

ANALIZA ODNOSA TEMPERATURA ZRAKA, TEMPERATURE POVRŠINE MORA I OBORINA NA OTOKU VISU

dr. sc. Ognjen Bonacci, prof. emerit.

Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije
Matice hrvatske 15, Split, Hrvatska,
obonacci@gradst.hr

mr. sc. Duje Bonacci, dipl. ing. fiz.

Sveučilište u Zagrebu,
Fakultet hrvatskih studija
Borongajska cesta 83d, Zagreb, Hrvatska

Matko Patekar, mag. geol.

Hrvatski geološki institut
Sachsova 2, Zagreb, Hrvatska

U članku su analizirani nizovi srednjih dnevnih, mjesečnih i godišnjih temperatura zraka i mjesečnih i godišnjih oborina mjereni na tri postaje na otoku Visu. Korišteni su podaci opaženi na glavnoj meteorološkoj postaji Komiža (1956. - 2019.) i automatskim postajama Hum (2012. - 2019.) i Dračevo polje (2017. - 2019.). Osim toga analizirani su i nizovi srednjih dnevnih, mjesečnih i godišnjih temperatura površine mora mjereni na postaji Komiža (1991. - 2019.). Vis je mali karbonatni otok površine 89,72 km² s najvišim vrhom od 587 m n.v. na kojem je locirana automatska meteorološka postaja Hum. Režim temperatura zraka na sve tri postaje na malom otoku udaljenom od kopna je sličan. Srednje dnevne, mjesečne i godišnje temperature zraka najviše su na postaji Komiža. Više su za oko 1 °C od srednjih godišnjih temperatura zraka izmjerenih u Dračevom polju i oko 3,6 °C od onih izmjerenih na postaji Hum. Trend porasta srednjih mjesečnih temperatura zraka u razdoblju 1964. - 2019. javlja se u svakom pojedinom mjesecu godine. Gradijent opadanja srednjih dnevnih temperatura zraka s nadmorskom visinom u toplom dijelu godine znatno je niži nego u hladnom dijelu godine. Najintenzivniji porasti temperatura zraka javljaju se u najtoplijem dijelu godine. Srednje godišnje vrijednosti temperatura površine mora u razdoblju 1991. -2019. brže su rasle od srednjih godišnjih temperatura zraka. Prosječne mjesečne temperature površine mora više su od prosječnih mjesečnih temperatura zraka u razdoblju od rujna do travnja. U ostalim mjesecima su niže. Minimalne dnevne temperature zraka javljaju se u hladnom dijelu godine između 6 i 7 sati dok se tijekom toplog dijela godine javljaju nešto ranije, između 4 i 5 sati. Maksimalne dnevne temperature zraka uglavnom se javljaju oko 13 sati. Niti jedan od analiziranih nizova godišnjih i mjesečnih oborina u razmatranom razdoblju (1956. - 2019.) nije pokazao postojanje statistički značajnog trenda porasta ili opadanja.

Ključne riječi: temperatura zraka, temperatura površine mora, oborine, Mann-Kendall test, Gaussen-Walterov dijagram, otok Vis (Hrvatska)

1. UVOD

Varijacije klime u najrazličitijim dimenzijama prostora i vremena osnovno su i prirodno svojstvo svakog klimatskog sustava. Posljedica su nerazdvojivih prirodnih svojstava varijabilnosti i interakcija (često slučajnih) oceana i atmosfere (npr. Washington, 2000.; Seneviratne i Zwiers, 2015.). Brojni prirodni čimbenici kao što su topografija, udaljenost od mora ili drugih vodenih tijela, vegetacijski pokrov, geološka struktura, svojstva pokrovnog tla itd. mogu manje ili više značajno utjecati na formiranje prvenstveno lokalnih i eventualno regionalnih klimatskih karakteristika. Ljudske aktivnosti, osobito u nekoliko posljednjih stoljeća, sve intenzivnije utječu na varijacije i promjene klime kako na lokalnoj tako i na regionalnoj, ali i na globalnoj razini.

Postojeće klimatske promjene (prije svega porast temperatura) koje se u posljednjim desetljećima intenziviraju, mogu uzrokovati brojne negativne posljedice u različitim sredinama i okolišima. Médail (2016.) naglašava da je mediteranska klima specifična po svom drastičnom i ponekad nepredvidivom klimatskom ponašanju što uzrokuje žestoke pritiske na i onako vrlo ranjivi prirodni okoliš i društvene sustave. Zbog prirodnih i društvenih specifičnosti mali otoci, osobito oni udaljeni od kopna, predstavljaju izrazito ugrožene prostore. O najrazličitijim vidovima ugroza na malim otocima postoji brojna literatura u kojoj je moguće naići i na tvrdnje da mali otoci spadaju među najugroženije prostore na planetu (npr. IPCC, 1991.; Giorgi i Lionello, 2008.; Weigelt i sur., 2016.; Veron i sur. 2019.).

Analizirajući nizove temperature zraka u razdoblju 1873. – 1989. na cijelom prostoru Mediterana, Kutiel i Maheras (1998.) su izračunali da zapadni Mediteran ima prosječni porast temperature od 0,4 °C/100 god. dok je taj porast na istočnom Mediteranu dvostruko manji te iznosi 0,2 °C/100 god. Važno je naglasiti da su najveći trend zagrijavanja uočili na području istočnog dijela Balkanskog poluotoka i na južnom Jadranu. Na tom području trend iznosi 0,9 – 1,0 °C/100 god. Branković i sur. (2013.) su korištenjem modela proračunali da je realno očekivati da će temperatura zraka na istočnoj obali Jadranskog mora do kraja 21. stoljeća narasti za oko 5 °C. Što se oborinskog režima tiče, modeli nisu ukazali na znatnije promjene u godišnjim količinama oborina, ali su ukazali na prestrukturiranje oborinskog režima tijekom godine. Predviđa se smanjivanje oborina tijekom ljetnog razdoblja što će dodatno utjecati na intenziviranje suša koje su u toj regiji i onako česte, snažne i s pogubnim posljedicama. Izučavajući kombinirani učinak recentnih promjena klime sjeverne hemisfere i lokalne klime Jadrana na ekosustave Jadranskog mora, Grbec i sur. (2015.) su ukazali na intenzitet promjena i objasnili glavne pokretače njihovih promjena u Jadranskom moru.

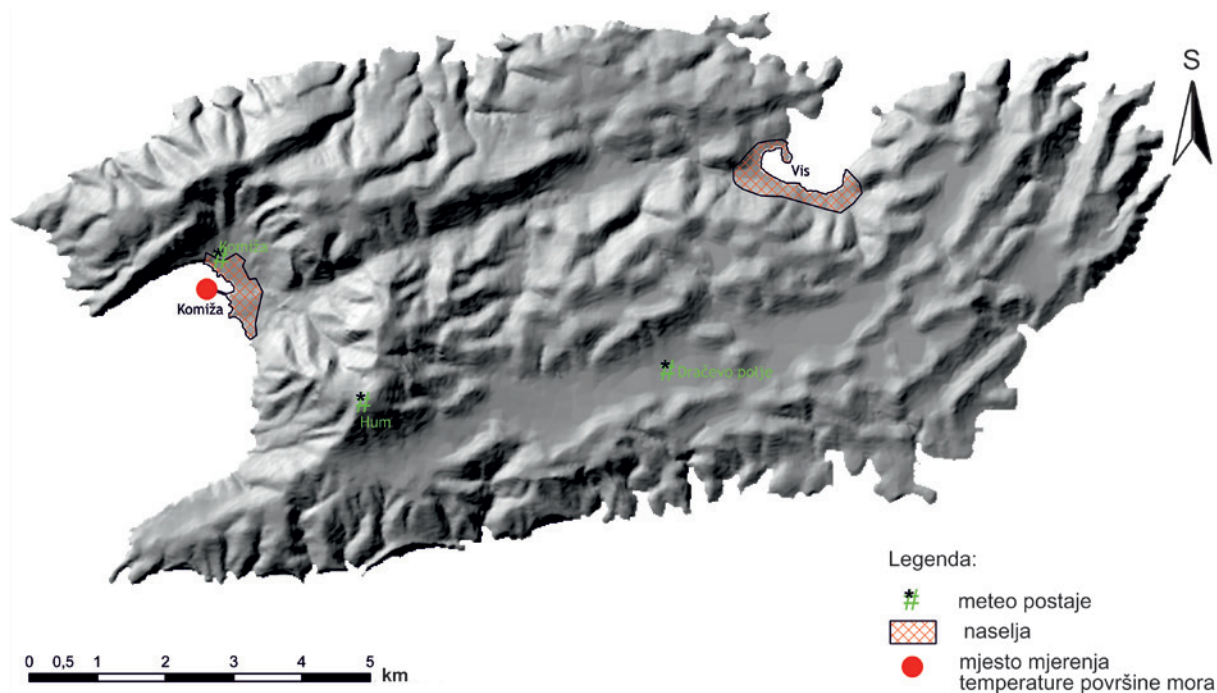
Za detaljno izučavanje procesa klimatskih promjena od interesa je usporedno istraživanje ponašanja temperatura zraka, temperatura površine mora i oborina na malim otocima udaljenim od obale. Na ovim prostorima utjecaj antropogenih čimbenika, na

tri spomenuta osnovna klimatska pokazatelja, najčešće nisu značajni. Zbog toga je vrlo važno analizirati njihove recentne promjene te na osnovi njih zaključivati o daljnjem razvoju situacije kako bi se mogle poduzeti što učinkovitije mjere u ublažavanju negativnih posljedica na ovim osjetljivim prostorima.

Dosadašnje analize su pokazale da se na svakom pojedinom otoku klimatske promjene različito manifestiraju. Analize trendova temperatura zraka i oborina na dvije meteorološke postaje na otoku Korčuli (Vela Luka i Korčula), udaljene zračnom linijom samo 33,5 km, ukazale su na značajne razlike kako u vrijednostima srednjih godišnjih temperatura i godišnjih oborina tako i u trendovima tijekom razdoblja 1952. – 2018. (Bonacci i sur., 2012.; Bonacci i Ljubenkov, 2020.; Bonacci i sur., 2021.). Razlozi za ovakvo ponašanje objašnjeni su različitim udaljenostima analiziranih lokacija od otvorenog mora i kopnene mase. Vela Luka koja je izložena utjecaju otvorenog mora i udaljenija od kopna od Korčule ima značajno blaži trend porasta srednjih godišnjih temperatura zraka, ali i značajno manje količine godišnjih oborina.

Analiza karakterističnih temperatura zraka otoka Palagruže u razdoblju od 69 godina (1950. – 2018.) pokazala je postojanje statistički značajnog trenda porasta srednjih i apsolutno maksimalnih godišnjih temperatura zraka, dok je trend porasta apsolutno minimalnih godišnjih temperatura statistički neznačajan (Bonacci i Bonacci, 2020.). Identično ponašanje karakterističnih temperatura zraka ustanovljeno je i na otoku Lastovu analizom nizova temperatura zraka u razdoblju 1948. – 2018. (Bonacci, 2019.). Na oba otoka uočeno je postojanje dva podniza u svakom od analiziranih nizova karakterističnih godišnjih temperatura zraka. Nagli, statistički značajni skokovi porasta apsolutno minimalnih godišnjih temperatura na oba otoka nastupili su 1972., znatno ranije (deset do dvadeset godina) od porasta srednjih i maksimalnih godišnjih temperatura zraka. Na otoku Lastovu kao i na Korčuli (na obje analizirane postaje) uočen je statistički neznačajan trend opadanja godišnjih oborina dok su na Palagruži i Biševu utvrđeni statistički neznačajni porasti godišnjih oborina (Bonacci i sur., 2020.).

Slično, ali ne identično, ponašanje karakterističnih godišnjih temperatura zraka uočeno je analizom nizova opaženih na otoku Hvaru u razdoblju 1964. – 2018. (Bonacci i sur., 2021.). Trend porasta apsolutno minimalnih temperatura zraka u analiziranom razdoblju nije bio statistički značajan, ali je trend porasta apsolutnih minimalnih temperatura površine mora bio u statistički značajnom porastu. Srednje godišnje temperature zraka i površine mora kao i one apsolutno maksimalne na Hvaru su imale slične statistički značajne trendove porasta. Nagli skokovi porasta srednjih godišnjih i apsolutnih godišnjih temperatura zraka nastupili su 1998. godine, deset godina kasnije od naglih skokova porasta srednjih godišnjih i apsolutno maksimalnih godišnjih temperatura površine mora koji su se pojavili 1988. godine.



Slika 1: Karta otoka Visa s ucrtanim položajima tri meteorološke postaje i lokacije na kojoj se mjeri temperature mora

U ovom će radu biti analizirane karakteristične godišnje temperature zraka i površine mora te godišnje oborine mjerene na otoku Visu. Glavni cilj analiza vršenih u ovom radu je usmjeren na bolje razumijevanje godišnjih i unutargodišnjih ponašanja tri analizirana klimatska parametra. Autori smatraju da upravo analize ponašanja temperatura zraka, temperature površine mora i oborina vršene na raznim lokacijama na malom i od kopna udaljenom otoku kao što je Vis mogu biti od značajne koristi za izučavanje učinaka klimatskih promjena te kao takve mogu poslužiti za pronalaženje učinkovitijih odgovora na ugroze koje mogu zadesiti ne samo taj otok već i mnoge druge, ne samo u Jadranskom moru i na Mediteranu već vrlo vjerojatno i šire.

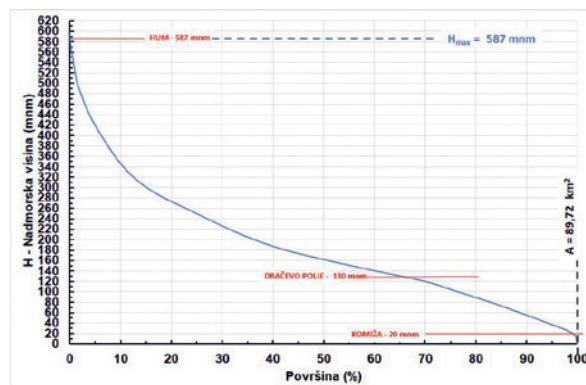
2. OPIS OTOKA VISA I LOKACIJA NA KOJIMA SU VRŠENA MJERENJA

Otok Vis nalazi se između $43^{\circ} 12''$ i $43^{\circ} 48' 6''$ sjeverne širine, te $16^{\circ} 3'$ i $15^{\circ} 48'$ istočne dužine. S površinom od $89,72 \text{ km}^2$, i duljinom obale od $84,9 \text{ km}$, Vis je deveti po veličini otok na hrvatskom dijelu Jadranskog mora (Duplanić Leder i sur., 2004.). Na slici 1 nalazi se karta otoka Visa s ucrtanim položajima meteoroloških postaja na kojima su mjereni klimatološki podaci čije su analize izvršene u ovom radu. Najviši vrh otoka Hum doseže visinu od 587 m nadmorske visine (m n.v.). Hipsometrijska krivulja otoka Visa prikazana je na slici 2.

Prema popisu stanovništva iz 2011. godine na otoku živi 3445 stanovnika, što je za 175 stanovnika manje nego 2001. godine. Vis je po broju stanovnika jedanaesti hrvatski otok na Jadranu. Depopulacija Visa može se sagledati iz činjenice da je na otoku 1910. godine živjelo 10.107 stanovnika, dakle skoro tri puta više nego danas (Nejašmić i Mišetić, 2006.). S druge strane, broj turista

je u stalnom porastu što otočnu infrastrukturu stavlja pred vrlo teško rješive probleme, osobito tijekom ljetne turističke sezone. Primjera radi se navodi da je 2019. godine otok posjetilo 32.613 turista i ostvarilo 175.211 noćenja. Glavnina posjeta je ostvarena tijekom razdoblja od sredine lipnja do sredine rujna, dakle tijekom 90 do 100 dana. U tom razdoblju, potreba za vodom je najveća, a količine oborina su najmanje. Carević (2012.) navodi da se od 2007. godine svakog ljeta provodila redukcija vode što je zasigurno imalo negativne posljedice na turizam, a u budućnosti u kojoj se očekuje daljnji porast temperatura zraka to bi moglo predstavljati još veći problem.

Otok je pretežno izgrađen od krednih vapnenaca i dolomita. Na istoku i sjeveroistoku komiškog zaljeva nalazi se trijasko i eruptivno kamenje. Otok Vis jedan je od hrvatskih otoka najudaljenijih od kopna te je stoga izložen snažnim vjetrovima. Vodom se snabdijeva iz vlastitog krškog vodonosnika. Zbog toga bi otok mogao biti osobito ugrožen porastom temperatura zraka i



Slika 2: Hipsometrijska krivulja otoka Visa

prodorom slane morske vode u krški vodonosnik uslijed podizanja razine mora. Otok Vis udaljen je od kopna 45 km. Od krajnje zapadne točke otoka Hvara Vis je udaljen 18 km, a od najbliže točke talijanske obale 147 km.

Otok Vis približno ima tzv. hvarski smjer pružanja (W-E, WSW-ENE), koji odstupa od tzv. dalmatinskog smjera pružanja (NW-SE) (Lozić i sur., 2013.). Budući da je udaljen od ostalih otoka i kopna Vis je izložen jačem vjetru nego susjedni jadranski otoci. Prema Köppen-Geigerovoj klasifikaciji klime, područje otoka Visa te viškog arhipelaga obilježava Csa tip klime (Šegota i Filipčić, 2003.; Krklec i sur., 2012.). To je varijanta semiaridne mediteranske klime koju se naziva i „klimom maslina“. Karakteriziraju je blage, vlažne i kišne zime te suha i topla (često i vruća) ljeta. Prema Csa klasifikaciji (Geiger, 1954.) prosječna temperatura zraka najhladnijeg mjeseca iznosi više od 0 °C (ili -3 °C), najmanje jedan mjesec ima srednju temperaturu zraka višu od 22 °C, te najmanje 4 mjeseca godišnje imaju srednju temperaturu zraka višu od 10 °C. Oborine u vlažnim zimskim mjesecima godine najmanje su tri puta veće nego u sušnim ljetnim mjesecima, a u najsušnijem mjesecu ljeti padne manje od 30 mm oborine.

Prema Terziću (2003.) na Visu postoje dva ključna hidrogeološka objekta: (1) vodocrpilište Korita u središnjem dijelu otoka; (2) izvor Pizdica na zapadnoj strani otoka u Komiškom zaljevu. Snažno karstificirani i vrlo propusni gornjokredni vapnenci izgrađuju sjeverni i južni pojas otoka. Procijenjeno je da na crpilištu Korita i svim registriranim izvorima iz pripadajućeg krškog vodonosnika istječe manje od 1 % količine godišnje efektivne infiltracije. To znači da znatne količine podzemne vode istječu u more na izvorima prekrivenim gornjokrednim vapnencima (Terzić, 2003.; 2007.). Očito je da su ovaj vodonosnik kao i drugi dijelovi otoka izrazito osjetljivi na pojavu suša za koje se kao posljedica klimatskih promjena i učinka globalnog zagrijavanja u budućnosti može očekivati da će biti dugotrajnije i intenzivnije. Na otoku Visu slana morska voda ne proteže se ispod cijelog otoka, već poput klina prodire u unutrašnjost po relativno nepropusnoj podlozi (Terzić, 2004.). Izražena su sezonska kolebanja razina podzemne vode, s minimumima u razdoblju od kolovoza do rujnu i maksimumima u siječnju. Vodonosnik se obnavlja odmah nakon padanja obilnih oborina u jesen (Terzić, 2004.). Kao posljedica činjenice da se otok Vis vodom snabdijeva

isključivo iz vlastitog krškog vodonosnika intenziviranje uočenih klimatskih promjena (porast temperatura zraka, podizanjem razine mora i zaslanjivanje vodonosnika te intenzivirana evapotranspiracija) moglo bi uzrokovati osobito velike probleme.

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Korišteni materijali

U [tablici 1](#) navedene su osnovne karakteristike tri meteorološke postaje na otoku Visu čiji su podaci analizirani u ovom radu. Njihovi su položaji ucrtani na [slici 1](#). Komiža i Hum su postaje Državnog Hidrometeorološkog Zavoda iz Zagreba (DHMZ) dok je postaja Dračevo polje Pinova automatska agroklimatološka postaja Ministarstva poljoprivrede Republike Hrvatske.

Postaja Komiža je glavna meteorološka postaja DHMZ-a. Na ovoj se postaji svakodnevno obavljaju motrenja u 7, 14 i 21 sat po srednjem lokalnom vremenu. Locirana je u gradu Komiži, na sjevernom rubu urbaniziranog područja. Gradić Komiža je smješten na zapadnom dijelu otoka ([slika 1](#)). Prema popisu stanovništva iz 2011. godine ima 1526 stanovnika. U ovom se radu raspolagalo podacima temperature zraka i oborina izmjerenih na glavnoj meteorološkoj postaji Komiža u razdoblju od 1956. do 2019. godine, dakle ukupno 64 godine.

Temperatura površine mora mjeri se na kraju gradskog lukobrana Komiže čije su geografske koordinate: 43° 2' 40,52" N i 16° 5' 9,44" E. Mjesto mjerenja temperature površine mora udaljeno je zračnom linijom od meteorološke postaje Komiža 454 m. Mjerenje temperature površine mora obavlja se pomoću termometra uronjenog na dubini od oko 30 cm na mjestu gdje voda nije plića od 1,8 m. Termometar se na toj dubini zadržava tri minute. Zatim ga se izvadi i očita, vodeći računa da se pri čitanju ne učini pogreška zbog paralakse (Pandžić, 2008.). Temperatura površine mora se mjeri u ista tri termina kada se mjeri i temperatura zraka, dakle u 7, 14 i 21 sat po srednjem lokalnom vremenu. U ovom radu se raspolagalo mjerenjima temperature površine mora u razdoblju od 1991. – 2019. godine, ukupno 29 godina.

Druga postaja DHMZ-a Hum je automatska. Locirana je u neposrednoj blizini najvišeg vrha otoka Visa na nadmorskoj visini od 587 m. Od strane DHMZ-a dobili smo podatke za razdoblje 2012. – 2019. Kod automatskih

Tablica 1: Osnovne karakteristike tri klimatološke postaje na otoku Visu čiji su podaci analizirani u ovom radu

Postaja	koordinate		H (m n.v.)	L (m)	L _{min} (m)
KOMIŽA	43° 02' 54,9" N	16° 05' 13,8" E	20	454	175
HUM	43° 01' 52" N	16° 06' 42" E	587	2803	2400
DRAČEVO POLJE	43° 02' 02,04" N	16° 10' 2,76" E	130	6767	1800

L – udaljenost od mjesta na kojem se mjeri temperatura površine mora

L_{min} – najkraća (zračna) udaljenost od mora

postaja nerijetko dolazi do prekida u radu tako da je većina godina nekompletna. Bez obzira na tu činjenicu podaci na ovoj postaji vrlo su značajni jer omogućavaju da se izvrši usporedba klimatskih karakteristika na raznim lokacijama s raznim nadmorskim visinama i s različitim udaljenostima od mora na malom otoku udaljenom od obale. Zračna udaljenost između postaje Komiža i postaje Hum iznosi 2971 m.

Treća postaja čiji su podaci korišteni u ovom radu je Dračevo polje. Radi se automatskoj meteorološkoj postaji udaljenoj 6758 m od postaje Komiža i 4492 m od postaje Dračevo polje. Locirana je u sredini krškog polja na nadmorskoj visini od 130 m. Raspolagalo se podacima prikupljenim u razdoblju 2017. - 2019., dakle za samo tri godine. I na ovoj automatskoj postaji ima određenih prekida u motrenjima. Međutim, bez obzira na tu činjenicu koja prati rad svih automatskih meteoroloških postaja, njeni podaci će u kombinaciji s podacima ostale dvije postaje značajno pomoći u shvaćanju ponašanja klime na malom otoku.

3.2. Korištene metode

U radu su računati linearni (pravac) i nelinearni (krivulja drugog reda) trendovi vremenskih nizova temperatura zraka, temperatura površine mora i oborina. Jednadžba linearnog trenda glasi:

$$T=(a \times t)+b \quad (1)$$

dok za krivulju drugog reda ima sljedeći oblik:

$$T=(c \times t^2)+(d \times t)+e \quad (2)$$

kod čega, T , označava srednju temperaturu u određenom vremenskom intervalu (mjesec i/ili godina) u godini, t , dok su, a , b , koeficijenti linearne regresije, c , d , e , koeficijenti krivulje drugog reda koji se definiraju primjenom metode najmanjih kvadrata. Koeficijent, a , predstavlja nagib pravca regresije čija je dimenzija izražena u °C/god. On je pokazatelj prosječnog intenziteta porasta ili opadanja analiziranog parametra vremenske serije. Za sve vremenske serije izračunati su koeficijenti determinacije, R^2 .

Za ispitivanje statističke značajnosti trenda korišten je neparametarski Mann-Kendallov test, korištenjem paketa „pyMannKendall package for Python,“ (Hussain Shourov i Mahmud, 2019.). Nulta hipoteza testa je da nema monotonog trenda u analiziranom vremenskom nizu. Alternativna hipoteza je da monotoni trend postoji. U ovom radu su korištene dvije razine značajnosti kao kriteriji za prihvaćanje alternativne hipoteze: (1) $p < 0,05$; (2) $p < 0,01$.

RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) metoda (Garbrecht i Fernandez, 1994.) je upotrijebljena za otkrivanje pojave lomova (skokova ili padova) vrijednosti,

tj. stvaranje podnizova u analiziranim vremenskim serijama. Izraz za računanje RAPS-a glasi:

$$RAPS_k = \sum_{t=1}^k \frac{Y_t - Y_m}{S_y} \quad (3)$$

pri čemu: Y_t , predstavlja srednju temperaturu u određenom vremenskom intervalu u godini, t , Y_m , je prosječna vrijednost cijelog analiziranog niza, S_y , je standardna devijacija, n , broj članova vremenske serije, dok, $(k=1, 2, \dots, n)$, predstavlja brojač zbroja za k -tu godinu u nizu od n godina.

Korišteni su i F-test te t-test za računanje statističke značajnosti razlika varijanci (F-test) i prosječnih vrijednosti (t-test) podnizova definiranih RAPS metodom. (McGhee, 1985.). Kao kriteriji za prihvaćanje alternativne hipoteze korištena je razina značajnosti, $p < 0,01$.

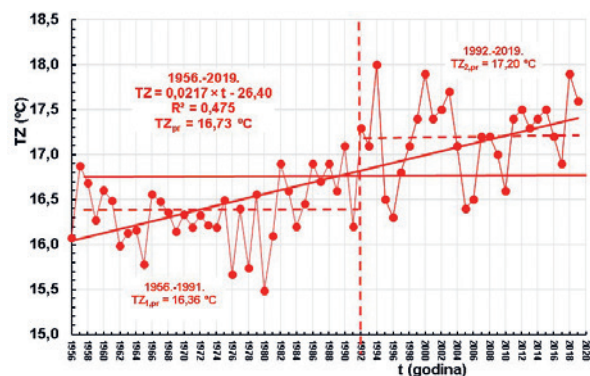
4. REZULTATI I RASPRAVA

Nastavno će biti izneseni rezultati analiza karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) temperatura zraka, temperatura površine more i oborina. Kako bi se što detaljnije proniknulo u njihovo ponašanje tijekom vremena u kojem se raspolagalo mjerenim vrijednostima, vršit će se analize godišnjih, mjesečnih i dnevnih podataka. Na osnovi analiza klimatoloških podataka, korištenjem različitih vremenskih skala moguće je uočiti specifičnosti u ponašanju analiziranih parametara i njihovu reakciju na globalne, ali i lokalne čimbenike.

4.1. Godina kao jedinica analize

4.1.1. Temperatura zraka

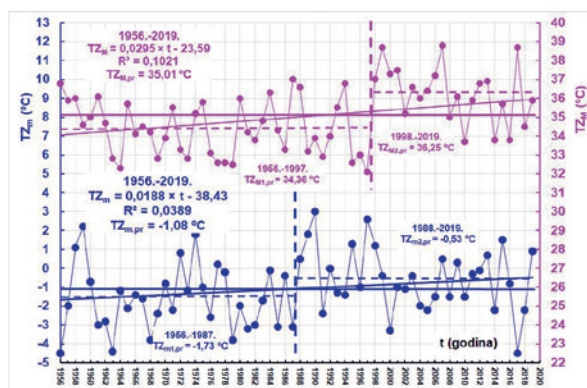
Na slici 3 prikazan je niz srednjih godišnjih temperatura zraka opažen na postaji Komiža u razdoblju 1956. - 2019. Na slici je ucrtan pravac linearne regresije koji pokazuje linearni trend porasta temperature zraka tijekom razdoblja od 64 godine. Upisana je i jednadžba pravca iz koje se vidi da tijekom analiziranog razdoblja temperatura zraka ima prosječni godišnji porast od 0,0217 °C/god. Testiranjem Mann-Kendallovim (M-



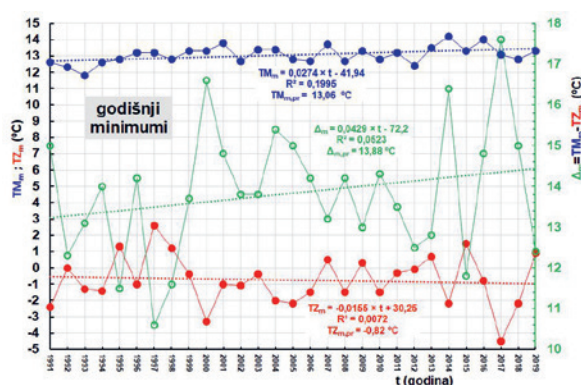
Slika 3: Niz srednjih godišnjih temperatura zraka Komiže, TZ, u razdoblju 1956. - 2019.

K) testom izračunato je da je trend porasta statistički značajan pošto je vjerojatnost, $p < 0,01$. Korištenjem RAPS metode utvrđeno je da u analiziranom razdoblju od 64 godine postoje dva podniza u ponašanju srednjih godišnjih temperatura zraka. U prvom podrazdoblju (1956. - 1991.) prosječna vrijednost je bila 0,84 °C niža nego u drugom podrazdoblju (1992. - 2019.). Testiranjem t-testom ustanovljeno je da se prosječne vrijednosti u dva navedena podniza statistički značajno razlikuju pošto je vjerojatnost, $p < 0,01$. Slično ponašanje srednjih godišnjih temperatura zraka, tj. njihov nagli skok tijekom osamdesetih i početkom devedesetih godina dvadesetog stoljeća ustanovljen je analizom vremenskih nizova na 67 postaja na području zapadnog Balkana (Bonacci, 2012.).

Na slici 4 prikazani su nizovi minimalnih godišnjih temperatura zraka, TZ_m , (modra boja) i maksimalnih godišnjih temperatura zraka, TZ_M , (ljubičasta boja). U oba slučaja ustanovljeno je postojanje linearnog trenda porasta tijekom raspoloživog razdoblja mjerenja. Maksimalne godišnje temperature zraka prosječno rastu 0,0295 °C/god., što je znatno brže od porasta minimalnih godišnjih temperatura zraka, koji iznosi 0,0188 °C, ali i nešto brže od srednjih godišnjih temperatura zraka. Korištenjem M-K testa utvrđeno je da je trend porasta maksimalnih godišnjih temperatura zraka statistički značajan, dok trend porasta minimalnih godišnjih temperatura zraka nije statistički značajan. U slučaju



Slika 4: Nizovi godišnjih minimalnih temperatura zraka, TZ_m , i maksimalnih godišnjih temperatura zraka, TZ_M , Komizi u razdoblju 1956. - 2019.



Slika 5: Nizovi minimalnih godišnjih temperatura površine mora, TM_m , i minimalnih godišnjih temperatura zraka, TZ_m , Komizi i njihove razlike, $\Delta_m = TM_m - TZ_m$, u razdoblju 1991. - 2019.

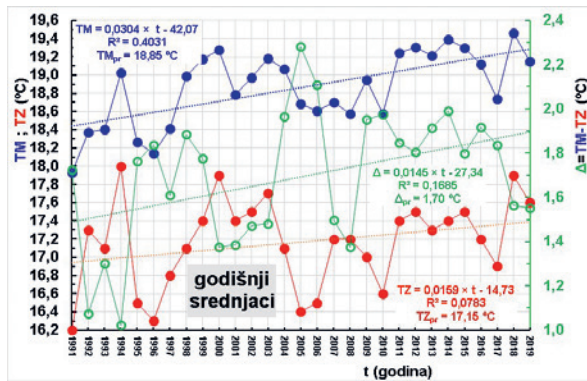
oba ova niza korištenjem RAPS metode utvrđeno je postojanje dva podniza s različitim vrijednostima prosječnih temperatura zraka. Kod minimalnih godišnjih temperatura zraka nagli skok se pojavio 1988. godine, deset godine ranije nego kod maksimalnih godišnjih temperatura zraka. Kod niza minimalnih godišnjih temperatura zraka u prvom podrazdoblju (1956. - 1987.) prosječna vrijednost je bila 1,20 °C niža nego u drugom podrazdoblju (1988. - 2019.). Kod niza maksimalnih godišnjih temperatura zraka u prvom podrazdoblju (1956. - 1997.) prosječna vrijednost je bila 1,89 °C niža nego u drugom podrazdoblju (1998. - 2019.). Testiranjem t-testom ustanovljeno je da se prosječne vrijednosti podnizova za oba analizirana vremenska niza statistički značajno razlikuju na razini vjerojatnost, $p < 0,01$.

Usporedba srednjih godišnjih temperatura zraka Komize, Dračeva polja i Huma moguća je samo za nekoliko godina budući da su dvije posljednje navedene postaje imale kraće vrijeme opažanja i da su obje automatske te su se na njima pojavljivali prekidi u radu što je onemogućilo proračun srednjih godišnjih temperatura zraka u pojedinim godinama. Na osnovi raspoloživih podataka ustanovljeno je da je na postaji Komiza srednja godišnja temperatura zraka bila viša od srednje godišnje temperature zraka na postaji Dračevo polje u 2017. godini za 1,0 °C, dok je 2018. bila viša za 0,9 °C. Na postaji Komiza srednja godišnja temperatura zraka u 2015. godini bila je viša od srednje temperature zraka na postaji Hum za 3,5 °C, dok je 2016. bila viša za 3,7 °C. Nadmorska visina postaje i udaljenost od mora utječu na režim srednjih godišnjih temperatura zraka na malom otoku kao što je Vis.

4.1.2. Temperatura površine mora i odnos između temperature zraka i temperature površine mora

U ovom poglavlju bit će analizirano ponašanje karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) temperatura površine mora i temperatura zraka izmjerenih na postaji Komiza. Pošto se raspolaže s mjenim vrijednostima temperature površine mora na postaji Komize za razdoblje od 1991. do 2019. godine usporedne analize moguće je vršiti samo za tih 29 godina.

Na slici 5 prikazani su nizovi minimalnih godišnjih temperatura mora, TM_m , i minimalnih godišnjih temperatura zraka, TZ_m , Komizi i njihove razlike, $\Delta_m = TM_m - TZ_m$, u razdoblju 1991. - 2019. Na slici su ucrtani pravci regresije te su upisane njihove jednadžbe kao i vrijednosti koeficijenta determinacije, R^2 . Primjenom M-K testa ustanovljeno je da je u razdoblju od 29 godina (1991. - 2019.) linearni trend porasta minimalnih godišnjih temperatura površine mora statistički značajan na razini, $p < 0,01$, dok linearni trend opadanja minimalnih temperatura zraka nije statistički značajan. Trend porasta razlika, $\Delta_m = TM_m - TZ_m$, statistički je značajan na razini, $p < 0,01$. Iz navedenog se može zaključiti da su minimalne godišnje vrijednosti temperatura površine mora u analiziranom razdoblju brže rasle od minimalnih godišnjih temperatura zraka koje su čak bile u statistički

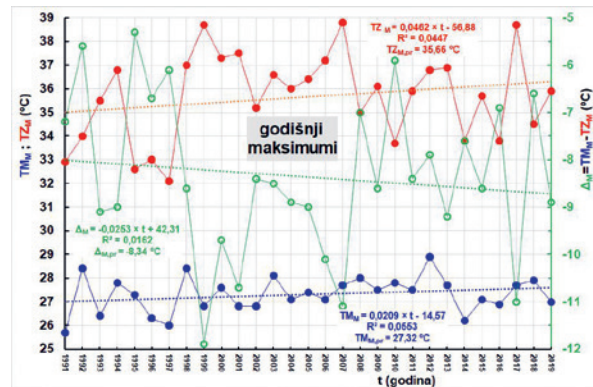


Slika 6: Nizovi srednjih godišnjih temperatura površine mora, TM , i srednjih godišnjih temperatura zraka, TZ , Komiže i njihove razlike, $\Delta=TM-TZ$, u razdoblju 1991. - 2019:

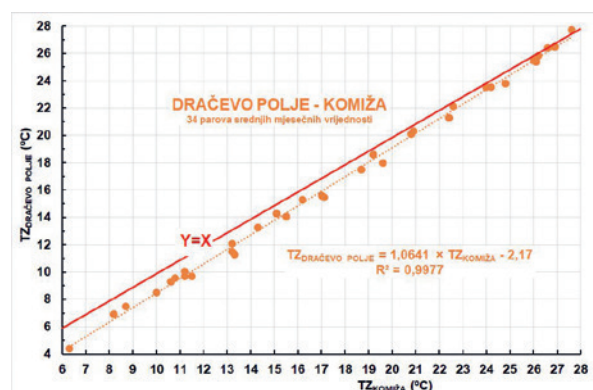
neznačajnom opadanju. Vrijednost koeficijenta determinacije između minimalnih godišnjih temperatura površine mora i minimalnih godišnjih temperatura zraka vrlo je niska te iznosi, $R^2=0,0049$.

Na slici 6 prikazani su nizovi srednjih godišnjih temperatura mora, TM , i srednjih godišnjih temperatura zraka, TZ , Komiže i njihove razlike, $\Delta=TM-TZ$, u razdoblju 1991. - 2019. Na slici su ucrtani pravci regresije te su upisane njihove jednadžbe kao i vrijednosti koeficijenta determinacije, R^2 . Primjenom M-K testa ustanovljeno je da je u razdoblju od 29 godina (1991. - 2019.) linearni trend porasta srednjih godišnjih temperatura površine mora statistički značajan na razini, $p<0,01$, dok linearni trend porasta srednjih godišnjih temperatura zraka nije statistički značajan. Trend porasta razlika, $\Delta=TM-TZ$, statistički nije značajan. Iz navedenog se može zaključiti da su srednje godišnje vrijednosti temperatura površine mora u analiziranom razdoblju brže rasle od srednjih godišnjih temperatura zraka. Vrijednost koeficijenta determinacije između srednjih godišnjih temperatura površine mora i srednjih godišnjih temperatura zraka je visoka te iznosi, $R^2=0,6183$. Iz toga je moguće zaključiti o sličnom utjecaju globalnog zagrijavanja na temperaturu površine mora i zraka na lokaciji Komiže.

Na slici 7 prikazani su nizovi maksimalnih godišnjih temperatura mora, TM_M , i maksimalnih godišnjih temperatura zraka, TZ_M , Komiže i njihove razlike, $\Delta_M=TM_M-TZ_M$, u razdoblju 1991. - 2019. Na slici su ucrtani pravci regresije te su upisane njihove jednadžbe kao i vrijednosti koeficijenta determinacije, R^2 . Primjenom M-K testa ustanovljeno je da su u razdoblju od 29 godina (1991. - 2019.) linearni trendovi porasta maksimalnih godišnjih temperatura površine mora i maksimalnih godišnjih temperatura zraka statistički značajni na razini, $p<0,01$. Važno je uočiti da je opadajući trend porasta razlika, $\Delta_M=TM_M-TZ_M$ statistički značajan na razini, $p<0,01$. Iz navedenog se može zaključiti da su maksimalne godišnje vrijednosti temperatura površine mora u analiziranom razdoblju sporije rasle od maksimalnih godišnjih temperatura zraka. Vrijednost koeficijenta determinacije između maksimalnih godišnjih temperatura površine



Slika 7: Nizovi maksimalnih godišnjih temperatura površine mora, TM_M , i maksimalnih godišnjih temperatura zraka, TZ_M , Komiže i njihove razlike, $\Delta_M=TM_M-TZ_M$, u razdoblju 1991. - 2019:



Slika 8: Odnos srednjih mjesečnih temperatura zraka Dračeva polja, $TZ_{\text{DRAČEVO POLJE}}$ (ordinata) i Komiže, $TZ_{\text{KOMIŽA}}$ (apscisa)

mora i maksimalnih godišnjih temperatura zraka iznosi, $R^2=0,1712$.

4.2. Mjesec kao jedinica analize

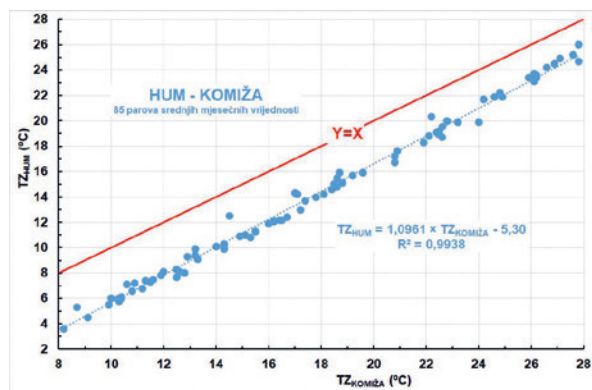
4.2.1. Temperatura zraka

U tablici 2 unesene su karakteristične (minimalne, $TZ_{m'}$, prosječne, TZ_{pr} , maksimalne, TZ_M) vrijednosti srednjih mjesečnih temperatura zraka Komiže u razdoblju od 64 godine (1956. - 2019.). U posljednja dva stupca ove tablice upisane su vrijednosti koeficijenta determinacije, R^2 , te vjerojatnost M-K testa, p . Trend porasta srednjih mjesečnih temperatura zraka u razdoblju 1964. - 2019. javlja se u svakom pojedinom mjesecu s tim da samo u veljači on nije statistički značajan. Najintenzivniji porast temperatura zraka u Komiži se javlja u srpnju, a potom u lipnju i kolovozu, dakle u najtoplijem dijelu godine.

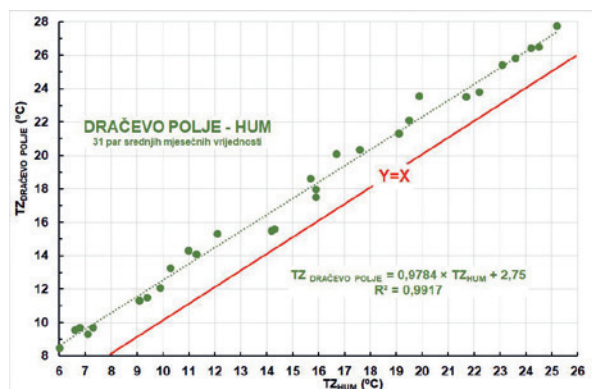
Na slici 8 ucrtan je odnos srednjih mjesečnih temperatura zraka Dračeva polja, $TZ_{\text{DRAČEVO POLJE}}$ (ordinata) i Komiže, $TZ_{\text{KOMIŽA}}$ (apscisa). Odnos je izračunat za 34 para srednjih mjesečnih temperatura zraka u razdoblju siječanj 2017. - listopad 2019. Vrijednost koeficijenta determinacije vrlo je visoka, $R^2=0,9977$, što svjedoči da su režimi temperatura zraka na ovom paru postaja vrlo slični. Srednje mjesečne temperature zraka u hladnijem dijelu godine u Komiži su prosječno više nego u Dračevom polju između 1,5 °C i 2,0 °C, dok su tijekom

Tablica 2: Karakteristične (minimalne, TZ_m , prosječne, TZ_{pr} , maksimalne, TZ_M) vrijednosti srednjih mjesečnih temperatura zraka Komiže u razdoblju od 64 godine (1956. - 2019.), vrijednosti kvadrata koeficijenta linearne korelacije, R^2 , te vjerojatnost M-K testa, p

MJESEC	TZ_m (°C)	TZ_{pr} (°C)	TZ_M (°C)	R^2	p
siječanj	6,1	9,46	12,5	0,0540	<0,01
veljača	4,4	9,60	12,8	0,0217	>0,05
ožujak	7,8	11,47	15,2	0,1015	<0,01
travanj	11,3	14,40	17,1	0,1627	<0,01
svibanj	15,7	18,62	21,2	0,1009	<0,01
lipanj	20,5	22,50	26,7	0,3414	<0,01
srpanj	22,6	25,27	27,8	0,3612	<0,01
kolovoz	21,3	25,12	28,7	0,2250	<0,01
rujan	18,6	21,54	24,7	0,0338	<0,05
listopad	14,5	17,86	20,0	0,0596	<0,01
studeni	11,2	14,02	16,7	0,0627	<0,01
prosinac	8,2	10,86	13,0	0,0292	<0,05



Slika 9: Odnos srednjih mjesečnih temperatura zraka Huma, TZ_{HUM} (ordinata) i Komiže, $TZ_{KOMIŽA}$ (apscisa)



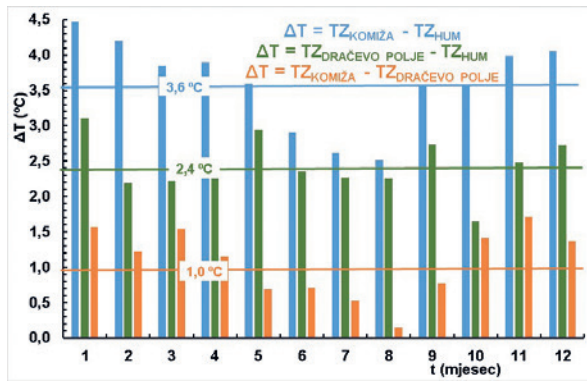
Slika 10: Odnos srednjih mjesečnih temperatura zraka Dračevo polje, $TZ_{DRAČEVO POLJE}$ (ordinata) i Huma, TZ_{HUM} (apscisa)

toplog razdoblja razlike mnogo niže i kreću se između 0,0 °C i 0,5 °C.

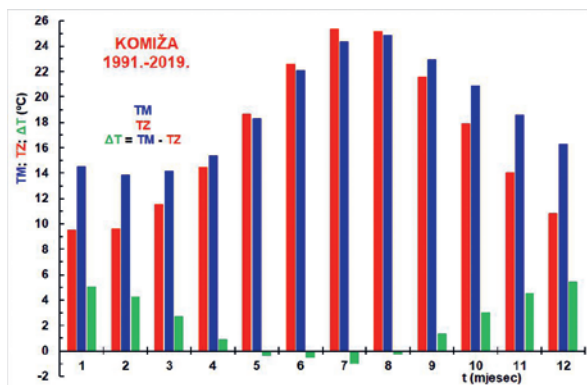
Na **slici 9** ucrtan je odnos srednjih mjesečnih temperatura zraka Huma, TZ_{HUM} (ordinata) i Komiže, $TZ_{KOMIŽA}$ (apscisa). Odnos je izračunat za 88 parova srednjih mjesečnih temperatura zraka u razdoblju od svibnja 2012. do studenog 2019. (nedostaju podaci za ožujak 2013., srpanj i kolovoz 2014., siječanj i veljaču 2018. i kolovoz 2018.). Vrijednost koeficijenta determinacije vrlo je visoka, $R^2=0,9938$, što svjedoči da su režimi temperatura zraka i na ovom paru postaja vrlo slični. Srednje mjesečne temperature zraka u hladnijem dijelu godine u Komiži su prosječno više nego u Humu između 4,0 °C i 4,5 °C, dok su tijekom toplog razdoblja razlike nešto niže i kreću se između 2,5 °C i 3,5 °C.

Na **slici 10** ucrtan je odnos srednjih mjesečnih temperatura zraka Dračevo polje, $TZ_{DRAČEVO POLJE}$ (ordinata) i Huma, TZ_{HUM} (apscisa). Odnos je izračunat za 31 par srednjih mjesečnih temperatura zraka u razdoblju ožujak 2017. - listopad 2019. (nedostaje kolovoz 2018.). Vrijednost koeficijenta determinacije vrlo je visoka, $R^2=0,9917$, što svjedoči da su režimi temperatura zraka i na ove dvije postaje vrlo slični. Srednje mjesečne temperature zraka u Dračevom polju su prosječno više nego u Humu između 2,0 °C i 3,0 °C.

Na **slici 11** prikazani su histogrami razlika prosječnih mjesečnih temperatura zraka za razdoblja kad su postojala mjerenja na obje postaje: $\Delta T = TZ_{KOMIŽA} - TZ_{HUM}$ (plava boja); $\Delta T = TZ_{DRAČEVO POLJE} - TZ_{HUM}$ (zeleno boja);



Slika 11: Histogrami razlika prosječnih mjesečnih temperatura zraka za razdoblja kad su postajala mjerena na obje postaje: $\Delta T = TZ_{KOMIŽA} - TZ_{HUM}$ (plava boja); $\Delta T = TZ_{DRAČEVO POLJE} - TZ_{HUM}$ (zeleno boja); $\Delta T = TZ_{KOMIŽA} - TZ_{DRAČEVO POLJE}$ (smeđa boja)



Slika 12: Histogrami prosječnih vrijednosti srednjih mjesečnih temperatura zraka, TZ , (crvena boja), temperatura površine mora, TM , (modra boja) i njihovih razlika, $\Delta T = TM - TZ$, (zeleno boja) za postaju Komiza u razdoblju 1991. - 2019.

Tablica 3: Vrijednosti koeficijenta determinacije, R^2 , između srednjih mjesečnih temperatura površine mora i srednjih mjesečnih temperatura zraka za svaki pojedini mjesec u razdoblju 1991. - 2019.

MJESEC	R^2
siječanj	0,277
veljača	0,338
ožujak	0,499
travanj	0,452
svibanj	0,612
lipanj	0,588
srpanj	0,557
kolovoz	0,486
rujan	0,600
listopad	0,360
studeni	0,471
prosinac	0,473

$\Delta T = TZ_{KOMIŽA} - TZ_{DRAČEVO POLJE}$ (smeđa boja). Temperature zraka Komize prosječno su više od onih izmjerenih na Humu za 3,6 °C, te za 1,0 °C od onih izmjerenih na Dračevom polju. Temperature zraka Dračevog polja u prosjeku su više od temperatura zraka Huma za oko 2,4 °C.

Gradijent opadanja srednjih dnevnih temperatura zraka s nadmorskom visinom se mijenja tijekom godine. U toplom dijelu godine se kreće oko 0,45 °C na 100 metara, dok je u hladnom dijelu godine znatno viši i kreće se između 0,65 i 0,75 °C na 100 metara.

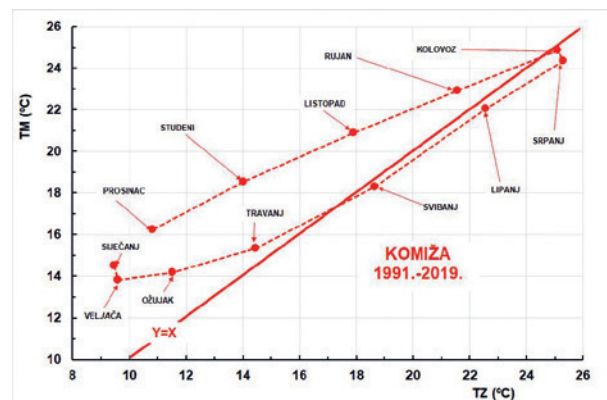
4.2.2. Odnos između temperature zraka i temperature površine mora

U tablici 3 se nalaze vrijednosti koeficijenta determinacije, R^2 , između srednjih mjesečnih temperatura površine mora i srednjih mjesečnih temperatura zraka za svaki pojedini mjesec u razdoblju 1991. - 2019. Uočava se da vrijednosti jako variraju tijekom godine. Najveće, tj. najčvršći odnos se javlja u svibnju kad vrijednost iznosi, $R^2 = 0,611$, a najniža je vrijednost u siječnju kada iznosi, $R^2 = 0,277$.

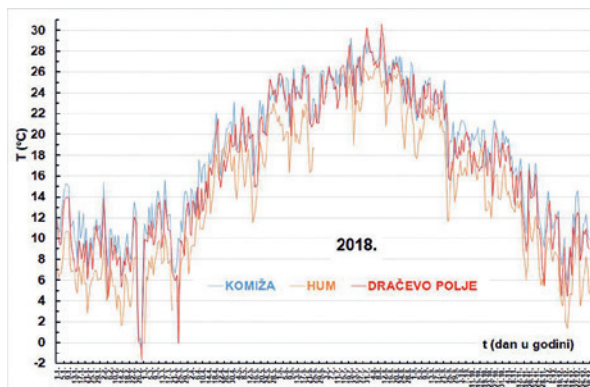
Na slici 12 su prikazana tri histograma prosječnih vrijednosti srednjih mjesečnih temperatura zraka, TZ , (crvena boja), temperatura površine mora, TM , (modra boja) i njihovih razlika, $\Delta T = TM - TZ$, (zeleno boja) za postaju Komiza u razdoblju 1991. - 2019. U analiziranom razdoblju prosječne mjesečne temperature površine mora više su od prosječnih mjesečnih temperatura zraka od rujna do travnja. U mjesecima tijekom toplog razdoblja godine od svibnja do kolovoza prosječne mjesečne temperature površine mora niže su od prosječnih mjesečnih temperatura zraka što je uočljivo iz prikaza na slici 13 na kojoj je ucrtan odnos između prosječnih vrijednosti srednjih mjesečnih temperatura površine mora, TM , (ordinata) i temperatura zraka, TZ , (apscisa) Komize u razdoblju 1991. - 2019.

4.3. Dan kao jedinica analize

Tri niza srednjih dnevnih temperatura zraka, TZ , Komize (plava boja); Huma (smeđa boja), i Dračeva polje (crvena boja), tijekom 2018. godine prikazana



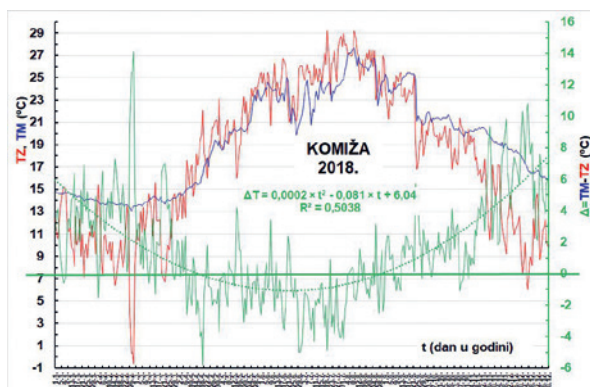
Slika 13: Odnos srednjih mjesečnih temperatura zraka Huma, TZ_{HUM} (ordinata) i Komize, $TZ_{KOMIŽA}$ (apscisa)



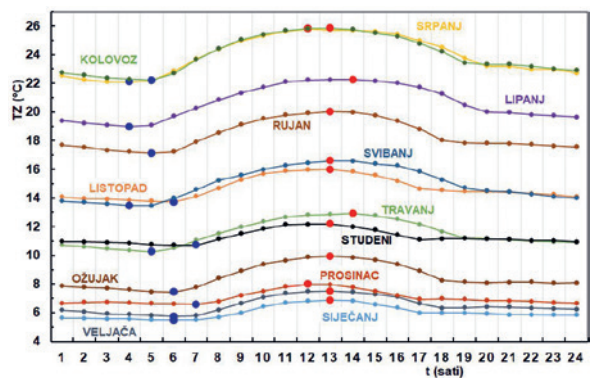
Slika 14: Nizovi srednjih dnevnih temperatura zraka Komiže (plava boja), Huma (smeđa boja) i Dračeva polja (crvena boja) tijekom 2018. godine

su na slici 14. Treba napomenuti da nedostaju podaci za nekoliko dana na postajama Hum i Dračevo polje. Vrijednosti koeficijenta determinacije između parova postaja su sljedeće: (1) Komiža-Dračevo polje, $R^2=0,947$; (2) Komiža-Hum, $R^2=0,960$; (3) Dračevo Polje-Hum, $R^2=0,926$.

Na slici 15 ucrtni su nizovi srednjih dnevnih temperatura površine mora, TM , (modra boja), srednjih dnevnih temperatura zraka, TZ , (crvena boja), Komiže i njihovih razlika, $\Delta=TM-TZ$, (zeleno boja) tijekom 2018. godine. Srednje dnevne temperature zraka kreću se u rasponu od 29,8 °C (od -0,6 °C do 29,2 °C). Srednje dnevne temperature površine mora kreću se u znatno užem rasponu od 14,6 °C (od 13,1 °C do 27,7 °C). Koeficijent determinacije između svih 365 parova vrijednosti tijekom 2018. godine bio je vrlo visok te je iznosio, $R=0,788$. Temperature površine mora ponašaju se znatno stabilnije, tj. reagiraju sporije na prodore hladnog ili toplog zraka. To je najbolje vidi analizirajući podatke iz epizode koja se desila između 23. i 28. veljače. Srednja dnevna temperatura zraka pala je za 14,1 °C, s 13,5 °C na -0,6 °C, dok je temperatura površine mora varirala samo između 13,6 °C i 13,1 °C. Razlike između srednje dnevne temperature površine mora i srednje dnevne temperature zraka su skočile od 0,1 °C 23. veljače na čak 14,1 °C 28. veljače.



Slika 15: Nizovi srednjih dnevnih temperatura površine mora, TM , (modra boja), srednjih dnevnih temperatura zraka, TZ , (crvena boja), Komiže i njihovih razlika, $\Delta=TM-TZ$, (zeleno boja) tijekom 2018. godine



Slika 16: Hod prosječnih satnih temperatura zraka, TZ , Huma tijekom 24 sata, izračunatih za svaki pojedini mjesec godine u razdoblju 2012. - 2019.

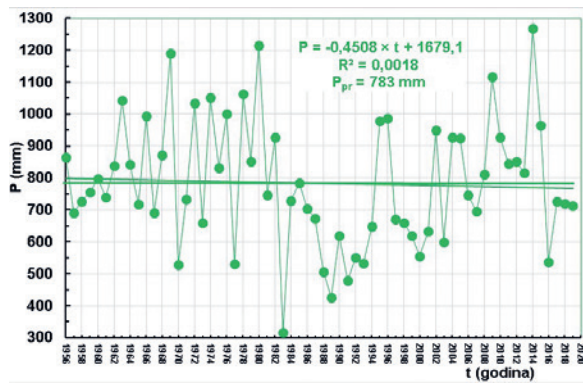
Zelenom bojom na slici 15 su prikazane razlike srednjih temperatura površine mora i srednjih dnevnih temperatura zraka. Ucrtna je i krivulja drugog reda definirana po teoriji najmanjih kvadrata. Uočava se da se više temperature zraka od onih temperatura površine mora generalno javljaju u toplom dijelu godine. Međutim, one se javljaju i u ostalom dijelu godine. Ukupno 232 dana tijekom 1988. godine temperatura površine mora bila je viša od temperature zraka.

Grafički prikazi hodova prosječnih satnih temperatura zraka, TZ , tijekom 24 sata, za svaki pojedini mjesec godine u razdoblju 2012. - 2019. na postaji Hum ucrtni su na slici 16. Crvenim točkama označen je sat u kojem se pojavila maksimalna vrijednost temperature zraka tijekom dana. Čak u osam mjeseci ona se javlja u 13 sati dok se dva puta javlja u 12 sati, a dva puta u 14 sati. Modrim točkama označen je sat u kojem se pojavila minimalna vrijednost temperature zraka. U toplom dijelu godine (od travnja do rujna) ona se javljaju ranije između 4 i 5 sati ujutro, dok se u hladnom dijelu godine javlja nešto kasnije od 6 do 7 sati.

4.4. Oborine

Raspored oborina u prostoru i vremenu i njihova snažna varijabilnost i dinamičnost predstavljaju ključni čimbenik svih hidroloških procesa, koji utječu na sve ostale procese na planetu, kako one prirodne tako i one društvene. Inženjerska hidrologija, a osobito hidrološko modeliranje i prognoziranje te upravljanje vodnim resursima zahtijevaju pouzdana saznanja o količinama i procesima veznim uz pojavu oborina. Wood i sur. (2000.) naglašavaju da je poznavanje režima oborina u raznim vremenskim skalama najvažniji ulazni parametar za pružanje podrške ekološkoj i društvenoj stabilnosti svake pojedine regije. To je posebno bitno za male otoke udaljene od obale na kojima oborine predstavljaju jedini izvor slatke vode.

Na slici 17 grafički je prikazan niz godišnjih oborina Komiže, P , u razdoblju 1956. -2019. Prosječna godišnja oborina tijekom 59 godina motrenja iznosi 783 mm. Najveća godišnja oborina izmjerena je 2014. godine, a iznosila je 1269 mm, dok je najmanje oborine u iznosu od

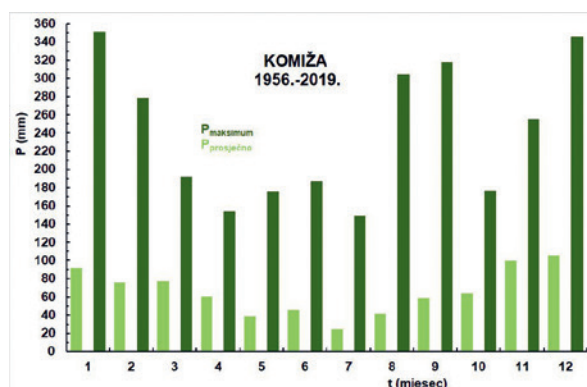


Slika 17: Niz godišnjih oborina, P, Komiže u razdoblju 1956. - 2019.

samo 315,6 mm opaženo 1983. godine. Pravac linearne regresije svjedoči da je trend snižavanja godišnjih oborina statistički neznačajan. Analizirano je eventualno postojanje trendova oborina u svakom pojedinom mjesecu u razdoblju 1964. - 2019. Ni u jednom mjesecu u godini nije utvrđen statistički značajan trend ni porasta niti opadanja količine oborina.

Analize trendova godišnjih oborina izvršene su na nekoliko obližnjih otoka. Bonacci i sur. (2020.) su analizirali trendove godišnjih oborina Lastova (1950. - 2018.), Komiže (1956. - 2018.), Biševa (1963. - 2018.) i Palagruže (1951. - 2018.). Na niti jednom od ova četiri otoka nije uočena pojava statistički značajnog trenda ni porasta niti opadanja. Kod Lastova i Komiže trend je pokazivao blago opadanje, a kod Biševa i Palagruže blagi porast. Na otoku Korčuli na dvije analizirane postaje Vela Luka i Korčula utvrđen je statistički neznačajan trend opadanja godišnjih oborina u razdoblju 1949. - 2018. (Bonacci i sur., 2021.). Na dvije postaje na otoku Braču (Sutivan i Bol) u razdoblju 1952. - 2018. nije utvrđeno postojanje trenda ni porasta niti opadanja godišnjih oborina (Rađa i sur., 2020.).

Na slici 18 ucrtani su histogrami prosječnih (svjetlozelena boja) i maksimalnih (tamnozeleno boja) mjesečnih oborina Komiže u razdoblju 1956. - 2019. Najviše oborina padne u razdoblju od studenog do



Slika 18: Histogrami prosječnih (svjetlozelena boja) i maksimalnih (tamnozeleno boja) mjesečnih oborina, P, Komiže u razdoblju 1956. - 2019.

siječnja kada prosječno padne 38 % ukupnih godišnjih oborina. Najmanje oborina padne u razdoblju od svibnja do srpnja kada u prosjeku padne samo 14 % od ukupnih godišnjih oborina. Najveća mjesečna oborina u iznosu od 351,4, mm izmjerena je u siječnju 1978. godine. U svakom pojedinom mjesecu u razdoblju od 1956. do 2019. izmjerena je ukupna mjesečna količina oborina veća od 150 mm. Jedino je u srpnju bila neznatno niža i iznosila je 149,5 mm.

Good i sur. (2021.) navode da su oborine i atmosferska cirkulacija spregnuti procesi kod kojih površinska temperatura tropskih oceana upravlja globalnim vremenom i klimom. Oni smatraju da temperature površine lokalnih mora općenito utječu na povećanje količina oborina, ali naglašavaju da brojni drugi lokalni čimbenici mogu drugačije utjecati na formiranje lokalnih oborinskih procesa.

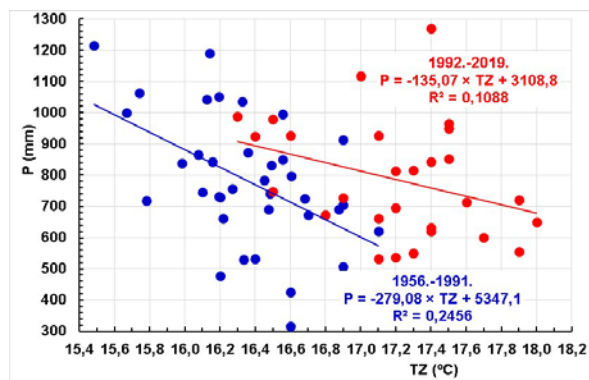
Alpert i sur. (2002.) su ustanovili da su se u subtropskoj regiji Mediterana povećale ekstremne dnevne oborine usprkos smanjivanju godišnjih količina oborina. Ova je pojava utvrđena na osnovi analize nizova dnevnih oborina opaženih na 265 postaja u južnoj Španjolskoj, južnoj Italiji, Cipru i Izraelu u razdoblju 1951. - 1995. Na spomenutom području uočena je značajna promjena raspodjela oborina tijekom godine, tj. povećanje varijanci uz snižavanja srednjih vrijednosti. Diodato i sur. (2020.) su utvrdili da povećanje ekstremnih oborina u području južne Italije, uzrokuje povećanje njihove agresivnosti, tj. utječe na značajni porast erozije tla.

Podijelivši prostor Mediterana na osam regija Norrant i Douguédroit (2006.) su analizirali mjesečne i dnevne trendove oborina na 63 postaje u razdoblju 1950. - 2000. koristeći tri različita indeksa. Opći je zaključak da ne postoje značajni trendovi smanjivanja godišnjih količina oborina. Od brojnih analiza izvršenih u tom radu za naše područje bi mogli biti zanimljivi zaključci da je na području Grčke uočeno značajno smanjivanje sume dnevnih padavina manjih od 0,1 mm i 10 mm u mjesecu siječnju.

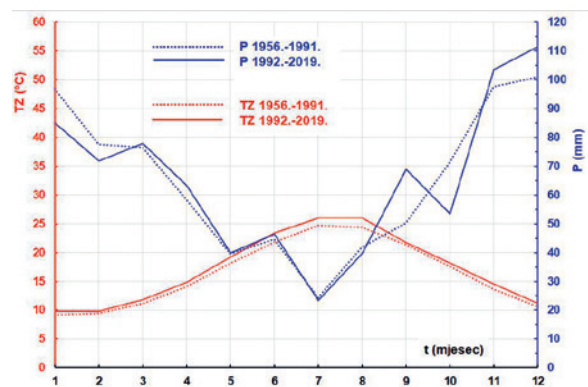
4.5. Analiza odnosa temperature zraka i oborina

Na slici 19 grafički su prikazana dva odnosa između godišnjih vrijednosti oborina, P , (ordinata) i temperature zraka, TZ , (apskisa) Komiže tijekom sljedeća dva podrazdoblja: 1956. - 1991. (modra boja); 1992 - 2019. (crvena boja). Kako je iz prethodnih analiza ustanovljeno od 1992. do danas, došlo je do statistički značajnog skoka temperatura zraka dok se taj fenomen nije pojavio kod oborina na postaji Komiža. Odnos između srednjih godišnjih temperatura zraka i ukupnih godišnjih oborina u prvom podrazdoblju (1956. - 1991.) značajno se razlikuje od onog u drugom podrazdoblju (1992. - 2019.) kad je došlo do naglih porasta srednjih godišnjih temperatura zraka što se jasno uočava na pravcima regresije definiranim za ta dva podrazdoblja.

Usporedni grafički prikaz prosječnih temperatura zraka i prosječnih oborina tijekom određenog razdoblja



Slika 19: Odnosi između godišnjih vrijednosti oborina, P, (ordinata) i srednjih godišnjih temperatura zraka, TZ, (apscisa) Komize tijekom sljedeća dva podrazdoblja: (1) 1956. - 1991. (modra boja); (2) 1992. - 2019. (crvena boja)



Slika 20: Gausen-Walterov dijagram za Komizu za dva podrazdoblja: 1956. - 1991. (točkaste linije); 1992. - 2019. (pune linije)

u svakom pojedinom mjesecu godine na određenoj lokaciji naziva se Gausen-Walterov dijagram (Gausen, 1954.; Walter, 1955.; Treder i sur., 2018.). Ovaj dijagram prikazuje prosječno ponašanje temperatura zraka i oborina, kao bitnih karakteristika klime na analiziranoj lokaciji ukazujući na varijacije njihovog međunosa tijekom dvanaest mjeseci godine. Klima dijagram jasno ukazuje na raspored humidnog i aridnog razdoblja tijekom godine. Njegova je upotreba česta i osobito važna u poljoprivredi, ali i kod upravljanja vodnim resursima.

Na slici 20 prikazan je Gausen-Walterov dijagram za Komizu za dva podrazdoblja: 1956. - 1991. (točkaste linije); 1992. - 2019. (pune linije). Uočava se da se razdoblje od lipnja do kolovoza može smatrati kao sušno, s tim da se u posljednjih 27 godina zbog porasta temperature zraka toj karakteristici sve više približava i mjesec svibanj. Moguće je pouzdano zaključiti da će daljnji porast temperatura zraka na prostoru Visa, kao uostalom i na području ostalih otoka u hrvatskom dijelu Jadrana pa i na prostoru Mediterana, rezultirati intenziviranjem suša na tim prostorima.

5. ZAKLJUČCI I PREPORUKE ZA DALJNJA ISTRAŽIVANJA

U razdoblju od recentnih 29 godina (1991. - 2019.) minimalne godišnje temperature mora su imale statistički značajan linearni trend rasta, a minimalne godišnje temperature zraka su pokazivale statistički neznačajan trend opadanja. Istovremeno su srednje godišnje temperature površine mora brže rasle od srednjih godišnjih temperatura zraka, dok maksimalne godišnje vrijednosti temperatura površine mora imaju sporiji trend porasta od maksimalnih godišnjih temperatura zraka.

Srednje godišnje temperature zraka na postaji Komiza više su za oko 1 °C od srednjih godišnjih temperatura zraka u Dračevom polju i oko 3,6 °C od onih izmjerenih na postaji Hum što je očekivano s obzirom na njihovu nadmorsku visinu te udaljenost od mora. Režim temperatura zraka na sve tri postaje na malom otoku Visu je sličan. Kod parova srednjih mjesečnih temperatura

zraka koeficijenta determinacije uvijek su viši od, $R^2=0,99$. Kod parova srednjih dnevnih temperatura zraka u sva tri slučaja premašuju vrijednost, $R^2=0,92$. Najviše temperature zraka su na Komizi koja je najbliža moru i na najnižoj je koti, 110 m nižoj od Dračeva polja i 567 m od Huma. Gradijent opadanja srednjih dnevnih temperatura zraka u toplom dijelu godine se kreće oko, 0,45 °C na 100 metara, dok je u hladnom dijelu godine znatno viši i kreće se između 0,65 i 0,75 °C na 100 metara.

Minimalne dnevne temperature zraka javljaju se u hladnom dijelu godine između 6 i 7 sati dok se tijekom toplog dijela godine (travanj - rujna) javljaju nešto ranije između 4 i 5 sati ujutro. Maksimalne dnevne temperature zraka tijekom svih mjeseci godine uglavnom se javljaju oko 13 sati.

Niti jedan od nizova godišnjih i mjesečnih oborina u razmatranom razdoblju (1956. - 2019.) nije pokazao postojanje statistički značajnog trenda porasta ili opadanja.

Bogati ali ranjivi ekosustavi kao i osjetljiva društveno-ekonomska struktura jadranskih otoka ugroženi su postojećim klimatskim promjenama čije se posljedice u posljednjim desetljećima osjećaju sve intenzivnije. Ograničene dimenzije i ograničeni prirodni resursi malih otoka ugroženi antropogenim aktivnostima (npr. nekontroliranim turizmom, urbanizacijom, apartmanizacijom te brutalnom promjenom korištenja zemljišta) značajno utječu na smanjivanje opcija adaptacije na klimatske promjene.

Drastičan i teško predvidljiv budući razvoj klime u prostorima Mediterana najsnažnije i s vjerojatno najtežim posljedicama osjećaju i sve jače će osjećati mali otoci udaljeni od kopna. Upravo zbog te činjenice neophodno je intenzivirati istraživanja vezana s promjenom klime na ovim prostorima. Kako bi ona bila učinkovita, tj. kako bi mogla dati pouzdane odgovore na mnoga važna pitanja neophodno je vršiti brojna, kontinuirana mjerenja klimatskih parametara, ali i drugih ekoloških pa i društvenih pokazatelja. Pri tome mjerenja i na njima zasnovane analize odnosa temperatura površine mora i temperatura zraka igraju ključnu ulogu. Činjenica je da

takvih mjerenja i analiza nema mnogo, osobito na našem dijelu Jadrana. Ovim člankom se pokušalo dati doprinos u tom smislu. Autorima je bila namjera da potaknu ostale naše stručnjake da daju svoj interdisciplinarni doprinos u izučavanju ove važne problematike. Ova vrsta istraživanja će pomoći u boljoj pripremi složenih i osjetljivih otočnih i priobalnih sustava na izazove koje im nameće bliska budućnost vezana s klimatskim i drugim promjena. ■

ZAHVALA

Ovaj rad je sufinanciran kroz projekt "VODIME - Vode Imotske krajine" (KK.05.1.1.02.0024), projekt financiran sredstvima Vlade Republike Hrvatske i sredstvima Europske unije kroz Europski strukturni fond, u sklopu poziva "Shema za jačanje primijenjenih istraživanja za mjere prilagodbe klimatskim promjenama" (KK.05.1.1.02.).

Ovo istraživanje je djelomično sufinancirano kroz projekt KK.01.1.1.02.0027, koji je sufinanciran od strane Hrvatske Vlade i Europske Unije kroz „European Regional Development Fund - the Competitiveness and Cohesion Operational Programme.“

LITERATURA

- Alpert, P.; Ben-Gai, T.; Baharad, A.; Benjamini, Y.; Yekutieli, D.; Colacino, M.; Diodato, L.; Ramis, C.; Homar, V.; Romero, R.; Michaelides, S., Manes, A. (2002.): The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophysical Research Letters*, 29(10), 31-34. doi: 10.1029/2001GL013554.
- Bonacci, O. (2012.): Increase of mean annual surface air temperature in the Western Balkans during last 30 years. *Vodoprivreda*, 44 (255-257), 75-89.
- Bonacci, O. (2019.): Air temperature and precipitation analyses on a small Mediterranean island: the case of the remote Island of Lastovo (Adriatic Sea, Croatia). *Acta Hydrotechnica*, 32(57): 135-150.
- Bonacci, O.; Bonacci, D. (2020.): Analiza temperatura vazduha na ostrvu Palagruža na pučini Jadranskog mora. *Vodoprivreda*, 52(306-308) 215-221.
- Bonacci, O.; Bonacci, D.; Roje-Bonacci, T. (2021.): Relationship between the sea surface and surface air temperature: a case of the Island of Hvar (Adriatic Sea, Croatia). *Geoadria*, 26(1) 7-34. doi:10.15291/geoadria.3115.
- Bonacci, O.; Ljubenkov, I.; Knezić, S. (2012.): The water on a small karst island: the island of Korčula (Croatia) as an example. *Environmental Earth Sciences*, 66(5), 1345-1357. doi: 10.1007/s12665-011-1345-9.
- Bonacci, O.; Ljubenkov, I. (2020.): Različite vrijednosti i trendovi temperatura zraka na dvije postaje na malom otoku: slučaj meteoroloških postaja Korčula i Vela Luke na otoku Korčuli. *Hrvatske Vode*, 28(113), 183-196.
- Bonacci, O.; Ljubenkov, I.; Roje-Bonacci, T. (2021.): Different climate changes at two locations on a small karst island Korčula (Adriatic Sea, Croatia), *Naše More*, 68(1), 1-13.
- Bonacci, O.; Patekar, M.; Pola, M.; Roje-Bonacci, T. (2020.): Analyses of climate variations at four meteorological stations on remote islands in the Croatian part of the Adriatic Sea. *Atmosphere*, 11(10), 1044. doi:10.3390/atmos.11101044.
- Branković, C.; Güttler, I.; Gajić-Čapka, M. (2013.): Evaluating climate change at the Croatian Adriatic from observations and regional climate models' simulations. *Climate Dynamics*, 41(9-10), 2353-2373. doi:10.1007/s00382-012-1646-z.
- Carević, T. (2012.): Sustavni pristup vodoopskrbi otoka Visa. *Hrvatska Vodoprivreda*, XX(199), 8-13.
- Diodato, N.; Ljungqvist, F. C.; Bellocchi, G. (2020.) Fingerprint of climate change in precipitation aggressiveness across the central Mediterranean (Italian) area. *Scientific Reports*, 10, 22062. doi:10.1038/s41598-020-78857-3.
- Duplačić-Leder, T.; Ujević, T.; Cala, M. (2004.): Coastline lengths and area of islands in the Croatian part of the Adriatic Sea determined from the topographic maps at the scale 1:25000. *Geoadria*, 9(1), 5-32.
- Garbrecht, J., Fernandez, G. P. (1994.): Visualization of trends and fluctuations in climatic records. *Water Resources Bulletin*, 30 (2), 297-306. doi:10.1111/j.1752-1688.1994.tb03292.x.
- Gausson, H. (1954.): Théorie et classification des climats et microclimats. *Actes VIIIeme Congres International de Botanique*, Section 7, 125-130.
- Geiger, R. (1954.): *Landolt-Börnstein - Zahlenwerte undFunktionen aus Physik, Chemie, Astronomie*. Geophysikund Technik, alte Serie Vol.3, Ch. Klassifikation der Klimate nach W. Köppen. Springer, Berlin. 603-607.
- Giorgi, F.; Lionello, P. (2008.): Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change*, 63(2-3),90-104. doi:10.1016/j.gloplascha.2007.09.005.
- Good, P.; Chadwick, R.; Holloway, C. E.; Kennedy, J.; Lowe, J. A.; Roehrig, R.; Rushley, S. S. (2021.): High sensitivity of tropical precipitation to local sea surface temperature. *Nature*. 589, 408-414. doi:10.1038/s41586-020-2887-3.
- Grbec, B.; Morović, M.; Matić, F.; Ninčević Gladan, Ž.; Marasović, I.; Vidjak, O.; Bojanić, N.; Čikeš Keč,

- V.; Zorica, B.; Kušpilić, G.; Matić-Skoko, S. (2015.): Climate regime shifts and multi-decadal variability of the Adriatic Sea pelagic ecosystem. *Acta Adriatica*, 56 (1), 47-66.
- Husain Shourov, M. M., Mahmud, I. (2019.): pyMannKendall: a python package for non parametric Mann Kendall family of trend tests. *Journal of Open Source Software*, 4 (9), 1556. doi:10.21105/joss.01556.
- IPCC (1991.) *Assessment of the vulnerability of coastal areas to sea level rise - a common methodology*. Report of the Coastal Zone Management Subgroup, IPCC Response Strategies Working Group, Ministry of Transport, Public Work and Water Management, The Hague, The Netherlands.
- Krklec, K.; Lozić, S.; Perica, D. (2012.): Neke značajke klime otoka Visa. *Naše More*, 59(3-4), 148-160.
- Kutiel, H.; Maheras, P. (1998.): Variations in the temperature regime across the Mediterranean during the last century and their relationship with circulation indices. *Theoretical and Applied Climatology*, 61(1-2), 39-53. doi:10.1007/s007040050050.
- Lozić, S.; Šiljeg, A.; Krklec, K. (2013.): Morfometrijske značajke otoka Visa. *Naše More*, 60(5-6), 110-117.
- McGhee, J. W. (1985.): *Introductory statistics*. West Publishing Company, St Paul i New York.
- Médail, F. (2016.): *Plant biodiversity and vegetation on Mediterranean islands in the face of global change*. The Mediterranean region under climate change (ed. by Moatti, J. P., Thiébaud, S.), 363-376, IRD Éditions, Marseille.
- Nejašmić, I.; Mišetić, R. (2006.): Depopulacija otoka Visa (Depopulation of Vis Island Croatia). *Geoadria*. 11(2), 283-309.
- Norrant, C.; Douguédroit, A. (2006.): Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950-2000). *Theoretical and Applied Climatology*, 83, 89-106. doi:10.1007/s00704-005-0163-y.
- Pandžić, K. (urednik) (2008.): *Naputak za opažanja i mjerenja na glavnim meteorološkim postajama*. Državni Hidrometeorološki Zavod, Zagreb.
- Rađa, B.; Bonacci, O.; Rađa, T. ; Šantić, M. (2020.): The water and biology on a small Karstic island: the Island of Brač (Croatia) as one example. *Environmental Earth Sciences*, 79, 5, 116, 2-17. doi:10.1007/s12665-020-8844-5.
- Seneviratne, S.; Zwiers, F. (2015.): Attribution and prediction of extreme events: Editorial on the special issue. *Weather and Climate Extremes*, 9, 2-5. doi:10.1016/j.wace.2015.08.003.
- Šegota, T., Filipčić, A. (2003.): Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje. *Geoadria*, 8 (1), 17-37.
- Terzić, J. (2003.): Hidrogeološki odnosi otoka Visa. MSc Thesis, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- Terzić, J. (2004.): Hidrogeološki odnosi na krškim otocima - primjer otoka Visa. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*. 18, 47-58.
- Terzić, J. (2007.): Hidrogeologija jadranskih krških otoka. PhD, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- Treder, W.; Klamkowski, K.; Wójcik, K. (2018.): A new approach to the method of drawing the Gausse-Walter climate diagram. *Meteorology Hydrology and Water Management*, 6, 2, 3--9. Doi:10.26491/mhwm/82237.
- Veron, S.; Mouchet, M.; Govaerts, R.; Haeveermans, T.; Pellens, R. (2019.): Vulnerability to climate change of islands worldwide and its impact on the tree of life. *Scientific Reports*, 9, 14471. doi: 10.1038/s41598-019-51107-x.
- Washington, R. (2000.): Quantifying chaos in the atmosphere. *Progress in Physical Geography*, 24(4), 499-514. doi:10.1177/030913330002400402.
- Weigelt, P.; Steinbauer, M. J.; Cabral, J. S.; Kreft, H. (2016.): Late Quaternary climate change shapes island biodiversity. *Nature*, 532, 99-102. doi:10.1038/nature17443.
- Walter, H. (1955.): Die Klimadiagramme als Mittel zur Beurteilung der Klimaverhältnisse für ökologische, vegetationskundliche und landwirtschaftliche Zwecke. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 68, 331-344.
- Wood, S. J.; Jones, D. A.; Moore, R. J. (2000.): Accuracy for rainfall measurement for scales of hydrological interest. *Hydrology and Earth System Sciences*, 4(4), 531-543. doi:10.5194/hess-4-531-2000.

ANALYSIS OF THE RELATIONS BETWEEN AIR AND SEA SURFACE TEMPERATURES AND PRECIPITATION ON VIS ISLAND

Abstract. The paper analyses the series of average daily, monthly and annual air temperatures and monthly and annual precipitation measured at three stations on Vis Island. The used data were observed at the main meteorological station Komiža (1956– 2019), as well as automatic stations Hum (2012 – 2019) and Dračevo polje (2017 – 2019). Additionally, the analysis also included the series of average daily, monthly and annual sea surface temperatures measured at the station Komiža (1991 – 2019). Vis Island is a small carbonate island with a surface of 89.72 km² and the highest peak of 587 asl, where the automatic meteorological station Hum is located. The air temperature regimes at all three stations on the small island far off the mainland are similar, with the average daily, monthly and annual air temperatures being the highest at the station Komiža – by about 1 °C higher than the average annual air temperatures measured at Dračevo polje and by about 3.6 °C higher than those measured at the station Hum. The upward trend in average monthly air temperatures in the period of 1964– 2019 occurs in each individual month of the year. The gradient of average daily air temperatures' decrease with altitude is significantly lower in the warm part of the year than in the cold one. The most intense increases in air temperatures occur in the warmest part of the year. The average annual values of sea surface temperatures in the period of 1991 – 2019 increased faster than the average annual air temperatures. The average monthly sea surface temperatures are higher than the average monthly air temperatures in the period from September to April, while lower in other months. The minimum daily air temperatures occur in the cold part of the year between 6 a.m. and 7 a.m. During the warm part of the year they occur slightly earlier – between 4 a.m. and 5 a.m. The maximum daily air temperatures generally occur around 1 p.m. Not one of the analysed series of annual and monthly precipitation in the observed period (1956–2019) showed the existence of a statistically significant upward or downward trend.

Key words: air temperature, sea surface temperature, precipitation, Mann-Kendall test, Gausson-Walter diagram, Vis Island (Croatia)

DIE ANALYSE DER BEZIEHUNGEN ZWISCHEN LUFTTEMPERATUR, MEERESOBERFLÄCHENTEMPERATUR UND NIEDERSCHLAG AUF DER INSEL VIS

Zusammenfassung. Im Beitrag werden die Zeitreihen für die Tages-, Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur sowie für die Monats- und Jahresmittel des Niederschlags analysiert, die an drei Stationen auf der Insel Vis gemessen wurden: an der meteorologischen Hauptstation Komiža (1956–2019) sowie an den automatischen Wetterstationen Hum (2012–2019) und Dračevo polje (2017–2019). Außerdem werden die an der Station Komiža (1991–2019) gemessenen Zeitreihen für die Tages-, Monats- und Jahresmittel der Meeresoberflächentemperatur analysiert. Vis ist eine kleine Kalkinsel mit einer Fläche von 89,72 Quadratkilometern und mit dem höchsten Gipfel von 587 Metern über dem Meeresspiegel, wo sich die automatische Wetterstation Hum befindet. Das Lufttemperaturregime an allen drei Stationen auf dieser weit vom Land entfernten Insel ist ähnlich. Die höchsten mittleren Tages-, Monats- und Jahreslufttemperaturen wurden an der Station Komiža gemessen. Sie sind etwa 1 °C höher als die an Dračevo polje gemessenen mittleren Jahreslufttemperaturen und etwa 3,6 °C höher als die an der Station Hum gemessenen mittleren Jahreslufttemperaturen. Ein Aufwärtstrend liegt bei den mittleren Monatslufttemperaturen im Zeitraum 1964–2019 in jedem einzelnen Monat des Jahres vor. Der abfallende Gradient der mittleren Tageslufttemperaturen ist in der warmen Jahreszeit mit abfallender Seehöhe wesentlich niedriger als in der kalten Jahreszeit. Die stärksten Lufttemperaturerhöhungen wurden in der wärmsten Jahreszeit beobachtet. Die Werte der mittleren Jahresmeeresoberflächentemperaturen erhöhten sich im Zeitraum 1991–2019 schneller als die Werte der mittleren Jahreslufttemperaturen. Die Monatsmittel der Meeresoberflächentemperatur sind höher als die Monatsmittel der Lufttemperatur im Zeitraum zwischen September und April, während sie in anderen Monaten niedriger sind. Die minimalen Tageslufttemperaturen wurden in der kalten Jahreszeit zwischen 6 und 7 Uhr beobachtet, während sie während der warmen Jahreszeit etwas früher, zwischen 4 und 5 Uhr, die Minimalwerte erreichen. Die Maximalwerte der Tageslufttemperatur zeigen sich meistens um 13 Uhr. Bei keinen von den analysierten Zeitreihen des Jahres- und Monatsniederschlags zeigte sich im beobachteten Zeitraum (1956–2019) ein statistisch signifikanter Aufwärts- oder Abwärtstrend.

Schlüsselwörter: Lufttemperatur, Meeresoberflächentemperatur, Niederschlag, Mann-Kendall-Trendtest, Gausson-Walter-Diagramm, Insel Vis (Kroatien)