

RAZLIČITE VRIJEDNOSTI I TRENDVI TEMPERATURA ZRAKA NA DVIJE POSTAJE NA MALOM OTOKU: SLUČAJ METEOROLOŠKIH POSTAJA KORČULA I VELA LUKE NA OTOKU KORČULI

dr. sc. Ognjen Bonacci,
prof. emer.

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

dr. sc. Igor Ljubenkov

Water Development d.o.o.,
Kvaternikova 7,
Split, Hrvatska

U članku se analiziraju nizovi srednjih godišnjih, srednjih mjesečnih i srednjih dnevnih temperatura zraka na dvije meteorološke postaje, Vela Luci i Korčuli, na otoku Korčuli. Današnje lokacije meteoroloških postaja međusobno su udaljene 33,5 km zračne linije. Srednja godišnja temperatura zraka na postaji Vela Luka niža je u prosjeku za 1 °C od one izmjerene na postaji Korčula. Na obje postaje opažen je značajni trend porasta srednjih godišnjih i srednjih mjesečnih temperatura zraka, s tim da je on znatno blaži na postaji Vela Luka. Korištenjem podataka s glavne meteorološke postaje Lastovo izvršeno je detektiranje nehomogenosti temperatura mjerenih na postajama Vela Luka i Korčula uzrokovanih ne klimatskim činiocima. Jedan od njih je i promjena lokacija postaja. Na osnovi analiza izvršenih u ovom radu moguće je zaključiti da se procesi globalnog zagrijavanja brže manifestiraju na postaji Korčula, nego na postaji Vela Luka. Značajno različite vrijednosti temperatura zraka, a osobito činjenica različitog reagiranja temperatura zraka na klimatske promjene na dvije postaje, može se objasniti njihovim lokalnim položajem u odnosu na otvoreno more i orografiju okolnog golog krškog terena. Postaja Vela Luka izložena je utjecaju otvorenog mora, te je udaljena od kopna, i na njen temperaturni režim vjerojatno utječe depresija krškog polja Blato. Na postaji Korčula utjecaj mora je manje značajan jer se vodena masa nalazi u uskom kanalu između otoka Korčule i poluotoka Pelješca. Udaljenost meteorološke postaje Korčula od poluotoka Pelješca i kopna je manja. Visoki planinski lanci na Pelješcu i kopnu, kao i goli krški krajolik, utječu na brži trend porasta temperatura zraka na ovoj postaji, nego na postaji Vela Luka na kojoj utjecaj mora ublažava učinak globalnog zagrijavanja. Napominje se da iznesene rezultate treba tretirati kao preliminarne te da hipoteze treba potvrditi dodatnim istraživanjima zasnovanim na novim kompleksnijim podatcima i motrenjima s kojima se danas ne raspolaže.

Ključne riječi: temperatura zraka, klimatske promjene, utjecaj regionalnih i lokalnih čimbenika, otok Korčula

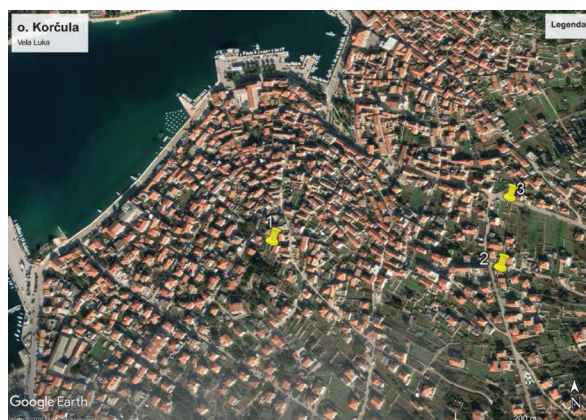
1. UVOD

Otok predstavlja kopnenu masu sa svih strana okruženu vodom. Kao posljedica činjenice da je odvojen od kontinentalne kopnene mase svaki pojedini otok predstavlja klimatološki i hidrološki ograničenu jedinicu s isključivo lokalnom bilancom vode. Prema definiciji UNESCO-a u male otoke spadaju oni manji od 1000 km², dok u vrlo male spadaju oni čija je površina manja od 100 km² (Diaz Arenas i Febrillet Huertas, 1986.).

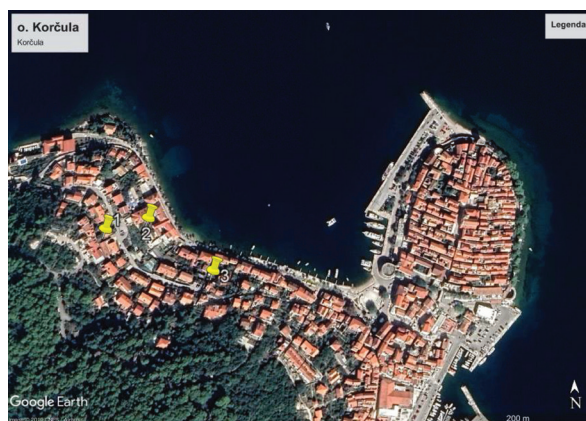
Mali jadranski otok Korčula je smješten između 42° 53' i 42° 59' sjeverne geografske širine te 16° 38' i 17° 12' istočne geografske dužine. Dio je makrogeomorfološke regije Južna Dalmacija s arhipelagom, odnosno mezogeomorfološke regije Južnodalmatinski arhipelag (Bognar, 1999.). Pruža se u smjeru istok-zapad. Dug je 46,8 km, dok mu širina varira od 5,3 km do 7,8 km. S površinom od 271,47 km² Korčula je šesti po veličini, a drugi po naseljenosti otok na hrvatskom dijelu Jadrana (Duplančić Leder et al., 2004.; Marinović Golubić, 2017.). Na otoku, prema popisu stanovništva iz 2011. godine živi 16.182 stanovnika. Tijekom ljetnih mjeseci otok posjeti više od 150.000 turista.

Klimatske prilike koje vladaju na Korčuli vrlo su povoljne za život i gospodarske aktivnosti. O prirodnim resursima otoka Korčule, s naglaskom na problematiku vodnih resursa, objavljeni su brojni radovi (Terzić, 2006.; Terzić et al., 2007.; Ljubenkovič et al., 2010.; Terzić et al., 2010.; Krklec et al., 2011.; Ljubenkovič i Bonacci, 2011.; Bonacci et al., 2012.; Ljubenkovič, 2012.; Terzić et al., 2012.). Otočni i obalni prostor Dalmacije, pa tako i otok Korčula, imaju mediteransku klimu s blagim zimama te suhim i vrućim ljetima. Prema Köppen-ovoj klasifikaciji radi se o Csa (sredozemna klima s vrućim ljetima) tipu klime (Šegota i Filipčić, 2003.).

U radu će se analizirati nizovi temperatura mjerenih na dvije obične meteorološke postaje Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) Vela Luka i Korčula, na kojima se svakodnevno obavljaju motrenja vremena u 07, 14 i 21 sati po srednjem lokalnom vremenu. Osnovne karakteristike ovih postaja dane su u [tablici 1](#). Iz podataka navedenih u tablici uočava se da su obje postaje mijenjale mikrolokaciju čak tri puta. Na [slikama 1](#) i [2](#) ucrtane su njihove lokacije. Uočava se da su



Slika 1: Tri lokacije meteorološke postaje Vela Luka. Brojevima 1, 2 i 3 označeni su položaji postaja u prvom, drugom i trećem razdoblju navedenom u tablici 1



Slika 2: Tri lokacije meteorološke postaje Korčula. Brojevima 1, 2 i 3 označeni su položaji postaja u prvom, drugom i trećem razdoblju navedenom u tablici 1

udaljenosti među njima bile red veličine od 100 do 200 m te da su se nadmorske visine postaja malo mijenjale. Kod postaje Vela Luku kretale su se između 12 m n.m. i 14 m n.m., a kod postaje Korčula između 15 m n.m. i 20 m n.m. Udaljenosti postaja od obale mora nisu se značajno mijenjale, a kretale su se za Vela Luku od 225 m do 425 m, a za Korčulu od 35 m do 90 m. Iz podataka navedenih u [tablici 1](#) uočava se da je postaja Vela Luka započela s radom kao kišomjerna postaja u

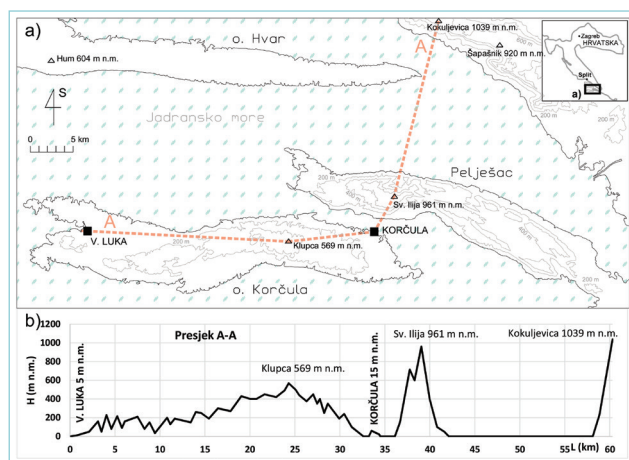
Tablica 1: Osnovne karakteristike dvije klimatološke postaje na otoku Korčula

Naziv postaje	Vrijeme rada	Podaci koji nedostaju	Koordinate	H (m n.m.)	L (m)
Vela Luka	II. 1951. - IV. 1988.	VII. 1976.; X. 1986. - IV. 1988.	42° 58'; 16° 43'	12	225
	V. 1988. - XII. 2011.	-	42° 57' 33"; 16° 43' 13"	14	425
	I. 2012. - XII. 2018.	-	42° 57' 33"; 16° 43' 14"	14	365
Korčula	I. 1948. - XI. 1986.	I., VIII. - X. 1948.; VIII. 1961. - VII. 1964.; VII. 1966.; I., V. - VII. 1968.	42° 57'; 17° 08'	20	90
	XII. 1986. - XII. 1991.	-	42° 58'; 17° 09'	15	35
	I. 1992. - XII. 2018.	IX. 1994. - IV. 1995.	42° 57' 39"; 17° 07' 57"	17	40

studenom 1948., a kao obična meteorološka postaja u veljači 1951. Meteorološka postaja Korčula započela je s radom u veljači 1948. godine. Analize izvršene u ovom radu uključuju sva raspoloživa motrenja do uključivo kraja 2018. godine. U razdoblju koje je obuhvaćeno ovom analizom bilo je određenih prekida u radu postaja.

U radu su korišteni službeni podatci dobiveni od Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) iz Zagreba. Radi se o nizovima podataka kakvi se redovno i isključivo koriste u inženjerskoj praksi i koji su jedini u javnoj upotrebi za najrazličitije svrhe.

Na slici 3 a ucrtana je situacija otoka Korčule iz koje je moguće uočiti da je njegov istočni dio na kojem se nalazi postaja Korčula od poluotoka Pelješca udaljena tek oko 1200 m, dok je zapadni dio na kojem je locirana meteorološka postaja Vela Luka usmjeren prema otvorenom moru, ali i otvorena prema ovalnoj depresiji krškog polja Blato. Navedene činjenice zasigurno imaju značajan utjecaj na mikroklimu ove dvije meteorološke postaje. Na slici 3 b ucrtan je presjek A-A koji prolazi kroz lokaciju dvije meteorološke postaje (Vela Luka i Korčula), a potom kroz planinske vrhove Sv. Ilija (961 m n.m.) na Pelješcu i Kukuljevica (1039 m n.m.) na kopnu.



Slika 3: Situacija otoka Korčule s ucrtanim položajima meteoroloških postaja (a) i presjek A-A koji prolazi kroz lokaciju dvije meteorološke postaje (Vela Luka i Korčula), a potom kroz planinske vrhove Sv. Ilija (961 m n.m.) na poluotoku Pelješcu i Kukuljevica (1039 m n.m.) na kopnu (b)

Bonacci et al. (2012.) su ukazali na značajno različito ponašanje porasta temperatura zraka tijekom vremena kao i na velike razlike između oborina koje padnu na ove dvije relativno bliske postaje. Ustanovili su postojanje vrlo različitih trendova porasta temperatura zraka na njima. Očigledno je da svaka od postaja različito reagira na recentnu globalnu promjenu klime. Fenomen klimatskih promjena, koje se najočitije manifestiraju kao globalno zagrijavanje, predstavlja jedan od najintragantnijih i stoga vrlo često tretiranih tema suvremene znanosti. Zanimljivo je i važno pokušati detaljnije izučiti dimenzije i razloge različitih klimatskih ponašanja na dvije postaje locirane na malom naseljenom otoku. To i predstavlja

osnovni cilj analiza izvršenih u ovom radu. Takovi slučajevi su relativno rijetko opisani u literaturi te bi izneseni rezultati mogli biti zanimljivi za širu znanstvenu zajednicu.

2. ISPITIVANJE HOMOGENOSTI NIZOVA

Homogenizacija klimatoloških podataka, u ovom slučaju temperatura zraka, predstavlja proces kalibriranja starih meteoroloških motrenja u cilju uklanjanja lažnih ili podmetnutih („spurious“) čimbenika koji nemaju ništa s aktualnim promjenama temperature. Promjene instrumenata, lokacije i motritelja, urbanizacija, industrijalizacija, ali i neki drugi činioci, najčešće oni antropogeni, nemaju ništa zajedničkog s prirodnom promjenom klime. Zbog toga su razvijene te se u praksi koriste brojne metode za homogenizaciju vremenskih serija (na pr. Likso, 2003.; Pandžić i Likso, 2010.; Pandžić et al., 2009.; Shen et al., 2018. itd.).

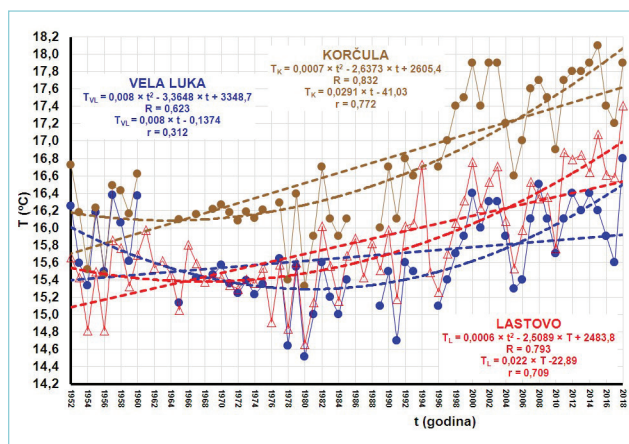
Jednostavnije rečeno, homogenizacijom nizova temperatura pokušava se iz njih eliminirati umjetne, tj. ne klimatske promjene. Vezano uz ovaj postupak, ostaju otvorena brojna pitanja među kojima se sljedeća dva čine najbitnijim: (1.) Reflektiraju li homogenizirani podatci bolje od mjerenih i nehomogeniziranih podataka povijesnu evoluciju temperatura?; (2.) Jesu li u proces homogenizacije uključeni svi ključni ne klimatski čimbenici koji su utjecali na proces u određenoj lokaciji? Da bi se dali pouzdani odgovori na oba pitanja, posebno ono drugo, potrebno je raspolagati s detaljnim, pouzdanim i dokumentiranim podacima o lokalnim, a nerijetko i regionalnim ne klimatskim činiocima (procesima i promjenama) najrazličitijih vrsta koji su utjecali na promjene temperatura na analiziranoj lokaciji. Kako se u posljednjih stotinjak godina praktično svugdje događaju nagle i često nedovoljno shvaćene i praćene ne klimatske promjene koje mogu utjecati na temperature, rijetko će biti moguće naći postaju u kojoj će sve njih biti moguće uključiti u proces homogenizacije. Posebno je pitanje izbora odgovarajuće metode homogenizacije među brojnim koje se danas primjenjuju, i novima koje se javljaju.

Homogenizacija je proces koji se odvija u tri etape. U prvoj etapi, koju se može nazvati detektiranje („detection“), utvrđuju se nagle (skokovite) ili postepene (trendovi) nehomogenosti u vremenskim nizovima. Na osnovi dokumentiranih informacija o poznatim promjenama, koristeći statističke testove i vizualne postupke, određuje se značajnost promjena. Drugu fazu može se nazvati podešavanje ili usklađivanje („adjustment“). Koristeći statističke postupke u ovoj se etapi reduciraju odstupanja izazvana ne klimatskim činiocima. U obje etape koriste se za usporedbu podatci s bliske relativno homogene i pouzdane postaje koja pripada sličnoj klimi. U posljednjoj etapi nazvanoj provjera valjanosti („validation“) potrebno je dokazati valjanost homogenizacije. Bez obzira koliko su pažljivo i detaljno

odrađene prve dvije faze procesa homogenizacije treba biti svjestan da nije moguće postići perfektne rezultate.

U ovom će se radu obaviti samo prva faza procesa homogenizacije. Pokušat će se utvrditi kada su na njima nastupile promjene uslijed ne klimatskih čimbenika. Jedine pouzdane informacije su vezane s promjenom lokacija postaja. U procesu utvrđivanja homogenosti će se koristiti temperature mjerene na glavnoj meteorološkoj postaji Lastovo koja raspolaže s pouzdanim i neprekinutim mjeranjima od siječnja 1948. godine.

Mjerenje temperatura zraka započele su na postaji Vela Luka u veljači 1951., a na postaji Korčula u veljači 1948. Postaja Vela Luka raspolaže s 63 cjelovite godine u razdoblju 1951.-2018. (nedostaju 1951., 1976., 1986.-1988.). Postaja Korčula u razdoblju 1948.-2018. raspolaže sa 62 cjelovite godine (nedostaju 1948., 1961.-1964., 1966., 1968., 1994.-1995.). Na slici 4 ucrtani su nizovi srednjih godišnjih temperatura zraka izmjereni na meteorološkim postajama Vela Luka i Korčula u razdoblju od 55 godina za koje postoje zajednička mjerenja tijekom cijele godine od 1952. do 2018. (nedostaju 1961.-1964., 1966., 1968., 1976., 1986.-1988., 1994.-1995.). Crvenom bojom je ucrtan niz srednjih godišnjih temperatura zraka izmjerenih na glavnoj meteorološkoj postaji Lastovo u razdoblju od 1952. do 2018. godine. Na slici su ucrtani pravci regresije s pripadnim koeficijentima linearne korelacije, r , te krivulje drugog reda s pripadnim indeksima nelinearne korelacije, R .



Slika 4: Nizovi srednjih godišnjih temperatura zraka izmjereni na meteorološkim postajama Lastovo, Vela Luka i Korčula u razdoblju 1952.-2018. Kod postaja Vela Luka i Korčula nedostaju podatci u sljedećim godinama: 1961.-1964., 1966., 1968., 1976., 1986.-1988., 1994.-1995. Na slici su ucrtani pravci regresije s pripadnim koeficijentima linearne korelacije, r , te krivulje drugog reda s pripadnim indeksima nelinearne korelacije, R .

Za svaki od analiziranih vremenskih nizova srednjih godišnjih temperatura zraka proračunati su linearni i nelinearni (krivulja drugog reda) trendovi. Izraz za linearni trend glasi:

$$T = (ax) + b \quad (1)$$

dok jednadžba nelinearnog trenda, krivulje drugog reda glasi:

$$T = (cx^2) + (dxt) + e \quad (2)$$

pri čemu je, T , srednja godišnja temperatura zraka u godini, t , dok su, a , b , koeficijenti linearne regresije, c , d , i e , predstavljaju koeficijente krivulje drugog reda. Svi su oni definirani primjenom metode najmanjih kvadrata. Pri tome treba naglasiti da koeficijent, a , predstavlja nagib pravca regresije čija dimenzija iznosi $^{\circ}\text{C}/\text{god}$. Kao takav, on ukazuje na prosječni godišnji intenzitet porasta ili opadanja temperature zraka na određenoj postaji.

Kako se sa slike 4 može uočiti, trendovi porasta srednjih godišnjih temperatura zraka na sve tri analizirane postaje se razlikuju. Najsnažniji je onaj opažen na postaji Korčula. Koeficijent linearne korelacije niza Vela Luka iznosi, $r=0,312$, te je bitno manji od onog za niz Korčule koji iznosi, $r=0,772$, dok na postaji Lastovo iznosi, $r=0,709$. Koeficijent linearne regresije, tj. parametar nagiba pravca regresije, $a=0,0291$, za Korčulu veći je 3,6 puta od koeficijenta, $a=0,008$, za Vela Luku, dok za Lastovo iznosi, $a=0,022$, te je 2,75 puta veći od onog za Vela Luku, a 1,3 puta manji od onog za Korčulu.

Ako postoji statistički značajan linearni trend, tada koeficijent linearne regresije, a , iz izraza (1) mora statistički biti različit od nule (Adeloye i Montasari, 2002.). Između nekoliko statističkih testova za određivanje statističke značajnosti linearnog trenda, u ovom je radu korišten SROC (Spearman Rank Order Correlation – Spearmanov rang korelacija) neparametarski test (McGhee, 1985.; Adeloye i Montasari, 2002.). Koeficijent linearne korelacije, r , za niz srednjih godišnjih podataka izmjerenih na postaji Vela Luka nije statistički značajan ($p>0,01$), dok su na postajama Korčula i Lastovo statistički značajni ($p<0,01$).

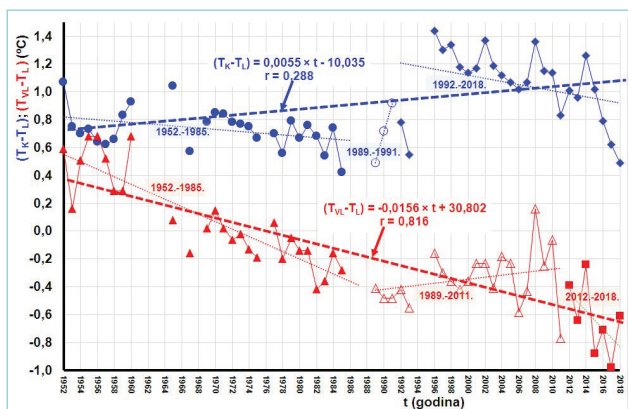
Potrebno je ukazati da trendovi porasta analiziranih vremenskih nizova srednjih godišnjih temperatura zraka u raspoloživom razdoblju nisu linearni. Iz grafičkog prikaza na slici 4 može se zaključiti da su srednje godišnje temperature zraka tek od sredine osamdesetih godina prošlog stoljeća u porastu, a da su do tada stagnirale ili čak bile u blagom padu. Ovakvo ponašanje temperatura zraka u suglasnosti je s analizama izvršenim na brojnim meteorološkim postajama u Hrvatskoj (Bonacci, 2010.; Bonacci i Roje-Bonacci, 2018.; Pandžić et al., 2020.) i na području Zapadnog Balkana (Bonacci, 2012.). Objašnjenje bi se moglo naći u tome da su učinci globalnog zagrijavanja na analiziranom području počeli značajnije djelovati na porast temperatura zraka tek od sredine osamdesetih godina prošlog stoljeća.

Pošto je svaka od postaja u analiziranom razdoblju vremena tri puta mijenjala lokaciju, kako je to prikazano na slikama 1 i 2, prvo će se izvršiti testiranje statističke značajnosti razlika varijanci F-testom i prosječnih vrijednosti u vremenski uzastopnim podrazdobljima

Tablica 2: Matrica rezultata prosječnih vrijednosti podnizova srednjih godišnjih temperatura zraka, T_{pr} , u tri podrazdoblja u kojima su postaje Vela Luka i Korčula bile locirane te vrijednosti F-testa i t-testa između susjednih podrazdoblja

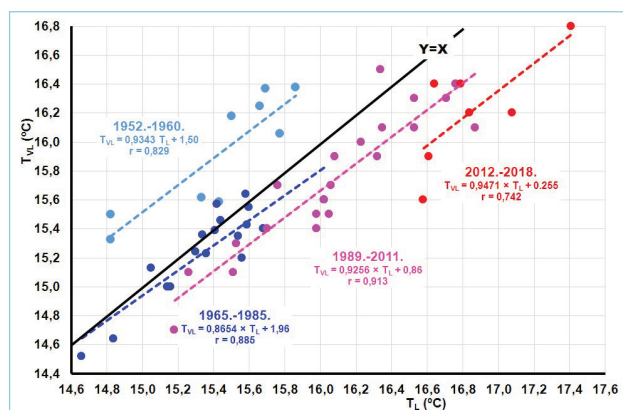
podrazdoblje	Vela Luka			Lastovo		
	T_{pr} (°C)	F-test	t-test	T_{pr} (°C)	F-test	t-test
1952.-1987.	15,48	0,845 0,609	0,061 0,027	15,43	0,045 0,232	1,0E-07 3,9E-04
1989.-2011.	15,74					
2012.-2018.	16,21					
podrazdoblje	Korčula			Lastovo		
	T_{pr} (°C)	F-test	t-test	T_{pr} (°C)	F-test	t-test
1952.-1987.	16,12	0,696 0,966	0,525 3,2E-04	15,43	0,715 0,948	0,547 0,017
1989.-1991.	16,27					
1992.-2018.	17,42					

t-testom. U tablici 2 nalaze se podatci prosječnih vrijednosti podnizova srednjih godišnjih temperatura zraka, T_{pr} , u tri podrazdoblja u kojima su postaje Vela Luka i Korčula bile locirane, te vrijednosti F-testa i t-testa između susjednih podrazdoblja. Crvenom bojom i podebljanim brojevima je označeno kad su razlike statistički značajne ($p < 0,01$). Niti u jednom slučaju varijance se ne razlikuju značajno. Prosječne vrijednosti se razlikuju statistički značajno samo kod postaje Korčula i to između podrazdoblja druge i treće lokacije postaje.



Slika 5: Vremenski podnizovi razlika srednjih godišnjih temperatura zraka Korčule i Vela Luke u odnosu na srednje godišnje temperature zraka izmjerene na glavnoj meteorološkoj postaji Lastovo. Vremenski podnizovi su formirani prema promjenama lokacije postaja

Na slici 5 prikazani su vremenski podnizovi razlika srednjih godišnjih temperatura zraka Korčule, $T_K - T_L$ (modra boja) i Vela Luke, $T_{VL} - T_L$ (crvena boja) u odnosu na srednje godišnje temperature zraka izmjerene na glavnoj meteorološkoj postaji Lastovo, T_L , koja u ovoj analizi služi kao reporna postaja. Vremenski podnizovi su formirani prema promjenama lokacije postaja. Za svako pojedino podrazdoblje, kod svake od postaja ucrtana je linija linearne regresije. Ujedno je ucrtan i pravac regresije za cijelo raspoloživo razdoblje od 1951. do 2018. godine. Uočava se da kod Korčule razlike srednjih godišnjih

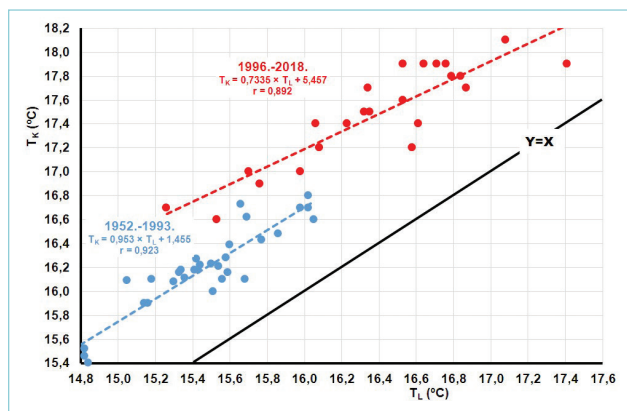


Slika 6: Odnosi srednjih godišnjih temperatura zraka Vela Luke, T_{VL} i Lastova, T_L , za četiri podrazdoblja s ucrtanim pravcima regresije i pripadnim koeficijentima linearne korelacije, r

temperatura rastu statistički neznačajno ($p < 0,01$), dok kod postaje Vela Luka statistički značajno opadaju ($p < 0,01$).

Na slici 6 ucrtani su pravci regresije odnosa srednjih godišnjih temperatura zraka Vela Luke, T_{VL} i Lastova, T_L , za sljedeća četiri podrazdoblja: (1) 1952.-1960.; (2) 1965.-1985.; (3) 1989.-2011.; (4) 2012.-2018. Uočava se da su sva četiri pravca regresije gotovo paralelna te da su paralelni sa simetralom prvog kvadranta, $Y=X$. Vrijednosti koeficijenta linearne korelacije, r , su vrlo visoke i statistički značajne, a kreću se u rasponu od, $r=0,742$, do, $r=0,913$. Dok su u prvom podrazdoblju i dijelu drugog podrazdoblja srednje godišnje temperature Vela Luke više od onih na Lastovu, u trećem i četvrtom podrazdoblju je situacija obratna.

Na slici 7 ucrtani su pravci regresije odnosa srednjih godišnjih temperatura zraka Korčule, T_K i Lastova, T_L , za sljedeća dva podrazdoblja: (1) 1952.-1993.; (2) 1996.-2018. Vrijednosti koeficijenta linearne korelacije, r , su vrlo visoke i statistički značajne, a kreću se u rasponu od, $r=0,892$, do, $r=0,923$. U oba podrazdoblja, srednje godišnje temperature Korčule više su od onih na Lastovu.



Slika 7: Odnosi srednjih godišnjih temperatura zraka Korčule, T_K , i Lastova, T_L , za dva podrazdoblja s ucrtanim pravcima regresije i pripadnim koeficijentima linearne korelacije, r

Na obje postaje podrazdoblja ucrtana i analizirana na slikama 6 i 7 ne poklapaju se s onima koja odgovaraju podrazdobljima u kojima su dvije postaje na otoku Korčula mijenjale lokacije. Na osnovi toga bi se moglo zaključiti da promjena lokacija postaja nije igrala isključivu ulogu u formiranju nehomogenosti vremenskih nizova temperatura mjenjenih na postajama Vela Luka i Korčula.

Analize izvršene u ovom poglavlju pokazale su da analizirani nizovi srednjih godišnjih temperatura izmjenjenih na postajama Vela Luka i Korčula nisu homogeni. Međutim, iz provedenih proračuna, kao i na osnovi nedostatnih informacija o ne klimatskim čimbenicima koji su mogli utjecati na homogenost analiziranih nizova, nije bilo moguće izvršiti drugu (usklađivanje) i treću (provjeru valjanosti) fazu homogenizacije. Stoga će se u nastavku rada analize temperatura zraka mjerene na postajama Vela Luka i Korčula vršiti s originalnim mjerenim podacima koji se i onako isključivo koriste u inženjerskoj praksi. Autori smatraju da pravo na formiranje homogenih nizova i njihovo službeno objavljivanje za potrebe korisnika imaju isključivo nacionalne institucije koje sakupljaju, obrađuju i publiciraju klimatološke podatke, u ovom slučaju DHMZ.

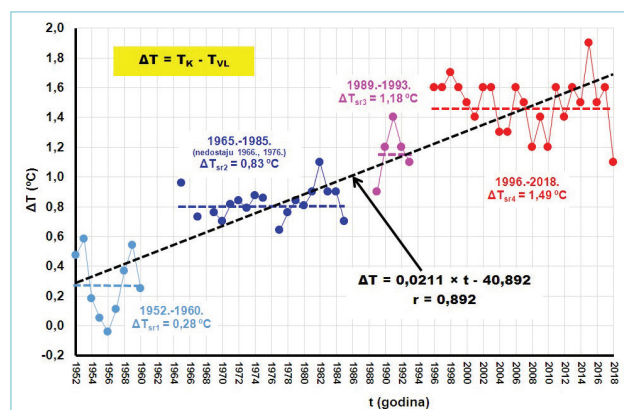
3. ANALIZA NIZOVA SREDNJIH GODIŠNJIH VRIJEDNOSTI

Prosječne vrijednosti srednjih godišnjih temperatura zraka u raspoloživom zajedničkom razdoblju od 55 godina, 1952.-2018. (nedostaju 1961.-1964., 1966., 1968., 1976., 1986.-1988., 1994.-1995.) iznosila je za Vela Luku 15,7 °C, a za Korčulu 16,7 °C. Minimalna srednja godišnja temperatura zraka na postaji Vela Luka izmjerena je 1980. godine u iznosu od 14,5 °C. Na postaji Korčula iste je godine izmjerena minimalna srednja godišnja temperatura zraka od 15,3 °C. Maksimalna srednja godišnja temperatura od 16,8 °C izmjerena je 2018. godine na postaji Vela Luka,

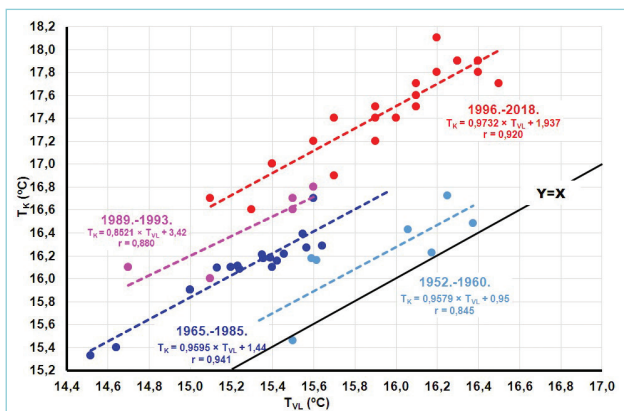
dok je na postaji Korčula maksimalna srednja godišnja temperatura zraka od 18,1 °C izmjerena 2015. godine. U spomenutom razdoblju od 55 godina zajedničkog rada koeficijent linearne korelacije između srednjih godišnjih temperatura ove dvije postaje iznosi, $r=0,786$.

Činjenicu da su srednje godišnje temperature zraka na postaji Korčula uvijek (osim 1956. godine) bile više nego na 33,5 km udaljenoj postaji Vela Luka, da su u prosjeku više za 1 °C, te da se kreću u rasponu od -0,04 °C (1956. godine) do 1,9 °C (2015. godine) relativno je lako objasniti lokacijom postaja u odnosu na otvoreno more i orografiju okolnog terena. Postaja Vela Luka je izložena utjecaju otvorenog mora te je od kopna značajno udaljenija od postaje Korčula. Na njoj se utjecaj mora manje osjeća, jer se radi o manjoj vodenoj masi koja se nalazi u uskom kanalu između otoka Korčule i poluotoka Pelješca. Na temperaturu zraka snažnije utječu visoke planine i kopno, čija je površina pretežno sastavljena od golog krša.

Ono što je prethodno navedeno ne može u cijelosti objasniti ponašanje razlika srednjih godišnjih temperatura, $\Delta T = T_K - T_{VL}$, Korčule, T_K , i Vela Luke, T_{VL} , u razdoblju 1952.-2018. Grafički prikaz koji se nalazi na slici 8 ukazuje na statistički značajni trend porasta razlika, ΔT , u analiziranom razdoblju o čemu svjedoči linija trenda (ucrtana crnom bojom) i visoka vrijednost koeficijenta linearne korelacije u iznosu od, $r=0,892$, statistički značajna na razini, $p < 0,01$. Analizom razlika srednjih godišnjih temperatura zraka, korištenjem F-testa i t-testa utvrđeno je postojanje četiri podrazdoblja s različitim prosječnim vrijednostima razlika: (1) 1952.-1960.; (2) 1965.-1985. (nedostaju 1966., 1976.); (3) 1989.-1993.; (4) 1996.-2018. Vrijednosti t-testa između susjednih podrazdoblja bile su niže od, $p < 0,001$, što predstavlja dokaz da se prosječne vrijednosti razlika, ΔT , u četiri analizirana podrazdoblja statistički značajno razlikuju. Činjenica je da tijekom posljednjih šezdesetak godina srednje godišnje temperature zraka na postaji Korčula rastu znatno brže nego na postaji Vela Luka.



Slika 8: Podnizovi razlika srednjih godišnjih temperatura, $\Delta T = T_K - T_{VL}$, u sljedeća četiri podrazdoblja: (1) 1952.-1960.; (2) 1965.-1985.; (3) 1989.-1993.; (4) 1996.-2018. s ucrtanim pravcem regresije i upisanim koeficijentom linearne korelacije



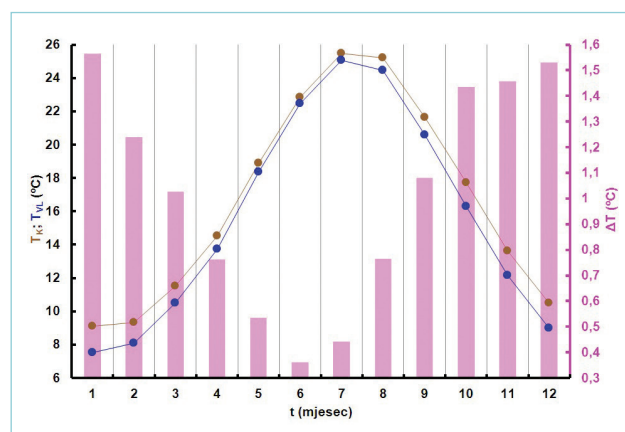
Slika 9: Odnosi srednjih godišnjih temperatura zraka Korčule, T_K i Vela Luke, T_{VL} , za četiri podrazdoblja s ucrtanim pravcima regresije i pripadnim koeficijentima linearne korelacije, r

Na slici 9 ucrtani su pravci regresije odnosa srednjih godišnjih temperatura zraka Korčule, T_K i Vela Luke, T_{VL} , za četiri prethodno definirana podrazdoblja. Uočava se da su sva četiri pravca regresije praktično paralelna te da su paralelni sa simetralom prvog kvadranta, $Y=X$. Iz navedenih vrijednosti koeficijenata linearne korelacije, r , koji su vrlo visoki i statistički značajni, a kreću se u rasponu od, $r=0,845$, do, $r=0,920$, moguće je dodatno potvrditi postojanja četiriju podrazdoblja u kojima se odnos srednjih godišnjih temperatura zraka na dvije analizirane postaje različito (skokovito) ponašao.

Očito je da se učinak globalnog zagrijavanja snažnije osjeća na lokaciji Korčula, nego na lokaciji Vela Luke. Koliko na taj proces utječu različiti čimbenici (lokalni i regionalni), tek je potrebno utvrditi detaljnim analizama, koje u ovom trenutku nije moguće izvršiti, jer se ne raspolaže s podacima kao što su promjena motritelja i mjernih uređaja, lokalne promjene izgrađenosti i stanja vegetacije u neposrednoj okolici postaje itd.

4. ANALIZA NIZOVA SREDNJIH MJESEČNIH VRIJEDNOSTI

U okviru ovog poglavlja izvršit će se analiza nizova srednjih mjesečnih temperatura zraka u pojedinom mjesecu u razdoblju za koje se raspolaže istovremeno s podacima na obje postaje. Analizom nizova srednjih mjesečnih temperatura zraka na dvije postaje na otoku Korčuli analizirat će se trendovi porasta ili opadanja nizova srednjih mjesečnih temperatura zraka tijekom različitih mjeseci godine. Tablica 3 predstavlja matricu karakterističnih (minimalnih, prosječnih, maksimalnih, raspona i standardnih devijacija) srednjih mjesečnih temperatura zraka na dvije analizirane postaje. U drugom retku tablice 3 navedeni su brojevi mjeseci, N , u razdoblju 1951.–2018. u kojima se raspolagalo s mjerenjima na obje postaje. Taj se broj kreće od 61 do 64.



Slika 10: Nizovi prosječnih srednjih mjesečnih temperatura zraka na postaji Vela Luka (modra boja), T_{VL} i Korčula (smeđa boja), T_K , tijekom zajedničkih mjeseci motrenja. Histogram razlika prosječnih mjesečnih vrijednosti, $\Delta T = T_K - T_{VL}$, za svaki pojedini mjesec u godini

Tablica 3: Matrica broja parova, N , karakterističnih (minimalnih, prosječnih, maksimalnih, raspona i standardnih devijacija) srednjih mjesečnih temperatura zraka na dvije analizirane postaje

mjesec	karakteristika	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
N		60	62	62	62	63	63	61	64	63	62	61	61
VELA LUKA	min.	3,6	4,2	7,8	10,9	15,3	20,0	23,0	20,5	17,6	13,2	8,2	5,1
	prosjeak	7,5	8,1	10,5	13,8	18,4	22,5	25,1	24,5	20,6	16,3	12,2	9,0
	max.	11,0	11,3	13,9	15,8	20,8	26,5	27,7	27,1	23,4	18,8	14,9	11,6
	raspon	7,4	7,1	6,1	4,9	5,5	6,5	4,7	6,6	5,8	5,6	6,7	6,5
	STDEV	1,41	1,75	1,23	1,08	1,19	1,26	1,10	1,31	1,12	1,19	1,39	1,41
KORČULA	min.	5,9	4,4	8,2	11,6	15,7	20,3	22,8	21,5	19,1	14,2	10,0	7,6
	prosjeak	9,1	9,3	11,5	14,5	18,9	22,8	25,5	25,2	21,6	17,7	13,6	10,5
	max.	11,9	12,7	14,6	17,4	22,2	27,3	28,6	29,0	25,5	19,9	16,5	12,4
	raspon	6,0	8,3	6,4	5,8	6,5	7,0	5,8	7,5	6,4	5,7	6,5	4,8
	STDEV	1,30	1,69	1,32	1,30	1,48	1,45	1,38	1,48	1,20	1,17	1,30	1,16

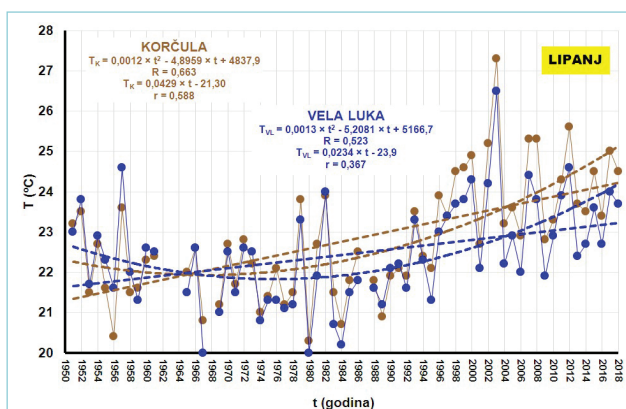
Na slici 10 prikazani su nizovi prosječnih srednjih mjesečnih temperatura zraka na postaji Vela Luka (modra boja), T_{VL} i Korčula (smeđa boja), T_K tijekom zajedničkih mjeseci motrenja. Na istoj su slici ucrtani histogrami razlika prosječnih mjesečnih vrijednosti, $\Delta T = T_K - T_{VL}$, za svaki pojedini mjesec u godini. Uočava se da se najmanje razlike javljaju tijekom lipnja te iznosi, $\Delta T = 0,36$ °C, dok se najveće javlja u siječnju u iznosu od, $\Delta T = 1,56$ °C. Razlike od siječnja do lipnja opadaju, a od lipnja do prosinca su u porastu. Iz grafičkog prikaza godišnjeg hoda prosječnih mjesečnih temperatura zraka na Korčuli i Vela Luci uočava se da je „kontinentalnost“ klime izraženija za Vela Luku, nego za Korčulu. Na to ukazuju niže temperature u zimskom razdoblju i veća godišnja amplituda za Vela Luku, nego za Korčulu. Mogući uzrok zaostajanja zatopljenja u Vela Luci u odnosu na Korčulu možda je u pojačanom noćnom hlađenju na platou krškog polja Blato.

Nizovi srednjih mjesečnih temperatura zraka u lipnju izmjereni na meteorološkim postajama Vela Luka (modra boja) i Korčula (smeđa boja) u razdoblju 1951.-2018. (nedostaju 1962.-1964., 1968., 1987.) s ucrtanim pravcima regresije s pripadnim koeficijentima linearne korelacije, r , te krivuljama drugog reda s pripadnim indeksima nelinearne korelacije, R , prikazani su na slici 11. Vremenski nizovi na obje postaje pokazuju trend porasta, s tim da je onaj na postaji Korčula veći. Statistički je značajan na razini, $p < 0,01$. Trend porasta

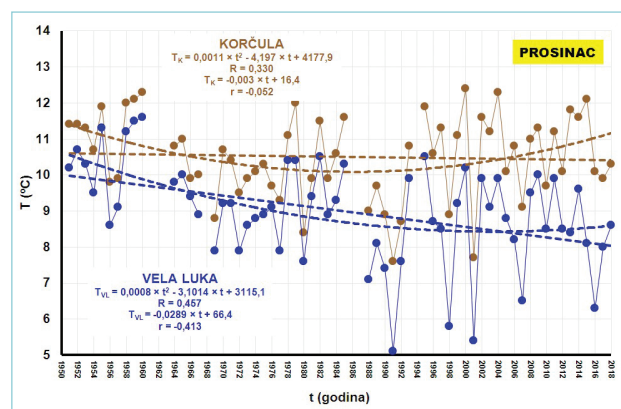
na postaji Vela Luke je na nešto nižoj razini od, $p < 0,02$. Parametar nagiba pravca regresije, a , za niz Korčule 1,8 puta je veći od onog za niz mjeren na postaji Vela Luka.

Na slici 12 ucrtani su nizovi srednjih mjesečnih temperatura zraka u prosincu izmjereni na meteorološkim postajama Vela Luka (modra boja) i Korčula (smeđa boja) u razdoblju 1951.-2018. (nedostaju 1961.-1963., 1968., 1986.-1987., 1994.) s ucrtanim pravcima regresije s pripadnim koeficijentima linearne korelacije, r , te krivuljama drugog reda s pripadnim indeksima nelinearne korelacije, R . Vremenski nizovi na obje postaje pokazuju trend opadanja s tim da je onaj na postaji Vela Luka statistički značajan na razini, $p < 0,01$, dok je trend opadanja na postaji Korčula statistički neznačajan na razini, $p > 0,05$.

U tablici 4 upisane su vrijednosti koeficijenata linearne regresije, a , i koeficijenata linearne korelacije, r , za nizove srednjih mjesečnih temperatura zraka opaženih na dvije analizirane postaje u razdoblju zajedničkog rada. Crvenom podebljanom bojom označene su vrijednosti kad je trend porasta (ili opadanja u slučaju mjeseca prosinca na postaji Vela Luka) značajan na razini, $p < 0,01$. Crnom su bojom označeni mjeseci u kojima nema statistički značajne pojave trenda, tj. kad je, $p > 0,01$. Analiza vrijednosti navedenih u tablici 4 jasno ukazuje na to da su trendovi porasta temperatura zraka značajno veći na postaji Korčula, te da temperature značajno brže rastu u toplom dijelu godine, nego u hladnom dijelu godine.



Slika 11: Nizovi srednjih mjesečnih temperatura zraka u lipnju izmjereni na meteorološkim postajama Vela Luka (modra boja) i Korčula (smeđa boja) u razdoblju 1951.-2018. (nedostaju 1962.-1964., 1968., 1987.) s ucrtanim pravcima regresije s pripadnim koeficijentima linearne korelacije, r , te krivuljama drugog reda s pripadnim indeksima nelinearne korelacije, R



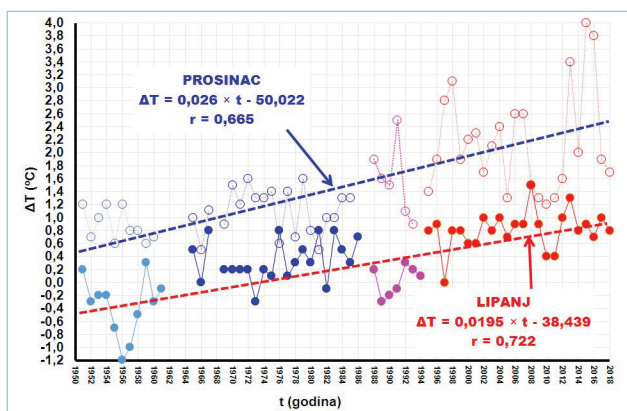
Slika 12: Nizovi srednjih mjesečnih temperatura zraka u prosincu izmjereni na meteorološkim postajama Vela Luka (modra boja) i Korčula (smeđa boja) u razdoblju 1951.-2018. (nedostaju 1961.-1963., 1968., 1986.-1987., 1994.) s ucrtanim pravcima regresije s pripadnim koeficijentima linearne korelacije, r , te krivuljama drugog reda s pripadnim indeksima nelinearne korelacije, R

Tablica 4: Matrica koeficijenata linearne regresije, a , i koeficijenata linearne korelacije, r , za nizove srednjih mjesečnih temperatura zraka opaženih na dvije analizirane postaje u razdoblju zajedničkog rada

mjesec	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
$a_{Vela\ Luka}$	-0,054	-0,0086	0,0099	0,0127	0,020	0,0234	0,0267	0,0247	-0,0027	0,0021	0,0006	-0,0289
$r_{Vela\ Luka}$	-0,076	-0,099	0,161	0,235	0,334	0,367	0,485	0,372	-0,048	0,036	0,008	-0,413
$a_{Korčula}$	0,0144	0,0148	0,0291	0,0355	0,0418	0,0429	0,0461	0,0461	0,0187	0,0192	0,0208	-0,003
$r_{Korčula}$	0,219	0,176	0,444	0,549	0,560	0,588	0,666	0,615	0,310	0,329	0,321	-0,052

Tablica 5: Matrica koeficijenta linearne regresije, a , i koeficijenta linearne korelacije, r , za razlike, $\Delta T = T_k - T_{vl}$, između nizova srednjih mjesečnih temperatura zraka opaženih na dvije analizirane postaje u razdoblju zajedničkog rada

mjesec	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
a	0,0198	0,0234	0,0192	0,0225	0,0218	0,0195	0,0195	0,0212	0,0215	0,0171	0,0203	0,026
r	0,554	0,634	0,665	0,775	0,701	0,722	0,712	0,712	0,758	0,567	0,659	0,665

**Slika 13:** Podnizovi razlika srednjih mjesečnih temperatura, $\Delta T = T_k - T_{vl}$, u lipnju i prosincu tijekom sljedeća četiri podrazdoblja: (1) 1951.-1961.; (2) 1965.-1986. (nedostaje 1968.); (3) 1988.-1993.; (4) 1995.-2018. s ucrtanim pravcima regresije i upisanim koeficijentima linearne korelacije, r

Na slici 13 ucrtana su četiri podniza razlika srednjih mjesečnih temperatura, $\Delta T = T_k - T_{vl}$, u lipnju i prosincu tijekom sljedeća četiri podrazdoblja: (1) 1951.-1961.; (2) 1965.-1986. (nedostaje 1968.); (3) 1988.-1993.; (4) 1995.-2018. s ucrtanim pravcima regresije i upisanim koeficijentima linearne korelacije, r . Moguće je uočiti da su oba koeficijenta linearne korelacije vrlo visoka te da prema SROC testu ukazuju na statistički značajan trenda na razini, $p < 0,01$. Važno je naglasiti da su razlike statistički značajne i u lipnju, kao predstavniku toplog dijela godine, kao i u prosincu, kao predstavniku hladnog dijela godine u kojem su na obje postaje trendovi srednjih mjesečnih temperatura bile negativne (vidi sliku 9). U tablici 5 upisane su vrijednosti koeficijenta linearne regresije, a , i koeficijenta linearne korelacije, r , za razlike između nizova srednjih mjesečnih temperatura zraka, ΔT , opaženih na dvije analizirane postaje u razdoblju zajedničkog rada. U svakom od dvanaest mjeseci godine trend pravca regresije je statistički značajan na razini, $p > 0,01$. Bez obzira na to jesu li se u pojedinom mjesecu pojavili trendovi porasta ili opadanja srednjih mjesečnih temperatura, došlo je do porasta razlika između srednjih mjesečnih temperatura na dvije analizirane postaje, što ukazuje da su procesi zagrijavanja intenzivniji na postaji Korčula, nego na postaji Vela Luka tijekom cijele godine.

5. ANALIZA NIZOVA DNEVNIH VRIJEDNOSTI

Pošto se mjerenja temperature zraka na dvije analizirane postaje vrše u tri termina (7 sati, 14 sati i 21 sat) srednja dnevna temperatura zraka, T_{sd} , se izračunava sljedećim izrazom:

$$T_{sd} = (T_7 + T_{14} + (2 \times T_{21})) / 4 \quad (3)$$

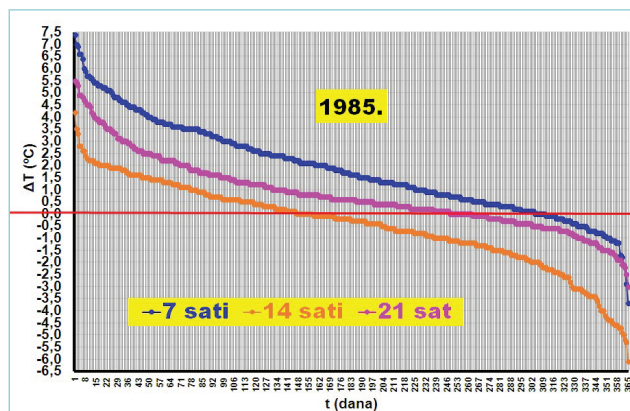
u kojem, T_7 , T_{14} , T_{21} predstavljaju temperature zraka izmjerene u 7, 14 i 21 sati. U okviru ovog poglavlja analizirat će se ponašanje temperatura zraka izmjerenih na dvije postaje na otoku Korčuli u tri spomenuta termina, kao i srednjih dnevnih temperatura izračunatih izrazom (3).

Za tu vrstu analiza odabrane su sljedeće dvije godine: (1) 1985.; (2) 2015. Srednje godišnje temperature 1985. godine na postaji Vela Luka iznosile su 15,4 °C, a na postaji Korčula 16,1 °C. Radilo se o godini u kojoj su srednje godišnje temperature na obje postaje bile nešto malo niže od prosječnih vrijednosti u analiziranom razdoblju. Srednja godišnja temperatura 2015. godine na postaji Vela Luka iznosila je 16,2 °C. Ta je temperatura bila viša od prosječne i spadala je u desetak najtoplijih srednjih godišnjih temperatura na toj postaji. Na postaji Korčula 2015. godina bila je najtoplija u cijelom analiziranom razdoblju te je iznosila 18,1 °C. Podatci mjerenja vršeni 2015. godine izabrani su za daljnje analize zbog toga jer je razlika između srednjih godišnjih temperatura na dvije analizirane postaje te godine bila najveća u raspoloživom razdoblju. Iznosila je čak 1,9 °C. Razlika tijekom 1985. godine bila je znatno manja te je iznosila 0,70 °C. U tablici 6 navedeni su podatci karakterističnih (minimalnih, T_{min} ;

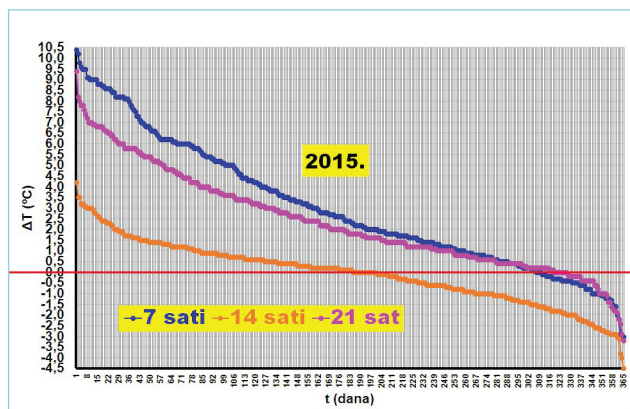
Tablica 6: Matrica karakterističnih (minimalnih, T_{min} ; prosječnih, T_p ; maksimalnih, T_{max}) temperatura zraka izmjerenih na postajama Vela Luka i Korčula 1985. i 2015. godine u 7 sati, 14 sati i 21 sat

godina	postaja	sat mjerjenja	T_{min} (°C)	T_p (°C)	T_{max} (°C)
1985.	VELA LUKA	7	-2,6	14,3	30,4
		14	5,6	20,7	35,6
		21	-1,8	14,9	29,2
	KORČULA	7	-1,8	15,5	28,7
		14	0,4	18,4	32,1
		21	-0,8	15,4	27,8
2015.	VELA LUKA	7	-6,4	13,7	27,5
		14	1,2	18,8	34,6
		21	-4,8	14,6	28,6
	KORČULA	7	3,0	17,3	32,0
		14	4,8	20,6	37,5
		21	4,5	17,3	31,0

prosječnih, T_{pr} ; maksimalnih, T_{max}) temperatura zraka izmjerenih na postajama Vela Luka i Korčula 1985. i 2015. godine u 7 sati, 14 sati i 21 sat.



Slika 14: Krivulje trajanja razlika temperatura zraka Korčule i Vela Luke, $\Delta T = T_K - T_{VL}$, izmjerenih u 7 sati (modra boja), 14 sati (narančasta boja), 21 sat (ljubičasta boja) tijekom 1985. godine



Slika 15: Krivulje trajanja razlika temperatura zraka Korčule i Vela Luke, $\Delta T = T_K - T_{VL}$, izmjerenih u 7 sati (modra boja), 14 sati (narančasta boja), 21 sat (ljubičasta boja) tijekom 2015. godine

Sa svrhom detaljnije analize ponašanja temperatura zraka na dvije analizirane postaje, na slici 14 su ucrtane krivulje trajanja razlika temperatura zraka Korčule i Vela Luke, $\Delta T = T_K - T_{VL}$, izmjerenih u 7 sati (modra boja), 14 sati (narančasta boja), 21 sat (ljubičasta boja) tijekom 1985. godine, a na slici 15 krivulje trajanja razlika temperatura zraka Korčule i Vela Luke, $\Delta T = T_K - T_{VL}$, izmjerenih u 7 sati (modra boja), 14 sati (narančasta boja), 21 sat (ljubičasta boja) tijekom 2015. godine. Iz ovih se prikaza jasno uočava da najveće razlike nastupaju u 7 sati ujutro, a da se najmanje razlike javljaju u 14 sati. U večernjem terminu u 21 sat razlike temperature su nešto niže nego u jutarnjem.

U tablici 7 navedene su vrijednosti karakterističnih razlika temperatura zraka (minimalnih, $min \Delta T$; prosječnih, $pr \Delta T$; maksimalnih, $max \Delta T$) izmjerenih u 7 sati, 14 sati i 21 sat te srednjih dnevnih izmjerenih na postajama Vela Luka i Korčula 1985. i 2015. godine. U zadnjem stupcu matrice naveden je broj dana, N, u

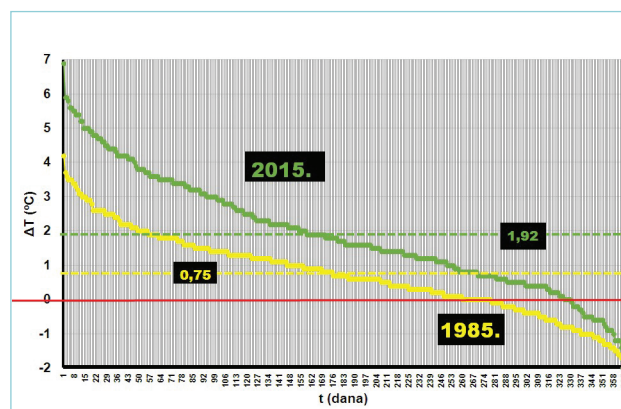
Tablica 7: Matrica karakterističnih razlika temperatura zraka (minimalnih, $min \Delta T$; prosječnih, $pr \Delta T$; maksimalnih, $max \Delta T$) izmjerenih u 7 sati, 14 sati i 21 sat te srednjih dnevnih izmjerenih na postajama Vela Luka i Korčula 1985. i 2015. godine. U zadnjem stupcu matrice naveden je broj dana, N, u pojedinoj godini kada je temperatura zraka na postaji Korčula bila viša od temperature zraka na postaji Vela Luka

godina	sat mjerenja	min ΔT (°C)	pr ΔT (°C)	max ΔT (°C)	N (dana) $T_K \geq T_{VL}$
1985.	7	-3,7	1,85	-3,0	310
	14	-6,1	-0,45	0,8	158
	21	-3,0	4,2	5,5	264
	sr. dnevni	-2,1	0,75	4,2	200
2015.	7	-3,0	3,03	10,4	310
	14	-4,5	-0,05	4,2	200
	21	-3,2	2,34	9,4	327
	sr. dnevni	-2,0	2,34	9,4	327

pojedinoj godini kada je temperatura zraka na postaji Korčula bila viša od temperature zraka na postaji Vela Luka.

Na slici 16 ucrtane su krivulje trajanja razlika srednjih dnevnih temperatura zraka, izračunatih izrazom (3), Korčule i Vela Luke, $\Delta T = T_K - T_{VL}$, izmjerenih 1985. (žuta boja) i 2015. (zeleno boja) godine. Na istoj su slici ucrtane i upisane prosječne vrijednosti za svaku godinu.

U jutarnjem (7 sati) i večernjem (21 sat) terminu razlike temperatura zraka na dvije postaje mnogo su veće nego u 14 sati kad su približno iste. Štoviše, temperature zraka sredinom dana znaju relativno često biti više na postaji Vela Luka, nego na postaji Korčula. Objašnjenje za takovo ponašanje vjerojatno leži u utjecaju temperature mora na temperaturu zraka na analiziranim lokacijama.



Slika 16: Krivulje trajanja razlika srednjih dnevnih temperatura zraka Korčule i Vela Luke, $\Delta T = T_K - T_{VL}$, izmjerenih 1985. (žuta boja) i 2015. (zeleno boja) godine

6. ZAKLJUČCI I SMJERNICE ZA BUDUĆI RAD

Iako su lokacije meteoroloških postaja na malom otoku Korčuli međusobno udaljene zračnom linijom samo 33,5 km, njihov osnovni klimatološki pokazatelj

bitan za hidrološke analize i upravljanje vodnim resursima, temperatura zraka, značajno se razlikuje. Ono što posebno plijeni pažnju je različiti intenzitet porasta temperatura zraka. Srednja godišnja temperatura zraka na postaji Vela Luka niža je u prosjeku za 1 °C od one izmjerene na postaji Korčula. Na obje postaje opažen je statistički značajan trend porasta srednjih godišnjih i srednjih mjesečnih temperatura zraka s tim da je on znatno veći na postaji Korčula. Na osnovi analiza izvršenih u ovom radu (osobito na slikama 5, 8 i 9), moguće je zaključiti da se procesi zagrijavanja, osobito u posljednjih tridesetak godina, intenzivnije manifestiraju na postaji Korčula nego na postaji Vela Luka. Različite vrijednosti temperatura zraka, a osobito činjenica različitog reagiranja temperatura zraka na recentne klimatske promjene na dvije postaje može se tek djelomično objasniti njihovim lokalnim položajem u odnosu na otvoreno more i utjecajem topografije okolnog, uglavnom golog krškog terena. Kako se može uočiti sa slike 1, postaja Korčula mnogo je bliža visokim golim planinskim terenima na poluotoku Pelješcu i na kopnu, dok je klima na postaji Vela Luka izložena utjecaju otvorenog mora te je udaljena od kopna. Na postaji Korčula utjecaj topline mora vjerojatno je manje značajan. Udaljenost meteorološke postaje Korčula od poluotoka Pelješca i kopna značajno je manja, što bi mogao biti jedan od razloga bržeg trend porasta temperatura zraka na ovoj postaji nego na postaji Vela Luka.

Na temperature zraka na obje analizirane postaje značajan utjecaj imaju temperature mora. Utjecaj mora na godišnji hod temperatura zraka očituje se u sporom grijanju u proljeće i sporom hlađenju u jesen. Zbog toga ekstremne temperature mogu nastupiti kasnije nego na kopnu (Penzar i Makjanić, 1978.).

Kad se razmatra utjecaj odnosa kopna i mora na temperature zraka u dvije analizirane postaje neophodno je uvesti sljedeća dva pojma za kopno: (1) otočno kopno; (2) kontinentalno kopno. Otočno kopno, s obzirom na konfiguraciju terena, izraženo djeluje na temperaturu zraka, prije svega Vela Luke, zbog čega je vjerojatno na toj lokaciji zrak hladniji u prosjeku u noćnim terminima i u hladnom dijelu godine nego na postaji Korčula, a dnevne i godišnje amplitude su više nego u Korčuli. Kontinentalno kopno se sastoji od poluotoka Pelješac i dublje u unutrašnjosti kopnenog zaleđa.

Utjecaj tzv. kontinentalnog kopna i mora se ne osjeća samo zbog prisutnosti okolnog kopna ili mora, nego se taj utjecaj prenosi atmosferskim i morskim strujama na daljinu. Obično su zapadne obale kontinenta klimatski blaže od istočnih, na istoj geografskoj širini, zato što se utjecaj mora i oceana prenosi prevladavajućim zapadnim strujama duboko u unutrašnjost kontinenta. Primjera radi, navodi se da je srednja temperatura zraka u siječnju u znatno sjevernijem Frankfurtu (Njemačka) viša nego u Zagrebu (Hrvatska) za oko 1°C. Nasuprot tome, Washington (SAD) zbog utjecaja

sjevernoameričkog kopna ima oštru zimu, iako je južnije od Dubrovnika. Kako istočni Jadran predstavlja zapadnu obalu euro-azijskog kontinenta, za očekivati je snažan maritimni utjecaj na širem prostoru planinskog zaleđa, a pogotovo u neposrednom priobalju, uz napomenu da su moguća odstupanja zbog konfiguracije terena. Tako npr. položaj, oblik te duljina Velebita, u prosjeku, snažno blokira prijenos maritimnog utjecaja na istočnu stranu te kontinentalnog na zapadnu stranu te planine pa je prijelazna zona iz blage maritimne u oštru kontinentalnu klimu vrlo uska, dok je ta prijelazna zona u Dalmatinskoj zagori i niskoj Hercegovini znatno šira.

Goroviti Pelješac igra odgovarajuću ulogu u kreiranju klime (uključujući klimatske anomalije) područja Korčule. On bi mogao biti i svojevrsna "brana" kontinentalnom utjecaju za područje zapadno od njega te maritimnom utjecaju s njegove istočne strane. Moguće je, također, da postoji i "fenski" utjecaj u silaznim "sjeveroistočnim" zračnim strujama (grijanje zraka zbog kompresije prilikom njegova spuštanja), povećano zagrijavanje "južnih" obronaka Pelješca u odnosu na sjeverne itd. Efekti gorja mogu biti raznoliki: oni koji doprinose lokalnom zatopljenju ili zahlađenju u odnosu na stanje da te gorske prepreke nema. Zbog navedenog ne treba isključiti mogućnost bržeg lokalnog zagrijavanja na lokaciji postaje Korčula u zadnjim desetljećima, nego što je slučaj na tridesetak kilometara udaljenoj Vela Luci, odnosno Lastovu. Na točnost prethodno iznesenih zaključaka ukazuje i slika 4 na kojoj se uočava veća sličnost između regresijskih krivulja za nizove temperature za Korčulu i Lastovo, nego između regresijskih krivulja za Lastovo i Vela Luku. Na sličan je način moguće pretpostaviti da je promjena čestine tipova vremena na otoku Korčula uzrok usporenog zatopljenja u Vela Luci u odnosu na Korčulu. Konkretno dokaze treba prepustiti budućim dodatnim istraživanjima kad se bude raspolagalo s novim podatcima i motrenjima.

Utjecaj mora se znatno osjeća u primorskim naseljima, dok su naselja u unutrašnjosti otoka izvrnuta nižim temperaturama, mrazu, a ponekad i snijegu (<http://www.korcula.hr/o-korculi/prirodno-geografske-znacajke/>). Međutim, ne smije se zanemariti niti utjecaj kopna na temperature mjerene na postaji Vela Luka, osobito one u hladnom razdoblju godine. Tek nekoliko kilometara od Vela Luke nalazi se depresija krškog polja Blato koje kao mini "mrazište" može utjecati na klimu Vela Luke (<https://www.google.com/maps/place/Vela+Luka/@42.9385932,16.7178651,8119m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x134a71d9196df2cf:0x235a5c221bf112a4!8m2!3d42.9592365!4d16.7191104>).

Na postajama izloženijima utjecaju mora dnevne varijacije su manje nego na postajama bližim kopnu (Klaić et al., 2009.). Poznato je da je dnevna amplituda temperature mora vrlo mala, tek par stupnjeva u površinskom sloju na otvorenom moru i manje nego uz obalu. Ne smije se zanemariti niti utjecaj lokalnih strujanja zraka s mora na kopno i s kopna na more na

dvije analizirane lokacije, kao niti utjecaj golog krškog krajolika u široj okolici postaja. Nažalost, taj aspekt problematike nije moguće preciznije izučiti u ovom radu. Za to je neophodna interdisciplinarna suradnja brojnih grana znanosti i institucija koje raspolažu s informacijama koje nama nisu bile dostupne. Ovaj bi rad mogao poslužiti kao poticaj da se započne detaljnije raditi na toj problematici.

Ne smije se zanemariti činjenica da su obje postaje mijenjale čak tri puta svoju lokaciju te da su u razdoblju od 1952. do danas oba naselja pretrpjela značajnu prenamjenu zemljišta, tj. urbanizaciju. Izvjesno je da su na različite intenzitete porasta temperatura zraka na dvije relativno bliske lokacije utjecali prirodni (klimatski) i drugi, uglavnom, antropogeni (ne klimatski) čimbenici. Pouzdano i precizno ih razdvojiti na osnovi raspoloživih informacija nije moguće. Na osnovi svega prethodno iznesenog nameće se zaključak da ne postoje uvjeti za homogenizaciju nizova temperatura Vela Luke i Korčule.

Pri traženju razloga za porast temperature zraka na dvije analizirane lokacije ne smije se zanemariti ni mogući učinak urbanizacije. U razdoblju od oko 70 godina u kojem se raspolagalo s mjerenjima temperatura, broj stanovnika ni Vela Luke niti Korčule nije se mijenjao. Godine 1948. broj stanovnika u Vela Luci iznosio je 4091, a prema popisu iz 2011. godine 4137 stanovnika. U Korčuli je broj stanovnika 1948. bio 5685, dok je prema popisu 2011. godine iznosio 5663. U tom razdoblju broj turista višestruko se povećao i dalje je u značajnom porastu. Razvoj turizma u oba naselja utjecao je na njihovo naglo širenje. Urbanizirane su se površine značajno povećale. Pri tome treba napomenuti da se ne radi o klasičnoj urbanizaciji, nego o apartmanizaciji prostora. Poljoprivredne površine su gotovo potpuno zamijenjene objektima, prometnicama, parkiralištima i bazenima. Izgrađeni objekti uglavnom služe kao kuće za odmor u kojima se ne živi tijekom cijele godine, nego samo u turističkoj sezoni od svibnja do rujna. Procjenjuje se da je tim procesom zahvaćena površina višestruko porasla, u Vela Luci i u Korčuli, u odnosu na stanje koje je bilo sredinom pedesetih godina prošlog stoljeća. U prostoru u kojem su bile locirane postaje došlo je do značajne prenamjene terena, tj. zamjene prirodnom ili uzgajanom vegetacijom pokrivenih terena stambenim objektima, asfaltiranim ili betoniranim mjesnim ulicama i rivom. Uočeno je da je porast temperature zraka značajniji tijekom toplog ljetnog razdoblja nego u zimskom hladnijem periodu, što je vjerojatno posljedica ove vrste urbanizacije.

Činjenica je da tijekom posljednjih šezdesetak godina srednje godišnje temperature zraka na postaji Korčula rastu znatno brže nego na postaji Vela Luka.

Očito je da se učinak globalnog zagrijavanja snažnije osjeća na lokaciji Korčula nego na lokaciji Vela Luke. Srednje godišnje temperature na Korčuli u opadanju su u odnosu na srednje godišnje temperature na Lastovu, dok je situacija u Vela Luci obrnuta (vidi [sliku 5](#)). Analize izvršene u ovom radu navode na zaključak da će se temperatura zraka na istočnom dijelu otoka Korčule, osobito na onom dijelu koji je vrlo blizu poluotoku Pelješcu, znatno brže rasti, kao posljedica globalnog zagrijavanja, nego na južnom dijelu koji je usmjeren prema otvorenom moru. To bi moglo uzrokovati posljedice na brojne aktivnosti, a osobito na turizam, poljoprivrednu proizvodnju i potrošnju vode. Očito je da se treba pripremiti za neizvjesnu budućnost.

Kako je riječ o vrlo složenim fizikalnim odnosima, u radu iznesene rezultate treba shvatiti kao preliminarne te iznesene hipoteze treba potvrditi dodatnim istraživanjima zasnovanim na novim motrenjima. Ovaj bi rad trebao poslužiti kao poticaj da se detaljnije izučiti i pouzdanije predvidi razvoj porasta temperature zraka na malom otoku Korčuli, što bi moglo biti od koristi i za brojne druge male otoke, prije svega u Jadranskom i Sredozemnom moru, a možda i šire. Za pretpostaviti je da sličnih slučajeva ima i na drugim lokacijama, ne samo na otocima, već i na kopnu. Njihovo pažljivo izučavanje značajno je u vremenu kad se intenzivno pokušavaju naći učinkoviti odgovori na ugroze koje već postoje, a koje se još više očekuju u bliskoj budućnosti, na cijeloj planeti, vezano s procesom globalnog zagrijavanja. Ublažavanje utjecaja globalnog zagrijavanja bitan je zadatak na kojem osobito treba raditi na malim otocima u Mediteranu čiji su vodni resursi, okoliš, ali i socijalna struktura osobito ranjivi i stoga posebno ugroženi. Važno je shvatiti da svaki pojedini slučaj zahtijeva individualni pristup zasnovan na raspolaganju i korištenju lokalnih i regionalnih geofizičkih i drugih informacija i upotrebi odgovarajućih metoda istraživanja i obrade podataka. Za ispunjavanje tog cilja bit će neophodno organizirati mnogo detaljniji monitoring različitih klimatoloških, ali i okolišnih parametara i organizirati interdisciplinarnu suradnju brojnih grana znanosti i privrede.

7. ZAHVALA

Autori se ovim putem iskreno zahvaljuju nepoznatim recenzentima koji su im ukazali na nedostatke u prvoj verziji rada koje su oni u cijelosti prihvatili i na taj način značajno podigli kvalitetu ovog članka. Autori se posebno zahvaljuju nepoznatom recenzentu na primjedbama i nadopunama vezanim s pojmovima „otočno kopno“ i „kontinentalno kopno“ koje su gotovo u cijelosti preuzete iz njegove izvanredno korektna i detaljne recenzije. ■

LITERATURA

- Adeloye, A. J.; Montaseri, M. (2002.): Preliminary streamflow data analyses prior to water resources planning study. *Hydrological Sciences Journal*, 47(5), 679-692.
- Bognar, A. (1999.): Geomorfološka regionalizacija Hrvatske, *Acta Geographica Croatica*, 34(1), 7-26.
- Bonacci, O. (2010.): Analiza nizova srednjih godišnjih temperatura zraka u Hrvatskoj, *Građevinar*, 62(9), 781-791.
- 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.; Ljubenković, I.; Knežić, S. (2012.): The water on a small karst island: the island of Korčula (Croatia) as an example. *Environmental Earth Sciences*, 66(5), 1345-1357.
- Bonacci, O.; Roje-Bonacci, T. (2018.): Analyses of the Zagreb Grič observatory air temperatures indices for the period 1881 to 2017. *Acta Hydrotechnica*, 31(54), 67-85.
- Diaz Arenas, A.A.; Febrillet Huertas, J. (1986.): Hydrology and water balance of small islands. A review of existing knowledge. *Technical Documents in Hydrology*. UNESCO, Paris.
- Duplačić-Leder, T.; Ujević, T.; Čala, 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.
- Klaić, Z.B.; Pasarić, Z.; Tudor, M. (2009.): On the interplay between sea-land breezes and Etesian winds over the Adriatic. *Journal of Marine Systems*, 78, S101-S118.
- Krklec, K.; Ljubenković, I.; Bensa, A. (2011.): Prirodni resursi otoka Korčule. *Geoadria*, 16(1), 3-25.
- Likso, T. (2003.): Inhomogeneities in temperature time series in Croatia. *Croatian Meteorological Journal*, 38, 3-9.
- Ljubenković, I. (2012.): Water resources of the island of Korčula (Croatia): availability and agricultural requirement. *Journal of Water and Land Development*, 17(VII-XII), 11-18.
- Ljubenković, I.; Bonacci, O.; Brajković, Z. (2010.): Flooded karst field (polje): case of Donje Blato on the island of Korčula. *Proceedings of BALWOIS Conference*. Ohrid, Makedonija 25-29 May 2010, 209-210.
- Ljubenković, I.; Bonacci, O. (2011.): Utvrđivanje i određivanje suše na otoku Korčuli. *Hrvatske vode*, 19(77), 181-194.
- Marinović Golubić, M. (2017.): Doseljavanje na otok - suvremene migracije na otok Korčulu. *Migracijske i Etničke Teme*, 33(2), 115-141.
- McGhee, J. W. (1985.): *Introductory Statistics*. West Publishing Company, St Paul and New York, US.
- Pandžić, K.; Kobold, M.; Oskoruš, D.; Biondić, B.; Biondić, R.; Bonacci, O.; Likso, T.; Curić, O. (2020.): Standard normal homogeneity test as a tool to detect change points in climate-related river discharge variation: case study of the Kupa River Basin. *Hydrological Sciences Journal*. 65(2), 227-241.
- Pandžić, K.; Likso, T. (2010.): Homogeneity of average annual air temperature time series for Croatia. *International Journal of Climatology*, 30, 1215-1225.
- Pandžić, K.; Trninić, D.; Likso, T.; Bošnjak, T. (2009.): Long-term variations in water balance components for Croatia. *Theoretical and Applied Climatology*, 95, 39-51.
- Penzar, B.; Makjanić, B. (1978.): *Uvod u opću klimatologiju*. Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.
- Shen, L.; Lu, L.; Hu, T.; Lin, R.; Wang, J.; Xu, C. (2018.): Homogeneity test and correction of daily temperature and precipitation data (1978-2015) in North China, *Advances in Meteorology*, 28, Article ID 4712538, 1-17.
- Šegota, T.; Filipčić, A. (2003.): Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje. *Geoadria*, 8(1), 17-37.
- Terzić, J. (2006.): Hidrogeologija jadranskih krških otoka. Disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- Terzić, J.; Marković, T.; Pekaš, Ž. (2007.): Influence of sea-water intrusion and agricultural production on the Blato Aquifer, Island of Korčula, Croatia. *Environmental Geology*, 54(4), 719-729.
- Terzić, J.; Miko, S.; Marković, T.; Hasan, O. (2012.): Anthropogenic influences on a karst island, the Blato aquifer on the island of Korčula, Croatia. *Proceedings of the 7th EUREGEO - European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems*. Bolonja, Italija 12.-15. VI. 2012., 417-418.
- Terzić, J., Peh, Z., Marković, T. (2010.): Hydrochemical properties of transition zone between fresh groundwater and seawater in karst environment of the Adriatic islands. *Environmental Earth Sciences*, 59(8), 1629-1642.
- <http://www.korcula.hr/o-korculi/prirodno-geografske-znacajke> (posjet 27. svibnja 2020.)
- <https://www.google.com/maps/place/Vela+Luka/@42.9385932,16.7178651,8119m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x134a71d9196df2cf:0x235a5c221bf112a4!8m2!3d42.9592365!4d16.7191104> (posjet 27. svibnja 2020.)

Different air temperature values and trends at two stations on a small island: the case of meteorological stations Korčula and Vela Luka on Korčula Island

Abstract. The paper contains the analysis of the series of mean annual, mean monthly and mean daily air temperatures at two meteorological stations, Vela Luka and Korčula, on Korčula Island. The present locations of the meteorological stations are 33.5 km apart (as the crow flies). The mean annual air temperature at the Vela Luka station is on average 1 °C lower than the one measured at the Korčula station. At both stations, a significant trend of increase in mean annual and mean monthly air temperatures has been observed, although it is significantly milder at the Vela Luka station. Using data from the main meteorological station Lastovo, the inhomogeneity of temperatures measured at the stations Vela Luka and Korčula resulting from non-climatic factors, one being the change in the locations of the stations, has been detected. Based on the analyses conducted in the paper, a conclusion can be drawn that global warming processes manifest faster at the Korčula station than at the Vela Luka station. Significantly different air temperature values and especially the fact that air temperatures respond differently to climate change at the two stations can be explained by their local position relative to the open sea and the orography of the surrounding bare karst terrain. The Vela Luka station is exposed to the influence of the open sea, it is far from the mainland and its temperature regime is probably affected by the depression of the karst field Blato. At the Korčula station, the influence of the sea is less significant because the water mass is located in the narrow channel between Korčula Island and the Pelješac peninsula. The distance of the Korčula meteorological station from the Pelješac peninsula and the mainland is smaller. The high mountain ranges of the Pelješac peninsula and the mainland, including the bare karst landscape, influence the faster trend of air temperature increase at this station compared to the Vela Luka station, where the impact of the sea mitigates the effect of global warming. It is of note that the presented results should be treated as preliminary results, and that the hypotheses should be confirmed by additional investigations based on new, more complex data and monitoring that are unavailable today.

Key words: air temperature, climate change, impact of regional and local factors, Korčula Island

Unterschiedliche Werte und Trends der Lufttemperatur auf zwei Stationen auf einer kleinen Insel: meteorologische Stationen Korčula und Vela Luka auf der Insel Korčula

Zusammenfassung. Im Beitrag werden die Reihen von mittleren Jahres-, Monats- und Tageslufttemperaturen auf zwei meteorologischen Stationen auf der Insel Korčula – Vela Luka und Korčula – analysiert. Die zwei Stationen sind heute 33,5 km Luftlinie voneinander entfernt. Die mittlere Jahreslufttemperatur auf der Station Vela Luka ist durchschnittlich um 1 Grad Celsius niedriger als diejenige auf der Station Korčula. Auf beiden Stationen wurde ein Trend des Anstiegs von mittleren Jahres- und Monatslufttemperaturen beobachtet, wobei dieser Trend auf der Station Vela Luka viel weniger ausgeprägt ist. Mit Hilfe der Angaben von der Hauptstation Lastovo konnten Nichthomogenitäten der auf den Stationen Vela Luka und Korčula gemessenen Temperaturen erkannt werden, die durch nichtklimatische Faktoren verursacht worden sind. Einer dieser Faktoren ist die Änderung der Standorte der Stationen. Aus den in dieser Arbeit durchgeführten Analysen kann geschlossen werden, dass sich die Prozesse der globalen Erwärmung schneller auf der Station Korčula als auf der Station Vela Luka manifestieren. Die wesentlich unterschiedlichen Lufttemperaturwerte und namentlich die Tatsache, dass die Lufttemperatur unterschiedlich auf die Klimaänderungen auf den zwei Stationen reagiert, können durch die Lage der Stationen in Bezug auf das offene Meer und die Orographie des baumlosen Karstgeländes erklärt werden. Die Station Vela Luka ist vom Festland entfernt und dem Einfluss des offenen Meeres ausgesetzt, und die Depression des Karstfeldes Blato wirkt wahrscheinlich auf ihr Temperaturprofil. Auf der Station Korčula ist der Einfluss des Meeres weniger wichtig, weil sich die Meeresmasse im engen Kanal zwischen Insel Korčula und Halbinsel Pelješac befindet. Die Entfernung der Station Korčula von der Halbinsel Pelješac und dem Festland ist kleiner. Die hohen Gebirgsketten auf Pelješac und auf dem Festland sowie die baumlose Karstlandschaft wirken auf den schnelleren Trend des Anstiegs der Lufttemperatur auf dieser Station im Unterschied zu der Station Vela Luka, wo der Einfluss des Meeres die Auswirkungen der globalen Erwärmung mindert. Es soll betont werden, dass sich hier um vorläufige Ergebnisse handelt, weil die Hypothesen durch weitere Untersuchungen bestätigt werden sollen, die auf neueren komplexen Angaben und Beobachtungen beruhen würden, die heute noch nicht zur Verfügung stehen.

Schlüsselwörter: Lufttemperatur, Klimaänderungen, Einfluss von regionalen und lokalen Faktoren, Insel Korčula