO BABIĆ

Hrvatska kontrola zračne plovidbe
Rudolfa Fizira 2, 10410 Velika Gorica, Hrvatska
jadran.jurkovic@crocontrol.hr

Prognoze vremena za zrakoplovne korisnike standardizirane su na svjetskoj i europskoj razini. Glavni korisnici su pilotsko osoblje, planeri letova, planeri protoka zračnog prometa, korisnici u zračnim lukama, civilne i vojne službe i drugi. Koristeći prognozu vremena, prilagođavaju planove leta mijenjajući rute ili vremena planiranih letova te im je stoga prognoza bitna za osnovnu djelatnost, čime se povećava efikasnost i ekonomičnost. Tijekom desetljeća, zahtjevi i očekivanja od vremenske prognoze postali su sve veći, kao i potreba prilagodbe zahtjevima korisnika za dodatnim produktima. Usluge zrakoplovne meteorologije u Hrvatskoj uspjele su pratiti europske trendove omogućujući dodatne produkte, ali i kvalitetniju prognozu kroz nekoliko pravaca razvoja.

U posljednjih deset godina u Hrvatskoj se značajno povećala dostupnost meteoroloških mjerenja – od DHMZ-ovih prizemnih na kopnu i moru, do daljinskih, posebno radarskih mjerenja, ali i podnicomjera i vjetrovnih presječnika. Dodatno, u zračnim lukama, novi AWOS sustavi mjerenja poboljšali su dostupnost mjerenja i povećali broj senzora. Mala revolucija u mjerenjima omogućila je bolje ulazne parametre za numeričke modele, ali i prognostički sustav u kojem je prognostičarima omogućena kvalitetnija analiza i dijagnoza vremena nad područjem Hrvatske i okolice.

U Hrvatskoj kontroli zračne plovidbe (HKZP) prognostičari rade na znatno boljim radnim stanicama koje omogućuju integraciju modela i mjerenja. Nove kamere u zračnim lukama i na rutama omogućuju praćenje kretanja oblaka u bližoj okolici zračnih luka. Dodatno su dostupne nove vizualizacije podnicomjera, radara i satelita treće generacije (MTG). Također, značajno se i sustavno ulagalo u ljudske potencijale edukacijom prognostičara internim seminarima, vanjskim tečajevima i stručnim konferencijama te edukacijom s korisnicima u kojoj se produbljuje razumijevanje potreba zrakoplovnih korisnika. Razvoj operativnih numeričkih modela (npr. ALADIN, ECMWF, ICON) i postprocesiranih produkata omogućio je sve bolju i pouzdaniju prognostičku sliku. Poseban izazov i dalje ostaje prognoza rijetkih događaja – od iznimnih grmljavinskih oluja u sve toplijim ljetima, do orkanskih epizoda bure i danas sve rjeđih snježnih epizoda u sve toplijim zimama. Prognoze se i dalje izrađuju u standardnim, ali i novim prognostičkim produktima (eGAFOR, CBCF i ATMF) koji nisu postojali prije 10 godina. U najavi za idućih pet godina su i drugi novi formati prognoza i mjerenja prilagođeni strojno lakšoj obradi (AMOIS i AMFIS) s korisničke strane.

Promjene kvalitete prognostičkih produkata za zrakoplovstvo teško je dokazati za sve meteorološke produkte, primjerice brifinge, ali i produkte koji su se mijenjali tijekom godina. S obzirom na prostorni raspored zračnih luka u Hrvatskoj i jednaki format tijekom niza godina, možemo pokazati promjene verifikacijskih pokazatelja prognoza na zračnim lukama TAF (Terminal aerodrome forecast). Kod većine meteoroloških parametara može se jasno pokazati napredak u produktima za korisnike. To se posebice odnosi na prognozu konvekcije ili prognozu udara vjetra na zračnim lukama, što je posljedica kumulativnih ulaganja u ljudske resurse, tehnologiju, mjerenja i prognostički sustav te poznavanje korisnika. Ulaganja u dosadašnji razvoj obvezuju na daljnji razvoj u idućim godinama.

Ključne riječi: prognoza vremena, HKZP, napredak, verifikacija prognoza

DESIGNING BETTER WEATHER FORECASTS: THE IMPORTANCE OF CONSISTENCY

ALICE LAKE

Met Office
Met Office, EX1 3PB, Exeter, UK
alice.lake@metoffice.gov.uk

Weather forecasting is entering a period of rapid change as artificial intelligence (AI) forecasting systems move from research into operational use. Much of the discussion surrounding these developments has focused on forecast skill and computational efficiency. However, for many users, the value of a forecast depends not only on its accuracy but also on how effectively forecast information supports decision-making. Raw numerical weather prediction (NWP) or AI model output is rarely used directly. Instead, post-processing plays a critical role in translating model guidance into products that are meaningful, interpretable and actionable for a wide range of users.

This presentation examines one particularly important, but often poorly defined, aspect of forecast quality: consistency. Users frequently describe wanting forecasts to be “consistent”, yet the term is used to refer to multiple distinct properties, including physically plausible relationships between variables, coherent spatial patterns, realistic evolution through time, stability between forecast updates, and agreement across different forecast products. Without a shared understanding of these concepts, it can be difficult for scientists, forecasters and users to communicate effectively about forecast requirements or to evaluate the success of new forecasting approaches.

The presentation introduces a framework for describing different types of forecast consistency and discusses how common post-processing techniques can affect them. While post-processing often improves forecast accuracy and usability, different approaches preserve different forms of consistency and may introduce trade-offs between competing desirable properties. Understanding these trade-offs is increasingly important as forecast systems continue to evolve and as new products are developed to support sectors ranging from transport and energy to emergency response and public weather services.

The work aligns closely with two important challenges facing the meteorological community: improving forecast products to better support decisions that affect safety and the smooth continuation of human activities, and strengthening communication between the scientific community and users of meteorological information. By providing a clearer language for discussing forecast behaviour and user requirements, the framework aims to support more effective dialogue between forecast developers, operational meteorologists and forecast users, ultimately helping to ensure that weather information is both scientifically robust and fit for purpose.

Finally, the presentation considers how these questions may evolve in an increasingly AI-focused forecasting landscape. Historically, many aspects of forecast consistency were inherited naturally from physics-based forecasting systems. As AI-based approaches become more widespread, these assumptions may no longer hold. This raises important questions about trust, uncertainty communication and the future role of post-processing. The presentation argues that understanding and communicating forecast consistency will become increasingly important as meteorological services adapt their products and practices to meet the opportunities and challenges presented by AI.

Key words: forecast consistency, statistical post-processing, ensemble forecasting, forecast uncertainty, decision-ready forecasts, forecast communication, forecast products, user requirements

OD JEDNADŽBI DO UMJETNE INTELIGENCIJE: NOVO POGLAVLJE ALADIN-A

IRIS ODAK

Državni hidrometeorološki zavod
Ravnice 48, 10000 Zagreb, Hrvatska
odak@dhz.hr

Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) se 1995. priključio tadašnjem ALADIN konzorciju i time započeo dugogodišnju suradnju na razvoju numeričke prognoze. Svakodnevni predoperativni proračuni numeričke prognoze počeli su krajem 2000., a puna operativa pod nazivom ALADIN/HR u ožujku 2002. Od 2021. međunarodna se suradnja nastavlja u okviru ACCORD-a, konzorcija 26 euro-mediteranskih nacionalnih meteoroloških službi koji je povezao dotadašnje ALADIN, LACE i HIRLAM zajednice radi zajedničkog istraživanja i razvoja modeliranja na konvektivnoj skali. Tijekom tih trideset godina stručni boravci i razmjena znanja gradili su domaću stručnost, a stručnjaci DHMZ-a sudjelovali su i u razvoju zajedničkog koda, uključujući dinamiku, fizikalne procese poput turbulencije i asimilaciju podataka.

U središtu sustava računalne prognoze ALADIN-HR nalazi se numerički model s fizikalnim paketom ALARO-1. Trenutačno su operativne konfiguracije numeričkih modela HR40, razlučivosti 4 km, i HR20, razlučivosti 2 km, koje imaju različite, dopunske uloge; u razvoju je i HR13. Njihovi izlazi daju prostornu prognozu niza meteoroloških elemenata nad Hrvatskom. Uz uobičajena polja poput temperature zraka, vjetra i količine oborine, sustav računa i specifičnije produkte, primjerice vrstu oborine, vidljivost i radarsku reflektivnost. Rezultati sustava ALADIN-HR već su poznati korisnicima aplikacije *meteo.hr* kroz trodnevne karte, meteograme i druge prognostičke prikaze. U projektu *KlimProPos* počinje razvoj ALISA-e, novog web-sučelja za prikaz prognoza i API-ja za strojnu razmjenu podataka, koji će omogućiti njihovo napredno korištenje.

Danas ALADIN-HR kao računalni prognostički sustav obuhvaća više od numeričke jezgre temeljene na fizikalnim jednadžbama: modelski izlazi ostaju njegov temelj, no pojedini se produkti nadopunjuju dodatnim metodama, kao na novim interaktivnim meteogramima. Na odabranim lokacijama prognoze temperature zraka i vjetra prilagođavaju se metodom analogona, koja aktualnu modelsku situaciju uspoređuje sa sličnim povijesnim situacijama i koristi pripadajuća mjerenja, u prosjeku smanjujući ukupnu pogrešku. Za prognozu količine oborine metoda susjedstva uzima u obzir njezinu izrazitu prostornu promjenjivost. U prvih nekoliko sati statistička kratkoročna prognoza, koja koristi izlaze numeričkog modela i radarska mjerenja, služi za korekciju numeričke prognoze količine oborine. Uz količinu, meteogrami prikazuju i ML procjenu vjerojatnosti da će oborina pasti.

Uz redoviti izračun determinističke prognoze ALADIN-HR-a, DHMZ u suradnji s GeoSphere Austria i ARSO-om iz Slovenije, unutar ACCORD-a razvija i ansamblski sustav C-LAEF AlpeAdria, operativan od ljeta 2026. Temelji se na modelu AROME, a na mreži razlučivosti 1 km daje probabilističku procjenu nesigurnosti prognoze, koja može pridonijeti ranijem i točnijem prepoznavanju opasnih meteoroloških pojava.

Računalna prognoza razvija se dalje kroz pojedine komponente, ali i kao sustav u kojem su postojeći pristupi već našli svoje uloge kroz verifikaciju i operativno iskustvo. I dalje su prisutni brojni izazovi, posebno kod vrlo lokalnih procesa i ekstrema. Uz brz razvoj AI-ja nude se brojna rješenja, no važno je temeljito i kritički procijeniti gdje i za koje zadatke nove metode unapređuju prognozu. Upravo je to jedan od ključnih zadataka razvoja pouzdanog sustava računalne prognoze.

Ključne riječi: ALADIN-HR; numerička prognoza vremena; ACCORD; ansambl prognoza; naknadna obrada podataka; metoda analogona; strojno učenje

PROBABILISTIC POINT-BASED MACHINE-LEARNING POST-PROCESSING OF PRECIPITATION FORECASTS IN CROATIA

IVAN VUJEC and IRIS ODAK

Croatian Meteorological and Hydrological Service
Ravnice 48, 10000 Zagreb, Croatia
vujec@dhz.hr

Numerical weather prediction (NWP) models have been crucial for modern weather forecasting for many years. In addition, physics-based ensemble prediction systems (EPS) provide probabilistic forecast information over the entire model domain. Although the skill of NWP models continues to improve, forecast errors can still be substantial. Physical EPS can help tackle the uncertainty but are extremely computationally demanding. Further improvements and uncertainty quantification are often achieved through post-processing deterministic NWP or physical EPS using statistical and machine learning (ML) techniques, particularly at locations where observations are available. This is especially efficient when used to generate probabilistic forecasts from deterministic NWP model output. In this way, probabilistic information can be obtained using relatively simple ML models, without relying exclusively on computationally expensive EPS models.

Accurate but also reliable probabilistic precipitation forecasts are important for communicating forecast uncertainty and supporting weather-sensitive decision-making. At Croatian Meteorological and Hydrological Service (DHMZ), precipitation post-processing is currently being developed and evaluated with a focus on probabilistic precipitation amount forecasting. Regional operational precipitation forecasts are currently obtained mainly from deterministic NWP models, and DHMZ products do not directly provide probabilistic information. A successful ML-based probabilistic forecast could therefore provide added value without requiring substantially greater computational resources or a more powerful supercomputer.

Neural-network models in a current setup are trained using predictors from regional deterministic ALADIN and global ECMWF IFS forecasts. Different model configurations are investigated, including the use of predictors at the forecast hour of interest independently as well as adding information from neighboring forecast hours. ML models trained on the full dataset are compared with models trained separately for different accumulation periods. The target variable is the probability of exceeding 0.1 mm of precipitation at 45 individual observation sites in Croatia. Forecasts are evaluated using the Brier score, reliability, and sharpness, and are compared with probabilities derived directly from the ECMWF ensemble prediction system (IFS ENS).

The machine-learning post-processing generally improves forecast reliability and achieves lower Brier scores than the raw ensemble probabilities for most forecast lead times, while IFS ENS tends to produce sharper but more overconfident forecasts. The results demonstrate the potential of relatively simple neural-network post-processing methods for producing skillful point-based precipitation probabilities. They also illustrate the challenges that can arise when testing different predictor sets, model configurations, and training strategies when developing ML-based post-processing systems in general for operational forecasting.

Key words: probabilistic forecast, machine learning, post-processing, precipitation forecasts

FORECASTING METEOROLOGICAL TSUNAMIS

IVICA VILIBIĆ[1] and JADRANKA ŠEPIĆ[2]

[1]Ruđer Bošković Institute, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, Croatia
[2]University of Split Faculty of Science, Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Croatia
ivilibic@irb.hr

Meteorological tsunamis, or meteotsunamis, are atmospherically driven long ocean waves within the tsunami frequency band. They represent an ocean hazard that can affect coastal regions, threaten human safety in various ways, and cause substantial damage. Meteotsunami research has been conducted by numerous research groups worldwide, addressing processes ranging from their generation in the atmosphere and resonant energy transfer to the sea, to the modulation of ocean waves by bathymetry and their eventual coastal impact. One of the remaining challenges is to develop a reliable meteotsunami forecasting and early warning system. So far, there have been a few implementation attempts, however reliable meteotsunami forecast is difficult to achieve, primarily because of the high complexity and sensitivity of the governing processes, particularly those involving sub-kilometre atmospheric dynamics and their influence on resonance intensity.

Here, we present a timeline of the development of meteotsunami forecasting systems and their architectures, including the only operational system currently in existence, on the Balearic Islands, managed by the Spanish State Meteorological Agency (AEMET).

The *rissaga* (the local term for a meteotsunami) early warning system in the Balearic Islands has been operational since 1985. For many years, it was based primarily on a qualitative assessment of synoptic atmospheric patterns known to be associated with meteotsunamis. Over the past decade, this qualitative approach has been supplemented by BRIFS (the Balearic Rissaga Forecasting System), which consists of a high-resolution coupled atmosphere–ocean numerical modelling system. Nevertheless, evaluations of both operational approaches indicate a systematic underestimation of the strongest and most destructive meteotsunami events. Similar performance has been reported for other prototypes of forecasting systems, including the Adriatic Sea and Coast (AdriSC) modelling suite, which has been developed for the Adriatic Sea and was run, in non-operational mode, for several years. Moreover, forecasting systems based on high-resolution atmosphere–ocean models require substantial high-performance computing resources, making them computationally expensive. Cost-effective forecasting systems based on machine learning have also exhibited a similar limitation, namely, an underestimation of meteotsunami intensity. This limitation may arise from the nature of the machine-learning training process, which relay both on synoptic-scale atmospheric fields as predictors, and on previously measured highly destructive events which might be scarce.

Indeed, if approaches based on synoptic-scale atmospheric fields systematically underestimate meteotsunami intensity, while even kilometre-scale atmospheric models are unable to adequately reproduce the intensity, propagation speed, and spatial extent of the meteotsunamigenic disturbances to which meteotsunamis are highly sensitive, it is reasonable to question whether such approaches alone can provide the basis for reliable meteotsunami warning systems. It is therefore necessary to incorporate mesoscale observations into forecasting systems, such as real-time sea level, air pressure and wind measurements, weather-radar reflectivity measurements or satellite imagery. In this context, we discuss potential directions for the future development of meteotsunami forecasting and early warning systems.

Key words: meteotsunamis, forecast

IDEALIZIRANE NUMERIČKE SIMULACIJE UTJECAJA OROGRAFIJE NA OBORINU

MARIN BELAMARIĆ

Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek
Horvatovac 95, 10000 Zagreb, Hrvatska

marin.belamaric@gfz.hr

Ovaj rad bavi se orografskom oborinom. Riječ je o modifikaciji količine oborine pod utjecajem reljefa. Tako modificirane količine oborine određuju snježni pokrov, vodne resurse i vegetaciju na širem području. Iako je fenomen često proučavan, neka od otvorenih pitanja vezana su uz najjednostavnije, idealizirane slučajeve. To su pitanja postojanja praga u širini ili visini od kojeg se fenomen aktivira, kao i visine na kojoj dolazi do njegova eventualnog zasićenja. Problemu se pristupa na sljedeći način.

U početku se razvija linearna, analitička teorija slijedeći pristup prikazan u prijašnjoj literaturi. Radi se usporedba rezultata numeričkog modela Meso-NH s linearnim rezultatima. Zatim se model Meso-NH primjenjuje na situacije u kojima jednadžbe gibanja nije opravdano linearizirati. Rezultati pokazuju da se fenomen orografske oborine aktivira od visine planine 500 m, međutim razlika u stopi oborine između širine planine od 7,5 km i 1 km iznosi cijeli red veličine. Istraživanje ukazuje da je širina planine ključni parametar, iako precizan odgovor na ovo pitanje u radu nije dan budući da se u svakom eksperimentu mijenja i širina i visina planine, a konstantnim se drži njihov omjer. Stopa oborine je maksimizirana za planinu visine 2000 m, dok je za 3000 m tek neznatno manja. Te rezultate treba uzeti u kontekstu zadanih relativnih širina planina. Detaljne analize u radu pokazuju da smanjenje stope količine oborine na planini visine 3000 m u odnosu na planinu visine 2000 m vjerojatno nije posljedica visine eksplicitno, nego širine. Advekcija hidrometeora igra ključnu ulogu i uvelike objašnjava spomenutu pojavu. U nekim slučajevima rezultati se značajno razlikuju ovisno o korištenoj shemi. Kvalitativne aspekte gibanja je moguće vrlo dobro objasniti linearnom teorijom planinskih valova. Sheme iz modela Meso-NH pokazuju manjkavosti, uključujući padanje oborine u formi solike i tuče u situacijama u kojima to nije fizikalno očekivano.

Ključne riječi: orografska oborina, numeričko modeliranje

GRANICA PREDVIDLJIVOSTI VREMENA

ENDI KERESTURI

Državni hidrometeorološki zavod
Ravnice 48, 10000 Zagreb, Hrvatska
keresturi@dhz.hr

Pitanje granice do koje možemo pouzdano predvidjeti vrijeme jedno je od najzanimljivijih pitanja moderne znanosti. Razvoj numeričkog prognoziranja vremena u drugoj polovici 20. stoljeća započeo je velikom debatom između tradicionalnih statističkih metoda, metoda analogona i numeričke prognoze vremena, otvarajući temeljno pitanje: je li uz savršen model i dovoljno točna mjerenja moguća beskonačna predvidljivost vremena? Odgovor na to pitanje pružio je Edward Lorenz kroz svoja revolucionarna istraživanja determinističkog kaosa. Koristeći pojednostavljeni trodimenzionalni model konvekcije i uočivši ekstremnu osjetljivost na neznatno promijenjene početne uvjete, Lorenz je srušio dotadašnje determinističke ideale i otkrio kaos. Prezentacija objašnjava pojam determinističkog kaosa kroz geometriju i fraktalnu strukturu Lorenzova "čudnog" atraktora, pokazujući zašto u kaotičnom sustavu približno poznavanje sadašnjosti ne jamči približno predviđanje budućnosti. Razmatra se i ključna razlika između jednostavnih modela, kod kojih preciznija mjerenja neograničeno produljuju prognozu, i kompleksnijih višeskalnih modela koji posjeduju nepremostivu intrinzičnu granicu predvidljivosti zbog brzog rasta i kaskadnog prijenosa pogrešaka s malih skala na velike.

Drugi dio predavanja fokusira se na procjenu granice determinističe predvidljivosti u stvarnoj atmosferi. Kroz povijesne modele, suvremene koncepte trostupanjskog rasta pogreške – gdje su vlaga i konvektivna nestabilnost identificirani kao glavni pokretači brzog gubitka predvidljivosti – te analizu visokodimenzionalnih atraktora i skala gibanja, pokazuje se da je deterministička granica predvidljivosti sinoptičkih sustava čvrsto ograničena na oko 2 do 2,5 tjedna. Na kraju, govori se kako ansambl prognoze vremena, trenutno najjači alat moderne meteorologije u borbi s ovim problemom, ipak mogu pomaknuti tu granicu.

Ključne riječi: NWP, kaos, Lorenz, leptir

EVALUATION OF LSTM-BASED POST-PROCESSING OF OPERATIONAL NWP FORECASTS AT DHMZ

JAKOV LOZUK and IRIS ODAK

Croatian Meteorological and Hydrological Service
Ravnice 48, 10000 Zagreb, Croatia

jlozuk@dhz.hr

Long Short-Term Memory (LSTM) is a type of recurrent neural network capable of capturing temporal dependencies, making it well suited for time series forecasting and post-processing of Numerical Weather Prediction (NWP) forecasts.

In this study, an LSTM neural network is applied as a post-processing tool to reduce NWP forecast errors. Currently, post-processing at the Croatian Meteorological and Hydrological Service (DHMZ) relies on an analog-based method, which identifies historically similar forecasts within a training dataset and uses the corresponding observations to reduce systematic forecast errors. One of the advantages of LSTM is that, once trained, it can be applied to new, unseen locations, generating forecasts for the entire forecasting window simultaneously rather than predicting each lead time independently.

In this study, we investigate how different LSTM training strategies affect post-processing performance. First, we compare a single model trained using data from all available stations against station-specific models trained independently for each station. Second, we examine the impact of the target variable by comparing models trained to predict the meteorological variable directly with models trained to predict the corresponding NWP forecast error. Finally, we assess the transferability of the LSTM approach by training models on a subset of stations and evaluating their performance on previously unseen stations.

The analysis is conducted for three key meteorological variables: air temperature, wind speed, and wind gusts. By evaluating different model configurations and training strategies, this study aims to identify the most promising approaches for operational implementation and assess the limitations of LSTM-based post-processing through case studies of recent high-impact weather events.

Key words: post-processing, LSTM, analog method, Croatia

OD PROGNOZE DO UPOZORENJA: ULOGA METEOROLOŠKIH UPOZORENJA, *METEOALARMA* I *SRUUK*-A

KATARINA KATUŠIĆ i MATEA ŠTIBUHAR

Državni hidrometeorološki zavod
Ravnice 48, 10000 Zagreb, Hrvatska
kkatusic@dhz.hr

U današnjem svijetu prognoza vremena nije samo informacija o tome hoće li sutra padati kiša ili kolika će biti najviša temperatura zraka. Klimatske promjene u pravilu donose intenzivnije vremenske prilike, zbog čega se povećavaju potrebe za pravodobnim upozoravanjem na opasne vremenske pojave. Meteorološka prognoza stoga ima sve važniju ulogu u zaštiti života i zdravlja ljudi te imovine i infrastrukture.

Izdavanje upozorenja složen je proces koji uključuje procjenu vjerojatnosti ostvarenja pojave, njezin očekivani intenzitet i prostornu rasprostranjenost. Međutim, suvremeni pristup upozoravanju sve više se usmjerava na moguće posljedice određenih vremenskih događaja. Nije više dovoljno samo upozoriti na pojavu, nego pružiti informaciju koja će omogućiti pravovremenu pripremu i poduzimanje odgovarajućih mjera kako bi se spriječile ili barem ublažile negativne posljedice opasnih vremenskih pojava. Upravo je to važna spona između vremenske prognoze i konkretnih odluka koje donose građani, nadležne službe i institucije.

Jedan od alata za informiranje javnosti o opasnim vremenskim pojavama je **MeteoAlarm**, platforma koja objedinjuje upozorenja na opasne vremenske pojave nacionalnih meteoroloških, u pojedinim državama i hidroloških službi Europe. Razvijena je u okviru mreže europskih nacionalnih meteoroloških i hidroloških službi (EUMETNET), a u funkciji je od 2007. godine. Kao predstavnik hrvatske nacionalne meteorološke i hidrološke službe, Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) dio je EUMETNET-a te izdaje upozorenja za područje Hrvatske. Nakon složene i opsežne pripreme, upozorenja za kontinentalni dio Hrvatske postala su dostupna na MeteoAlarmu 2009. godine, dok su obalna upozorenja uvedena 2016. godine. Od studenog 2024. upozorenja se izdaju do 72 sata unaprijed, a u budućnosti se planira produljenje razdoblja upozoravanja na 96 sati. Upozorenja koja su prikazana na toj platformi dolaze direktno od nacionalnih službi koja ih izdaju te ih MeteoAlarm ne mijenja.

Kako bi upozorenja bila što jednostavnija široj javnosti, koristi se sustav boja sličan semaforu. Zelena označava da vrijeme nije opasno, žutom se upozorava na potencijalno opasne vremenske pojave, narančasta se odnosi na opasne pojave, dok je crvena, najviša razina upozorenja kojom se upozorava na vrlo opasne vremenske pojave. Takav sustav u očima javnosti omogućava brzo prepoznavanje razine upozorenja i potiče pravodobnu reakciju korisnika.

Iskorak u širenju upozorenja u Hrvatskoj predstavlja **Sustav za rano upozoravanje i upravljanje krizama (SRUUK)**. Riječ je o dodatnom komunikacijskom kanalu koji omogućuje slanje upozorenja izravno na mobilne telefone osoba koje se nalaze na ugroženom području. Na taj se način građane direktno obavještava o opasnostima koje prijete te mjerama koje je potrebno poduzeti radi zaštite života i smanjenja šteta.

Daljnji razvoj sustava upozoravanja donosi nove izazove. Jedan od glavnih je prijelaz s kriterija koji se prvenstveno temelje na klimatologiji prema kriterijima koji uzimaju u obzir očekivane posljedice opasne vremenske pojave. Na taj način upozorenja će biti prilagođenija stvarnom riziku za stanovništvo, infrastrukturu i gospodarstvo, jer neće biti nužno temeljena samo na učestalosti događaja, nego i na njegovom potencijalnom utjecaju.

Ključne riječi: DHMZ, MeteoAlarm, SRUUK, prognoza, upozorenja na opasne vremenske pojave

PROSTORNA VERIFIKACIJA PROGNOSTIČKIH PODRUČJA GRMLJAVINSKIH OLUJA

NEVIO BABIĆ, JADRAN JURKOVIĆ i VINKO ŠOLJAN

Hrvatska kontrola zračne plovidbe
Ulica Rudolfa Fizira 2, 10410 Velika Gorica, Hrvatska
nevio.babic@crocontrol.hr

Tijekom ljetnih mjeseci, prisustvo grmljavinskih ćelija (Cumulonimbus, CB) može značajno promijeniti tok zračnog prometa kroz hrvatski zračni prostor, koji je sve opterećeniji iz godine u godinu. Stoga su prognoze CB područja važne za upravljanje protokom zračnog prometa (ATM). Na europskoj razini, organizacija EUMETNET pruža jedinstven proizvod, *Cross-Border Convection Forecast (CBCF)*, prema Eurocontrolu kao korisniku i koordinatoru zračnog prostora. Prognoza se koristi pri planiranju tokova zračnog prometa, kako bi se optimiziralo obilaženje rasprostranjenih CB-eva te minimizirale kumulativne minute kašnjenja letova. CBCF se izrađuje od svibnja do listopada za europsko područje te vrijedi za ukupno pet trosatnih razdoblja između 06 i 21 UTC (Universal Time Coordinated). Prognostičari u svakoj državi istodobno izrađuju prognostičke (FCST) poligone na temelju matrice rizika koja prikazuje vjerojatnost i konvektivni način organizacije (izolirani ISOL, grupirani CLST ili rasprostranjeni WSPR). Osim CBCF-a, Meteorološki ured u Zagrebu (MWO) u Hrvatskoj kontroli zračne plovidbe (HKZP) izrađuje sličnu internu ATM prognozu (ATMF) koja pokriva samo šire područje Hrvatske, vrijedi tijekom cijelog dana i izdaje se također u trosatnim intervalima. U svrhu verifikacije FCST poligona nacrtanih na CBCF i ATMF kartama, razvili smo metodologiju verifikacije motrenih (OBS) poligona CB-eva različitih stupnjeva organizacije (ISOL, CLST, WSPR).

Za potrebe takve verifikacije FCST poligona oslanjamo se isključivo na podatke o detekciji munja u vremenskoj rezoluciji od 1 minute. Kako bismo definirali OBS poligone na nepristran i objektivan način, primjenjujemo HDBSCAN (Hierarchical Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) i K-Means metode, popularne algoritme nenadziranog strojnog učenja. Budući da se i ovaj algoritam oslanja na skup opcionalnih parametara, pokazat ćemo osjetljivost konačnih verifikacijskih metrika na odabir tih parametara. S jedne strane prikazujemo rezultate verifikacije u tradicionalnom parametarskom prostoru definiranom pokazateljima preciznosti (precision) i odziva (recall). S druge strane, verifikaciju FCST poligona prikazujemo i pomoću Diceova koeficijenta sličnosti (DSC), koji se, za razliku od preciznosti i odziva, može promatrati kao objedinjena mjera kvalitete koja uzima u obzir područja i OBS i FCST poligona.

Preliminarni rezultati verifikacije ukazuju na postupno poboljšanje kvalitete prognoze kako se organiziranost konvektivnog moda povećava od ISOL prema WSPR. Iako su WSPR događaji najrjeđi, upravo oni najviše utječu na nesmetani protok zračnog prometa, stoga je njihovo pravovremeno prognoziranje od najveće važnosti. Obzirom da se metoda direktne usporedbe OBS i FCST poligona pokazala neprikladnom za ISOL organizaciju zbog male površine OBS poligona, u tom slučaju smo pokazali bolji performans verifikacijskih metrika koje se odnose na optimiziranje veličine FCST ISOL poligona u odnosu na broj OBS ISOL poligona obuhvaćenih FCST poligonom.

Ključne riječi: konvekcija, verifikacija, grmljavinske oluje, zračni promet

SVRHA BIOMETEOROLOŠKE PROGNOZE – MOŽE LI POMOĆI DA SE PRILAGODIMO PROMJENAMA U ATMOSFERI?

LIDIJA SRNEC, SARA IVASIĆ i IVANA HAVRLE KOZARIĆ

Državni hidrometeorološki zavod
Ravnice 48, 10000 Zagreb, Hrvatska
lidija.srnec@dhz.hr

U travnju 2003. godine Državni hidrometeorološki zavod je izradio i distribuirao prvu biometeorološku prognozu za grad Zagreb. Dvije godine kasnije, započelo se s izradom biometeorološke prognoze za cijelu Hrvatsku.

Preduvjet za samu izradu biometeorološke prognoze su znanstvena istraživanja koja su pokazala kako različite vremenske situacije u atmosferi utječu na opću populaciju, ali i na pojedine ciljane skupine. Iako se većina ljudi dovoljno brzo prilagodi na trenutne atmosferske uvjete, izdvajaju se meteoropati koji na pojedine tipove vremena reagiraju s pojavom određenih zdravstvenih tegoba. U istim ili sličnim situacijama kod različitih skupina kroničnih bolesnika tegobe od kojih inače pate budu jače izražene.

Upravo iz tog razloga, svrha biometeorološke prognoze je da se osjetljive skupine ljudi pravovremeno upozori na buduće vremenske situacije u atmosferi i kako da se od njih zaštite.

Ključne riječi: biometeorološka prognoza, meteoropati, zdravlje, istraživanja

INDEKS OVISNOSTI O EKSTREMIMA (EDI): VIŠE OD ALATA ZA VERIFIKACIJU RIJETKIH DOGAĐAJA?

IRIS ODAK, SARA ANĐELA PERIĆ i JAKOV LOZUK

Državni hidrometeorološki zavod
Ravnice 48, 10000 Zagreb, Hrvatska
saperic@dhz.hr

Verifikacija prognoze ključna je za ocjenu uspješnosti numeričkog prognostičkog modela, osobito kada se kategoričke verifikacijske mjere primjenjuju na događaje vrlo različitih učestalosti. Konvencionalne verifikacijske mjere često pokazuju izraženu ovisnost o klimatološkoj vjerojatnosti, što ograničava njihovu interpretabilnost za rijetke, ali visokoutjecajne pojave.

Ovaj rad ispituje primjenjivost raznih kategoričkih verifikacijskih mjera kroz cijeli raspon učestalosti događaja, fokusirajući se pritom na Peirceovu mjeru vještine (PSS) te na mjere razvijene za verifikaciju rijetkih događaja – indeks ovisnosti o ekstremima (EDI) i njegovu simetričnu inačicu (SEDI). Tradicionalne mjere poput kritičnog indeksa uspjeha (CSI/TS) i pravične ocjene prijetnje (ETS) te simetrična mjera ovisnosti o ekstremima (SEDS) u analizi su zadržane radi dodatnog konteksta. PSS, EDI i SEDI isključivo su funkcije vjerojatnosti detekcije događaja (POD) i vjerojatnosti lažne detekcije događaja (POFD). Ponašanje mjera najprije se sustavno ispituje kroz teorijske scenarije konstruirane kao putanje kroz prostor POD–POFD, pri čemu svaka putanja mijenja jedno strukturno svojstvo tablice kontingencije – točnost prognoze, učestalost događaja ili raspodjelu pogrešaka, dok je veličina uzorka fiksna kako bi se odgovor mjera izolirao od učinka veličine uzorka.

Mjere se potom primjenjuju na operativnim prognozama brzine vjetra iz dviju konfiguracija modela ALADIN – HR20 i HR40, s dostupnošću satnih podataka do 72 sata unaprijed. Verificirani su kontrolirani podaci srednje 10-minutne brzine vjetra izmjerene na 10 automatskih mjernih postaja DHMZ-a tijekom 2023. godine, podijeljenih prema njihovim dominantnim vjetrovnim režimima na postaje sa slabim i postaje s jakim vjetrom. Rezultati dobiveni analizom kategorija podijeljenih prema Beaufortovoj ljestvici, kao i analizom kontinuiranog niza pragova prekoračenja pokazuju očekivanu ovisnost PSS-a o klimatološkoj vjerojatnosti, ali i da EDI i SEDI ostaju informativni šire od svoje izvorne namjene za rijetke događaje – uz zadržavanje ograničenja svojstvenih kategoričkim mjerama općenito, poput nedefiniranosti na rubovima kontingencijske tablice, gdje se pokazuje da ograničena statistička procjenjivost pri malom broju opažanja nije isto što i ograničena teorijska primjenjivost mjere. Na vrlo učestalom kraju spektra EDI ostaje osjetno viši od SEDI-ja i PSS-a zbog svoje asimetrične konstrukcije, dok se prema rijetkom kraju spektra sve tri mjere postupno približavaju i naposljetku opadaju kao odraz stvarnog pogoršanja omjera POD-a i POFD-a, a ne degeneracije same mjere. Usporedba dviju konfiguracija modela pokazuje da prosudba o boljoj konfiguraciji ovisi o vjetrovnom režimu i odabranom pragu, te da ne postoji jedinstven odgovor. Štoviše, EDI i SEDI ponekad daju suprotan poredak modela zbog razlike u simetriji komplementa, čime se otkriva operativno relevantna razlika između tih dviju mjera.

Zaključno, nijedna mjera nije univerzalno najbolja, stoga mjere treba birati sukladno svrsi i kontekstu, te ih popratiti klimatološkom vjerojatnošću i veličinom uzorka, uz vrijednosti POD-a i POFD-a, koje daju uvid u razlog zašto se pojedine mjere ili poredak modela razilaze. Ipak, primjetno je da EDI i SEDI mogu biti više od alata za verifikaciju rijetkih događaja, što im je izvorna namjena.

Ključne riječi: verifikacija, kategoričke mjere, numerička prognoza vremena, rijetki događaji, brzina vjetra, EDI

CIKLONE TROPSKIH OBILJEŽJA NA JADRANU I NUMERIČKA ANALIZA CIKLONE IZ SIJEČNJA 2023. GODINE

ANA FAZINIĆ i KRISTIAN HORVATH

Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek
Horvatovac 95, 10000 Zagreb, Hrvatska

afazinic.geof@pmf.hr

Ciklona tropskih obilježja, još zvana i mediteranski uragan ili *medicane* ciklonalni je sustav koji se javlja u Sredozemlju, a karakteriziraju ga svojstva tropske ciklone poput spiralnih oblaka oko vedrog i mirnog „oka“, simetrična struktura te topla jezgra koja se proteže do gornje troposfere. Iako je riječ o rijetkoj pojavi, koja se u Sredozemlju javlja prosječno jedan do dva puta godišnje, zbog njezina razarajućeg karaktera te pratećeg orkanskog vjetra i bujičnih poplava važno je poznavati procese razvoja kako bi se takvi sustavi mogli pravovremeno prognozirati.

Da bi se dobilo jasnije razumijevanje ciklonalne aktivnosti u našim područjima, prvi je put napravljen sustavan pregled mediteranskih uragana nad Jadranskim morem. Izdvojeno je osam slučajeva mediteranskih uragana koji su se u nekom trenutku svoje putanje našli u Jadranu. Većina je nastala u jesen i zimi, a niti jedan od navedenih ciklonalnih sustava nije nastao u Jadranu, nego su u to područje došli prelaskom preko središnjeg ili južnog dijela Apeninskog poluotoka ili ulaskom kroz Otrantska vrata. U analiziranim slučajevima Jadran je područje kasnije faze razvoja, prolaska ili raspada *medicanea*. Za sve slučajeve napravljena je sinoptička analiza kojom je pokazano da su, za razliku od tropskih uragana, visinski dinamički procesi jedan od ključnih čimbenika razvoja *medicanea* u Jadranu.

Poseban fokus stavljen je na slučaj ciklone tropskih obilježja iz siječnja 2023. godine, za koju je napravljena mezoskalna analiza numeričkim modelom. Konstruirana je njezina putanja, a s pomoću dijagrama faznog prostora ciklona (CPS dijagrama) prikazana je evolucija njezinih karakteristika, poput simetričnosti i tople jezgre. U početnoj fazi razvoja *medicane* je pokazivao karakteristike izvantropske ciklone, s hladnom jezgrom i asimetričnom strukturom. Istoga dana razvila se topla sekluzija; sustav postaje simetričan, a jezgra donje troposfere se zagrijava. Prelaskom preko Apeninskog poluotoka simetrija sustava se privremeno gubi, ali jezgra u donjem sloju ostaje topla. Idućeg dana ciklona je nastavila put duž Jadrana u smjeru sjeverozapada, gdje je došlo do razvoja tople jezgre u cijeloj troposferi te je sustav prema svim parametrima dijagrama ušao u fazni prostor mediteranskog uragana. Kao simetričan sustav s toplom i vedrom jezgrom duž cijele troposfere, *medicane* se nastavio kretati Jadranom sve do urušavanja strukture i konačnog raspada.

Napravljena je i numerička simulacija s isključenim površinskim tokovima topline, kojom je pokazan važan utjecaj procesa prijenosa topline iz mora u atmosferu na razvoj i životni ciklus analiziranog mediteranskog uragana. Pokazano je da bez dijabatičkih utjecaja *medicane* iz 2023. godine ne bi doživio svoju potpunu tranziciju u ciklonu tropskih karakteristika, odnosno mediteranski uragan. CPS dijagrami potvrđuju da bi u donjoj troposferi došlo do nastanka tople sekluzije, ali bez tokova ciklona nije dosegnula svoj maksimalni intenzitet te skupila dovoljno energije da prijeđe Apeninski poluotok i uđe u Jadran. Rezultati provedene sinoptičke i numeričke analize ukazali su na to da je razvoj mediteranskog uragana iz 2023. godine bio posljedica istovremenog djelovanja baroklinih i dijabatičkih procesa povezanih s izmjenom topline između mora i atmosfere.

Ključne riječi: ciklona, mediteranski uragan, tropska obilježja, CPS dijagrami, sinoptička i numerička analiza

EUROPEAN SEVERE WEATHER DATABASE (ESWD): AN OVERVIEW WITH A FOCUS ON CROATIA

TANJA RENKO, PIETER GROENEMEIJER, THILO KÜHNE, IGOR LASKOWSKI, GABRIEL STROMMER and THOMAS SCHREINER

European Severe Storms Laboratory
Bräunlichgasse 6a/6, 2700 Wiener Neustadt, Austria
tanja.renko@essl.org

Severe thunderstorms, accompanied by large hail, severe wind gusts, tornadoes and heavy rainfall, are among the most important weather hazards in Europe and can cause damage amounting to several billion euros in individual years. Many of these phenomena are very local and may not be fully captured by standard meteorological observing networks. Reliable information about where and when such events occurred, their intensity and their impacts is therefore important for research, climatological studies, risk assessment and the verification of forecasts and warnings. At the same time, individual severe convective events such as strong and violent tornadoes and very large hail can be relatively rare within a single country, but are much more common when Europe is considered as a whole. These challenges highlighted the need for a systematic pan-European approach to severe weather documentation and led to the initiative to create a common European database. The European Severe Weather Database (ESWD) was launched in 2004 to collect detailed and quality-controlled information on severe weather events across Europe in a common format. It later became one of the core activities of the European Severe Storms Laboratory (ESSL), which was formally established in 2006 and celebrates its 20th anniversary this year.

The ESWD includes reports of severe wind, tornadoes, large hail, heavy rainfall, damaging lightning, lesser whirlwinds, heavy snowfall, ice accumulation and avalanches. Reports contain information on the location and time of an event, if available its intensity and impacts, as well as the sources used. A quality-control system distinguishes newly submitted reports from those that have been checked, confirmed or fully verified. Reports can also be updated when new or better information becomes available.

Since its beginnings, the ESWD has grown into a database containing more than half a million records. These include recent observations as well as historical events reconstructed from old newspapers, archives and other documentary sources. ESWD data have been used in approximately 400 scientific publications and for applications including climatological studies, hazard and risk assessment and forecast and warning verification.

This contribution will provide a short overview of the ESWD, including the criteria for different event types, the quality-control procedure and the information available in the database. Special attention will be given to reports from Croatia. Their distribution among different event types and over time will be presented, together with a selection of notable recent and historical events. For tornadoes, the ongoing re-evaluation of historical intensity ratings using the International Fujita (IF) Scale will also be briefly addressed.

Key words: European Severe Weather Database (ESWD), severe convective storms, severe weather, Croatia, quality control, historical severe weather, International Fujita (IF) Scale

ANALYSING SUMMER HOT AND DRY COMPOUND EVENTS AND THEIR AGRICULTURAL IMPACTS IN EUROPEAN LOWLANDS

PETRA FRITZ, ANNA KIS and RITA PONGRÁCZ

ELTE Eötvös Loránd University, Institute of Geography and Earth Sciences, Department of Meteorology, Pázmány P. sétány 1/A, H-1117 Budapest, Hungary

fritzpetra@student.elte.hu

One of the most severe consequences of climate change is the increasing frequency and intensity of extreme summer weather events worldwide. According to the Copernicus Climate Change Service (C3S), the summer of 2024 was the hottest on record in Europe, the warming trend is strongly reflected in national observations, too. Just two years prior, the summer of 2022 ranked as the second hottest, accompanied by extreme drought in Central/Eastern Europe that caused severe agricultural damage. Recent data further confirms this alarming trend: for instance, according to the Hungarian Meteorological Service, June 2026 was the second hottest June in Hungary, and the hottest since 1901 in the central parts of the Great Hungarian Plain. The biggest threat to agriculture is posed not merely by heat or lack of precipitation alone, but by complex extreme weather events – multivariate compound events – where these two factors occur simultaneously.

The purpose of this study is to conduct spatial and temporal analyses of these hot and dry compound events between 1971 and 2025. The initial focus area of the research was Hungary, which was subsequently expanded to include other European plain regions: Svealand (Sweden), the Finnish Lakeland (Finland, Russia), the Pannonian Plain (Hungary, Romania, Croatia, Slovenia, Slovakia, Ukraine), the Paris Basin (France), and the Po Valley (Italy). These selected regions enable the comparison of various climate types, namely, humid continental, subarctic, oceanic, and humid subtropical climatic conditions. The spatial domain encompasses agricultural lowlands situated below 200 m elevation across these regions. To accurately capture the complexity of these events, high-resolution gridded, daily datasets (i.e. HuClim and E-OBS) are used.

The applied methodology introduces complex climate indices to quantify heat stress and moisture deficits simultaneously. Traditional indices like Dry Days (DD) or Consecutive Dry Days (CDD) are widely used to assess dry periods. However, they have a significant limitation, i.e. they only account for precipitation without considering air temperature. Consequently, a two-week dry spell in May appears identical to one in August, despite being vastly different, as plant stress levels induced by summer heat and excess evaporation are higher. To address this issue, the 3-month Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI-3) is calculated. The SPEI-3 analysis effectively incorporates the key component of the water budget by taking into account potential evapotranspiration (PET). By comparing SPEI-3 to traditional climate indices, we evaluate how the assessment of agricultural drought changes when evaporation is explicitly considered alongside precipitation deficits. Furthermore, the climate indices are correlated with national average crop yields with a special focus on the most relevant agricultural plants in the focus regions to assess regional agricultural vulnerability.

Key words: compound events, heatwaves, droughts, agriculture, crop yields, SPEI, European lowlands

BRINEMO LI DOVOLJNO O OSOBAMA TREĆE ŽIVOTNE DOBI?

MELITA SAJKO[1], LIDIJA SRNEC[2] i IRENA CANJUGA[1]

[1]Sveučilište Sjever, 104. brigade 3, 42000 Varaždin, Hrvatska
[2]Državni hidrometeorološki zavod, Ravnice 48, 10000 Zagreb, Hrvatska
msajko@unin.hr

Prema procjenama Državnog zavoda za statistiku udio stanovnika starijih od 65 godina danas je u Hrvatskoj 24 % što znači da je svaka četvrta osoba u Hrvatskoj starija od 65 godina. Zdravstveni stručnjaci već dugo upozoravaju da je populacija starijih osoba najosjetljivija na nagle promjene atmosferskih uvjeta, kojima posljednjih godina svjedočimo. Jednim dijelom je to zbog specifičnih fizioloških promjena koje su normalne za proces starenja, a drugim dijelom je to zbog komorbiditeta kojima su starije osobe nerijetko opterećene. Izazovi s kojima se susreću zdravstveni i svi drugi stručnjaci u skrbi za starije osobe mogu se grupirati u nekoliko skupina: produljeni životni vijek starije populacije uz dulje trajanje i veći intenzitet toplinskih valova, nedostatak znanja starije populacije o zaštiti za vrijeme trajanja ekstremnih vrućina ili hladnoća, utjecaj vremenskih prilika na postojeće zdravstvene probleme starijih osoba te financijski i socijalni utjecaj ekstremnih vremenskih prilika.

Istraživanja provedena u različitim dijelovima svijeta pokazuju da osobe starije životne dobi postaju najbrojnija i najugroženija skupina kada su u pitanju klimatske promjene. Iako to možda ne izgleda tako, ljudsko tijelo je izuzetno krhko i povezano s događajima u atmosferi. Sa starenjem se osjetljivost i krhkost tijela povećava, pa tako koža, naš najveći organ, postaje tanja, podložnija oštećenjima od visoke ili niske temperature, znojne žlijezde slabije produciraju znoj što otežava hlađenje organizma, a izolacijska funkcija kože također slabi. Dišni sustav postaje osjetljiviji na onečišćenje zraka i nagle promjene temperature u okolini te je podložniji utjecaju mikroorganizama. Najuočljivije su promjene na srčanožilnom sustavu gdje zbog aterosklerotičnih promjena dolazi do sporije regulacije krvnog tlaka, a zbog naglih vazodilatacija ili vazospazama dolazi do poremećaja u cirkulaciji i radu srca. Pojačani gubitak tekućine zbog visoke temperature okoline dovodi do gubitka tekućine i elektrolita, a taj gubitak ne prati osjećaj žeđi koji je kod osoba starije životne dobi slabiji. Zbog toga dolazi do dehidracije, smetenosti, povećane viskoznosti krvi što može dovesti do srčanog ili moždanog udara, tromboze, embolije, zatajenja bubrega i šoka. Osim hipertermiji, starije osobe podložne su i hipotermiji i većina osoba koja je hospitalizirana zbog hipotermije su osobe starije životne dobi. Kod starijih osoba centar za regulaciju tjelesne temperature reagira sporije i ne može kompenzirati iznenadne i nagle promjene temperature u okolišu te su starije osobe podložnije toplotnom udaru ili hipotermiji. Ekonomski i socijalni utjecaj ekstremnih vremenskih prilika povezan je s neadekvatnim životnim prostorom, nedostatnim hlađenjem ili grijanjem stambenog prostora, socijalnom izolacijom, kao posljedicom nemogućnosti izlaska, što može dovesti do anksioznosti, depresije, kognitivnog pada, te rizika za padove i ozljede.

Svake godine prema koordinaciji Ministarstva zdravstva, Državni hidrometeorološki zavod izdaje upozorenja na toplinske valove, a Hrvatski zavod za javno zdravstvo objavljuje Preporuke za zaštitu od vrućina namijenjene starijim osobama. Zimi se provodi isti protokol za upozorenja na hladne valove uz izdavanje preporuka za zaštitu od hladnoće. Međutim, vidimo da samo upozorenja nisu dovoljna te da je potrebna strategija kojom bi se osnažila zajednica da pomogne najosjetljivijim članovima društva.

Ključne riječi: starije osobe, ekstremna vrućina, hladnoća, upozorenja

OD VREMENSKE PROGNOZE DO TRIJAŽE: UTJEČU LI METEOROLOŠKI ČIMBENICI NA OPTEREĆENJE OHBP-A?

IRENA CANJUGA i MELITA SAJKO

Sveučilište Sjever, 104. brigade 3, 42000 Varaždin, Hrvatska
icanjuga@unin.hr

Uvod: Objedinjeni hitni bolnički prijami (OHBP) suočavaju se s promjenjivim priljevom pacijenata, što predstavlja izazov u organizaciji rada i planiranju potrebnih zdravstvenih djelatnika. Ekstremni meteorološki uvjeti, osobito toplinski valovi i temperaturne oscilacije, sve se više prepoznaju kao čimbenici povezani s korištenjem hitne zdravstvene skrbi. Uz očekivani porast učestalosti i intenziteta takvih događaja, postavlja se pitanje može li vremenska prognoza imati vrijednost ne samo u procjeni zdravstvenog rizika stanovništva, već i u predviđanju opterećenja OHBP-a. Cilj rada je analizirati recentne spoznaje o povezanosti meteoroloških čimbenika s korištenjem hitne zdravstvene skrbi te procijeniti potencijal uključivanja meteoroloških podataka u prediktivne modele opterećenja OHBP-a i planiranja trijažnih kapaciteta.

Metode: Proveden je pregled literature s naglaskom na radove objavljene od 2024. do 2026. godine, uključujući sustavne preglede, epidemiološka istraživanja i studije prediktivnog modeliranja. Pretražene su baze PubMed, Scopus, Web of Science, CINAHL i Embase. Analizirana je povezanost temperature zraka, toplinskih valova i drugih meteoroloških čimbenika s brojem dolazaka u hitnu službu, kliničkim ishodima i uspješnošću prediktivnih modela. Radi procjene hrvatskog konteksta dodatno su analizirana ranija istraživanja provedena u Hrvatskoj.

Rezultati: Sustavni pregled Petravića i sur. iz 2025. godine, koji je obuhvatio 30 studija prediktivnih modela dolazaka u hitne službe, pokazao je da su meteorološke i kalendarske varijable među često korištenim vanjskim prediktorima te istaknuo potrebu za kvalitetnijim izvještavanjem i vanjskom validacijom modela. Burlotos i sur. pokazali su da je uključivanje meteoroloških varijabli u model dnevnih dolazaka povećalo prilagođeni R^2 s 0,418 na 0,483. Više temperature zraka u odnosu na povijesne vrijednosti bile su povezane s većim brojem dolazaka, dok su kiša, snijeg i vjetar bili povezani s manjim brojem dolazaka. Analiza 8.169.637 posjeta hitnim službama u 19 saveznih država SAD-a tijekom toplinskih valova 2025. pokazala je da je toplini bilo pripisivo 9,2 % posjeta tijekom lipanjskog i 8,3 % tijekom kolovoškog toplinskog vala. Sustavni pregled Taleba i sur. iz 2026. godine potvrdio je povezanost ekstremnih vremenskih uvjeta s kardiovaskularnim i respiratornim slučajevima u hitnim službama, uz izraženu heterogenost među istraživanjima. U hrvatskom kontekstu, istraživanja Pintarića i sur.(2012; 2016) u Zagrebu pokazala su povezanost meteoroloških čimbenika i onečišćenja zraka s korištenjem hitne zdravstvene skrbi. U istraživanju 20.228 pacijenata s kardiovaskularnom bolešću kao primarnom dijagnozom, broj dnevnih dolazaka bio je povezan s temperaturom zraka te koncentracijama dušikovog dioksida (NO_2) i prizemnog ozona (O_3).

Zaključak: Meteorološki podaci imaju potencijalnu prediktivnu vrijednost za planiranje opterećenja OHBP-a, ali ih nije moguće promatrati izolirano. Njihova integracija s povijesnim obrascima dolazaka, kalendarskim, demografskim i kliničkim podacima mogla bi omogućiti ranije prepoznavanje razdoblja povećanog opterećenja i pravodobnu prilagodbu kadrovskih i organizacijskih kapaciteta. U hrvatskom kontekstu potrebno je dodatno istražiti može li integracija meteoroloških prognoza s podacima o dolascima i trijaži unaprijediti planiranje kapaciteta OHBP-a.

Ključne riječi: meteorološki čimbenici, ekstremna temperatura zraka, hitna služba, trijaža, prediktivno modeliranje

HRVATSKA POD PEKOM – LINGVISTIČKA ANALIZA TOPLINSKOG VALA 2026. GODINE U JAVNOM DISKURSU

DANIELA KATUNAR[1], IDA RAFFAELLI[1], IVAN ČAČIĆ[2] i VESNA ĐURIČIĆ[2]

[1]Filozofski fakultet Sveučilište u Zagrebu, Ivana Lučića 3, 10000 Zagreb, Hrvatska

[2]Hrvatsko meteorološko društvo, Horvatovac 95, 10000 Zagreb, Hrvatska

dkatunar@ffzg.unizg.hr

Meteorološko je vrijeme relevantna domena lingvističkih istraživanja jer pokazuje neposrednu povezanost jezika, misli, kulture i svakodnevnoga ljudskog iskustva – vremenske pojave istodobno opažamo i doživljavamo te ih jezično kategoriziramo, opisujemo i vrednujemo. Istaknuto mjesto pritom zauzimaju meteorološki ekstremi, koji odstupaju od uobičajenih vremenskih prilika i intenzivno ulaze u javni i medijski diskurs, gdje se njihov intenzitet i potencijalna opasnost dodatno jezično oblikuju.

Tema je ovoga rada lingvistička analiza medijskih objava o toplinskom valu koji je zahvatio Hrvatsku od 28. srpnja do 16. kolovoza 2026. godine, a koji je prema analizi DHMZ-a bio najdulji i prostorno najrašireniji toplinski val toga ljeta.

Polazeći od postavki kognitivne lingvistike u kojima se značenje ne shvaća kao unaprijed zadana i stabilna vrijednost jezičnoga izraza, nego kao dinamičan proces konceptualizacije u kojem važnu ulogu imaju kontekst i diskurs, u ovome se istraživanju provodi analiza izraza kojima se jezično uokviruje toplinski val u javnome diskursu, s fokusom na online objave u Večernjem listu, Novome listu i Indexu.hr na temelju specijaliziranog digitaliziranog korpusa izrađenog pomoću sučelja Sketch Engine.

Analiza pokazuje raznolikost medijskih objava, u kojima se mogu istaknuti slučajevi tehničkog i terminološki zasićenog govornog paketa (npr. *termo-barički greben*), s jedne strane, ili izrazi koji ukazuju na prisutnost metafore, afektivno obilježenog vokabulara te intenzifikacije kao jezičnih sredstava kojima se informacije o toplinskom valu komuniciraju javnosti – što može rezultirati senzacionalizmom pa i stvaranjem panike (npr. *pakao se vraća*), s druge. Tako izrazi poput *toplinski val ne popušta*, *toplinski val ne posustaje*, *toplinski val zahvatio Hrvatsku* i *Hrvatskoj prijeti toplinski val* upućuju na konceptualizaciju toplinskoga vala kao SILE ili aktivnoga protivnika, dok *pržit će najjače* povezuje ekstremnu vrućinu s neposrednim tjelesnim iskustvom djelovanja topline. Afektivna i evaluativna obilježenost osobito je vidljiva u izrazima poput *paklene vrućine, najgora vrućina* i *najteži dani*, a izrazi poput *nevjerojatnih 20 dana* ili *pakao se vraća* naglašavaju intenzitet i iznimnost događaja. Dodatno, iz lingvističke se perspektive promatra odnos učestalih i ustaljenih metaforičkih i afektivno obilježenih izraza, npr. *paklene vrućine*, s onima koje na inovativni način uokviruju meteorološki ekstrem, npr. *monstruozni toplinski val*, *pogledajte što juri prema Hrvatskoj*, pridonoseći time uokvirivanju toplinskoga vala kao SILE i ŽIVUĆEG AGENSA. Inovativnim se izrazima dodatno usložnjava i pojačava kulturni model prema kojemu su meteorološki ekstremi u javnome diskursu vezani uz pojmove opasnosti, suparnika i sile, dok se zemlja zahvaćena toplinskim valom poima kao žrtva i biće koje pati.

U skladu s lingvističkim opisom posvjedočenih iskaza koji pokazuju načine konceptualizacije toplinskog vala u medijskim objavama, iz perspektive se informiranja javnosti raspravlja o optimalnosti hibridnog komunikacijskog pristupa koji integrira stručnu komponentu (razumijevanje, prihvatljivost, povjerenje) i novinarsku komponentu (pozornost, pitkost, aktivacijski potencijal).

Istraživanje se provodi u okviru projekta *Meteorologikon – vrijeme u jeziku, misli i kulturi (METEO-LEX*; Next Generation EU, Filozofski fakultet Sveučilišta u Zagrebu), kojemu je temeljni cilj opis jezika domene meteorološkog vremena te uspostava interdisciplinarnog dijaloga u proučavanju odnosa čovjeka, vremena i okoliša.

Ključne riječi: kognitivna lingvistika, ekolingvistika, toplinski val, javni diskurs

ASSESSING THE CONTRASTING EFFECTS OF MOIST AND DRY HEATWAVES ON TROPOSPHERIC OZONE AND SURFACE ENERGY BUDGET OVER DELHI

KAVITA PATNAIK

Indian Institute of Tropical Meteorology
5-110, Manipatruni Street, Main Road, 532195 Kotabommali, Srikakulam Dist., India
kavita.patnaik18@gmail.com

The present study examines the ozone concentration and surface energy budget over Delhi during the pre-monsoon season, with a specific emphasis on non-heatwave (NHW), moist heatwave (Moist HW), and dry heatwave (Dry HW) conditions using observations, reanalysis data, and numerical simulations. The results indicate that surface ozone peaked during Moist HW (~92 ppbv), followed by Dry HW and NHW periods. The elevated ozone during Moist HWs is associated with weak winds (0.2–2.5 ms^{-1}), high humidity (>60%), increased CO (~200 ppbv), decreased NO_x (≅0.8 ppbv) and dust loading, a shallow boundary layer (~2223 m), which collectively enhanced ozone in the boundary layer. A key contributor to the enhanced ozone during Moist HWs is the influence of the residual layer, which retained elevated ozone levels overnight (~1800 m) that subsequently mixed with daytime emissions, amplifying surface ozone concentrations, and is supported by the vertical ozone flux diagnostics. In contrast, Dry HW periods, despite stronger radiative forcing, higher sensible heat flux, deeper boundary layers, and stronger winds, exhibited lower ozone concentrations due to reduced CO, NO_x, and dust levels, which suppressed photochemical ozone production. Surface energy budget analysis revealed that although Dry HWs were more thermally intense, Moist HWs posed greater heat stress due to higher humidity and ozone levels, with the Heat Index during Moist HWs exceeding that of Dry HWs by 0.7°C. These findings emphasize the distinction between Dry and Moist HWs in managing heat stress in urban environments, highlighting the critical influence of atmospheric mixing, boundary layer dynamics, and inversion layers in ozone accumulation.

Key words: moist heatwave, dry heatwave, WRF-Chem, ozone, surface energy budget

ASIMETRIČNO ZAGRIJAVANJE U HRVATSKOJ: TRENDOVI KVANTILA DISTRIBUCIJE TEMPERATURE ZRAKA

MARIJANA BORAS, IVANA HERCEG BULIĆ i ZORAN PASARIĆ

Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek
Horvatovac 95, 10000 Zagreb, Hrvatska

marijana.boras@gfz.hr

U ovom radu ispituje se zagrijavanje u Hrvatskoj analizom promjena distribucija maksimalne (T_x) i minimalne (T_n) dnevne temperature zraka. Iako se od sredine 20. stoljeća bilježi sustavan porast globalne prosječne temperature zraka, kao i porast prosječne temperature zraka u Hrvatskoj, dosadašnja istraživanja temperaturnih promjena uglavnom su bila usmjerena na promjene prosječnih vrijednosti, dok su promjene ostalih dijelova temperaturne distribucije znatno manje istražene. Stoga je glavni cilj ovog istraživanja ispitati promjene cijele distribucije maksimalne i minimalne dnevne temperature zraka.

U radu su korišteni podaci mjerenja s glavnih meteoroloških postaja u Hrvatskoj za razdoblje od 1963. do 2025. godine. S obzirom na prostornu i klimatsku raznolikost promatranog područja, postaje su grupirane u 3 skupine: kontinentalne, planinske i obalne. Analiza se temelji na određivanju percentila temperaturne distribucije (5., 10., ..., 90., 95. percentil) unutar kliznih 30-godišnjih razdoblja s pomakom od jedne godine. Potom su za tako dobivene vremenske nizove pojedinih percentila određeni linearni trendovi, na temelju kojih su konstruirane krivulje trendova percentila. Analiza je napravljena za sve četiri sezone (DJF, MAM, JJA i SON).

Dobiveni trendovi percentila uglavnom su pozitivni i statistički značajni za gotovo sve percentile, u svim sezonama, kako za T_x tako i za T_n. Međutim, intenzitet porasta nije jednak duž cijele distribucije, tj. različiti dijelovi distribucije se pomiču prema višim vrijednostima različitim trendom. Općenito, krivulje trendova percentila razlikuju se među skupinama postaja i sezonama, ali i između T_x i T_n. Međutim, postaje unutar istih skupina pokazuju vrlo slične obrasce promjena u distribuciji. Primjerice, u sezoni JJA krivulje trendova percentila T_x za planinske i kontinentalne postaje pokazuju gotovo linearan porast iznosa trenda s porastom percentila. Takav oblik krivulje pokazuje da se najviši dijelovi distribucije najbrže pomiču prema višim vrijednostima. Budući da gornji percentili pripadaju desnom repu distribucije, tj. ekstremnim vrijednostima temperature zraka, rezultat upućuje na izraženije zagrijavanje toplih i ekstremno toplih uvjeta. Uzimajući u obzir da je ljeto općenito najtoplija sezona u Hrvatskoj, ovakav rezultat ukazuje na povećanje intenziteta ekstremno visokih temperatura. S druge strane, većina obalnih postaja u sezoni JJA pokazuje drugačiji oblik krivulje trendova temperaturnih percentila. Nakon gotovo linearnog porasta u prvoj četvrtini distribucije, slijedi dio krivulje s relativno malim promjenama trenda, što ukazuje na jednoliko pomicanje tog dijela distribucije prema višim vrijednostima. Dodatno, pokazuje se da su u ljetnoj sezoni trendovi percentila T_x veći na planinskim i kontinentalnim postajama nego na obalnima. U ostalim sezonama, kao i za T_n, dobivaju se drugačiji oblici krivulja trendova percentila. Ipak, i u tim slučajevima obrasci se razlikuju među skupinama postaja, dok postaje unutar iste skupine pokazuju međusobno slične promjene duž temperaturne distribucije.

Općenito, na većini postaja za sve percentile u svim sezonama dobiveni su pozitivni i statistički značajni trendovi što ukazuje na sustavno pomicanje cijelih distribucija T_x i T_n prema višim vrijednostima. Međutim, različiti dijelovi distribucije bilježe različite magnitude trendova ovisno o sezoni i grupi postaja. Istodobno, krivulje trendova percentila unutar

pojedinih skupina postaja pokazuju vrlo slične obrasce. Takvo grupiranje krivulja trendova prema geografskom položaju ukazuje na mogućnost da na promjene temperature zraka djeluju različiti regionalni mehanizmi zagrijavanja, što zahtijeva daljnja istraživanja.

Ključne riječi: maksimalna i minimalna temperatura zraka, krivulje trendova percentila, klimatske promjene, Hrvatska

ASSESSING CONVECTION-PERMITTING HCLIM SIMULATIONS OF CROATIAN CLIMATE AND PRECIPITATION EXTREMES

SARAH IVUŠIĆ[1], SARA IVASIĆ[1], PATRIK JUREŠA[2], LIDIJA SRNEC[1], DANIJEL BELUŠIĆ[2], ENDI KERESTURI[1] and KRISTIAN HORVATH[2]

[1]Croatian Meteorological and Hydrological Service
Ravnice 48, 10000 Zagreb, Croatia

[2]University of Zagreb Faculty of Science, Department of Geophysics
Horvatovac 95, 10000 Zagreb, Croatia

sarah.ivusic@dhz.hr

Croatia's location, complex coastal orography and strong thermal contrasts with the Adriatic Sea in autumn make this region particularly prone to extreme mesoscale phenomena, including downslope windstorms, thunderstorms, mesoscale convective systems, orographic precipitation and waterspouts. Numerous studies have shown the benefits of convection-permitting climate models for simulating such extreme events, especially heavy precipitation events. The HARMONIE-Climate (HCLIM) regional climate model, a state-of-the-art convection-permitting model, has proven applicable across many regions, providing satisfactory evaluation results and realistically reproducing sub-daily precipitation statistics and mesoscale precipitation structures. The aim of this study is to assess whether HCLIM can realistically simulate the climatology over Croatia, with a particular focus on precipitation amount and precipitation extremes.

HCLIM is run for a ten-year period, from 2010 to 2020, with a one-year spin-up time and two nested domains with horizontal grid spacings of 12 km and 3 km. The 12 km simulations are driven at the lateral boundaries by the ERA5 reanalysis. We utilise the flexibility of HCLIM by analysing the performance of two different model configurations. First, we run the 12 km simulations using both the ALADIN physics (hydrostatic dynamical core and parametrized deep convection) and the AROME physics (non-hydrostatic dynamical core without deep convection parameterization). Second, these two simulations provide the input for two corresponding AROME simulations at 3 km. As observational references, we use E-OBS, a daily gridded dataset at 0.1° horizontal resolution, the sub-daily regional reanalysis CERRA at 5.5 km resolution, and hourly precipitation observations from approximately 40 automatic weather stations in Croatia. We evaluate daily precipitation amount, air temperature, wind, relative humidity and mean sea level pressure, and, given our focus on precipitation amount, several heavy and extreme precipitation indices, with particular emphasis on hourly precipitation amount over several specific subregions.

Generally, HCLIM simulations realistically reproduce the spatial patterns of precipitation amount across Croatia. The finer-scale runs at 3 km outperform the coarser 12 km runs by exhibiting smaller biases and better capturing precipitation intensities, frequencies, and mesoscale structures.

Key words: HCLIM, CPRCM, precipitation, climate

CLIMATE CHANGE IMPACTS ON 3S TOURISM ON THE ISLAND OF VIS

LIDIJA SRNEC[1], MIRA ZOVKO[2], IVANA HAVRLE KOZARIĆ[1],
SARA IVASIĆ[1] and LUKA VALOŽIĆ[2]

[1]Croatian Meteorological and Hydrological Service
Ravnice 48, 10000 Zagreb, Croatia

[2]Institute for Tourism
Vrhovec 5, 10000 Zagreb, Croatia

lidija.srnec@dhz.hr

Small islands are widely recognized as being among the territories most vulnerable to the impacts of climate change, owing to their limited spatial extent, dependence on climate-sensitive economic activities, and exposure to extreme weather and heat-related hazards. At the same time, islands often possess unique natural and cultural resources that may strengthen their adaptive capacity. The Island of Vis, entirely encompassed within the UNESCO Global Geopark Vis Archipelago, represents a valuable case study for examining how climate change may affect tourism systems and how local environmental assets can support adaptation. This study evaluates climate suitability for sun-sea-sand (3S) tourism on the Island of Vis by integrating the Climate Index for Tourism (CIT) with land-use and land-cover (LU/LC) spatial analysis. The integration is operationalized by overlaying CIT-derived seasonal suitability windows with LU/LC-based spatial vulnerability maps, enabling identification of micro-zones where natural buffers, such as forest cover and elevation, can offset thermal discomfort during peak heat-stress periods.

Observed data reveal declining ideal 3S conditions from July to October, with the island already exceeding 50 days per year of Physiologically Equivalent Temperature (PET) above 35.1°C, increasing by 0.7 days per year. Regional climate models tend to exhibit a cold bias over small Adriatic islands, largely related to their limited horizontal spatial resolution (12.5 km grid spacing). However, they robustly reproduce the direction of recent and projected warming trends. Future projections indicate that the annual number of strong heat-stress days with PET above 35.1°C will increase from approximately one per year in the reference period to six under RCP4.5 and nine under RCP8.5. Both scenarios reduce ideal peak-summer conditions while extending favorable tourism periods into the transitional seasons.

Spatial analysis shows that coastal zones have higher shares of sealed surfaces and lower forest cover, reducing natural shade and cooling capacity, while the island interior offers higher elevations, extensive forest buffers, hiking trails, and geopark resources that can support alternative tourism activities. Drawing on social-ecological resilience theory, we conceptualize the island's tourism system as an adaptive unit whose long-term viability depends on spatially diversified resource use and temporally extended seasonality. The integrated analytical framework identifies not only when climatic conditions deteriorate but also where alternative tourism resources exist, enabling more targeted adaptation planning and supporting diversification toward outdoor tourism forms. The novelty of this study lies in the systematic spatial integration of bioclimatic suitability assessments (CIT and PET) with LU/LC analysis at the micro-island scale. This approach moves beyond temporally focused climate-tourism indices to produce actionable, location-specific adaptation strategies for climate-vulnerable island destinations.

Key words: PET, 3S Tourism, climate change, land use/land cover, climate adaptation

PRAĆENJE STANJA JADRANA MREŽOM AUTONOMNIH PAMETNIH PLUTAČA

SAŠA ZELENIKA[1], PETAR GLJUŠĆIĆ[1], IVAN PRVONOŽEC[2] i BARTOL ZEMLJAK[2]

[1]Sveučilište u Rijeci – Tehnički fakultet i Centar za mikro- i nanoznanosti i tehnologije
Vukovarska 58, 51000 Rijeka, Hrvatska

[2]Sveučilište u Rijeci – Tehnički fakultet, Vukovarska 58, 51000 Rijeka, Hrvatska

szelenika@uniri.hr

Prikupljanje i obrada podataka o karakterističnim parametrima stanja Jadranskog mora, poput temperature, tlaka, saliniteta i sl., omogućuje sustavnu analizu utjecaja klimatskih promjena na pomorski okoliš, razvoj odgovarajućih prediktivnih modela te na dokazima utemeljeno donošenje informiranih odluka o mogućim aktivnostima ublažavanja učinaka tih promjena i/ili prilagodbe na njih. Takva mogućnost ima ogromnu društvenu i ekonomsku važnost te važnost za naš okoliš.

Da bi se omogućilo jednostavno, ekonomično i učinkovito prikupljanje i analiza navedenih podataka, u ovome se radu predlaže inovativni koncept rasprostranjene i granularne mreže senzorskih čvorova temeljene na pametnim plutačama čija se dugoročna operativna autonomija postiže korištenjem tehnologije prikupljanja i pretvorbe niskorazinske energije iz okoliša (engl. energy harvesting). Na osnovu mjerenja pokazati će se da se na taj način, korištenjem kinetičke, toplinske i solarne energije prisutne u okolišu, ili njihove kombinacije u hibridne sustave, mogu postići razine snage potrebne za napajanje neophodnih senzora s pripadajućim niskopotrošnim elementima za pohranu, obradu i prijenos oceanografskih podataka. U odabranim radnim ciklusima dobiveni podaci se mogu, stoga, slati u oblačne repozitorije, omogućujući kontinuirano praćenje fizikalnih i okolišnih parametara, te posljedično, razumijevanje prostorne i vremenske dinamike procesa u Jadranskome moru. Velike količine podataka stvaraju i preduvjete za korištenje algoritama umjetne inteligencije za njihovu analizu, stvarajući pretpostavke za ostvarenje prognostičke funkcionalnosti. Pažnja se u tom okviru posvećuje i zaštiti korištenih elemenata sustava od taloženja nečistoća (engl. soiling) i biološkog obrastanja (engl. biofouling) putem primjerene površinske obrade, a što može uključivati površinske prevlake i/ili nanostrukturiranje površina tih elemenata.

U radu će se prikazati osnovne postavke predloženog sustava i njihove konstrukcije kao i preliminarni rezultati dokazivanja odgovarajućih koncepata. Daljnji razvoj će, pak, idealno uključiti interdisciplinarna znanja drugih stručnjaka za analiziranu tematiku, pa tako i oceanologa, ekologa, meteorologa, stručnjaka za znanost o materijalima, računalnih eksperata i drugih. To bi u nastavku istraživanja trebalo omogućiti razvoj funkcionalnih prototipova autonomnih pametnih plutača i njihovu validaciju u stvarnim radnim uvjetima na moru. Postignuti bi se rezultati potom mogli predstaviti dionicima regionalnih inovacijskih ekosustava Jadranske Hrvatske koji bi mogli biti zainteresirani za razvoj široko dostupnog komercijalnog rješenja.

Ključne riječi: klimatske promjene Jadrana, pametne plutače, granularna bežična mreža, pretvorba niskorazinske energije iz okoliša, analiza podataka, prognostika

CONVECTIVE WIND GUSTS IN THE FUTURE CLIMATE FROM KM-SCALE REGIONAL CLIMATE MODEL

PATRIK JUREŠA and DANIJEL BELUŠIĆ

University of Zagreb Faculty of Science, Department of Geophysics
Horvatovac 95, 10000 Zagreb, Croatia
patrik.juresa@gfz.hr

Extreme surface winds generated by strong convective systems can cause substantial societal and economic damage. However, their climatological characteristics and projected future changes remain poorly investigated. Here, we focus on non-tornadic, downdraft-induced winds and wind gusts, which can cause damage comparable to that caused by tornadoes or hurricanes.

We use the HARMONIE-Climate (HCLIM) modelling framework, including a non-hydrostatic, convection-permitting simulation at 3-km resolution nested within a hydrostatic, 12-km parent simulation with parametrized deep convection. The simulations are driven by initial and lateral boundary conditions from the EC-Earth2 global climate model. We analyse the period 1996–2005 as representative of the historical climate and 2090–2099 under the future RCP8.5 scenario.

First, we identify convective systems using variables available directly from the HCLIM output at hourly intervals: cloud condensed water and cloud ice. These variables are combined to construct a cloud index. After confirming the presence of a convective cloud, we identify extreme wind and wind-gust speeds in the vicinity of the cloud.

The method performs well in the convection-permitting regional climate model, successfully capturing deep convective clouds and the associated wind gusts. Although the intensity of extreme precipitation from deep convection increases by approximately 18% under the future RCP8.5 scenario, the projected change in the intensity of convective wind gusts is negligible. To investigate the possible causes of this weak response, we compare lapse rates, moisture-related variables, and vertical wind shear between the two periods. We also examine the relationship between cold pools and air temperature drop as the associated outflow boundary passes over a grid point.

Key words: wind gust, convection, severe weather, wind, downdraft, downburst, climate, climate change

UPORABLJIVOST SATELITSKIH OPAŽANJA TEMPERATURE KOPNENE POVRŠINE (MODERATE RESOLUTION IMAGING SPECTRORADIOMETER – MODIS LST) U BIOKLIMATSKIM ISTRAŽIVANJIMA HRVATSKE

IVAN PILAŠ[1] i GORAN GAŠPARAC[2]

[1]Hrvatski šumarski institut
Cvjetno naselje 41, 10450 Jastrebarsko, Hrvatska

[2]Hrvatska kontrola zračne plovidbe
Rudolfa Fizira 2, 10410 Velika Gorica, Hrvatska

ivanp@sumins.hr

Klimatske promjene jedan su od glavnih čimbenika promjena šumske vegetacije, koje se očituju u promjenama areala vrsta, slabljenju vitalnosti ekosustava, sušenju i odumiranju šuma te smanjenju njihovih ekoloških funkcija. Utvrđivanje tih promjena i njihove dinamike zahtijeva dugotrajne i prostorno reprezentativne podatke o temperaturi, koja predstavlja jednu od osnovnih ekoloških varijabli povezanih s pokazateljima stanja šumskih ekosustava. Temperatura kopnene površine (engl. land surface temperature, LST), dobivena metodama daljinskih istraživanja u termalnom infracrvenom dijelu spektra, zbog svojega prostornog obuhvata i vremenske dinamike komplementarna je mjerenjima temperature zraka na meteorološkim postajama. Među najčešće korištenim izvorima takvih podataka ističu se MODIS proizvodi temperature kopnene površine (MODIS LST), koji omogućuju dugoročan i prostorno kontinuiran zapis temperaturnih uvjeta od 2000. godine. Brojna istraživanja pokazala su njihovu prikladnost za analizu regionalnih i globalnih temperaturnih trendova te procjenu utjecaja klimatskih promjena na kopnene ekosustave. MODIS LST omogućuje i usporedbu temperaturnih obrazaca između različitih tipova zemljišnog pokrova i vegetacijskih zajednica.

Cilj je rada ocijeniti u kojoj su mjeri sezonski trendovi MODIS LST-a nad Hrvatskom usklađeni s trendovima temperature zraka izmjerenima na meteorološkim postajama te utvrditi glavne uzroke odstupanja. U radu su analizirane promjene LST-a za različite tipove zemljišnog pokrova na cjelokupnom području Hrvatske tijekom razdoblja 2001. – 2025. godine. Korišten je proizvod MOD11A2, koji sadrži osmodnevne kompozite temperature i emisivnosti kopnene površine prostorne rezolucije 1 km. Tipovi zemljišnog pokrova i njihove promjene određeni su iz baza podataka CORINE Land Cover (CLC) za 2000. i 2018. godinu.

Rezultati pokazuju da su u podacima MODIS LST utvrđeni izraženi pozitivni trendovi temperature tijekom zimskog razdoblja (DJF), različiti od trendova temperature zraka izmjerene na meteorološkim postajama. U istočnom dijelu kontinentalne Hrvatske utvrđeni su značajni pozitivni trendovi tijekom ljetnog razdoblja (JJA), što je djelomično u skladu s meteorološkim opažanjima. Tijekom proljeća (MAM) i jeseni (SON) statistički značajni trendovi nisu utvrđeni. Zbog vrednovanja dobivenih rezultata provedena je usporedba s reanalizom ERA5 (temperatura zraka i temperatura površine, engl. skin Temperature), čime je dodatno procijenjena uporabljivost MODIS LST podataka u bioklimatskim istraživanjima.

Ključne riječi: klimatske promjene, temperatura kopnene površine, satelitska termalna opažanja, MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA PARKOVE GRADA ZAGREBA I NJIHOV DOPRINOS UBLAŽAVANJU URBANOG TOPLINSKOG OPTEREĆENJA I PRILAGODBI KLIMATSKIM PROMJENAMA

BOJANA BORIĆ[1], GORAN GAŠPARAC[2], IVA MEĐUGORAC[3], IVAN PILAŠ[4], IVANA HERCEG BULIĆ[5], DOMAGOJ BERECIC[5] i EDIN LUGIĆ[6]

[1]BorEco Consulting d.o.o., Marije Radić 2, 10000 Zagreb, Hrvatska

[2]Hrvatska kontrola zračne plovidbe. Rudolfa Fizira 2, 10410 Velika Gorica, Hrvatska

[3]Sveučilište u Novoj Gorici, Vipavska cesta 13, 5000 Rožna Dolina, Slovenija

[4]Hrvatski šumarski institut, Cvjetno naselje 41, 10450 Jastrebarsko, Hrvatska

[5]Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek Horvatovac 95, 10000 Zagreb, Hrvatska

[6]Elytron, Maksimirska cesta 104, 10000 Zagreb, Hrvatska

goran.gasparac@crocontrol.hr

Parkovi Grada Zagreba važan su segment urbane zelene infrastrukture koji doprinose očuvanju bioraznolikosti i otpornosti grada na klimatske promjene. Cilj istraživanja bio je procijeniti utjecaj klimatskih promjena na parkove te vrednovati njihov doprinos ublažavanju i prilagodbi klimatskim promjenama, s posebnim naglaskom na ublažavanje urbanog toplinskog opterećenja.

Sadašnja klima analizirana je na temelju podataka obližnjih meteoroloških postaja za razdoblje od 1990. do 2025. godine te pokretnih mjerenja temperature zraka provedenih tijekom druge polovice 2025. godine na sedam lokacija (Donji grad, Jarun, Ksaver, Maksimir, Novi Zagreb istok/zapad, Savica). Izmjerene temperature zraka prostorno su povezane s klasama pokrova tla izrađene metodom strojnog učenja Random Forest primijenjene na produkte satelita Sentinel-2, čime je omogućena analiza utjecaja blizine, tipa i veličine vegetacijske površine na temperaturu zraka. Rezultati potvrđuju značajnu ulogu parkova u ublažavanju urbanog toplinskog opterećenja. Pokazano je da je šumski pokrov (tj. visoka vegetacija) povezana sa statistički značajno hladnijim zrakom, dok je učinak travnjaka na temperaturu zraka slabiji i nedosljedan. Razlika između područja s visokom vegetacijom i izgrađenih urbanih površina izraženija je u jutarnjem nego u popodnevnom terminu, kada se učinak hlađenja ponajprije povezuje sa zasjenjenjem krošnjama, a mjestimično i sa sjenom okolnih zgrada. Veličina zelene površine pokazala se ključnom: učinak pojedinačnog, izoliranog stabla uglavnom je zanemariv, dok veći, povezani šumski kompleksi dovode do izraženijeg pada temperature zraka, koji raste s udjelom krošnje u neposrednom okruženju mjerne točke. Time terenska mjerenja potvrđuju i nadopunjuju ranije zaključke o povezanosti između veličine zelene površine i intenziteta snižavanja temperature zraka.

Parkovi Grada Zagreba, od kojih su neki ujedno i zaštićena područja, predstavljaju važan prirodni kapital za prilagodbu klimatskim promjenama jer pridonose regulaciji mikroklime i povećanju otpornosti urbanog prostora. Terenska mjerenja pokazuju da intenzitet njihovog rashladnog učinka značajno ovisi o veličini i povezanosti zelenih površina, pri čemu posebno važnu ulogu ima visoka vegetacija čije krošnje zasjenjenjem smanjuju toplinsko opterećenje tijekom najtoplijeg dijela dana. Rezultati stoga upućuju na potrebu za sustavnim praćenjem klimatskih utjecaja, očuvanjem i povezivanjem postojećih te planiranjem novih zelenih površina, kao i za integracijom prirodnih rješenja u prostorno i razvojno planiranje Grada Zagreba. Uspješna prilagodba pritom zahtijeva interdisciplinarni pristup i suradnju znanstvenih i stručnih institucija, nadležnih tijela za upravljanje zaštićenim područjima te lokalne zajednice.

Ključne riječi: parkovi Grada Zagreba, zaštićena područja, toplinsko opterećenje, mobilna mjerenja, Sentinel-2

CHANGING SEASONS IN CROATIA: ZAGREB-GRIČ AND HVAR OVER THE CENTURIES

BRANISLAVA LALIĆ[1, 2], VIŠNJICA VUČETIĆ[3] and ANA FIRANJ SREMAC[1,2]

[1]Faculty of Agriculture, University of Novi Sad
Trg Dositeja Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Serbia

[2]Climate Smart Solutions
Ulica Patrijarha Rajačića 44, 21132 Novi Sad - Petrovaradin, Serbia

[3]Croatian Meteorological Society, Horvatovac 95, 10000 Zagreb, Croatia

branislava.lalic@polj.edu.rs

In a warming climate, fixed meteorological or astronomical definitions of seasons increasingly fail to represent the atmospheric regimes experienced by ecosystems and human activities. Following the season-classification framework proposed by Lalić and Firanj Sremac (2026), which interprets seasons as distinct atmospheric regimes and identifies their transitions from the annual evolution of the seasonality index (NDTR), this study examines long-term characteristics of seasonality at two climatically contrasting Croatian stations: continental Zagreb-Grič and maritime Hvar. The framework distinguishes relatively stable winter and summer regimes from transitional spring and autumn regimes, allowing seasonal boundaries to emerge from atmospheric conditions rather than from predefined calendar dates.

Zagreb-Grič and Hvar provide exceptionally long observational records, with meteorological measurements beginning in 1861 and 1858, respectively. Both were recognized by the World Meteorological Organization in 2018 as historical observing stations of scientific and cultural importance. Their continental and maritime settings provide a natural contrast for investigating differences in atmospheric seasonality. Long-term observations indicate substantial warming at both sites. Between 1961–1990 and 1991–2020, mean annual air temperature increased from 11.5 to 12.9°C at Zagreb-Grič and from 16.3 to 17.1°C at Hvar, whereas changes in mean annual precipitation amount were comparatively small.

Daily maximum, minimum and mean air temperatures were used to calculate NDTR. Winter, spring, summer and autumn boundaries, as well as start (SOS) and end (EOS) of growing season, are determined from timing of extreme values, inflection points and start and end of constant values of the annual NDTR cycle. The analysis was performed using three alternative sequences of non-overlapping 30-year climatological periods: A: 1881–1910/1911–1940/1941–1970/1971–2000; B: 1891–1920/1921–1950/1951–1980/1981–2010; and C: 1901–1930/1931–1960/1961–1990/1991–2020. Mean season duration and standard deviation were calculated separately for each sequence.

A robust continental-maritime contrast emerged irrespective of the selected climatological sequence. At Zagreb-Grič, mean spring duration ranged from 62±27 to 76±15 days, summer from 111±16 to 133±21 days, autumn from 51±10 to 66±10 days, and winter from 112±12 to 122±17 days. At Hvar, spring averaged from 80±19 to 87±25 days, summer from 173±13 to 177±25 days, autumn from 67±20 to 74±12 days, and winter only from 36±19 to 41±12 days.

Seasonal transition timing showed the same climatic contrast. Zagreb-Grič exhibited mean SOS between DOY 84 and 87 and EOS between DOY 310 and 321, whereas Hvar showed substantially earlier SOS (DOY 52–65) and later EOS (DOY 342–351).These results demonstrate that atmospheric season duration and timing differ fundamentally between

continental and maritime climates, catching a strong climate change signal. The persistence of the Zagreb – Hvar contrast across all three climatological series supports the NDTR-based framework as a physically interpretable approach for characterizing evolving atmospheric seasonality in a changing climate.

Lalic, B. and A. Firanj Sremac. 2026: Tracking Seasonal Transitions Using a Meteorological Seasonality Index. *Int. J. of Climat.*, **46 (10)**, e70447. https://doi.org/10.1002/joc.70447

THE *OLEARIC* PROJECT: ADVANCING OLIVE GROWING IN CROATIA

ANDREINA BELUŠIĆ VOZILA[1], JOSIP MEŠTRIĆ[2], BORIS MIFKA[1], BRANIMIR OMAZIĆ[3] and ELENA PETROVIĆ[4]

[1]University of Rijeka Faculty of Physics, Radmile Matejčić 2, 51000 Rijeka, Croatia

[2]Croatian Meteorological and Hydrological Service, Ravnice 48, 10000 Zagreb, Croatia

[3]University of Zagreb Faculty of Science, Department of Geosphysics Horvatovac 95, 10000 Zagreb, Croatia

[4]Ruđer Bošković Institute, Bijenička cesta 57, 10000 Zagreb, Croatia

andreina.belusicv@uniri.hr

Climate change is rapidly reshaping olive production across the Mediterranean, altering temperature and precipitation patterns, shifting phenological development, and increasing exposure to climatic extremes. Addressing these challenges requires a deeper understanding of how olive phenology responds to changing climatic conditions.

The three-year *OleARIC* project will tackle this challenge by investigating climate–phenology relationships across Croatia's olive-growing regions. By integrating long-term phenological and meteorological observations and field monitoring at representative locations, the project will provide a unique framework for identifying the climatic drivers of key olive development stages. Agroclimatic indicators related to thermal accumulation, winter chilling, heat, and water stress will be analysed, while advanced statistical and machine-learning approaches will be used to develop predictive models for the onset of each phenological stage, accounting for cultivar and location differences.

A key strength of *OleARIC* is the collaboration of four major national institutions, bringing together complementary expertise in olive phenology and climate. By integrating knowledge across disciplines, the project aims to generate new insights and practical tools that can strengthen climate resilience and support the sustainable future of olive production in Croatia.

Key words: Adriatic region, climate adaptation, machine learning, olive phenology

VERIFIKACIJA ECMWF PROGNOZE TEMPERATURE TLA: UTJECAJ VLAŽNOSTI I SMRZAVANJA TLA

JOSIP MEŠTRIĆ

Državni hidrometeorološki zavod
Ravnice 48, 10000 Zagreb, Hrvatska
josip.mestric@dhz.hr

Temperatura tla važan je agrometeorološki čimbenik koji utječe na klijanje i nicanje biljaka, razvoj korijenskog sustava te odvijanje brojnih fizikalnih, kemijskih i bioloških procesa u tlu. Zbog toga pouzdana prognoza temperature tla može imati značajnu primjenu u agrometeorološkim analizama i donošenju odluka u poljoprivredi.

Temperatura tla mjeri se na različitim dubinama. Na izmjerene vrijednosti utječu brojni čimbenici poput temperature zraka, Sunčeva zračenja, vlažnosti i stanja tla. Upravo promjene u stanju tla mogu utjecati na prijenos i pohranu topline u tlu, a time i na dnevni i sezonski hod temperature tla. Istodobno, različiti uvjeti tla predstavljaju izazov za uspješno prognoziranje njegove temperature.

U ovom radu provest će se verifikacija ECMWF prognoze temperature tla usporedbom prognoziranih i izmjerenih vrijednosti na različitim dubinama. Poseban naglasak bit će stavljen na utjecaj stanja vlažnosti i smrzavanja tla na uspješnost prognoze. Analizirat će se pogreške prognoze u različitim uvjetima vlažnosti tla te tijekom razdoblja sa smrznutim tlom kako bi se utvrdili uvjeti u kojima dolazi do najvećih odstupanja između prognoziranih i opaženih vrijednosti. Rezultati će omogućiti bolju procjenu pouzdanosti prognoze temperature tla te pridonijeti njezinoj kvalitetnijoj primjeni u operativnoj agrometeorologiji.

Ključne riječi: agrometeorologija, temperatura tla, ECMWF

UTJECAJ NESTACIONARNOSTI NA PROCJENU POVRATNIH VRIJEDNOSTI EKSTREMNIH TEMPERATURA ZRAKA U HRVATSKOJ

TIJANA KARLOVIĆ, KSENIJA CINDRIĆ KALIN i IVANA HERCEG-BULIĆ

Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek
Horvatovac 95, 10000 Zagreb, Hrvatska

tijana.karlovic1@gmail.com

U radu je provedena klimatološka analiza ekstremne temperature zraka u Hrvatskoj primjenom teorije ekstrema. Analiza je obuhvatila godišnje maksimume dnevne maksimalne temperature zraka na 39 meteoroloških postaja u razdoblju 1961. – 2024. Prije statističke analize provedena je kontrola kvalitete podataka i procjena utjecaja nedostajućih godina na procjenu linearnog trenda. Dugoročne promjene godišnjih maksimuma analizirane su metodom linearne regresije, pri čemu su na svim postajama utvrđeni statistički značajni pozitivni trendovi. Za modeliranje ekstrema korištena je opća razdioba ekstremnih vrijednosti (GEV). Najprije su procijenjene povratne vrijednosti stacionarnim GEV modelom, a zatim su analizirani nestacionarni modeli koji uključuju vremenski trend te indekse klimatske varijabilnosti, Sjevernoatlantska oscilacija (NAO) i Istočno-atlantsko polje (EA), kao kovarijate. Rezultati pokazuju da nestacionarni modeli na svim postajama daju statistički značajno bolju prilagodbu od stacionarnog modela. Stacionarni pristup sustavno podcjenjuje povratne vrijednosti ekstremnih temperatura zraka, dok uključivanje vremenskog trenda i klimatske varijabilnosti omogućuje realističniji opis promjena u temperaturnim ekstremima. Kao najuspješniji model najčešće se pokazao onaj koji uključuje kombinirani utjecaj vremenskog trenda i indeksa EA u parametru lokacije. Analiza nedostajućih godina pokazala je da umjeren udio nedostajućih podataka nema značajan utjecaj na procjenu trendova. Rezultati potvrđuju da su ekstremno visoke temperature zraka u Hrvatskoj u porastu te naglašavaju važnost primjene nestacionarnih modela pri procjeni budućih temperaturnih ekstrema.

Ključne riječi: ekstremna temperatura zraka, GEV razdioba, NAO, EA, nestacionarnost, povratna vrijednost, klimatske promjene

BRIDGING ATMOSPHERE AND LIFE: HOW SEVEN DECADES OF BIOMETEOROLOGY SHAPE CLIMATE RESILIENCE

TANJA CEGNAR

International Society of Biometeorology
Vojkova cesta 1b, 1000 Ljubljana, Slovenia
tanja.cegnar@gmail.com

Biometeorology – the interdisciplinary science of how atmospheric processes affect living organisms – has proven uniquely useful for anticipating and managing weather- and climate-related risks to human health, ecosystems, and society. Since its formalization in 1956 with the founding of the International Society of Biometeorology (ISB), the field has advanced through coordinated research, shared methods, and policy-relevant knowledge exchange across meteorology, medicine, biology, ecology, and related disciplines. The ISB's core contributions include: developing biometeorological theory and applications; disseminating evidence on how meteorological factors influence plants, animals, and humans; and providing expert advice to international bodies on environment–health–ecosystem linkages. In practice, biometeorology underpins heat–health warning systems, allergen and air-quality forecasting, phenology-based agricultural planning, animal-welfare guidance during extremes, and climate-informed recreation and tourism strategies. Commemorating 70 years of the ISB highlights how sustained interdisciplinary collaboration has turned biometeorological insights into actionable tools for risk reduction, public-health protection, and more resilient socio-ecological systems under a changing climate.

Key words: adaptation to climate change, biometeorology, public health, resiliance

TEMPERATURA I VLAŽNOST ZRAKA NA BIOKOVU: VERTIKALNA VARIJABILNOST I KONTRASTI IZMEĐU PADINA

IVANA HERCEG BULIĆ[1], LUCIJA COKARIĆ[2], ZORAN PASARIĆ[1], DALIBOR PAAR[3], NEVEN BOČIĆ[4], KARLA MLAĐEN[1], KSENIJA PROTRKA[5] i HRVOJE ŠKRABIĆ[5]

[1]Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek
Horvatovac 95, 10000 Zagreb, Hrvatska

[2]Sveučilište u Splitu Prirodoslovno-matematički fakultet, Odjel za fiziku
Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Hrvatska

[3]Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet, Fizički odsjek
Horvatovac 102a, 10000 Zagreb, Hrvatska

[4]Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek
Trg Marka Marulića 19/II, 10000 Zagreb, Hrvatska

[5]Javna ustanova Park prirode Biokovo
Franjevački put 2, 21300 Makarska, Hrvatska

ivana.herceg.bulic@gfz.hr

Planinska područja iznimno su osjetljiva na klimatske promjene te istodobno predstavljaju važne pokazatelje aktualnih promjena u okolišu. Zbog složene topografije, izraženih vertikalnih gradijenata i lokalnih atmosferskih procesa, planinski okoliši često pokazuju znatnu prostornu varijabilnost meteoroloških uvjeta na malim udaljenostima. To ih čini posebno važnima za proučavanje klimatske varijabilnosti i ekstrema. U tom je kontekstu projekt *CroClimExtremes* pokrenuo prva sustavna mjerenja temperature i vlažnosti zraka na Biokovu, planini koju karakteriziraju iznimno složen teren i izraženi klimatski kontrasti.

U veljači 2024. godine postavljena je mreža od 22 mjerna uređaja duž dvaju planinskih transekata. Prvi se transekt nalazi na maritimnoj padini i proteže od morske razine do 1650 m nadmorske visine, dok je drugi postavljen na kontinentalnoj padini, u rasponu od 602 m do 1650 m nadmorske visine. Tako postavljeni instrumenti omogućuju izravnu usporedbu meteoroloških uvjeta između morske i kopnene strane planine te procjenu vertikalne varijabilnosti izmjerenih parametara duž obiju padina.

Glavni je cilj istražiti prostorne i vremenske značajke temperature zraka i vlažnosti na Biokovu te identificirati potencijalne ekstremne vremenske i mikroklimatske uvjete. Preliminarne analize pokazuju izražene razlike u objema varijablama s obzirom na nadmorsku visinu i orijentaciju padina. Osim razlika u apsolutnim vrijednostima, uočene su i jasne varijacije dnevnih i godišnjih hodova te vertikalnih gradijenata temperature i apsolutne vlažnosti zraka. Ti obrasci upućuju na snažan utjecaj nadmorske visine, orijentacije padina, složene topografije i lokalnih meteoroloških procesa na opaženu raspodjelu atmosferskih uvjeta.

Podaci prikupljeni na Biokovu predstavljaju prvi skup podataka takve vrste za planinsko područje u Hrvatskoj te pružaju važnu osnovu za daljnja istraživanja klimatskih obilježja u ovom topografski složenom planinskom okolišu. Rezultati pridonose ne samo boljem poznavanju atmosferskih procesa na lokalnoj razini nego i širem razumijevanju varijabilnosti planinske klime u prijelaznim zonama između obalnih i kontinentalnih područja. Ovo istraživanje stoga pruža vrijedan uvid u ulogu topografije u oblikovanju obrazaca temperature i vlažnosti zraka te postavlja temelj za buduća istraživanja klimatskih ekstrema u hrvatskim planinskim područjima.

Ključne riječi: Biokovo, temperatura zraka, vlažnost zraka, vertikalna varijabilnost

SEKCIJA VI: OČUVANJE OKOLIŠA: KVALITETA ZRAKA, OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE, PRIMIJENJENA METEOROLOGIJA
SESSION VI: ENVIRONMENTAL PROTECTION: AIR QUALITY, RENEWABLE ENERGY, APPLIED METEOROLOGY

OD METEOROLOŠKE PISMENOSTI DO SIGURNOSNE OTPORNOSTI: OBRAZOVNA VERTIKALA HRVATSKE U SUOČAVANJU S HIDROMETEOROLOŠKIM PRIJETNJAMA

MARICA MAMUT[1] i DINKO MARIN[2]

[1]Sveučilište obrane i sigurnosti Dr. Franjo Tuđman, Ilica 256b, 10000 Zagreb, Hrvatska
[2]OŠ Bartula Kašića Zadar, Bribirski prilaz 2, 23000 Zadar, Hrvatska
marica.mamut@sois-ft.hr

Hidrometeorološke prijetnje, poput poplava, suša, toplinskih valova, olujnog nevremena i snažnog vjetra, svake godine sve više utječu na svakodnevni život, gospodarstvo i sigurnost stanovništva. Razvoj meteorološkog motrenja, prognoziranja i sustava ranog upozoravanja omogućuje pravodobno informiranje javnosti, ali sama dostupnost meteoroloških informacija ne znači nužno i njihovo pravilno razumijevanje. Za učinkovito korištenje vremenskih prognoza i upozorenja potrebna je određena razina meteorološke pismenosti, koja se postupno razvija tijekom obrazovanja. Polazeći od pretpostavke da obrazovanje ima važnu ulogu u razvoju sposobnosti prepoznavanja i razumijevanja prirodnih prijetnji, u radu se razmatra zastupljenost meteoroloških i srodnih sadržaja u različitim razinama hrvatskog obrazovnog sustava. Provedena analiza obuhvaća osnovnoškolsko i gimnazijsko obrazovanje te visoko obrazovanje u području obrane i sigurnosti. Cilj istraživanja je sagledati kontinuitet razvoja znanja i kompetencija povezanih s temeljnim spoznajama o vremenu, atmosferi i klimi u najranijoj obrazovnoj dobi te razumijevanjem hidrometeoroloških rizika i njihovim sigurnosnim značenjem u kasnijem obrazovanju i svakodnevnim životnim izazovima.

Istraživanje se temelji na analizi službenih predmetnih kurikuluma i relevantnih studijskih programa. Posebna će se pozornost usmjeriti na nastavne sadržaje povezane s meteorološkim i klimatskim procesima, ekstremnim vremenskim pojavama, klimatskim promjenama. Kao vrlo važan pokazatelj meteorološke pismenosti analizirat će se zastupljenost sadržaja vezanih za korištenje i interpretaciju meteoroloških podataka i prognoza te razumijevanjem rizika, prilagodbe i otpornosti. Kvantitativni pokazatelji zastupljenosti pojedinih sadržaja dopunit će se kvalitativnom analizom obrazovnih ishoda i kompetencija koje se razvijaju na pojedinim razinama obrazovanja. Takav pristup omogućiti će točniju percepciju obrazovne vertikale kao procesa u kojem se temeljna znanja o atmosferi i vremenu postupno nadograđuju prema sposobnosti razumijevanja meteoroloških informacija i procjene mogućih posljedica ekstremnih događaja. Rezultati istraživanja trebali bi pokazati u kojoj je mjeri taj razvoj kontinuiran (i dostatan) te postoje li sadržajne ili kompetencijske praznine između pojedinih obrazovnih razina. Rad pritom otvara pitanje može li se sustavnijim uključivanjem meteorološke pismenosti i sadržaja o hidrometeorološkim rizicima u obrazovanje dugoročno pridonijeti jačanju otpornosti hrvatskog društva na prirodne prijetnje.

Ključne riječi: meteorološka pismenost, hidrometeorološke prijetnje, obrazovanje, kurikulum, meteorološki rizici, društvena otpornost, sigurnost

METEOROLOGIJA ZA ENERGETSKU TRANZICIJU: IZAZOVI I PERSPEKTIVE

KRISTIAN HOTVATH

Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek
Horvatovac 95, 10000 Zagreb, Hrvatska

kristian.horvath@gfz.hr

Energetska tranzicija prema obnovljivim izvorima energije donosi nove mogućnosti, ali i izazove povezane s promjenjivošću vremenskih i klimatskih uvjeta. Proizvodnja energije i planiranje rada energetskih sustava uvelike ovise o meteorološkim uvjetima, dok su energetski sustavi sve više izloženi utjecaju vremena i klime, koji utječu kako na dostupnost energetskih resursa tako i na potrošnju energije. Uključivanjem meteoroloških i klimatskih informacija u planiranje i upravljanje energetskim sustavima moguće je povećati njihovu otpornost na ekstremne vremenske događaje, klimatsku varijabilnost i klimatske promjene te unaprijediti učinkovitost tijekom cjelokupnog životnog ciklusa energetskih projekata.

U kontekstu ciljeva Europske unije za obnovljive izvore energije i globalne energetske tranzicije, meteorološke i klimatske informacije i usluge imaju važnu ulogu u procjeni energetskih resursa, planiranju i razvoju energetskih projekata te njihovu operativnom upravljanju. Energija je, uz poljoprivredu i sigurnost opskrbe hranom, smanjenje rizika od katastrofa, zdravlje i vodne resurse, jedan od pet prioritetnih sektora Globalnog okvira za klimatske usluge Svjetske meteorološke organizacije (WMO GFCS).

Studijska skupina za energetsku tranziciju prema obnovljivim izvorima energije (SG-RENE), osnovana pri Svjetskoj meteorološkoj organizaciji (WMO), podupire članice WMO-a u razvoju održivih energetskih putova, potiče prijelaz s fosilnih goriva na obnovljive izvore energije, povećanje energetske učinkovitosti te jačanje otpornosti energetskih sustava na klimatsku varijabilnost i klimatske promjene. U tom se kontekstu predstavljaju aktivnosti i rezultati skupine SG-RENE te mogućnosti suradnje i potpore koju WMO pruža razvoju energetske meteorologije u Hrvatskoj. Posebno se izdvajaju aktivnosti od interesa za hrvatsku meteorološku zajednicu i primjeri suradnje između skupine WMO SG-RENE te hrvatske istraživačke i operativne zajednice.

Razmatra se cjelokupni životni ciklus energetskih projekata – od nacionalnog energetskog planiranja i početne procjene raspoloživih resursa, preko detaljne procjene energetskog potencijala i njegova mogućeg mijenjanja u uvjetima klimatskih promjena, do operativnog rada energetskih postrojenja. Posebna se pozornost posvećuje složenim ekstremnim događajima te razlikovanju vremenskih i klimatskih ekstrema od energetskih ekstrema koji proizlaze iz neravnoteže između proizvodnje i potrošnje energije. Na kraju se ističu ključni izazovi i prioriteti budućih istraživanja i operativnih aktivnosti u području energetske meteorologije.

Ključne riječi: energetska tranzicija, obnovljivi izvori energije, vrijeme, klima, ekstremi

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A FUNGAL SPORE EMISSION PARAMETERIZATION IN WRF-CHEM: A CASE STUDY IN FINLAND

BORIS MIFKA[1], MAURO MORICHETTI[2], LUKA ILIĆ[3] and UMBERTO RIZZA[4]

[1]Faculty of Physics, University of Rijeka
Radmile Matejčić 2b, 51000 Rijeka, Croatia

[2]Forest Modelling Laboratory, Institute for Agriculture and Forestry Systems in the Mediterranean, National Research Council of Italy (CNR-ISAFOM)
Via Madonna Alta 128, 06100 Perugia, Italy

[3]Institute of Physics, University of Belgrade
Pregrevica 118, 11080 Belgrade, Serbia

[4]Institute of Atmospheric Science and Climate, National Research Council of Italy (CNR/ISAC)
Strada Provinciale Lecce-Monternoni 2, 73100 Lecce, Italy

boris.mifka@phy.uniri.hr

Fungal spores are a type of organic aerosol that is rarely represented in numerical models. Recent studies suggest that fungal spores contribute significantly to particulate matter (PM_{10}) concentrations and can influence cloud microphysical processes by acting as high-temperature ice-nucleating particles (INPs). This is particularly important in Arctic and sub-Arctic regions, where air temperatures are increasing 1.5–4 times faster than the global average due to Arctic amplification. In these regions, the radiative properties of low-level Arctic clouds are sensitive to variations in INP concentrations, introducing major uncertainties in numerical models.

In this study, a new emission module is developed within the WRF-Chem model based on the Heald and Spracklen (HS) scheme, in which the emission flux depends linearly on specific humidity at the lowest model level and the leaf area index (LAI). Dry deposition and gravitational settling are also modified within the model. Measurements of fungal spore concentrations and their properties remain limited. Recently, an extensive measurement campaign was conducted at the Sammaltunturi station in Finland's Pallas–Yllästunturi National Park. eDNA analysis showed that the highly fluorescent aerosol particles (HFAPs) observed at this site were predominantly of fungal spore origin. These measurements are used as reference data to evaluate the fungal spore emission parameterization implemented in the WRF-Chem model. To test the parameterization, a preliminary simulation is performed for the five-day period in August with no recorded precipitation near the measurement site. The HS scheme shows good agreement with the observed HFAP concentrations. The HFAP concentration data were obtained from the TU Wien Research Data repository.

Key words: fungal spores, emission parameterization module, HFAPs, WRF-Chem, Finland

POSTERI
POSTERS

CROWDNOWCASTING – INTEGRACIJA OPAŽANJA GRAĐANA U OPERATIVNI SUSTAV METEOROLOŠKOG NOWCASTINGA

BOJAN LIPOVŠĆAK

Vrapčanska putina 7, 10090 Zagreb, Hrvatska

bojan@lipovscak.com

Razvoj mobilnih komunikacija, geolociranih uređaja, društvenih mreža i distribuiranih senzorskih sustava otvara mogućnost uključivanja građana u operativni sustav meteoroloških opažanja. Koncept Crowdnowcastinga temelji se na prikupljanju geolociranih opažanja meteoroloških pojava u stvarnom vremenu, njihovoj automatskoj kontroli kvalitete i integraciji s konvencionalnim meteorološkim mjerenjima.

Za razliku od klasične meteorološke mreže, koja daje prostorno i vremenski diskretizirana mjerenja, crowdnowcasting omogućuje dobivanje vrlo gustih informacija o pojavi i razvoju lokalnih meteoroloških fenomena. Posebna vrijednost takvog sustava očekuje se kod početka oborine, tuče, grmljavinskog nevremena, magle, pijavice i drugih lokalno ograničenih pojava.

Key words: crowdnowcasting, nowcasting, crowdsourcing, meteorološka opažanja, radar, NWP

ANALYSIS OF 2026 HEATWAVES WITH POTENTIAL IMPACTS ON HUMAN HEALTH IN CROATIA

SARA IVASIĆ, IVANA HAVRLE KOZARIĆ and LIDIJA SRNEC

Croatian Meteorological and Hydrological Service
Ravnice 48, 10000 Zagreb, Croatia

sara.ivasic@dhz.hr

It is known that summer heat creates thermal stress that can adversely affect human health, particularly among vulnerable groups, such as people with chronic illnesses, older adults and young children, as well as outdoor workers.

Croatian Meteorological and Hydrological Service (DHMZ) regularly issues warnings for heatwaves that may affect human health for eight Croatian cities (Osijek, Zagreb, Karlovac, Gospić, Knin, Rijeka, Split, and Dubrovnik) during the warm part of the year, usually from mid-May until September. These cities were selected to represent the full range of climatic regions of Croatia with available mortality data required for defining the thresholds of moderate, high, and very high heat-related health risk. Daily minimum and maximum air temperature values were used to determine the thresholds corresponding to the three risk levels for each city.

According to the seasonal climate assessment, the summer of 2026 was extremely warm across almost the entire territory of Croatia. Climatological data indicate that the heatwaves affecting human health during 2026 were also exceptional in both duration and intensity. This year's heatwaves simultaneously affected the whole country, first in late June and once again in late July and early August. Records for the longest ever uninterrupted heatwave duration were set at the Rijeka, Split-Marjan, Knin, Dubrovnik, Gospić, and Zagreb-Maksimir stations. In addition, the highest number of consecutive days meeting the criteria for very high health risk were recorded at the following stations: Rijeka, Split-Marjan, Dubrovnik, and Zagreb-Maksimir.

Since 1991, a clear increase in the number of days meeting the criteria for heatwave-related health risk has been observed across Croatia. Also, an increase has been recorded in the number of hot days, defined as days with a maximum air temperature of at least 30°C, as well as in the number of warm nights, during which the minimum air temperature does not fall below 20°C.

Key words: heatwaves, biometeorology, climatology

LONG-TERM CHANGES IN HEAT STRESS IN CROATIA BASED ON PET AND UTCI

IVANA HAVRLE KOZARIĆ

Croatian Meteorological and Hydrological Service
Ravnice 48, 10000 Zagreb, Croatia

ivana.havrle@dhz.hr

Monitoring long-term changes in bioclimatic conditions is essential for understanding how climate change affects humans, with heat stress being one of its most direct indicators. This study analyses heat stress across Croatia from 1901–2024, using Physiological Equivalent Temperature (PET) and Universal Thermal Climate Index (UTCI). These thermal indices are calculated using daily mean values of air temperature, relative humidity, wind speed, and cloud cover from four meteorological stations with 125 years of continuous measurements. The analysis includes distributions of heat stress categories, long-term trends in annual and seasonal index means, and changes in the number of days with significant heat stress (the top 10% of days).

The results confirm pronounced seasonal and regional variations. In the distributions of heat stress categories over 30-year periods, as well as during the entire period, clear long-term changes are observed – a decrease in cold stress in winter and an increase in heat stress in summer. These changes are most pronounced in the recent period, 2020–2024. Inland stations show an increasing trend in annual and seasonal PET and UTCI means, with the strongest signal observed in Gospić. On the other hand, no significant trend is seen at the coastal Hvar station, apart from a weak positive trend in summer. The number of days with the highest heat stress categories and values above the 90th percentile increased the most in Osijek and especially in Zagreb, with the rise more pronounced over the past two decades. At the other two analysed stations, only UTCI shows an increase in the number of extreme days. This research suggests that in Croatia, unfavourable bioclimatic conditions increased significantly in the late 20th century and especially in the early 21st century.

Key words: heat stress, Physiological Equivalent Temperature (PET), Universal Thermal Climate Index (UTCI), long-term trends

ISTOČNOATLANTSKA OSCILACIJA KAO MODULATOR LJETNE TEMPERATURE ZRAKA U HRVATSKOJ: PROSTORNA I VREMENSKA VARIJABILNOST

KARLA MLAĐEN, DOMAGOJ HRVOJEVIĆ, IVANA HERCEG BULIĆ, MARIJANA BORAS i KSENIJA CINDRIĆ KALIN

Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek
Horvatovac 95, 10000 Zagreb, Hrvatska

karla.mladjen@gfz.hr

Učestalost i intenzitet ekstremno visokih ljetnih temperatura zraka te toplinskih valova u porastu su, što ima ozbiljne posljedice na zdravlje stanovništva, ekosustave i gospodarstvo. Premda je dugoročni trend zagrijavanja prvenstveno posljedica antropogenih klimatskih promjena, na međugodišnju i višegodišnju varijabilnost sezonske temperature zraka značajno utječu i daljinske veze, niskofrekventni modovi klimatske varijabilnosti u atmosferi i oceanima. Cilj ovog rada je kvantificirati vezu dominantnog moda klimatske varijabilnosti i ljetne sezonske maksimalne odnosno minimalne temperature zraka u Hrvatskoj te ispitati njezinu varijabilnost.

Analiza se temelji na podacima o maksimalnoj i minimalnoj dnevnoj temperaturi zraka iz baze E-OBS (0,1°x0,1°, 1950. – 2025.), mjesečnim indeksima modova klimatske varijabilnosti (NOAA CPC) te podacima reanalize ERA5 za širu domenu sjevernog Atlantika i Europe. Primijenjene su metode višestruke linearne regresije, analize empirijskih ortogonalnih funkcija (EOF), Muggeove segmentirane regresije te Pearsonove, Spearmanove i klizne korelacije.

Rezultati izdvajaju Istočnoatlantsku oscilaciju (engl. East Atlantic, EA) kao najznačajniji mod povezan s temperaturom zraka u Hrvatskoj. Pozitivna faza EA-a dosljedno povisuje temperaturu u svim sezonama, pri čemu je signal najizraženiji ljeti, kada EA objašnjava najveći dio njezine prostorne i vremenske varijabilnosti. Segmentirana regresija ukazuje na statistički značajnu promjenu trenda EA-a sredinom 1970-ih, dok usporedba razdoblja prije i poslije te promjene pokazuje jačanje veze EA-a i temperature zraka. Mod EA snažnije i konzistentnije utječe na maksimalnu temperaturu, dok minimalna temperatura pokazuju izraženiju prostornu varijabilnost.

S obzirom na to da je pozitivna faza EA-a povezana s pojavom pozitivnih temperaturnih anomalija i razvojem ljetnih toplinskih valova, ovaj mod predstavlja važan čimbenik ne samo u kontekstu sezonskih prognoza i statističkog reskaliranja (engl. downscaling), nego i pri planiranju mjera prilagodbe na posljedice klimatskih promjena.

Ključne riječi: Istočnoatlantska oscilacija, temperatura zraka, klimatska varijabilnost, nestacionarnost

POVEZANOST TEMPERATURE ZRAKA I KRVNOG TLAKA U ODRASLIH OSOBA U HRVATSKOJ: EH-UH 2 STUDIJA

JAGODA NIKIĆ[1], ANTONIA VUKŠIĆ[2], ANA STUPIN[3], ANA JELAKOVIĆ[2], LIDIJA SRNEC[4], MATEA BILOBRK[5], GORAN GAJSKI[6], IVANA HERCEG BULIĆ[7], LOVORKA BILAJAC[8] i BOJAN JELAKOVIĆ[2]

[1]Škola za medicinske sestre Mlinarska, Mlinarska cesta 34, 10000 Zagreb, Hrvatska

[2]Klinički bolnički centar Zagreb, Kišpatićeva ulica 12, 10000 Zagreb, Hrvatska

[3]Medicinski fakultet Osijek, Josipa Huttlera 4, 31000 Osijek, Hrvatska

[4]Državni hidrometeorološki zavod, Ravnice 48, 10000 Zagreb, Hrvatska

[5]Nastavni zavod za javno zdravstvo Primorsko goranske županije Krešimirova 52a, 51000 Rijeka, Hrvatska

[6]Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada Ksaverska cesta 2, 10001 Zagreb, Hrvatska

[7]Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek Horvatovac 95, 10000 Zagreb, Hrvatska

[8]Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Braće Branchetta 20, 51000 Rijeka, Hrvatska

jagodanikic@yahoo.com

Temperatura zraka prepoznata je kao važna okolišna odrednica krvnog tlaka, pri čemu su temperaturni ekstremi i veća temperaturna varijabilnost povezani s povećanim kardiovaskularnim rizikom. Krvni tlak može biti povezan s temperaturom zraka na dan mjerenja, ali i s temperaturom zraka tijekom prethodnih dana. Cilj ovog istraživanja je procijeniti povezanost krvnog tlaka s temperaturom zraka tijekom dvotjednog razdoblja u odraslih osoba u Hrvatskoj.

Analizirani su podaci istraživanja *Epidemiologija arterijske hipertenzije i unos kuhinjske soli u Hrvatskoj* (EH-UH 2) za 1320 ispitanika i ukupno 2121 mjerenje krvnog tlaka tijekom 2018. – 2021., uključujući 808 kućnih i 1313 ordinacijskih mjerenja. Dnevne srednje temperature zraka na visini od 2 m izračunate su iz trosatnih podataka reanalize CERRA te bilinearnom interpolacijom pridružene koordinatama mjesta stanovanja ispitanika. Promatran je dan mjerenja krvnog tlaka i 13 prethodnih dana (pomaci 0 – 13). Za sistolički (SKT) i dijastolički krvni tlak (DKT) primijenjeni su linearni mješoviti modeli s vremenskim pomacima. Pretpostavljena je linearna povezanost temperature zraka s krvnim tlakom, dok je promjena te povezanosti kroz vremenske pomake opisana prirodnom kubičnom splajn-bazom od četiri stupnja slobode. Nelinearni oblici povezanosti temperature zraka i krvnog tlaka nisu ispitivani. Modeli su prilagođeni za dob, spol, indeks tjelesne mase, pušenje, dijabetes, antihipertenzivnu terapiju, tip mjerenja, relativnu vlažnost i tlak zraka. M1 uključuje linearno kalendarsko vrijeme, M2 godinu, a M3 i M4 godišnje doba. Svi modeli uključuju slučajni učinak ispitanika radi uvažavanja povezanosti ponovljenih mjerenja iste osobe. Modeli M1 – M3 dodatno uključuju slučajne učinke skupina definiranih istim koordinatama mjesta stanovanja i istim datumom mjerenja. Dodatno je ispitana osjetljivost rezultata na istodobnu prilagodbu za godinu i sezonalnost te dodatno grupiranje po datumu mjerenja. Za kumulativne kontraste izračunati su Satterthwaiteovi 95 %-tni intervali pouzdanosti. Zajedničkim F-testom ispitana je statistička značajnost svih temperaturnih koeficijenata.

Srednja dob ispitanika bila je 57,3 godine, a 64,5 % činile su žene. Prosjek temperature zraka tijekom dvotjednog razdoblja kretao se od -2,3 do 27,1 °C. Za hipotetsku razliku od +10 °C u srednjoj dnevnoj temperaturi zraka svakoga od 14 promatranih dana, u M1 – M4 procijenjen je 1,94 – 2,88 mmHg niži SKT i 1,48 – 2,48 mmHg niži DKT. Svi kumulativni kontrasti bili su nominalno statistički značajni ($p < 0,05$). U M3 procjena za SKT iznosila je -

2,71 mmHg (95 %-tni interval: -5,19 do -0,24), a za DKT -2,48 mmHg (od -4,09 do -0,86). U dodatnim modelima s istodobnom prilagodbom za godinu i sezonalnost te dodatnim grupiranjem po datumu, intervali pouzdanosti za SKT uključivali su nulu, dok je rezultat za DKT ovisio o načinu sezonske prilagodbe. Zajednički test temperaturnih koeficijenata bio je značajan za SKT u M1, M3 i M4, a za DKT u sva četiri modela.

U modelima M1 – M4 viša temperatura zraka tijekom promatranog dvotjednog razdoblja bila je povezana s nižim krvnim tlakom. Dodatne analize pokazale su da su rezultati bili osjetljivi na način vremenske prilagodbe i grupiranja mjerenja, osobito za DKT. Ograničenja istraživanja uključuju neravnomjernu sezonsku raspodjelu mjerenja i izostanak izravnog mjerenja osobne izloženosti temperaturi.

Ključne riječi: temperatura zraka, krvni tlak, vremenski pomaci, CERRA, EH-UH 2

REGIONALIZACIJA EKSTREMNE DNEVNE KOLIČINE OBORINE U HRVATSKOJ I POVEZANOST S VREMENSKIM TIPOVIMA

KSENIJA CINDRIĆ KALIN[1], IRENA NIMAC[2], IVAN LONČAR-PETRINJAK[3], IVANA HERCEG BULIĆ[1] i ZORAN PASARIĆ[1]

[1]Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek
Horvatovac 95, 10000 Zagreb, Hrvatska

[2]Wegener Center for Climate and Global Change, University of Graz
Brandhofgasse 5, 8010 Graz, Austrija

[3]Državni hidrometeorološki zavod, Ravnice 48, 10000 Zagreb, Hrvatska

ksenija.cindric@gfz.hr

Kratkotrajne ekstremne količine oborine, do jednog dana, često su potrebne pri projektiranju sustava odvodnje na lokacijama na kojima ne postoje izravna mjerenja ili su dostupni samo kratki nizovi podataka. Određivanje regija sa sličnim prostorno-vremenskim obilježjima ekstremne količine oborine može pružiti pouzdaniju osnovu za procjenu vjerojatnosti pojavljivanja rijetkih događaja. Iako su u Hrvatskoj i ranije izdvajane regije karakterističnih oborinskih obilježja, takve su se podjele uglavnom temeljile na godišnjem hodu srednjih količina oborine i subjektivnim kriterijima.

Cilj ovog istraživanja je identificirati regionalne obrasce ekstremne dnevne količine oborine u Hrvatskoj te ispitati njihovu sezonalnost i povezanost s dominantnim vremenskim tipovima. Primijenjena je metoda grupiranja s ciljem određivanja reprezentativnih homogenih regija ekstremne količine oborine na temelju geografskih obilježja te su procijenjene regionalne teorijske statističke distribucije. Analiza je provedena na podacima maksimalne dnevne količine oborine (Rx1d) sa 180 postaja za razdoblje 1961. – 2022. Analizom različitog broja regija izdvojeno je sedam klimatski homogenih regija koje najbolje opisuju prostornu strukturu godišnjih maksimuma dnevne oborine. Kao najprikladnija teorijska distribucija za opis Rx1d odabrana je opća razdioba ekstremnih vrijednosti (GEV), koja je potom primijenjena za procjenu povratnih vrijednosti na razini pojedinačnih postaja i regija. Analiza sezonalnosti pojavljivanja godišnjih maksimuma pokazala je da je ona umjereno izražena, pri čemu se ekstremne količine oborine u svakoj regiji pojavljuju tijekom relativno širokog dijela godine. Uočava se jasan regionalni pomak pojave maksimuma od ljeta u kontinentalnoj Hrvatskoj prema kasnoj jeseni duž Jadrana.

Dodatno je analizirana povezanost godišnjih maksimuma s vremenskim tipovima određenima Jenkinson-Collinsovom metodom. Rezultati pokazuju da je ciklonalni vremenski tip najčešće povezan s pojavom godišnjeg maksimuma dnevne količine oborine u svim izdvojenim regijama, što pruža dodatni uvid u atmosferske procese odgovorne za pojavu ekstremnih količina oborine.

Ključne riječi: regionalizacija, oborina, ekstremi, vremenski tipovi, sezonalnost

A DEEP LEARNING APPROACH FOR IDENTIFYING HAIL-FAVORABLE ENVIRONMENTS USING NWP DATA GUIDED BY HAIL REPORTS

LANA HERCIGONJA DULIBIĆ[1], ZEESHAN ASLAM[2], MOETASIM ASHFAQ[2] and MAJA TELIŠMAN PRTENJAK[1]

[1]University of Zagreb Faculty of Science, Department of Geophysics
Horvatovac 95, 10000 Zagreb, Croatia

[2]Oak Ridge National Laboratory
1 Bethel Valley Rd #5200, Oak Ridge, TN 37830, Tennessee, USA

lana.hercigonja.dulibic@gfz.hr

Hail is one of the most devastating natural hazards, causing severe damage to agriculture, infrastructure, and property. Its formation depends on atmospheric ingredients such as strong updrafts, sufficient moisture, and a suitable thermal structure for ice growth, which interact on spatial and temporal scales that are difficult to capture. The rare and localized nature of hail events makes them hard to observe and measure, which further increases the problem complexity. As a result, accurately modelling, forecasting and verifying the atmospheric conditions favorable for hail growth is still a major challenge.

With the rise in high-performance computing and storage, it is now possible to run computationally intensive algorithms like deep learning, which heavily depend on high-volume data such as high-resolution atmospheric model outputs that span multiple years. Deep learning offers a way to learn directly from the complex, nonlinear, spatially organized patterns in this data, which may be difficult to capture with traditional diagnostic indices. Therefore, hail formation can now be studied in new ways.

This study identifies regions with hail-prone atmospheric conditions using a spatially aware deep learning model (a convolutional neural network, CNN). Our CNN is trained on a set of meteorological fields relevant to deep convection, whose behavior and spatial patterns are linked to the hail observed at the ground. Once trained, the CNN could be applied to other regions, given that the comparable sub-daily, high-resolution meteorological data is available. The ultimate goal is to test the robustness of the CNN across parts of North America and Europe; this study presents results for the United States.

We obtain meteorological fields from the output of the NOAA High-resolution Rapid Refresh (HRRR) atmospheric model, an hourly updated numerical weather prediction model run operationally in the United States by the National Weather Service on a 3 km horizontal grid. At this resolution, the convective processes are explicitly resolved, which makes HRRR dataset an excellent basis for studying the convective environments associated with hail. Ground-based hail reports are known to be biased and inconsistent in space and time, so we do not treat them as a complete ground truth. To reduce the risk of inheriting reporting bias in the results, our framework incorporates hail reports through positive-unlabeled learning, meaning we do not interpret the absence of a report as evidence that no hail occurred. The results are hourly gridded hail probability maps that characterize regions with hail potential in a way that draws on, but is not limited to, the ground hail reports.

Hourly predictions can be aggregated into a multi-year frequency map of hail-prone conditions, which can provide new insights for fields such as agricultural risk management, infrastructure planning, and insurance risk assessment. After further verification and calibration of the output probabilities, our approach could also be applied operationally, since

the meteorological fields it relies on are already produced in near-real time, and inference with a trained CNN is computationally inexpensive.

Key words: convection-permitting climate models, hail, convective environments, deep learning, convolutional neural network

VAŽNOST METEOROLOŠKIH PODATAKA U PROCJENI HAZARDA I RIZIKA OD KLIZIŠTA

IRIS BOSTJANČIĆ, VLATKO GULAM i DAVOR POLLAK

Hrvatski geološki institut
Sachsova 2, 10000 Zagreb, Hrvatska
ibostjancic@hgi-cgs.hr

Klizanje tla pripada skupini geohazardnih događaja koji uzrokuju znatne materijalne štete te ugrožavaju ljudske živote i infrastrukturu. Predstavlja proces gravitacijskog gibanja materijala niz padinu, pri čemu inženjerskogeološke, litološke i morfološke značajke čine osnovne preduvjete koji definiraju stupanj stabilnosti padine, dok je za samu aktivaciju nužan vanjski okidač. U Hrvatskoj je klizanje primarno inicirano intenzivnom i/ili dugotrajnom oborinom, ali i nepovoljnim antropogenim zahvatima. S obzirom da projekcije učestalijih ekstremnih meteoroloških događaja najavljuju porast broja klizišta, nameće se potreba za istraživanjem njihove međusobne povezanosti.

U metodološkom smislu važno je razlikovati karte podložnosti, hazarda i rizika. Karte podložnosti prikazuju prostornu vjerojatnost pojave novih klizišta, a temelje su na podacima o postojećim klizištima i značajkama prostora koje pogoduju njihovoj aktivaciji. Procjena hazarda podložnosti dodaje i analizu vremenske komponente, u kojoj su meteorološki podaci neizostavni za:

- povezivanje konkretnog oborinskog događaja s vremenom aktivacije klizišta uz definiranje kritičnih graničnih vrijednosti (odnosi intenziteta, trajanja i ukupne količine oborine)
- primjenu utvrđenih graničnih vrijednosti na prognostičke meteorološke modele s ciljem predviđanja potencijalnih aktivacija klizišta
- definiranje povratnih razdoblja kritičnih oborinskih događaja temeljem povijesnih meteoroloških nizova uz procjenu vjerojatnosti njihove pojave.

Na procjenu hazarda nadovezuje se procjena rizika, koja integracijom ranjivosti izloženih elemenata i šteta pruža cjelovitu podlogu za održivo upravljanje prostorom.

Pouzdano modeliranje oborinskih pragova suočava se s dvostrukim izazovom. S jedne strane uočljiv je nedostatak sustavnih evidencija aktivacije klizišta. S druge strane neravnomjerna pokrivenost, prekidi u mjerenju i varijabilna duljina nizova prizemnih meteoroloških postaja usmjeravaju istraživanja prema primjeni sve dostupnijih satelitskih podataka i reanaliza. U tom je kontekstu evaluirana pouzdanost reanalize ERA5-Land usporedbom s prizemnim mjerenjima postaja DHMZ-a na pet lokacija u Panonskoj Hrvatskoj (rad je dostupan na poveznici https://www.mdpi.com/2073-4441/18/15/1783). Rezultati potvrđuju da ERA5-Land uspješno simulira dugoročne klimatske trendove, ali pokazuje sustavnu pogrešku, precjenjuje učestalost oborine slabog intenziteta, a podcjenjuje vršne količine oborine jakog intenziteta. Dodatno, izražen učinak rošenja (drizzle effect) umjetno spaja neovisne oborinske epizode u dugotrajne događaje, što značajno utječe na rekonstrukciju parametara aktiviranja klizišta. Stoga je za operativnu primjenu nužno provesti statističku korekciju i lokalnu kalibraciju, što dodatno naglašava potrebu za kontinuiranom interdisciplinarnom suradnjom geologa i meteorologa.

Ključne riječi: klizišta, hazard od klizanja, meteorološki događaj, oborinski pragovi, interdisciplinarna suradnja

POTKORNJAK KAO BIOLOŠKI POKAZATELJ KLIMATSKIH PROMJENA: OD PRODULJENE RAZVOJNE SEZONE DO GRADACIJE NAKON EKSTREMNOG VJETROLOMA

MARTA KOVAČ[1], IVAN PILAŠ[1], MISLAV ANIĆ[2] i MILAN PERNEK[1]

[1]Hrvatski šumarski institut
Cvjetno naselje 47, 10450 Jastrebarsko, Hrvatska
[2]Državni hidrometeorološki zavod
Ravnice 48, 10000 Zagreb, Hrvatska
martam@sumins.hr

Klimatske promjene utječu na šumske ekosustave ne samo izravno, promjenama temperature zraka i oborinskog režima, nego i posredno, mijenjajući razvoj, sezonsku aktivnost i populacijsku dinamiku šumskih kukaca. Mediteranski borov potkornjak *Orthotomicus erosus Wollaston* predstavlja primjer vrste čiji odgovor na promijenjene klimatske uvjete može poslužiti kao biološki pokazatelj povećane ranjivosti mediteranskih šuma.

Prva zabilježena gradacija ove vrste u Hrvatskoj, tijekom 2017. i 2018. godine, upućivala je na promjene u njezinoj populacijskoj dinamici. Dok su ranije za Hrvatsku bile opisane dvije do tri generacije godišnje, monitoring 2018. pokazao je četiri do pet generacija. Takav nalaz upućuje na mogućnost produljenja razvojnog razdoblja i povećanja broja generacija u toplijoj klimi, uz dodatni utjecaj suše na oslabljivanje stabala.

Najnovija gradacija zabilježena je nakon olujnog nevremena koje je u srpnju 2025. pogodilo Park-šumu Marjan u Splitu. Oko 2.000 m³ oštećenog drvnog materijala ostalo je u šumi do veljače 2026., stvarajući povoljne uvjete za razmnožavanje potkornjaka. Kolonizacija je započela unutar dva tjedna nakon vjetroloma, a do prosinca 2025. bilo je napadnuto 94 % pregledanih trupaca. Na 86 % napadnutih trupaca zabilježeni su izlazni otvori, što potvrđuje uspješan završetak razvoja nove generacije. U deset feromonskih klopki ukupno je ulovljeno 131.588 jedinki, od čega više od 88 % tijekom proljeća 2026., s izraženim maksimumom početkom travnja. Pojava novonapadnutih dubećih stabala potvrdila je širenje populacije s izvaljenog materijala na živa stabla.

Ovi rezultati ilustriraju kako se dugoročnije promjene klimatskih uvjeta i pojedinačni ekstremni meteorološki događaji mogu nadovezivati u oblikovanju populacijske dinamike šumskih štetnika. *O. erosus* pritom može poslužiti kao biološki pokazatelj promjena u funkcioniranju mediteranskih šumskih ekosustava, dok vjetrolom na Marjanu pokazuje kako ekstremni događaj može dodatno pojačati već postojeći rizik od gradacije. Klimatski ekstremi u ovom slučaju dodatno dovode u pitanje dugoročnu održivost postojećeg sastava šuma, osobito onih u kojima dominira jedna vrsta drveća. Stoga je potrebno strateški promišljati o tome koje vrste drveća i u kojim omjerima mogu oblikovati stabilne i otporne šumske sastojine u uvjetima klimatskih promjena koje se očekuju u budućnosti. Istraživanje naglašava važnost povezivanja meteorološkog i biološkog monitoringa te pravodobne sanacije oštećenog drvnog materijala.

Ključne riječi: alepski bor, *Orthotomicus erosus*, populacijska dinamika, gradacija potkornjaka, mediteranske borove šume

ANALIZA TOPLINSKIH VALOVA U RAZDOBLJU OD 2016. DO 2026. GODINE

ENA DUGEČ[1], TOMISLAV KOZARIĆ[1] i CHLOE EVAN[2]

[1]Državni hidrometeorološki zavod
Ravnice 48, 10000 Zagreb, Hrvatska
[2]Météo France
42 avenue Gaspard Coriolis, 31057 Toulouse Cedex 01, Francuska
ena.dugec@dhz.hr

Toplinski valovi predstavljaju razdoblja izrazito visokih temperatura zraka koja mogu imati značajan utjecaj na zdravlje ljudi, osobito osjetljivih skupina poput djece, starijih osoba, kroničnih bolesnika i osoba koje rade na otvorenom. Temperatura zraka pri kojoj se pojavljuje povećan zdravstveni rizik nije jednaka u svim područjima, već ovisi o lokalnim klimatskim prilikama i prilagođenosti stanovništva na visoke temperature zraka. Zbog klimatske raznolikosti Hrvatske kritične vrijednosti temperature zraka razlikuju se među pojedinim dijelovima zemlje. Na temelju istraživanja povezanosti temperature zraka i smrtnosti određene su kritične temperature zraka iznad kojih se povećava rizik od štetnih posljedica za zdravlje, osobito u slučaju duljeg trajanja visokih temperatura. Radi pravodobne zaštite stanovništva, u Hrvatskoj se od 15. svibnja do 15. rujna provodi sustav upozoravanja na opasnost od vrućine s četiri razine opasnosti: nema opasnosti, umjerena, velika i vrlo velika opasnost.

U radu su analizirani toplinski valovi na području Hrvatske u razdoblju od 2016. do 2026. godine. Analiza je provedena za odabrane gradove, odnosno pripadajuće regije upozorenja. Toplinski val definiran je kao kontinuirano razdoblje s izdanim upozorenjem na opasnost od vrućine, pri čemu dan bez upozorenja označava završetak toplinskog vala. Za svaki događaj određeni su datum početka i završetka, trajanje, najviša maksimalna temperatura zraka (T_{max}), najviša dosegnuta razina upozorenja te broj uzastopnih dana s tom razinom upozorenja.

Pri određivanju najizraženijih toplinskih valova prvenstveno su uzeti u obzir najviša dosegnuta razina upozorenja i broj uzastopnih dana s tom razinom, dok je za razlikovanje događaja jednakih obilježja korišten dodatni indeks koji uključuje trajanje toplinskog vala i najvišu zabilježenu maksimalnu temperaturu zraka.

Prema podacima za 2026. godinu dostupnima do 6. kolovoza, posebno se ističe toplinski val u Splitu od 22. lipnja do 1. srpnja. Trajao je 10 dana, uz maksimalnu temperaturu zraka od 39,5 °C i devet uzastopnih dana crvenog upozorenja, što predstavlja dulji niz crvenih upozorenja od onih zabilježenih među najizraženijim toplinskim valovima analiziranog razdoblja 2016. – 2026.

Rezultati pokazuju da toplinski valovi najčešće započinju u srpnju te da postoje izražene prostorne i međugodišnje razlike. Tijekom razdoblja 2016. – 2026. češći i dugotrajniji toplinski valovi zabilježeni su u priobalnim regijama, dok najviše maksimalne temperature zraka nisu nužno zabilježene na obali. Posebno se ističe toplinski val u Kninu 2017. godine, koji je trajao 12 dana, uz maksimalnu temperaturu zraka od 42,3 °C i šest uzastopnih dana crvenog upozorenja. U novijim godinama uočavaju se dulji nizovi dana s najvišom razinom upozorenja.

Ključne riječi: maksimalna temperatura zraka, toplinski val, upozorenje, Hrvatska

75 GODINA FENOLOŠKIH OPAŽANJA U HRVATSKOJ: RAZVOJ I SUVREMENA ULOGA MREŽE DHMZ-A

IVANA MEDVED i VLATKA BULEŠIĆ NIKOLIĆ

Državni hidrometeoeološki zavod, Ravnice 48, 10000 Zagreb, Hrvatska

medved@dhz.hr

Fenološka opažanja u Hrvatskoj imaju dugu i vrijednu tradiciju. Sustavno praćenje fenoloških pojava u okviru Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) započelo je 1951. godine, osnivanjem mreže fenoloških postaja. Mreža je tada obuhvaćala 43 postaje. Tijekom 75 godina njezin se opseg mijenjao u skladu s različitim okolnostima. Ukupno je u različitim razdobljima djelovalo 166 fenoloških postaja, dok je danas aktivna 61 postaja.

Na fenološkim postajama prate se 82 biljne vrste, razvrstane u šest skupina: samonikle zeljaste biljke, šumsko drveće i grmlje, djeteline i trave, ratarske kulture, voćke te vinova loza. Bilježe se različite razvojne faze biljaka, uključujući početak listanja i cvatnje, plodonošenje, žućenje i opadanje lišća. Uz biljne fenofaze bilježi se i aktivnost pčela, te poljodjelski radovi. Dugogodišnje prikupljanje ovih podataka omogućuje praćenje sezonske dinamike biljnog svijeta i njezinih promjena.

Fenološka opažanja provodila su se kontinuirano i tijekom Domovinskog rata. Iako je tada došlo do najvećeg smanjenja broja aktivnih postaja, opažanja su se nastojala održati u područjima u kojima su za to postojali uvjeti. Kontinuitet ovih dugoročnih nizova posebno je vrijedan za proučavanje promjena u početku i trajanju razvojnih faza biljaka. Fenološki podaci stoga predstavljaju važan izvor informacija za praćenje utjecaja klimatskih promjena na biljni svijet. Podaci s fenoloških postaja šalju se u međunarodnu razmjenu u okviru projekta PEP725.

Važan korak u modernizaciji mreže učinjen je 2018. godine, kada je izrađena digitalna baza podataka u kojoj su objedinjeni svi povijesni podaci. Baza danas obuhvaća oko 600.000 zapisa na razini postaja – godina – objekt – fenofaza. Godine 2025. uveden je sustav kontrole i verifikacije podataka, čime se dodatno unaprjeđuje njihova kvaliteta i pouzdanost.

U sklopu mreže nalaze se i domaći te međunarodni fenološki vrt u Križevcima. Njihova obnova provodila se od 2023 do 2026 godine. Uklonjena su stara i opasna stabla, očišćen je zarasli prostor te su nabavljene i posađene nove sadnice. Podaci iz međunarodnog fenološkog vrta uključuju se u međunarodnu razmjenu u okviru mreže International Phenological Gardens of Europe (IPG).

Trenutačno je u tijeku prikupljanje koordinata svih fenoloških objekata mreže. Georeferenciranje će omogućiti njihovo prostorno prikazivanje i kartiranje, te otvoriti nove mogućnosti za prostorne analize i povezivanje fenoloških podataka s klimatskim i drugim okolišnim podacima.

U kontekstu klimatskih promjena, dugogodišnji fenološki nizovi prikupljeni na ovim postajama predstavljaju jedan od najznačajnijih bioloških indikatora globalnog zatopljenja. Podaci jasno ukazuju na trendove ranijeg početka vegetacijskog ciklusa i pomaka u fenofazama, što zahtjeva brzu prilagodbu poljoprivrede i šumarstva. Obilježavanje 75 godina fenoloških opažanja prilika je za isticanje kontinuiteta rada DHMZ-a, vrijednosti dugoročnih podatkovnih nizova i njihova značaja za praćenje promjena u okolišu.

Ključne riječi: fenološka opažanja, fenološki nizovi, klimatske promjene, digitalizacija podataka

CROATIAN PHENOLOGICAL DATA IN PEP725 – PAN EUROPEAN PHENOLOGICAL DATABASE (A MODULE OF EUMETNET CLIMATE PROGRAMME)

HELENA LEBO ANDREIS

Croatian Meteorological and Hydrological Service
Ravnice 48, 10000 Zagreb, Hrvatska

helena.lebo@dhz.hr

Phenology is the study of seasonal biological events on plants and animals, called phenological stages, and their correlation to environmental conditions, especially climate. Phenological data include phenological stages such as beginning of flowering, full flowering, fruit ripening, autumnal leaf colouring, leaf-fall etc.

Croatia has a long history of phenological observations of many plants and bees, ever since 1951. Recently, phenological data have been collected from 61 locations across Croatia and stored in Croatian Phenological Database, developed and maintained at DHMZ. The database has around 600,000 records including trees, shrubs, bees etc. During history, the number of station and plants has varied. More details about Croatian Phenological Database can be found at DHMZ in other presentations. In this presentation, the main goal is to describe the export to PEP725 Database.
Besides maintaining the phenological data in our national phenological database, international exchange also plays an important part.
Croatian phenological data from 9 locations have been exported to Pan European Phenological Database (PEP725) every year. The number of stations has only slightly varied over time.

PEP725, the Pan European Phenological Database collects data from more than 30 Institutions (National Meteorological Services and other Institutions).
It is a European research infrastructure to promote and facilitate phenological research. Its main objective is to build up and maintain a pan European phenological database with an open, unrestricted data access for science, research and education (definition from pep725.eu).

PEP725 is a Module of the EUMETNET Climate Programme. The PEP725 Database is maintained by GeoSphere Austria.

Before development of Croatian Phenological Database, it was quite time consuming for both export and import to PEP725 Database. Many things had to be done manually – there was not direct export and IDs were not compatible. Therefore, after developing the database, we decided to make the process easier for both, export and import.
Although we have earlier developed our own system of identification and classification, we followed PEP725 requirements and included their IDs to our database, including Station IDs, Plant IDs, and BBCH scale for phenological stages classification, so we can use them in the export process. Each representative entity in our database is classified with both our identification and PEP725 identification.
For data exchange, appropriate stations had been chosen, to represent different climate regions and having a large dataset. Those stations are: Čepić, Daruvar, Gospić, Hvar, Križevci, Đakovo, Rab, Trsteno and Zagreb.
Before export, phenological data from these stations need to be evaluated using our quality control tools.
Once the data have been verified, they can be exported directly from our database, and saved to the required format, including the PEP725 IDs, and sent to GeoSphere Austria. Once received by GeoSphere PEP725 team, the data can be directly imported to the PEP725 database without any additional adjustments.

The GeoSphere team is in the process of developing the new improved system for retrieving data from PEP725 Database. More details can be found on https://pep725.eu/.

Key words: phenology, PEP725, Pan European Phenological Database, phenological data export

DECODING COMPLEX COASTAL WINDS: FOUR YEARS OF SODAR OBSERVATIONS AT SPLIT AIRPORT

VINKO ŠOLJAN[1], JADRAN JURKOVIĆ[1] and JADRANKA ŠEPIĆ[2]

[1]Croatia Control
Rudolfa Fizira 2, 10410 Velika Gorica, Croatia
[2]University of Split Faculty of Science
Cvite Fiskovića 5, 21000 Split, Croatia
vinko.soljan@crocontrol.hr

Split Saint Jerome Airport (LDSP), situated on the eastern Adriatic coast, presents a uniquely complex meteorological environment for commercial aviation operations. Positioned at the base of the Dinaric Alps, the airport experiences severe terrain-induced flow modifications, creating a challenging intersection between large-scale synoptic weather systems and sub-mesoscale coastal circulations. Following collaboration between the University of Split, Split Airport, and Croatia Control (air navigation service provider) continuous SODAR (**SO**nic **D**etection **A**nd **R**anging) measurements have been operational since June 2022 at the airport location. The primary objective of this university project was the collection of research data, but since it was installed at the airport, it's real-time measurements can also provide very useful information for aviation forecasters.

The observational infrastructure utilizes a Scintec MFAS (Multi-Frequency Flat Array) SODAR. While the hardware is theoretically capable of profiling up to 1,000 m, the system is operationally optimized for high-resolution monitoring within the lowest 500 m of the troposphere. This layer represents the critical flight zone governing aircraft approach, landing, and departure phases. Data is logged and processed at 20-minute intervals, yielding a detailed continuous vertical profile of wind speed, direction, and turbulence parameters.

Spanning four years of continuous observations, the dataset successfully captures the complex seasonal and diurnal variability of four dominant local wind regimes characteristic of the region:

Bora (Bura): A severe, gusty north-easterly wind driven by high pressure inland, frequently generating intense mechanical turbulence and rotor phenomena due to the complex nearby topography.

Sirocco (Jugo): A moist, stable south-easterly flow channelled along the Adriatic basin, occasionally sustaining wind speeds exceeding 25 ms^{-1} within the lowest 500 m layer.

Sea-Breeze (Maestral): A persistent, thermally driven south-westerly coastal circulation that systematically dictates operational runway transitions – forcing shifts from standard instrument approaches to more complex visual routes from the north-east due to immediate mountain proximity.

North-Westerly Gap Flow and Tramontana: Comprising both katabatic flow channeled through mountain gaps north-west of the airfield and post-frontal synoptic-orographic north-westerly surges.

Beyond regional wind climatology, the high-frequency SODAR profiles prove exceptionally valuable for identifying hazardous low-level vertical wind shear and thermal inversions invisible to standard surface instrumentation. This poster highlights representative vertical

wind structures, multi-level wind roses at discrete vertical increments (30 m, 80 m, 150 m, and 300 m), and documented case studies of critical wind shear episodes. Ultimately, these findings underscore the vital role of ground-based remote sensing in bolstering aviation safety and operational efficiency at topographically constrained coastal airports.

Key words: complex orography, coastal, wind, sodar, vertical profile, aviation

ENERGETSKE KULTURE I KLIMATSKE PROMJENE

DARIJA BILANDŽIJA[1], JOSIP LETO[2], NEVEN VOĆA[3] i NIKOLA BILANDŽIJA[4]

[1]Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Odsjek za agroekologiju, Zavod za opću proizvodnju bilja, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Hrvatska

[2]Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Odsjek za biljne znanosti, Zavod za specijalnu proizvodnju bilja, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Hrvatska

[3]Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Odsjek za poljoprivredno inženjerstvo, Zavod za održive tehnologije i obnovljive izvore energije, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Hrvatska

[4]Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Odsjek za poljoprivredno inženjerstvo, Zavod za mehanizaciju i autonomne sustave u poljoprivredi, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Hrvatska

dbilandzija@agr.hr

Zabrinutost zbog klimatskih promjena posljednjih je desetljeća potaknula zanimanje za smanjenje emisije stakleničkih plinova u atmosferu i povećanje njihovog ponora. Jedan od načina ostvarenja tog cilja jest zamjena fosilnih goriva obnovljivim izvorima energije. Klasifikacija obnovljivih izvora energije uključuje i biomasu dobivenu uzgojem energetskih kultura. Energetske kulture imaju velik potencijal ublažavanja klimatskih promjena zahvaljujući svojoj dvostrukoj ulozi: njihovim izgaranjem emisija stakleničkih plinova u atmosferu je niža u odnosu na fosilna goriva, a također tijekom svojeg uzgoja sekvestriraju ugljik iz atmosfere čime doprinose povećanju ponora. Obzirom na podrijetlo, kulture se mogu podijeliti na šumske kulture kratkih ophodnji i poljoprivredne energetske kulture koje mogu biti autohtone ili alohtone, jednogodišnje ili višegodišnje. Prednost višegodišnjih energetskih kultura poljoprivrednog podrijetla nad kulturama kratkih ophodnji leži u činjenici da vrlo brzo formiraju nasad u punom prinosu i proizvode više biomase na kraju vegetacijskog ciklusa, uz vrlo niski udio vlage uslijed čega imaju veliki energetski potencijal. Osim toga, karakterizira ih dug period iskorištavanja (minimalno 15 – 20 godina), niski agrotehnički zahtjevi te mogućnost uzgoja na tlima lošije kvalitete tzv. marginalnim tlima. Visoko produktivne su kulture i puni prinos (godišnje 10 – 40 t ST ha^{-1}) ostvaruju nakon treće godine uzgoja. Višegodišnje energetske kulture, osim što imaju visoki energetski potencijal, također imaju i visoki potencijal ublažavanja klimatskih promjena uklanjanjem atmosferskog ugljika putem sekvestracije ugljika u biomasu i tlo. Naime, ugljik kruži u prirodi između atmosfere, biosfere i pedosfere u relativno kratkim ciklusima. Biljke apsorbiraju atmosferski ugljik procesom fotosinteze, pri čemu jedan dio ugljika biljke otpuštaju u atmosferu procesima disanja (respiracije), a jedan dio ugljika ostaje sekvestriran (vezan) u biomasi. Po završetku životnog ciklusa biljke, biomasa završava u tlu gdje podliježe procesima razgradnje, te se dio ugljika ponovno otpušta u atmosferu procesima disanja tla, a dio ugljika ostaje trajno vezan u tlu u obliku humusa. Tlo i vegetacija trenutno apsorbiraju oko jedne trećine antropogene emisije, a količina vezanog ugljika u biomasi i tlu ovisi o agroekološkim uvjetima, vrsti vegetacije, načinima gospodarenja itd. Kapacitet kopnenog ponora ugljika može se povećati primjenom dobrih poljoprivrednih praksi odnosno održivim upravljanjem tlom i biomasom čime se mogu obnoviti degradirana tla, poboljšati svojstva i produktivnost tla te stimulirati mikrobiološki procesi u tlu što naposljetku doprinosi ublažavanju klimatskih promjena, kao i većoj otpornosti agroekosustava na klimatske promjene. Slijedeći ciljeve okvira za klimu i energiju,

kao i strategije Europskog zelenog plana, energetske kulture i održivo gospodarenje ugljikom definirani su jednim od najvažnijih čimbenika ublažavanja klimatskih promjena i temelj su ambicija EU-a za postizanje energetske samodostatnosti i ugljične neutralnosti.

Zahvala: Ovo istraživanje financirala je Hrvatska zaklada za znanost, projekt br. IP-2025-02-3741: *Integracija fitoremedijacije, sekvestracije ugljika i proizvodnje energije uzgojem energetskih kultura*

Ključne riječi: obnovljivi izvori energije, poljoprivreda, ublažavanje klimatskih promjena, smanjenje emisija stakleničkih plinova, ponori ugljika

POKROVITELJI

Ministarstvo znanosti, obrazovanja i mladih **Grad Zagreb**

REPUBLIKA HRVATSKA
Ministarstvo znanosti,
obrazovanja i mladih

GRAD ZAGREB

SPONZOR

Fakultet šumarstva i drvne tehnologije

PODRŽAVA

Europsko meteorološko društvo