

# POVEZANOST POVRŠINSKE TEMPERATURE MORA I POVRŠINSKE TEMPERATURE ZRAKA: SLUČAJ OTOKA HVARA (JADRANSKO MORE, HRVATSKA)

## RELATIONSHIP BETWEEN THE SEA SURFACE AND SURFACE AIR TEMPERATURE: A CASE OF THE ISLAND OF HVAR (ADRIATIC SEA, CROATIA)

OGNJEN BONACCI,<sup>1\*</sup> DUJE BONACCI,<sup>2</sup> TANJA ROJE-BONACCI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu, Matice hrvatske 15, 21 000 Split, Hrvatska / *University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, Split, Croatia*, e-mail: obonacci@gradst.hr, bonacci@gradst.hr

<sup>2</sup> Sveučilište u Zagrebu, Fakultet hrvatskih studija, Borongajska cesta 83d, 10 000 Zagreb, Hrvatska / *University of Zagreb, Faculty of Croatian Studies, Zagreb, Croatia*, e-mail: dbonacci@hrstud.hr

\* autor za kontakt / *contact author*

DOI: 10.15291/geoadria.3115

UDK: 551.524:551.526 (262.3)(497.5 Hvar)=163.42=111

Izvorni znanstveni rad / *Original scientific paper*

Primljeno / *Received*: 9-11-2020

Prihvaćeno / *Accepted*: 8-1-2021



Povezanost površinske temperature mora (PTM) i površinske temperature zraka (PTZ) izmjerene na malome otoku Hvaru (Jadransko more) ispituju se na godišnjim i mjesečnim vremenskim ljestvicama, koristeći se podacima za razdoblje od pedeset pet godina (1964. – 2018.). Analizirana su sljedeća tri indeksa PTM-a i PTZ-a: (1) apsolutni minimum, (2) srednja vrijednost, (3) apsolutni maksimum. Rezultati su istaknuli statistički značajan trend porasta za sva tri godišnja indeksa PTM-a. U slučaju PTZ-a trend niza apsolutnih minimalnih godišnjih vrijednosti nije statistički značajan. Za nizove srednjih i apsolutno maksimalnih godišnjih vrijednosti PTZ-a trend je statistički značajan na razini  $p < 0,01$ . Mjesečne analize indeksa PTM-a gotovo u svim mjesecima (osim u listopadu) imaju statistički značajne trendove povećanja. U slučaju PTZ-a, statistički značajan trend porasta svih analiziranih indeksa dogodio se preko ljeta (srpanj i kolovoz). Rezultati pokazuju da je analizirana regija, posebice mali jadranski otoci, ugrožena klimatskim promjenama, tj. globalnim zatopljenjem tijekom ljeta. Primjenom RAPS metode na minimalnom godišnjem PTM-u zabilježen je statistički značajni pomak 1988. godine. Deset godina poslije, 1998. godine, otkriven je statistički značajan pomak prema gore na srednjem i maksimalnom indeksu PTM-a i PTZ-a. U slučaju minimalnih godišnjih vrijednosti PTZ-a otkriven je statistički značajan pomak prema dolje, počevši od 1979. godine. U analiziranom slučaju otoka Hvara, zagrijavanje indeksa PTM-a veće je od zagrijavanje indeksa PTZ-a i događa se tijekom cijele godine (osim u listopadu).

**KLJUČNE RIJEČI:** površinska temperatura zraka (PTZ), površinska temperatura mora (PTM), Mann-Kendallov test, t-test, otok Hvar

Relationship of Sea Surface Temperature (SST) and Surface Air Temperature (SAT) measured at the small island of Hvar (Adriatic Sea) are examined on annual and monthly time scales using data for a period of 55 years (1964-2018). The following three SST and SAT indices were analysed: (1) absolute minimum; (2) mean; (3) absolute maximum. The results highlighted a statistically significant

increasing trend for all three SST analysed annual indices. In the case of SAT absolute minimum increasing trend is not statistically significant. For the other two indices the trends are statistically significant at the level,  $p < 0.01$ . Monthly analysis for SST indices almost in all months (except October) have statistically significant increasing trends. In the case of SAT, a statistically significant increasing trend for all analysed indices occurred in summer (July and August). All results point out that the analysed region, especially small Adriatic islands are endangered of climate change, i.e. global warming during the summertime. Using the RAPS method on the minimum annual SST, a statistically significant shift upward was detected in 1988. Ten years later, in 1998, a statistically significant shift upward was detected on the mean and maximum SST and SAT indices. In the case of SAT minimum annual values, a statistically significant shift downward is detected, starting in 1979. In the analysed case of the Island of Hvar, the warming of SST indices is higher than the warming of SAT indices and occur during the whole year (except in October).

**KEY WORDS:** surface air temperature (SAT), surface sea temperature (SST), Mann-Kendall test, t-test, Island of Hvar (Croatia)

## UVOD

Otok je kopno okruženo vodom. Prema klasifikaciji koju su 1986. godine predstavili Diaz Arenas i Huertas, malim se otocima smatraju oni koji su manji od 1000 km<sup>2</sup>. U ovome se radu ispituje odnos površinske temperature mora (PTM) i površinske temperature zraka (PTZ) koje su izmjerene na malom otoku Hvaru (Jadransko more – Hrvatska) na godišnjim i mjesečnim vremenskim skalama, pritom se koristeći podacima za razdoblje od pedeset pet godina (1964. – 2018.).

Površina tla zagrijava se i hladi brže od površine mora. To je razlog zbog kojega more ublažava temperaturu zraka zimi i ljeti. Zbog te je činjenice godišnji PTM veći od PTZ-a, a raspon PTZ-a veći od raspona PTM-a. Primjerice, srednji godišnji PTM u Splitu (37 km zračne udaljenosti od Hvara) veći je za 1,2 °C od PTZ-a (PENZAR I DR., 2001.).

Površinska temperatura mora kritični je čimbenik u procjeni klimatske strukture obalnog područja pod utjecajem površinske temperature zraka (VLAHAKIS, POLLATOU, 1993.). Kvantificiranje nedavnih trendova vremenskog ponašanja i varijabilnosti PTM-a, kao i njegova povezanost s PTZ-om, od temeljne je važnosti za razumijevanje promjena u klimi na malim otocima. PTM igra važnu ulogu u globalnom lateralnom transportu energije, radijacijskoj i turbulentnoj izmjeni energije na relaciji zrak – more, apsorpciji antropogenih stakleničkih plinova u oceanu, modificiranju atmosfetskoga graničnog sloja, globalnom vodenom ciklusu i mnogim drugim globalnim i regionalnim procesima (BULGIN I DR., 2020.). Uzorci varijabilnosti PTM-a na međugodišnjim i duljim vremenskim skalama rezultat su kombinacije atmosferskih i oceanskih procesa (DESER I DR., 2010.).

Globalna klimatska zajednica proizvela je širok spektar rezultata o povezanosti PTM-a i PTZ-a te se oni smatraju važnim izvorom u procjeni budućih klimatskih promjena. Posljednjih desetljeća objavljeni su brojni radovi koji se bave utjecajem klimatskih promjena na PTM i PTZ, kao i odnosom PTM-a i PTZ-a u različitim regijama. S. Yasunaka i K. Hanawa (2011.) proveli su međusobnu usporedbu različitih povijesnih podataka o PTM-u. G. A. Theoharatos i I. G. Tselepidaki (1990.) proučavaju godišnji tijek PTM-a i PTZ-a

## INTRODUCTION

An island represents a landmass surrounded by water on all sides. According to Diaz Arenas and Febrillet Huertas's (1986) classification, small islands are those smaller than 1000 km<sup>2</sup>. In this paper the relationship of Sea Surface Temperature (SST) and Surface Air Temperature (SAT) measured at the small island of Hvar (Adriatic Sea-Croatia) are examined on annual and monthly time scales using data for a period of 55 years (1964-2018).

Soil surface heats and cools faster than sea surface. Because of that, the sea mitigates air temperature during the winter and summer. Due to this fact, the mean annual SST is higher than SAT, and the span of SAT is larger than the span of SST. For example, the mean annual SST in Split (37 km from Hvar in a straight line), is 1.2 °C higher than SAT (PENZAR ET AL., 2001).

SST is a critical factor in the assessment of the climatic structure of a coastal region affected mainly by SAT (VLAHAKIS, POLLATOU, 1993). Quantifying recent time behaviour trends and variability in SST, as well as its relation with SAT, is of fundamental importance to understanding changes in the small island climate. SST plays important role in global lateral energy transport, radiative and turbulent air-sea energy exchange, absorption of anthropogenic greenhouse gases in the ocean, modification of the atmospheric boundary layer, the global water cycle, and many other global and regional processes (BULGIN ET AL., 2020). The patterns of SST variability on interannual and longer timescales result from a combination of atmospheric and oceanic processes (DESER ET AL., 2010).

The global climate community has produced a wide range of results on the SST-SAT relationship, which are considered an important source in assessing future climate change. In recent decades a number of papers treating climate change influence on SST and SAT, as well as relations between SST and SAT in different regions have been published. S. Yasunaka and K. Hanawa (2011) made an inter-comparison of various historical SST datasets. G. A. Theoharatos and I. G. Tselepidaki (1990) study the annual course of the SAT and SST in the Aegean Sea (Greece). They found that the observed delay of the maximum and minimum values of the

u Egejskom moru (Grčka). Otkrili su da je za promatrani otklon maksimalnih i minimalnih vrijednosti PTM-a bio potreban jedan mjesec. Koristeći se podacima PTM-a u poslijeratnom razdoblju, A. Bartzokas i dr. (1994.) podijelili su Sredozemno more u potpodručja sa sličnim kovarijantnostima. Rezultati analiza jasno su pokazali da je minimum kasnih 1970-ih i zatopljenje posljednjih godina donekle odgođeno u istočnom Mediteranu. F. Pastor i dr. (2001.) proučavali su ulogu PTM-a u razvoju bujične kiše. Zaključili su da se mogu očekivati značajna poboljšanja u modeliranju vršnih oborina kada se koristi PTM izveden iz NOAA satelitskih podataka. M. I. R. Timmaker i dr. (2010.) otkrili su značajnu povezanost između djelovanja groma nad poluočnom Indijom i PTM-a. M. S. Travasso i dr. (2003.) analizirali su odnose PTM-a i prinosa usjeva u Argentini, odnosno ulogu PTM-a u pojavi suše. PTM i PTZ izmjereni su na mjestu u zaljevu Tokyo. Mjerenja su provedena s visokim prostornim rezolucijama između studenog 2006. i rujna 2007. R. Oda i M. Kanda (2009.) analizirali su utjecaj sezonskog i dnevnog PTM-a na urbani PTZ. S. M. Barbosa i O. B. Andersen (2009.) analizirali su trendovske obrasce u globalnom PTM-u. Hidrografski podaci od šezdeset jedne godine korišteni su za proučavanje redovitog nastanka anomalija u PTM-u i njihovu procjenu u jugoistočnom Sredozemnom moru ispred sjevernih egipatskih voda (MAIYZA I DR., 2010.). Razdoblja ciklusa varirala su od osam do petnaest godina. Aktivno razdoblje u godini bilo je od lipnja do kolovoza, a priobalna su područja bila aktivnija. Y. Tang (2012.) je opisao učinak vremenske i prostorne varijabilnosti PTM-a na regionalne obalne vremenske prognoze. Klimatologija i odnos PTM-a i PTZ-a nad Arapskim morem, Bengalskim zaljevom i Indijskim oceanom sjeverno od 15 °J ispitivali su se na godišnjim i sezonskim vremenskim skalama, koristeći se podacima dobrovoljnih promatračkih brodova u razdoblju od četrdeset godina (1961. – 2000.) (JASWAL I DR., 2012.). Y. Zheng i dr. (2013.) analizirali su utjecaje gradijenata PTM-a i promjena hrapavosti površine na kretanje površinskog ulja.

Slična istraživanja o PTM-u i PTZ-u na malim otocima u Hrvatskoj su rijetka. Buduću istočnojadransku klimu karakterizira zatopljenje i to do +5 °

SST was of the order of one month. Using SST data for the post-war period, A. Bartzokas et al. (1994) divided the Mediterranean Sea into sub-areas with similar covariances. The scores of the analyses showed clearly that the minimum of the late 1970s and the warming of recent years were somewhat delayed in the eastern Mediterranean. F. Pastor et al. (2001) studied the role of SST in torrential rain development. They concluded that significant improvements in the modelling of peak precipitation could be expected when using SST derived from NOAA satellite data. M. I. R. Timmaker et al. (2010) disclosed a significant correlation between lightning activity over Peninsular India and SST. M. I. Travasso et al. (2003) analysed relations between SST and crop yields in Argentina, i.e. the role of SST on the drought occurrence.

SST and SAT were measured in situ in Tokyo Bay. The measurements were made with high spatial and temporal resolutions between November 2006 and September 2007. R. Oda and M. Kanda (2009) analysed the impact of the seasonal and diurnal SST on the urban SAT. S. M. Barbosa and O. B. Andersen (2009) analysed trend patterns in global SST. The hydrographic data of 61 years was used to study the regular formation of the SST anomalies and their evaluation in the South-Eastern Mediterranean Sea in front of the northern Egyptian waters (MAIYZA ET AL., 2010). The periods of the cycles fluctuated from 8 to 15 years. The active period of the year was from June to August, and the coastal areas were more active. Y. Tang (2012) described the effect of SST temporal and spatial variability on regional coastal weather forecasts. Climatology and relationship of SST and SAT over the Arabian Sea, Bay of Bengal and the Indian Ocean north of 15 °S were examined on annual and seasonal time scales using the voluntary observing ships data for a period of 40 years (1961-2000) (JASWAL ET AL., 2012). Y. Zheng et al. (2013) analysed the influences of SST gradients and surface roughness changes on the motion of surface oil.

Research in Croatia, regarding the SST and SAT on small islands is scarce. The future eastern Adriatic climate is going to be characterised by warming up to +5 °C towards the end of the twenty-first century (BRANKOVIĆ ET AL., 2013). The UNDP document *A Climate for change* (2008, 78) includes

C potkraj 21. stoljeća (BRANKOVIĆ I DR., 2013.). U dokumentu UNDP-a *A Climate for change* (2008., 78) godine mogu se naći sljedeće izjave o porastu razine mora: „Sredozemlje, uključujući hrvatsku jadransku obalu, pod utjecajem je globalnih porasta razine mora uzrokovanih toplinskim širenjem oceana i topljenjem polarnih ledenih kapa. Posebno su izloženi riziku od porasta razine mora niski otoci poput Krapnja (samo 1,5 m nadmorske visine) i riječne delte (npr. delta rijeke Neretve, koja uključuje velika područja poljoprivrednog zemljišta) koji su osjetljivi na obalne poplave i zaslanjivanje. Sveukupno gledajući, uočava se postupno povećanje tijekom posljednjeg desetljeća, ali nadzorne stanice uz obalu daju široku paletu očitavanja između 1956. i 1991. godine: stanice u Rovinju i Splitu pokazuju da lokalna razina mora raste, dok one u Bakru i Dubrovniku registriraju pad razine. Nije jasno koliko je to posljedica lokalnog uzdizanja i slijeganja. Hrvatska je obala tektonski aktivno područje koje može prikriti dugoročne trendove promjena razine mora. To otežava precizno predviđanje točnih utjecaja porasta razine mora u Sredozemlju na Hrvatsku.“

Fizičke i društvene značajke malih otoka razotkrivaju njihovu potencijalno visoku ranjivost na klimatske promjene, što može prouzročiti brze, drastične, teško predvidljive i opasne društvene i ekološke promjene. Glavni cilj ovoga rada je razumjeti i objasniti razlike te međusobne odnose u godišnjem i mjesečnom ponašanju i budućem razvoju PTM-a i PTZ-a na malom otoku u mediteranskoj klimi. Cilj je studije steći bolji uvid u učinak globalnog zagrijavanja na rastuće trendove PTM-a i PTZ-a. Ovom studijom želi se potaknuti detaljna interdisciplinarna istraživanja u vezi s promjenama PTM-a i PTZ-a na malim otocima i obalnim zonama. Takva istraživanja mogu pomoći u boljoj pripremi za buduću klimatsku neizvjesnost.

## MATERIJALI I METODE

### *Opis lokacije*

Mali jadranski otok Hvar (Sl. 1.) nalazi se između  $43^{\circ} 06' 44''$  i  $43^{\circ} 14' 08''$  sjeverne širine i  $16^{\circ} 22' 17''$  i  $17^{\circ} 12' 05''$  istočne dužine. Pripada srednjodalmatinskim otocima i proteže se u smjeru istok

the following statements about sea level rising: “*The Mediterranean, including the Croatian Adriatic coastline, is affected by global sea-level rises caused by thermal expansion of the oceans and melting of the polar ice caps. Areas particularly at risk from sea level rise are low islands such as Krapanj (only 1.5 m above sea level) and river deltas (e.g. the Neretva river delta, which includes large areas of agricultural land) which are vulnerable to coastal flooding and salinization. Overall, there has been a gradual rise over the past decade, but monitoring stations along the coast gave a wide variety of readings between 1956 and 1991: stations at Rovinj and Split indicate that the local sea level is rising, while those at Bakar and Dubrovnik register falling levels. How much of this is due to local uplift and subsidence is unclear; the Croatian coast is a tectonically active area, which can obscure long-term trends in sea-level changes. This makes it difficult to predict the precise impacts of sea-level rise in the Mediterranean on Croatia.*”

The physical and human characteristics of small islands unravel their potentially high vulnerability to climate change, which can cause fast, drastic, hardly predictable, and dangerous social and environmental changes. The main goal of this paper is to improve the understanding and explain the differences, and interrelations in the annual and monthly behaviour and future development of SST and SAT on a small island in the Mediterranean climate. The study aims to gain a better insight into the effect of global warming on the increasing SST and SAT trends. We wish to initiate detailed interdisciplinary research regarding the changes in SST and SAT on the small islands and coastal zones. Such research can help to prepare better for future climatic uncertainty.

## MATERIALS AND METHODS

### *Site descriptions*

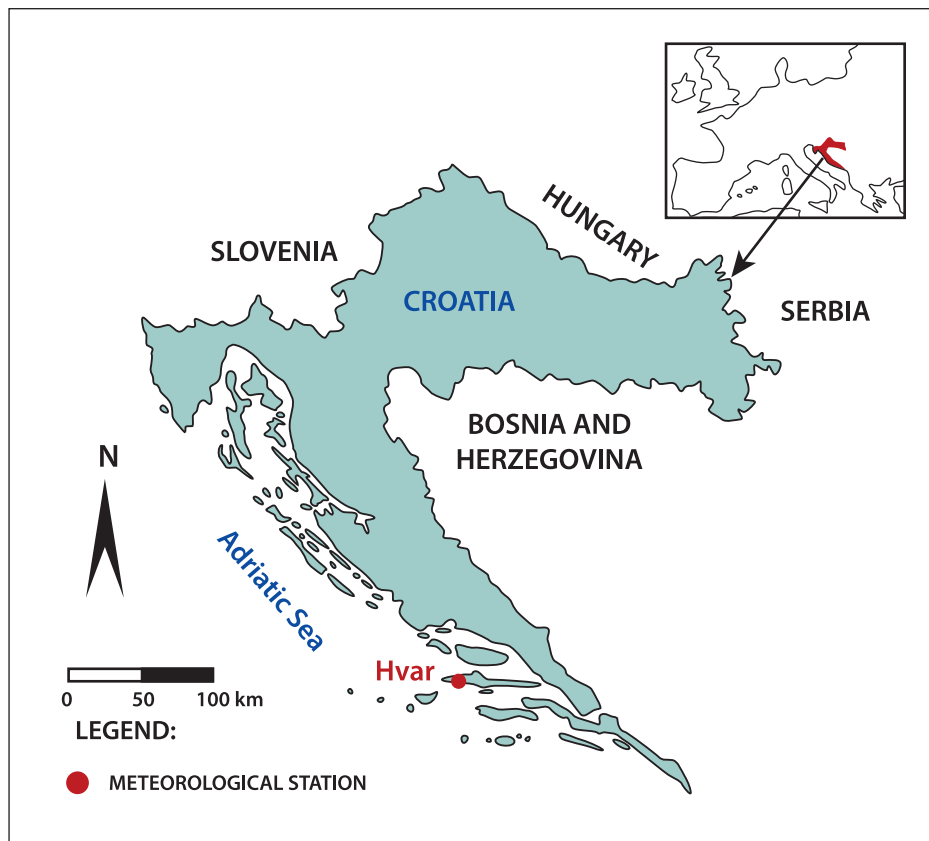
The small Adriatic island of Hvar (Fig. 1) is situated between  $43^{\circ} 06' 44''$  and  $43^{\circ} 14' 08''$  north latitude and  $16^{\circ} 22' 17''$  and  $17^{\circ} 12' 05''$  east longitude. It belongs to the Central Dalmatian islands and extends in an east-west direction. The island is largely formed by carbonate rocks from the Mesozoic, which significantly influences its

– zapad. Otok je u velikoj mjeri sačinjen od karbo-natnih stijena iz mezozoika, što značajno utječe na njegove orografske, hidrološke i pedološke značaj-ke (MAMUT, ČIRJAK, 2017.). Otok je dugačak 68 km, a na najširem mjestu proteže se na 10,5 km. Hvar je s površinom od 297,38 km<sup>2</sup> i dužinom obale od 270 km četvrti otok po veličini u hrvat-skom dijelu Jadranskog mora (DUPLANČIĆ LEDER I DR., 2004.). Najviši je vrh na nadmorskoj visini od 628 m nadmorske visine (mnv). S populacijom od 11 077 stanovnika (prema popisu stanovništva iz 2011.) Hvar je četvrti hrvatski otok po naselje-nosti. Ljetnih mjeseci otok posjeti više od 200 000 turista. Prema Köppen-Geigerovoj klasifikaciji kli-me, klimatski tip je Csa (ŠEGOTA, FILIPČIĆ, 2003.). Otok s mediteranskom klimom ima blage zime i vruća ljeta.

Grad Hvar, u kojem se nalazi meteorološka po-staja Hvar (Sl. 2.), ima 4251 stanovnika (prema popisu iz 2011. godine). Hvarska meteorološka postaja počela je s radom 1858. godine. Nalazi se 20 m iznad morske razine s koordinatama 43° 10 '16" N i 16° 26' 13 " E. Ovo je glavna meteorološka postaja DHMZ-a (Državni hidrometeorolo-

ographic, hydrological, and pedological features (MAMUT, ČIRJAK, 2017). The island is 68 km long and 10.5 km wide at its widest point. With an area of 297.38 km<sup>2</sup>, and a coastline length of 270 km Hvar is the fourth largest island in the Croatian part of the Adriatic Sea (DUPLANČIĆ LEDER ET AL., 2004). The highest peak is at the altitude of 628 m above sea level (m a.s.l.). A population of 11,077 inhabitants (according to the 2011 census), makes Hvar the fourth most populated Croatian island. During the summer months, more than 200,000 tourists visit the island. According to the Köppen-Geiger climate classification, the climate type is Csa (ŠEGOTA, FILIPČIĆ, 2003). The island with Mediterranean climate has mild winters and hot summers.

The town of Hvar where the meteorological station Hvar is located (Fig. 2) has a population of 4251 (according to 2011 census). The Hvar meteorological station was commissioned in 1858. Its altitude is 20 m a.s.l. and its coordinates are 43° 10' 16" N and 16° 26' 13" E. This is the main meteorological station of the DHMZ (Croatian Meteorological and Hydrological Service), which



SLIKA 1. Područje istraživanja  
FIGURE 1 Study area



SLIKA 2. Google karta s označenim lokacijama meteorološke postaje Hvar (1) i položaja s kojeg se mjeri PTM (2)  
 FIGURE 2 Google map with indicated locations of meteorological station Hvar (1) and position where SST was monitored (2)

loški zavod) koja se svakodnevno prati u 7, 14 i 21 sat po lokalnom vremenu. Rad analizira serije PTM-a (obilježeno kao 2 na Sl. 2.) i PTZ-a (obilježeno kao 1 na Sl. 2.) na godišnjim i mjesečnim vremenskim skalama, koristeći se podacima za razdoblje od pedeset pet godina (1964. – 2018.). Udaljenost između navedenih dviju lokacije je 100 metara.

Studija se koristi dnevnim indeksima PTM-a i PTZ-a (apsolutni minimum, srednju vrijednost i apsolutni maksimum). PTZ se mjeri na visini od 2 metra i prati se u meteorološkom zaklonu meteorološke postaje Hvar. PTM se mjeri 30 centimetara ispod površine mora, na mjestima koja su udaljena 100 metara zračne udaljenosti od meteorološke postaje Hvar. Dubina vode na ovom mjestu varira između 1,8 i 2,5 metara.

### Metode

U Hrvatskoj se za izračun srednjega dnevnog PTM-a i PTZ-a  $T$  koristi sljedeća jednadžba:

$$T_{\text{srednja}} = (T_7 + T_{14} + 2 \times T_{21})/4 \quad (1)$$

u kojoj su  $T_7$ ,  $T_{14}$ , i  $T_{21}$  temperature zraka izmjerene u 7, 14 i 21 sat.

Linearni i nelinearni trendovi (krivulje drugog reda) izračunavaju se za vremenske serije od tri analizirana mjesečna i godišnja indeksa PTM-a i

are all monitored daily at 7, 14, and 21 o'clock at local time. The paper will analyse the series of SST (location noted as 2 in Fig. 2) and SAT (location noted as 1 in Fig. 2) on annual and monthly time scales using data for a period of 55 years (1964–2018). Aerial distance between these two locations is 100 m.

This study used the SST and SAT daily indices (absolute minimum, mean, and absolute maximum). SAT is measured at the height of 2 m, monitored at the meteorological shelter of the meteorological station Hvar. SST is measured 30 cm below the sea surface at locations 100 m aerial distance from the meteorological station Hvar. Water depth at this location varies between 1.8 and 2.5 m.

### Methods used

In Croatia, the following equation is used to calculate the mean daily SST and SAT,  $T_{\text{mean}}$ :

$$T_{\text{mean}} = (T_7 + T_{14} + 2 \times T_{21})/4 \quad (1)$$

where,  $T_7$ ,  $T_{14}$ , and,  $T_{21}$ , are the air temperatures measured at 7 a.m., 2 p.m., and 9 p.m., respectively.

Linear and nonlinear (second order curve) trends are calculated for time series of three analysed monthly and annual SST and SAT indices.

PTZ-a. Izraz za linearni trend je:

$$T = (a \times t) + b \quad (2)$$

dok je nelinearna jednadžba trenda krivulja drugog reda:

$$T = (c \times t^2) + (d \times t) + e \quad (3)$$

u kojoj T označava srednju godišnju temperaturu zraka u godini, t, dok su a, b koeficijenti linearne regresije, c, d, e koeficijenti krivulje drugog reda. Svi su definirani metodom najmanjih kvadrata. Koeficijent a predstavlja nagib pravca regresije čija je dimenzija °C/godini. Označava prosječni intenzitet porasta ili smanjenja PTM-a ili PTZ-a određene vremenske serije. Za linearne trendove izračunava se koeficijent linearne korelacije r, a za nelinearne trendove indeks nelinearne korelacije R.

Koristeći se pyMann-Kendallovim paketom za Python, analize trendova vremenskih serija PTM-a i PTZ-a provode se pomoću neparametarskog Mann-Kendallove (M-K) testa trenda koji ne pretpostavlja temeljnu distribuciju podataka (HUSSAIN SHOUROV, MAHMUD, 2019.). Ova je metoda temeljena na rangu koja uzima u obzir relativne veličine dane varijable u njezinim vremenskim serijama. Ništavna hipoteza za ovaj test je da u analiziranom nizu ne postoji monoton trend, dok je alternativna hipoteza da trend postoji. U ovom istraživanju kao kriterij prihvaćanja koriste se dvije razine značajnosti: (1)  $p < 0,05$ ; (2)  $p < 0,01$ .

Kako bi se analizirao učinak PTM-a na PTZ, provodi se linearna regresijska analiza za tri indeksa, u različitim vremenskim ljestvicama (godina i 12 mjeseci), tijekom razdoblja 1964. – 2018.

RAPS metoda (GARBRECHT, FERNANDEZ, 1994.; BONACCI I DR., 2020.) pomaže u prevladavanju slučajnih promjena, pogrešaka i varijabilnosti u analiziranim vremenskim serijama. RAPS vizualizacija učinkovito naglašava pomake (porast i pad), okupljanje podataka i periodičnosti u analiziranim vremenskim serijama. Izraz za izračun  $RAPS_k$  je:

$$RAPS_k = \sum_{t=1}^k \frac{Y_t - Y_m}{S_y} \quad (4)$$

u kojemu  $Y_t$  označava srednju godišnju tempera-

The expression for a linear trend is:

$$T = (a \times t) + b \quad (2)$$

while the nonlinear trend equation, the second-order curve is:

$$T = (c \times t^2) + (d \times t) + e \quad (3)$$

where, T, is the mean annual air temperature in the year, t, while, a, b, are the linear regression coefficients, c, d, e, are the second-order curve coefficients. They all are defined using the least squares method. The coefficient, a, represents the slope of the regression line whose dimension is °C/year. It indicates the average intensity of rising or decreasing SST or SAT of a particular time series. For linear trends, the coefficient of linear correlation, r, and for nonlinear trends, the index of nonlinear correlation, R, are both calculated.

Employing pyMannKendall package for Python, trend analyses of SST and SAT time series are performed using a non-parametric Mann-Kendall (M-K) trend test that does not assume the underlying distribution of the data (HUSSAIN SHOUROV, MAHMUD, 2019). This is a rank-based method, which considers the relative magnitudes of a given variable in its time series. The null hypothesis for this test is that there is no monotonic trend in the analysed series, while the alternate hypothesis is that there is a trend. In this study, two levels of significance are used as a criterion of acceptance: (1)  $p < 0.05$ ; (2)  $p < 0.01$ .

In order to analyse the effect of SST on SAT, linear regression analysis is used for three indices, in different time scales (year and 12 months) during the 1964–2018 period.

The RAPS method (GARBRECHT, FERNANDEZ 1994; BONACCI ET AL., 2020) helps to overcome random changes, errors, and variability in the analysed time series. The RAPS visualisation effectively highlights shifts (rise as well as drop), data clustering, and periodicities in the analysed time series. The expression for the calculation of  $RAPS_k$  is:

$$RAPS_k = \sum_{t=1}^k \frac{Y_t - Y_m}{S_y} \quad (4)$$

where:  $Y_t$ , is the mean annual temperature in a



turu u godini,  $t$ ,  $Y_m$  srednju vrijednost uzorka,  $S_Y$ , je standardno odstupanje u cjelini,  $n$ , vrijednosti u vremenskom nizu,  $i$  ( $k = 1, 2, \dots, n$ ) kao brojač ograničenja zbroja za  $k$ -tu godinu.

F-test i t-test provode se za izračunavanje koliko su statistički značajne razlike između varijanca i prosjeka dva godišnja vremena temperature zraka u idućim podserijama definiranim RAPS metodom (MCGHEE, 1985.). Ova su dva testa pomogla kvantitativno usporediti imaju li dvije vremenske podserije PTM-a ili PTZ-a statistički značajnu razliku u varijancama (F-test) i prosječnim vrijednostima (t-test).

## REZULTATI I RASPRAVA

Kako bi se otkrile učinkovite integrirane mjere koje će osigurati učinkovit odgovor na izazove klimatskih promjena i održivi razvoj otoka, važno je analizirati i razumjeti sličnosti i razlike u ponašanju odnosa PTM-a i PTZ-a na različitim vremenskim skalama. U ovom se radu koriste dvije vremenske skale: (1) godina; (2) 12 mjeseci.

### *Povezanost godišnjeg PTM-a i PTZ-a*

Tablica 1. prikazuje glavne statističke karakteristike (apsolutni minimum, prosjek, apsolutni maksimum, domet i standardnu devijaciju) godišnje temperature površine mora,  $T_m$ , i površine zraka,  $T_z$ , i njihove razlike ( $T_m - T_z$ ) izmjerene na Hvaru u razdoblju 1964. – 2018. Na slici 3. prikazane su dvije vremenske serije godišnjega apsolutnog maksimuma PTM-a (tamnoplava),  $T_{m,min,y}$  i PTZ-a (ljubičasta),  $T_{z,min,y}$ . Pravci regresije crtaju se s pripadajućim linearnim koeficijentima korelacije,  $r$ , a krivulja drugog reda s pripadajućim indeksom nelinearne korelacije,  $R$ . U analiziranom pedesetpetogodišnjem razdoblju (1964. – 2018.) prosječna vrijednost PTM-a je 9,8 °C, a PTZ-a -5,2 °C, što je za 15 °C manje nego PTM. Linearni trend povećanja PTM-a (1,6 °C za 55 godina) statistički je značajan na razini,  $p < 0,01$ , dok za PTZ nije statistički značajan.

Dvije vremenske serije godišnjih srednjih PTM-a (tamnoplava),  $T_{m,srednja,y}$  i PTZ-a (ljubičasta),  $T_{z,srednja,y}$  prikazane su na slici 4. Pravci regresije

year,  $t$ ;  $Y_m$ , is the sample mean;  $S_Y$  is standard deviation over the entire,  $n$ ; values in the time series, and ( $k=1, 2, \dots, n$ ) is the counter limit of the summation for the year  $k$ .

The F-test and t-test are used to calculate how statistically significant the differences are between variances and averages of two annual air temperature time subsequent sub-series defined by RAPS method (MCGHEE, 1985). These two tests helped to compare quantitatively whether the two SST or SAT time sub-series have a statistically significant difference in the variances (F-test) and average values (t-test).

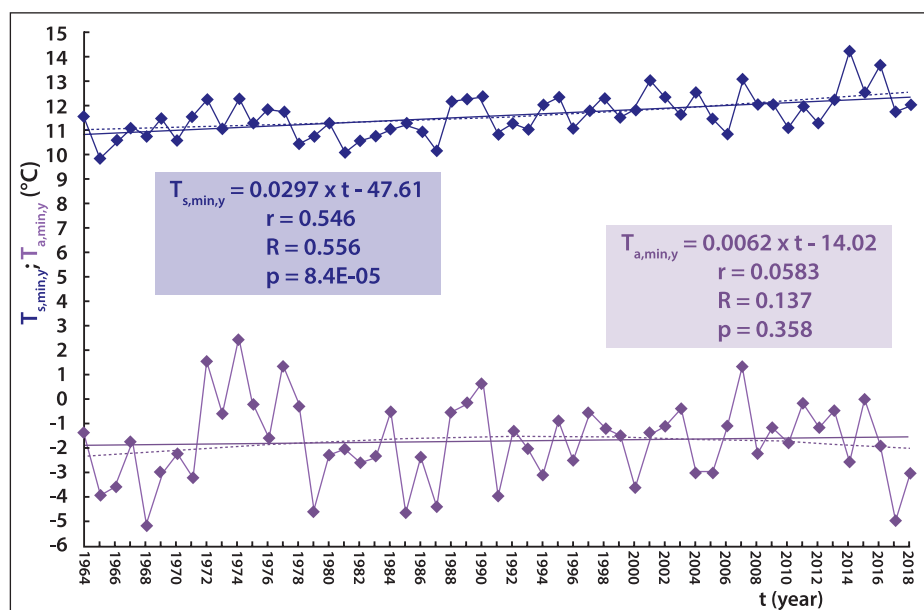
## RESULTS AND DISCUSSION

In order to discover efficient integrated measures, which will ensure an efficient answer to climate change challenges and the island's sustainable development, it is of crucial importance to analyse and understand the similarities and the differences in the behaviour of the relationship between SST and SAT in different time scales. In this paper, two time scales are used: (1) year; (2) 12 month.

### *Relationship between annual SST and SAT*

Table 1 depicts the main statistical characteristics (absolute minimum, average, absolute maximum, range, and standard deviation) of the annual sea surface,  $T_s$ , and air surface,  $T_a$ , temperature, and their differences, ( $T_s - T_a$ ), measured at Hvar during the period 1964-2018. Two time series of annual absolute minimum SST (dark blue),  $T_{s,min,y}$ , and SAT (purple),  $T_{a,min,y}$ , are presented in Fig. 3. The regression lines are plotted with the associated linear correlation coefficients,  $r$ , and the second order curve with the associated nonlinear correlation index,  $R$ . In the analysed 55-year period (1964-2018) the average value for SST is 9.8 °C, and for SAT it is -5.2 °C, which is 15.0 °C less than for SST. The linear increasing trend for the SST (1.6 °C per 55 years) is statistically significant at the level,  $p < 0.01$ , while for the SAT is not statistically significant.

Two time series of annual mean SST (dark blue),  $T_{s,mean,y}$ , and SAT (purple),  $T_{a,mean,y}$ , are presented



SLIKA 3. Dvije vremenske serije godišnjega apsolutnog minimuma PTM-a (tamnoplava)

$T_{m,min,y}$  i PTZ-a (ljubičasta),  $T_{z,min,y}$  izmjerena na Hvaru u razdoblju 1964. – 2018.

FIGURE 3 Two time series of the annual absolute minimum SST (dark blue),  $T_{s,min,y}$ , and SAT (purple),  $T_{a,min,y}$ , measured at Hvar in the period 1964–2018

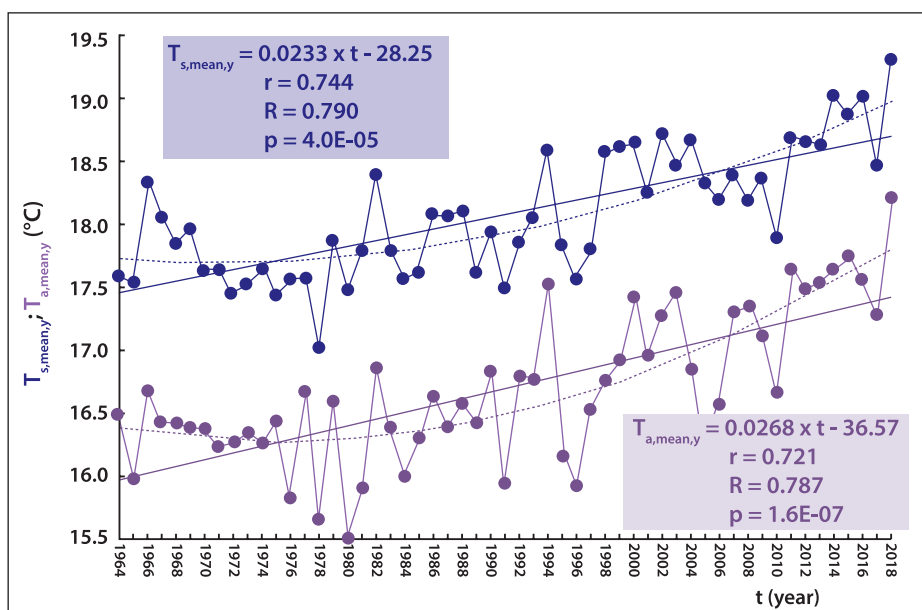
označeni su pridruženim koeficijentima linearne korelacije,  $r$ , a krivulja drugog reda pripadajućim indeksom nelinearne korelacije,  $R$ . U analiziranom pedesetpetogodišnjem razdoblju (1964. – 2018.) prosječna vrijednost PTM-a iznosi  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a PTZ-a  $15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , što je  $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  manje od PTM-a. Linearni

in Fig. 4. The regression lines are plotted with the associated linear correlation coefficients,  $r$ , and the second order curve with the associated nonlinear correlation index,  $R$ . In the analysed 55-year period (1964–2018) the average value for SST is  $17.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , and for SAT it is  $15.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , which is  $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  less

TABLICA 1. Glavne statističke karakteristike godišnje temperature površine mora  $T_m$  i površine zraka  $T_z$  i njihova razlike ( $T_m - T_z$ ) izmjerena na Hvaru u razdoblju 1964. – 2018.

TABLE 1 The main statistical characteristics of annual sea surface,  $T_s$ , and air surface,  $T_a$ , temperature and their differences, ( $T_s - T_a$ ), measured at Hvar during 1964–2018 period

	[ $^{\circ}\text{C}$ ]	min / min	srednja / mean	maks / max
$T_m / T_s$	min / min	9,8	17,01	24,0
	prosjek / average	11,54	18,07	25,91
	maks / max	14,2	19,30	27,8
	raspon / range	4,4	2,29	3,8
	stdev / stdev	0,871	0,501	0,976
$T_z / T_a$	min / min	-5,2	15,5	32
	prosjek / average	-1,77	16,70	34,48
	maks / max	2,4	18,2	37,5
	raspon / range	7,6	2,7	5,5
	stdev / stdev	1,684	0,594	1,194
$T_m - T_z / T_s - T_a$	min / min	9,8	0,8	-11,4
	prosjek / average	13,31	1,37	-8,57
	maks / max	16,8	2,0	-6,5
	raspon / range	7,0	1,2	4,9
	stdev / stdev	1,575	0,278	1,038



SLIKA 4. Dvije vremenske serije godišnje srednje vrijednosti PTM-a (tamnoplava)

$T_{m,srednja,y}$  i PTZ-a (ljubičasta),  $T_{z,srednja,y}$  izmjerene na Hvaru u razdoblju 1964. – 2018.

FIGURE 4 Two time series of the mean annual SST (dark blue),  $T_{s,mean,y}$  and SAT (purple),  $T_{a,mean,y}$  measured at Hvar in the 1964–2018 period

uzlazni trend, za obje vremenske serije, statistički je značajan na razini,  $p < 0,01$ . Porast PTM-a i PTZ-a u pedeset pet godina iznosi  $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , odnosno  $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Trendovi rasta u dva analizirana vremenska niza tijekom dostupnog razdoblja nisu linearni. Iz grafičkog prikaza na slici 4. može se zaključiti da je srednji godišnji PTM i PTZ rastao tek od sredine 1990-ih, a od tada stagnira. Ovakvo ponašanje temperatura zraka primijećeno je na brojnim meteorološkim postajama zapadnog Balkana (BONACCI, 2012.).

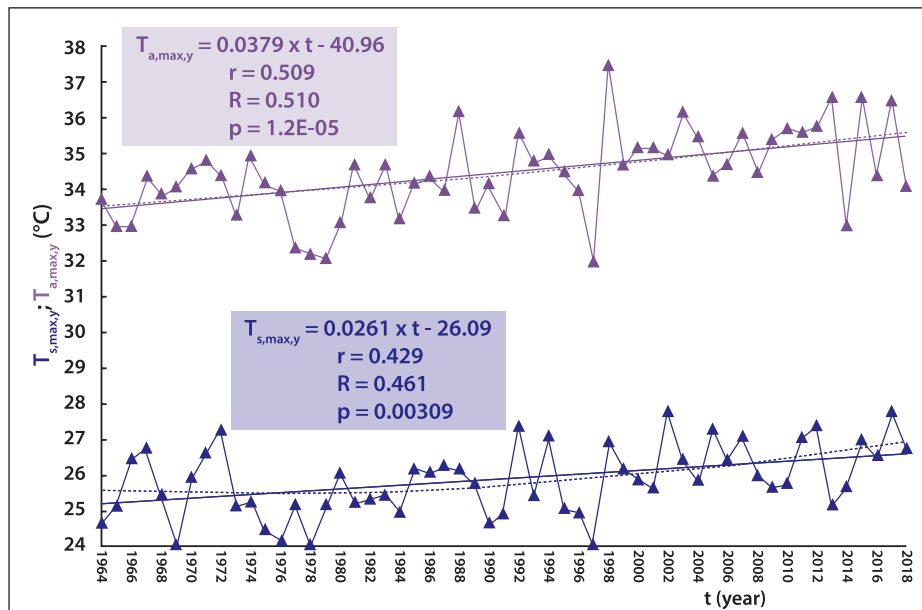
Dvije vremenske serije godišnjega apsolutnog maksimuma (tamnoplava),  $T_{m,max,x}$  i PTZ-a (ljubičasta),  $T_{z,max,y}$  prikazane su na slici 5. Pravci regresije crtaju se s pripadajućim linearnim koeficijentima korelacije,  $r$ , a krivulja drugog reda s pripadajućim indeksom nelinearne korelacije,  $R$ . U analiziranom pedesetpetogodišnjem razdoblju (1964. – 2018.), prosječna vrijednost PTM-a je  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a PTZ-a  $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ , što je za  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$  više nego za PTM. Linearni uzlazni trendovi za obje vremenske serije statistički su značajni na razini,  $p < 0.01$ . Porast PTM-a i PTZ-a u pedeset pet godina iznosi  $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , odnosno  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Slika 6. prikazuje tri vremenske serije razlika,  $\Delta T = T_m - T_z$ , između apsolutnog minimuma (plavo), srednje vrijednosti (crno) i apsolutnog maksimuma (crveno) godišnjih temperatura traka zabilježnih na Hvaru u razdoblju 1964. – 2018. U sve tri

than for SST. The linear upward trend, for both time series, is statistically significant at the level,  $p < 0.01$ . For SST and SAT, the increases in 55 years are  $1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectively. The upward trends in the two analysed time series over the available period are not linear. From the graphical presentation given in Fig. 4, it can be concluded that the mean annual SST and SAT were only rising since the mid-1990s, but stagnated until then. This behaviour of air temperatures was observed at numerous meteorological stations in the Western Balkans (BONACCI, 2012).

Two time series of annual absolute maximum (dark blue),  $T_{s,max,y}$ , and SAT (purple),  $T_{a,max,y}$ , are presented in Fig. 5. The regression lines are plotted with the associated linear correlation coefficients,  $r$ , and the second order curve with the associated nonlinear correlation index,  $R$ . In the analysed 55-year period (1964–2018) the average value for SST is  $24.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , and for SAT is  $32.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , what is  $8.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  more than for SST. The linear upward trends for both time series are statistically significant at the level,  $p < 0.01$ . As for SST and SAT, the increases in 55 years are  $1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , and  $2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectively.

Figure 6 shows three time series of differences,  $\Delta T = T_s - T_a$ , between the absolute minimum, (blue), mean (black), and absolute maximum (red) annual air temperatures observed at Hvar from 1964 to 2018. In all three analysed series, trends



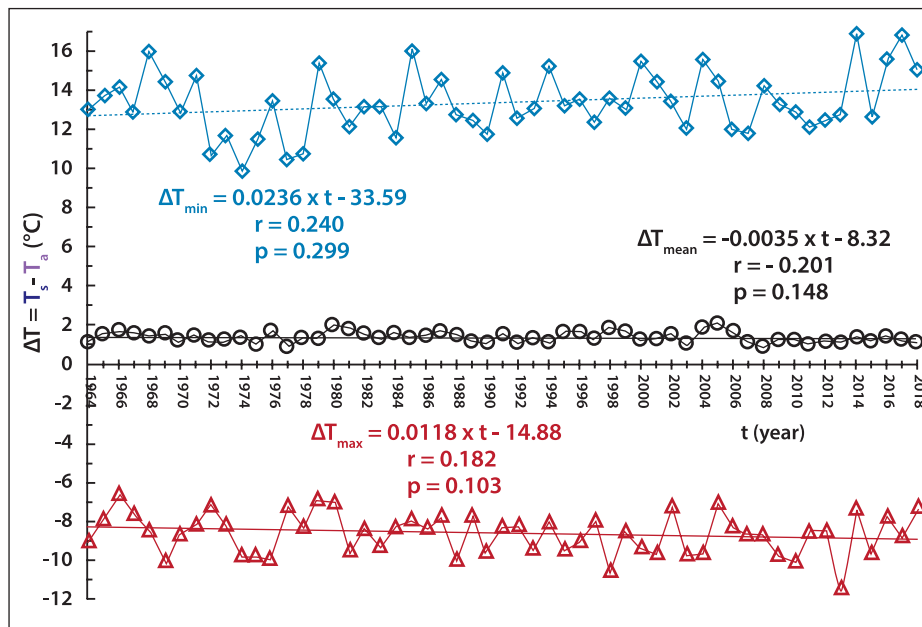
SLIKA 5. Dvije vremenske serije godišnje maksimalnog PTM-a (tamnoplava)  $T_{m,max,y}$  i PTZ-a (ljubičasta)  $T_{z,max,y}$  izmjerene na Hvaru u razdoblju 1964. – 2018.  
 FIGURE 5 Two time series of the absolute maximum annual SST (dark blue),  $T_{s,max,y}$  and SAT (purple),  $T_{a,max,y}$  measured at Hvar in the 1964-2018 period

analizirane serije trendovi nisu statistički značajni. Unatoč toj činjenici, valja napomenuti da razlike između srednjih i apsolutnih maksimalnih godišnjih temperatura pokazuju blago opadajući trend, dok se kod razlika između apsolutnih minimalnih godišnjih temperatura taj trend blago povećava.

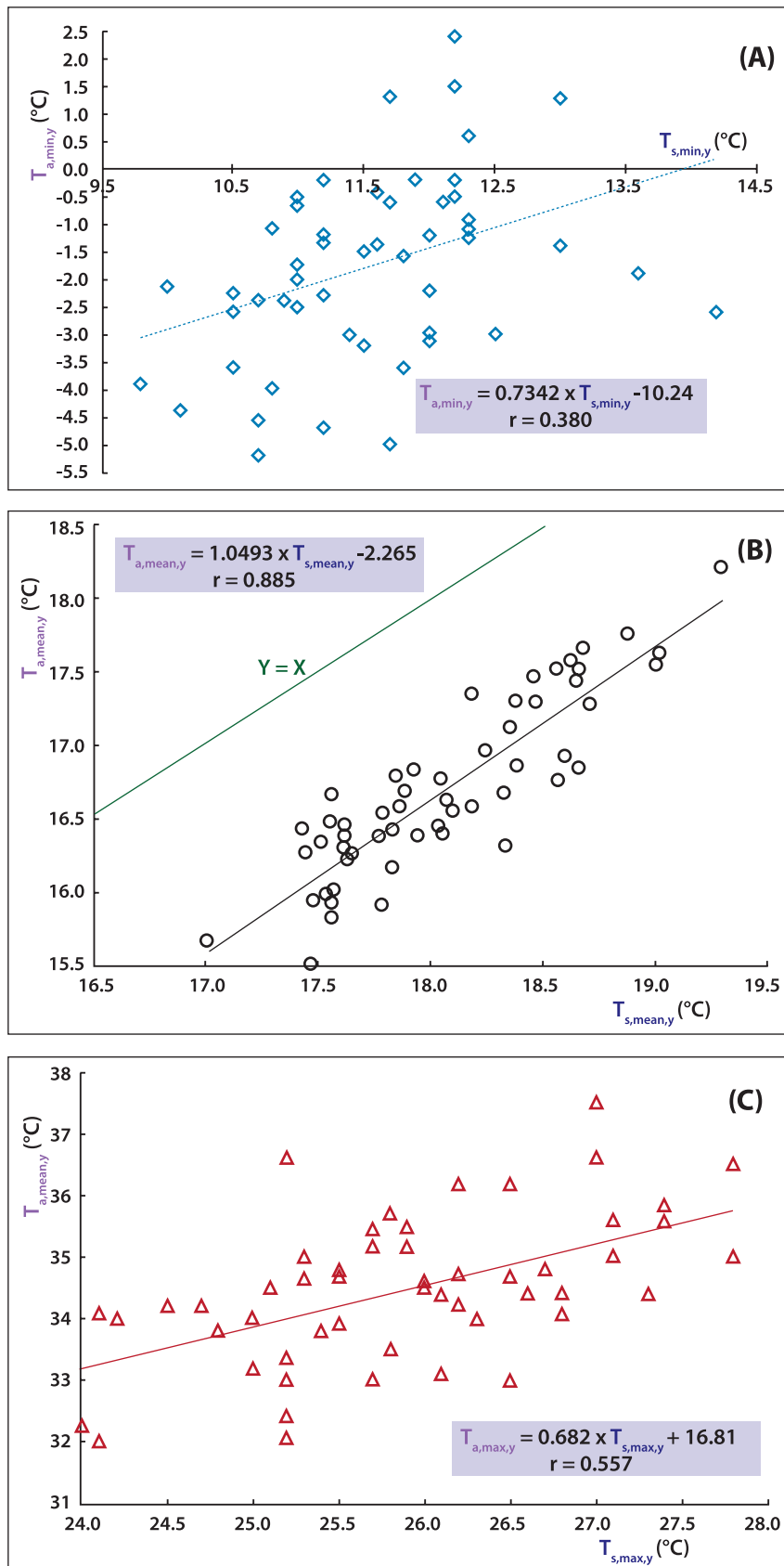
Slika 7. prikazuje omjer (A) apsolutnih godiš-

are not statistically significant. Despite this fact, it should be noted that differences between mean and absolute maximum annual temperatures show a slightly decreasing trend, while in the case of differences between absolute minimum annual temperatures, the trend is slightly increasing.

Figure 7 depicts the ratio of (A) the absolute min-



SLIKA 6. Tri vremenske serije razlika između godišnjega apsolutnog minimuma (plavo)  $\Delta T_{min}$ , srednje vrijednosti (crno)  $\Delta T_{srednja}$  i apsolutnog maksimuma (crveno)  $\Delta T_{maks}$ , PTM,  $T_m$  i PTZ,  $T_z$  izmjerene na Hvaru u razdoblju 1964. – 2018.  
 FIGURE 6 Three time series of differences between the absolute minimum annual (blue),  $\Delta T_{min}$ , the mean annual (black),  $\Delta T_{mean}$ , and the annual absolute maximum (red),  $\Delta T_{max}$ , SST,  $T_s$  and SAT,  $T_a$  measured at Hvar in the period 1964-2018



SLIKA 7. Omjer (A) apsolutnih godišnjih minimuma PTM-a,  $T_{z,min,y}$  i PTZ-a,  $T_{s,min,y}$ ; (B) srednjih godišnjih PTM-a,  $T_{m,srednja,y}$  i PTZ-a,  $T_{z,srednja,y}$ ; i (C) apsolutnih godišnjih maksimuma PTM-a,  $T_{m,maks,y}$  i PTZ-a,  $T_{z,maks,y}$

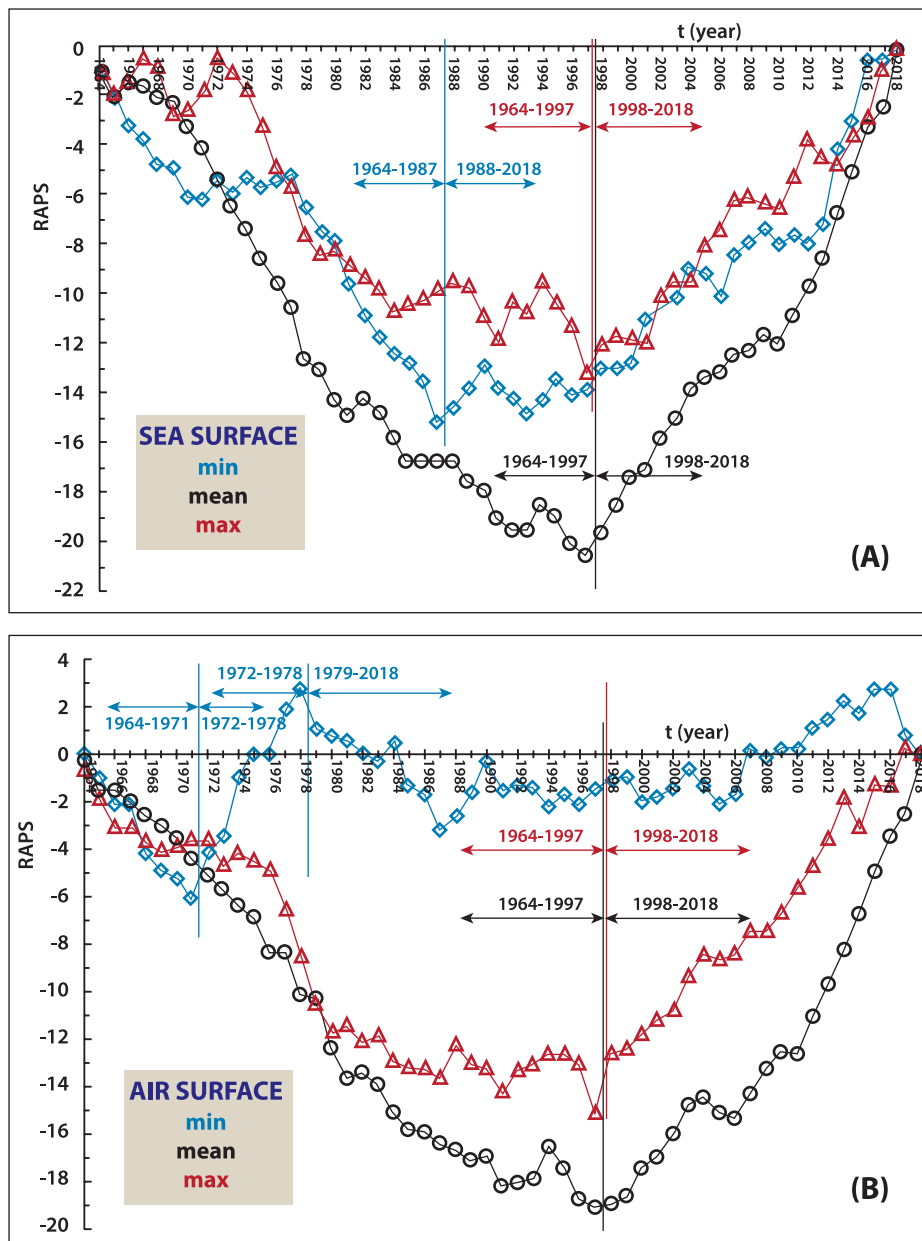
FIGURE 7 The ratio of (A) the annual absolute minimum SST,  $T_{s,min,y}$ , and SAT,  $T_{a,min,y}$ ; (B) the mean annual SST,  $T_{s,mean,y}$ , and SAT,  $T_{a,mean,y}$ ; and (C) the annual absolute maximum SST,  $T_{s,max,y}$ , and SAT,  $T_{a,max,y}$

njih minimuma PTM-a,  $T_{m, \min, y}$  i PTZ-a,  $T_{z, \min, y}$ ; (B) srednjih godišnjih PTM-a,  $T_{m, \text{srednja}, y}$  i PTZ-a,  $T_{z, \text{srednja}, y}$ ; i (C) apsolutnih godišnjih maksimuma PTM-a,  $T_{m, \text{maks}, y}$  i PTZ-a,  $T_{z, \text{maks}, y}$ . Najjači je odnos između srednjih godišnjih temperatura, s vrlo visokom vrijednošću koeficijenta korelacije,  $r = 0,885$ . Najslabija je veza između apsolutnih minimalnih godišnjih temperatura, s niskom vrijednošću koeficijenta korelacije  $r = 0,380$ . Između apsolutnih maksimalnih godišnjih temperatura koeficijent korelacije je  $r = 0,557$ .

Slike 8.A i 8.B prikazuju RAPS vremenske se-

imum annual SST,  $T_{s, \min, y}$ , and SAT,  $T_{a, \min, y}$ ; (B) the mean annual SST,  $T_{s, \text{mean}, y}$ , and SAT,  $T_{a, \text{mean}, y}$ ; and (C) the maximum annual SST,  $T_{s, \text{max}, y}$ , and SAT,  $T_{a, \text{max}, y}$ . The strongest relationship is between mean annual temperatures, with a very high value of correlation coefficient,  $r = 0.885$ . The weakest relationship is between absolute minimum annual temperatures, with a low value of correlation coefficient  $r = 0.380$ . Between absolute maximum annual temperatures coefficient of correlation is  $r = 0.557$ .

Figures 8A and 8B depict RAPS time series, for the minimum (blue), mean (black), and maximum



SLIKA 8. RAPS vremenske serije za minimalni (plava), srednji (crna) i maksimalni (crvena) godišnji: (A) PTM i (B) PTZ

FIGURE 8 RAPS time series for the minimum (blue), mean (black), and maximum (red) annual: (A) SST and (B) SAT

rije za minimalne (plava), srednje (crna) i maksimalne (crvena) godišnje: (A) PTM i (B) PTZ. Na temelju grafičkih prikaza na Sl. 8.A, niz podataka godišnjega apsolutnog minimuma PTM-a podijeljen je u dvije vremenske podserije: (1) 1964. – 1997.; (2) 1998. – 2018. Na Sl. 8.B, serija podataka godišnjega apsolutnog minimuma podijeljena je u tri vremenske podserije: (1) 1964. – 1971.; (2) 1972. – 1978.; (3) 1979. – 2018. Serije podataka srednjega i apsolutnoga maksimalnoga godišnjeg PTM-a podijeljene su u dvije vremenske podserije: (1) 1964. – 1997.; (2) 1998. – 2018. U nizu apsolutnog minimuma godišnjeg PTM-a statistički značajan pomak otkriva se 1988. Deset godina poslije, 1998., otkriva se statistički značajan pomak na srednjem i apsolutom maksimumu PTM i PTZ indeksa. U slučaju minimalnih godišnjih vrijednosti PTZ-a, 1979. godine otkriva se statistički značajan pomak.

Tablica 2. je matrica rezultata prosječnih godišnjih vrijednosti za tri indeksa,  $T_{\text{prosjeck}}$  i vjerojatnost,  $p$ , za F-test, i t-test, za podserije minimalne, srednje i maksimalne godišnje temperature površine mora,  $T_m$ , i zraka,  $T_z$ , izračunate u pot-

(red) annual: (A) SST and (B) SAT. Based on the graphical presentations given in Fig. 8A the data series of annual absolute minimum SST is divided into two time subseries: (1) 1964-1987; (2) 1988-2018. The data series of mean and absolute maximum annual SST are divided into two time subseries: (1) 1964-1997; (2) 1998-2018. In Fig. 8B the data series of annual absolute minimum SAT is divided into three time subseries: (1) 1964-1971; (2) 1972-1978; (3) 1979-2018. The data series of mean and absolute maximum annual SST are divided into two time subseries: (1) 1964-1997; (2) 1998-2018. In the series of the absolute minimum annual SST, a statistically significant shift upward is detected in 1988. Ten years later, in 1998, a statistically significant shift upward is detected on the mean and absolute maximum SST and SAT indices. In the case of SAT minimum annual values, a statistically significant shift downward is detected starting from 1979.

Table 2 is the matrix of results of average annual values for three indices,  $T_{\text{average}}$ , and probability,  $p$ , for F-test, and, t-test, for subseries of minimum, mean and maximum annual sea sur-

**TABLICA 2.** Matrica rezultata prosječnih godišnjih vrijednosti za tri indeksa,  $T_{\text{prosjeck}}$  i vjerojatnost,  $p$ , za F-test, i t-test, za podserije minimalne, srednje i maksimalne godišnje površine mora,  $T_m$ , i zraka,  $T_z$ , temperature izračunate u potperiodima definiranim RAPS metodom (vidi Sl. 8.A i 8.B)

**TABLE 2** Matrix of results of average annual values, for three indices,  $T_{\text{average}}$ , and probability,  $p$ , for F-test, and, t-test, for subseries of minimum, mean and maximum annual sea surface,  $T_s$ , and air,  $T_a$ , temperatures observed at subperiods defined by RAPS method (see Figs. 8A and 8B)

temperatura / temperature	indeks / indices	potperiod / subperiod	$T_{\text{prosjeck}}$ (°C) / $T_{\text{average}}$ (°C)	p (F-test)	p (t-test)
$T_m / T_s$	min	1964. – 1987.	10,99	0,331	7,8E-06*
		1988. – 2018.	11,97		
	srednja	1964. – 1997.	17,77	0,933	4,8E-12*
		1998. – 2018.	18,56		
	max	1964. – 1997.	25,54	0,429	1,9E-04*
		1998. – 2018.	26,52		
$T_z / T_a$	min	1964. – 1971.	-3,05	0,722 0,993	2,4E-04* 5,6E-04*
		1972. – 1978.	0,37		
		1979. – 2018.	-1,88		
	min	1964. – 1997.	16,36	0,439	4,8E-10*
		1998. – 2018.	17,23		
	max	1964. – 1997.	33,95	0,766	5,3E-06*
		1998. – 2018.	35,34		

\*  $p < 0,01$

periodima definiranim RAPS metodom (vidi Sl. 8.A i 8.B). Vrijednosti t-testa između svih susjednih analiziranih podserija potkrepljuju zaključak da su prosječne vrijednosti u susjednim potperiodima statistički značajne na razini  $p < 0,01$ . Vrijednosti F-testa potvrđuju da se varijance u susjednim potperiodima statistički značajno ne razlikuju.

### *Veza između mjesečnog PTM-a i PTZ-a*

Statističke karakteristike mjesečnih temperatura površine mora,  $T_m$ , i površine zraka  $T_z$ , u vremenskim serijama izmjerene na Hvaru u razdoblju 1964. – 2018. prikazane su u Tab 3.

Slike 9.A, 9.B i 9.C kao histogrami prikazuju

face,  $T_s$ , and air,  $T_a$ , temperatures calculated at subperiods defined by RAPS method (see Figs. 8A and 8B). The values of the t-test between all adjacent analysed subseries substantiate the conclusion that average values in adjacent subperiods are statistically significant at the level  $p < 0.01$ . The values of the F-test confirm that the variances in adjacent subperiods are not statistically significantly different.

### *Relationship between monthly SST and SAT*

The main statistical characteristics of the monthly sea surface,  $T_s$ , and air surface,  $T_a$ , temperature time series measured at Hvar during the 1964-2018 period are given in Table 3.

**TABLICA 3.** Statističke karakteristike mjesečnih temperatura površine mora,  $T_m$ , i površine zraka  $T_z$ , u vremenskim serijama izmjerene na Hvaru u razdoblju 1964. – 2018.

**TABLE 3** The main statistical characteristics of monthly sea surface,  $T_s$ , and air surface,  $T_a$ , temperature time series measured at Hvar during 1964-2018 period

mjesec / month	[°C]	$T_m / T_s$			$T_z / T_a$		
		min / min	prosjeak / average	maks / max	min / min	prosjeak / average	maks / max
S / J	min / min	10,5	12,5	13,3	-5,2	5,5	14,4
	srednja / mean	12,50	13,60	14,75	0,04	9,04	16,37
	maks / max	14,6	15,6	16,5	3,5	12,1	19,4
V / F	min / min	9,8	11,2	12,5	-4,7	5,3	14,5
	srednja / mean	11,69	12,70	13,36	0,00	9,30	17,27
	maks / max	14,2	14,5	15,1	5,0	12,6	23,4
O / M	min / min	9,8	11,6	12,4	-4,4	7,1	16,6
	srednja / mean	11,91	12,93	14,03	2,30	11,34	19,26
	maks / max	14,2	14,8	15,8	6,5	14,4	24,5
T / A	min / min	12,0	13,0	14,0	0,7	11,2	19,3
	srednja / mean	13,25	14,56	16,08	6,02	14,39	22,64
	maks / max	15,0	16,2	18,5	9,6	17,3	27,6
S / M	min / min	13,5	15,6	16,5	6,6	15,8	23,2
	srednja / mean	15,45	17,62	20,15	10,60	18,83	27,57
	maks / max	19,2	21,2	22,6	13,8	21,6	33
L / J	min / min	16,4	19,0	21,6	10,5	20,4	27,7
	srednja / mean	18,65	21,19	23,78	13,91	22,71	31,53
	maks / max	21,7	23,5	26,6	18,8	26,5	36,2
S / J	min / min	16,8	20,7	23,2	12,8	23,3	30,8
	srednja / mean	20,66	23,18	25,27	17,35	25,42	33,78
	maks / max	23,0	25,1	27,8	20,5	28,2	36,6



mjesec / month	[°C]	$T_m / T_s$			$T_z / T_a$		
		min / min	prosjeak / average	maks / max	min / min	prosjeak / average	maks / max
K / A	min / min	18,9	21,7	23,2	12,1	21,5	27,9
	srednja / mean	21,46	23,67	25,61	16,90	25,15	33,61
	maks / max	23,9	25,6	27,8	20,8	28,0	37,5
R / S	min / min	18,7	20,2	21,2	10,0	18,4	26,0
	srednja / mean	21,28	22,59	24,15	13,38	21,70	30,04
	maks / max	23,7	24,8	26,6	17,7	25,0	34,4
L / O	min / min	16,6	18,2	19,8	4,9	14,4	22,1
	srednja / mean	19,25	20,70	22,21	8,96	17,85	26,25
	maks / max	21,9	22,3	24,7	12,6	19,8	30,5
S / N	min / min	13,6	16,0	17,0	-0,2	10,6	19,0
	srednja / mean	16,65	18,20	19,70	4,34	13,76	21,83
	maks / max	19,0	19,8	21,5	10,0	16,5	25,7
P / D	min / min	11,2	14,2	15,3	-3,1	7,2	14,8
	srednja / mean	14,11	15,58	17,09	1,01	10,73	18,00
	maks / max	16,2	17,2	19,0	5,5	12,2	20,6

serije prosječnih mjesečnih: (A) apsolutnih minimuma; (B) srednjih vrijednosti; (C) apsolutnih maksimuma PTM-a (tamnoplava) i PTZ-a (ljubičasta) izmjerenih na Hvaru u razdoblju 1964. – 2018. Njihove razlike,  $\Delta T = T_m - T_z$ , prikazane su kao crta s markerima. Između apsolutnih minimalnih indeksa, najmanja razlika  $\Delta T_{\min, \min}$ , javlja se u srpnju s vrijednošću od 4 °C, a najveća se javlja u siječnju, s vrijednošću od 15,7 °C (Sl. 9.A). U slučaju srednjih indeksa, PTM ima niže prosječne vrijednosti od PTZ-a tijekom razdoblja od svibnja do kolovoza (Sl. 8.A). Tijekom zimskih mjeseci, prosinca i siječnja, prosječne vrijednosti PTM-a veće su za 4,6 °C, odnosno 5,2 °C (Sl. 9.B). Između apsolutnih maksimalnih indeksa, najmanja razlika,  $\Delta T_{\max, \max}$ , javlja se u prosincu s vrijednošću od -1,6 °C, a najveća u svibnju, s vrijednošću od -10,6 °C (Sl. 9.C).

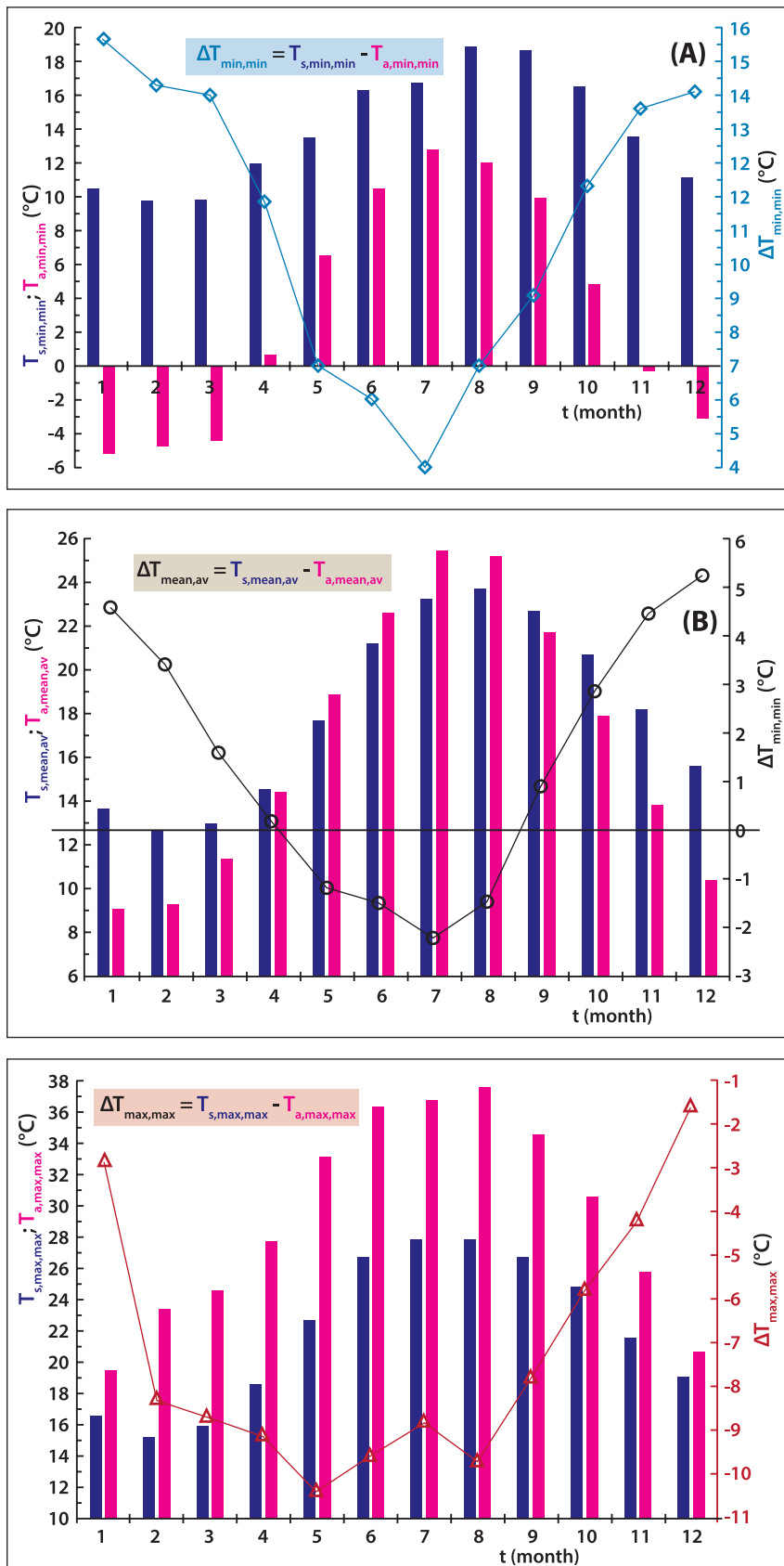
Omjer prosječnoga mjesečnog apsolutnog minimuma (plava), srednje vrijednosti (crna) i apsolutnog maksimuma (crvena) PTZ-a i PTM-a izmjerenih na Hvaru u razdoblju 1964. – 2018. prikazan je na slici 10. U sva tri analizirana indeksa može se primijetiti formiranje petlje.

Tablica 4. prikazuje vrijednosti koeficijenta linearne korelacije,  $r$ , između vremenskih serija apsolutnog minimuma, srednje vrijednosti i ap-

Figures 9A, 9B, and 9C as histograms show the series of the average monthly: (A) absolute minimum; (B) mean; (C) absolute maximum SST (dark blue) and SAT (purple) measured at Hvar in the 1964-2018 period. Their differences,  $\Delta T = T_s - T_a$ , are shown as a line with markers. Between absolute minimum indices, the smallest difference,  $\Delta T_{\min, \min}$ , occurs in July with a value of 4 °C, and the largest in January, with a value of 15.7 °C (Fig. 9A). In the case of mean indices, SST has lower average values than SAT during the period from May to August (Fig 8B). During the winter months, December and January, the average values of SST are higher 4.6 °C and 5.2 °C, respectively (Fig. 9B). Between absolute maximum indices, the smallest difference,  $\Delta T_{\max, \max}$ , occurs in December with a value of -1.6 °C, and the largest in May, with a value of -10.6 °C (Fig. 9C).

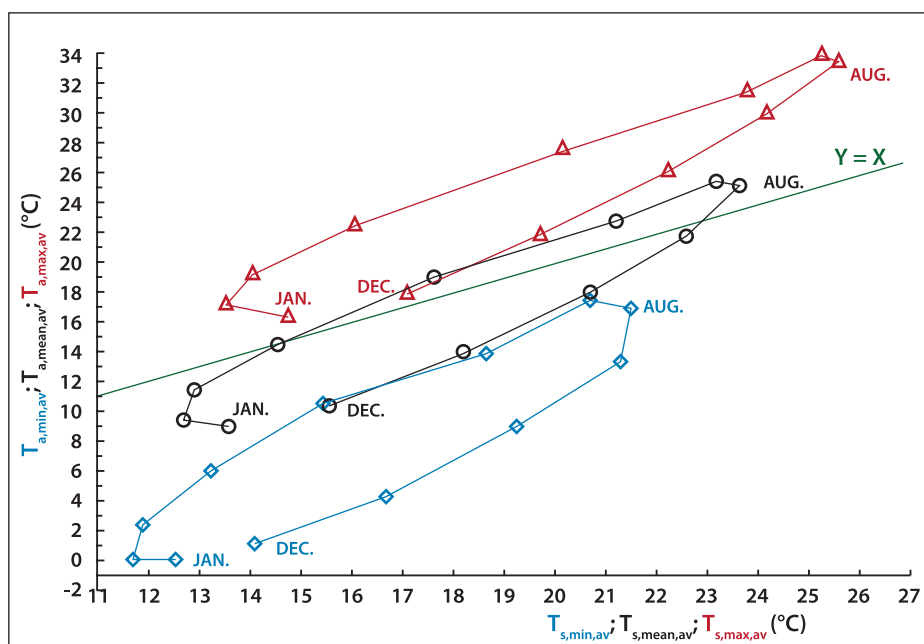
The ratio of the average monthly absolute minimum (blue), mean (black), and absolute maximum (red) SAT and SST measured at Hvar in the 1964-2018 period is presented in Fig.10. In all three analysed indices formation of the loop can be noted.

Table 4 shows values of coefficients of linear correlation,  $r$ , between time series of abso-



SLIKA 9. Histogrami prosječnog mjesečnog: (A) apsolutnog minimuma; (B) srednje vrijednosti; (C) apsolutnog maksimuma PTM-a (tamnoplava) i PTZ-a (ljubičasta) izmjerene na Hvaru u razdoblju 1964. – 2018. Njihove su razlike,  $\Delta T = T_m - T_a$  prikazane kao crte s markerima

FIGURE 9 Histograms of the average monthly: (A) absolute minimum; (B) mean; (C) absolute maximum SST (dark blue) and SAT (purple) measured at Hvar in the 1964-2018 period. Their differences,  $\Delta T = T_s - T_a$  are shown as a line with markers



SLIKA 10. Omjer prosječnog mjesečnog apsolutnog minimuma (plava), srednje vrijednosti (crna) i apsolutnog maksimuma (crvena) PTZ-a i PTM-a izmjerenih na Hvaru u razdoblju 1964. – 2018.

FIGURE 10 The ratio of the average monthly absolute minimum (blue), mean (black), and absolute maximum (red) SAT and SST measured at Hvar in the 1964-2018 period

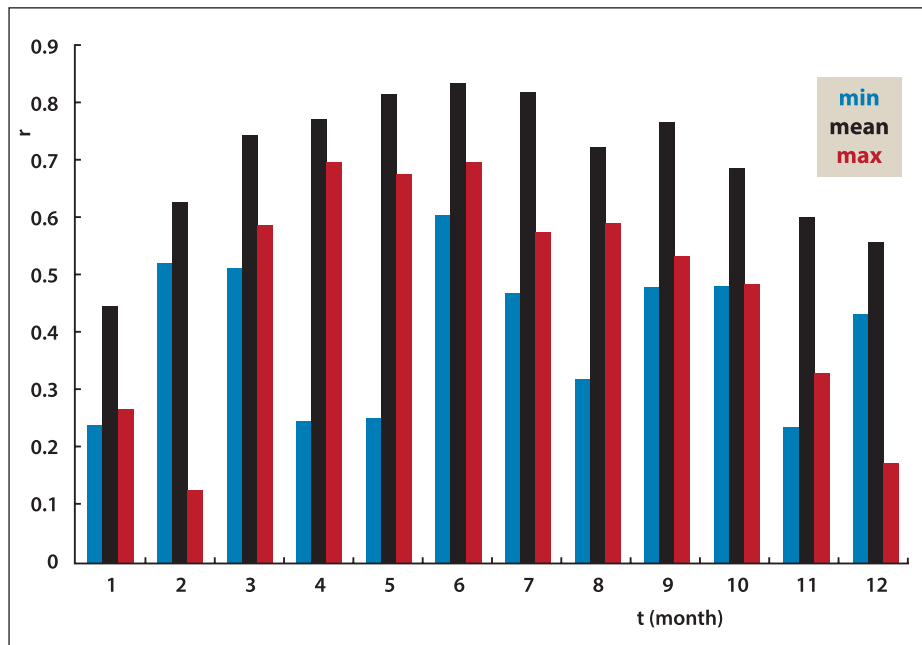
solutnog maksimuma mjesečne temperature površine mora,  $T_m$ , i površine zraka  $T_z$ , izmjerenih na Hvaru u razdoblju 1964. – 2018. Za sva tri indeksa maksimalne vrijednosti (označene podebljanim crvenim brojem) koeficijenta korelacije,  $r$ , pojavljuju se u lipnju. Minimalne vrijednosti (označene podebljanim tamnoplavim brojem) javljaju se u hladnom dijelu godine, apsolutni minimum u studenom, srednja vrijednost u siječnju, a apsolutni maksimum u veljači. Na slici 11. prikazani su histogrami koeficijenata linearne korelacije,  $r$ , između prosječnog mjesečnog apsolutnog minimuma (plavo), srednje vrijednosti (crno) i apsolutnog maksimuma (crveno) PTM-a i PTZ-a izmjerenih na Hvaru u razdoblju 1964.

lute minimum, mean, and absolute maximum monthly sea surface,  $T_s$ , and air surface,  $T_a$ , temperatures measured at Hvar during the 1964-2018 period. For all three indices the maximum values (designated with a bold red number) of the coefficient of correlation,  $r$ , occur in June. The minimum values (designated with a bold dark blue number) occur in cold part of the year, for the absolute minimum in November, for mean in January, and for absolute maximum in February. Figure 11 presents histograms of the coefficients of linear correlation,  $r$ , between the average monthly absolute minimum (blue), mean (black), and absolute maximum (red) SST and SAT measured at Hvar in the period 1964-

TABLICA 4. Matrica koeficijenata linearne korelacije,  $r$ , između vremenskih serija apsolutnog minimuma, srednje vrijednosti i apsolutnog maksimuma mjesečne temperature površine mora,  $T_m$ , i površine zraka  $T_z$ , izmjerenih na Hvaru u razdoblju 1964. – 2018.

TABLE 4 Matrix of coefficients of linear correlation,  $r$ , between time series of absolute minimum, mean and absolute maximum monthly sea surface,  $T_s$ , and air surface,  $T_a$ , temperatures measured at Hvar during the period 1964-2018

$r$	S/J	V/F	O/M	T/A	S/M	L/J	S/J	K/A	R/S	L/O	S/N	P/D
min / min	0,237	0,520	0,511	0,245	0,250	<b>0,603</b>	0,467	0,316	0,476	0,480	<b>0,236</b>	0,431
srednja / mean	<b>0,442</b>	0,624	0,743	0,771	0,814	<b>0,833</b>	0,816	0,721	0,766	0,689	0,599	0,555
maks / max	0,265	<b>0,126</b>	0,584	0,694	0,676	<b>0,695</b>	0,574	0,588	0,533	0,481	0,328	0,171



SLIKA 11. Histogrami koeficijena linearne korelacije,  $r$ , između prosječnoga mjesečnog apsolutnog minimuma (plavo), srednje vrijednosti (crno) i apsolutnog maksimuma (crveno) PTM-a i PTZ-a izmjerenih na Hvaru u razdoblju 1964. – 2018. godine

FIGURE 11 Histograms of the coefficients of linear correlation,  $r$ , between the average monthly absolute minimum (blue), mean (black), and absolute maximum (red) SST and SAT measured at Hvar in the period 1964-2018

– 2018. godine.

Tablica 5. je matrica vrijednosti koeficijena linearnih korelacija,  $r$ , i vjerojatnosti M-K testa,  $p$ , za karakterističnu mjesečnu temperaturu površine mora,  $T_m$ , i temperaturu zraka,  $T_z$ , u vremenskim serijama tijekom razdoblja 1964. – 2018. Označeni su podebljanim crvenim brojevima kada je vjerojatnost M-K testa  $p < 0,01$ , a podebljanim tamnoplavim brojevima kada je vjerojatnost M-K testa  $0,01 < p < 0,05$ . Vidljivo je da se statistički značajni trendovi povećanja srednjeg PTM-a javljaju u svim mjesecima (osim u listopadu). Statistički značajni trendovi povećanja PTZ-a javljaju se tek od travnja do kolovoza.

Tablica 6. je matrica vrijednosti koeficijena linearnih korelacija,  $r$ , i vjerojatnosti M-k testa,  $p$ , za karakteristične mjesečne razlike,  $\Delta T = T_m - T_z$ , vremenske serije tijekom razdoblja 1964. – 2018. Koeficijenti linearnih korelacija,  $r$ , su niski i uglavnom negativni, što se može objasniti blagim smanjenjem razlika između PTM-a i PTZ-a. Statistički značajan trend smanjenja primjećuje se u najtoplijim dijelovima godine, u lipnju (za apsolutni maksimum), srpnju (apsolutni minimum i srednja vrijednost) i kolovozu (za sva tri indeksa).

2018.

Table 5 is the matrix of values of coefficients of linear correlations,  $r$ , and the probability of M-K test,  $p$ , for characteristic monthly sea surface,  $T_s$ , and air surface,  $T_a$ , temperatures time series during the period 1964-2018. They are designated with bold red numbers when M-K test probability is  $p < 0.01$  and with bold dark blue numbers when M-K test probability is  $0.01 < p < 0.05$ . It can be seen that the statistically significant increasing trends for mean SST occur in all months (except in October). The statistically significant increasing trends for mean SAT occur only from April to August.

Table 6 is the matrix of values of coefficients of linear correlations,  $r$ , and the probability of M-K test,  $p$ , for characteristic monthly differences,  $\Delta T = T_s - T_a$ , time series during the period 1964-2018. The coefficients of linear correlations,  $r$ , are low, and mostly negative, which can be explained with a slight decrease in differences between SST and SAT. The statistically significant decreasing trend is noticed in the hottest parts of the year, in June (for absolute maximum), July (for absolute minimum and mean), and August (for all three indices).

**TABLICA 5.** Matrica vrijednosti koeficijenta linearnih korelacija,  $r$ , i vjerojatnosti M-K testa,  $p$ , za karakterističnu mjesečnu temperaturu površine mora,  $T_m$ , i temperaturu zraka,  $T_z$ , u vremenskim serijama tijekom razdoblja 1964. – 2018.

**TABLE 5** Matrix of values of coefficients of linear correlations,  $r$ , and probability of M-K test,  $p$ , for characteristic monthly sea surface,  $T_s$ , and air surface,  $T_a$ , temperatures time series during the period 1964-2018

mjesec / month	indeks / indices	$T_m / T_s$		$T_z / T_a$	
		$r$	$p$	$r$	$p$
S / J	min / min	0,541	5,8E-05**	0,040	0,77092
	srednja / mean	0,445	0,00462**	0,162	0,42004
	maks / max	0,220	0,21960	0,339	0,00571**
V / F	min / min	0,513	0,00025**	0,182	0,14356
	srednja / mean	0,398	0,00579**	0,075	0,52567
	maks / max	0,210	0,25844	0,039	0,36167
O / M	min / min	0,540	8,4E-05**	0,105	0,18889
	srednja / mean	0,455	0,00157**	0,259	0,07923
	maks / max	0,301	0,05015	0,272	0,01290*
T / A	min / min	0,425	0,00192**	0,179	0,14128
	srednja / mean	0,515	0,00042**	0,448	0,00022**
	maks / max	0,317	0,02176*	0,415	0,00914**
S / M	min / min	0,555	7,2E-05**	0,209	0,18134
	srednja / mean	0,492	0,00184**	0,389	0,01087*
	maks / max	0,415	0,00295**	0,461	0,00357**
L / J	min / min	0,542	6,4E-05**	0,288	0,08065
	srednja / mean	0,535	0,00022**	0,578	2,6E-05**
	maks / max	0,406	0,00464**	0,492	0,00022**
S / J	min / min	0,403	0,00099**	0,629	6,0E-06**
	srednja / mean	0,594	1,0E-05**	0,678	1,1E-06**
	maks / max	0,488	0,00033**	0,373	0,00423**
K / A	min / min	0,389	0,00728**	0,562	3,6E-05**
	srednja / mean	0,492	0,00154**	0,633	2,6E-06**
	maks / max	0,346	0,02449*	0,459	0,00062**
R / S	min / min	0,297	0,03257*	0,092	0,32425
	srednja / mean	0,307	0,04437*	0,259	0,09007
	maks / max	0,414	0,00556**	0,404	0,00549**
L / O	min / min	0,374	0,00764**	0,241	0,22928
	srednja / mean	0,272	0,07064	0,201	0,35047
	maks / max	0,095	0,35428	0,032	0,62208
S / N	min / min	0,499	0,00060**	0,261	0,13332
	srednja / mean	0,310	0,03702*	0,263	0,08573
	maks / max	0,224	0,14311	0,346	0,04211*
P / D	min / min	0,372	0,02454*	0,024	0,90494
	srednja / mean	0,403	0,00930**	0,092	0,38566
	maks / max	0,322	0,03970*	0,039	0,68103

\*  $0,01 < p < 0,05$

\*\*  $p < 0,01$

**TABLICA 6.** Matrica vrijednosti koeficijena linearnih korelacija,  $r$ , i vjerojatnosti  $M$ - $K$  testa,  $p$ , za karakteristične mjesečne razlike,  $\Delta T = T_m - T_z$ , vremenskih serija u razdoblju 1964. – 2018.

**TABLE 6** Matrix of values of coefficients of linear correlations,  $r$ , and probability of  $M$ - $K$  test,  $p$ , for characteristic monthly differences,  $\Delta T = T_m - T_z$ , time series during the period 1964-2018

mjesec / month	indeks / indices	$\Delta T = T_m - T_z / \Delta T = T_s - T_a$	
		$r$	$p$
S / J	min / min	0,161	0,12231
	srednja / mean	0,066	0,41989
	maks / max	-0,172	0,12686
V / F	min / min	0,008	0,66490
	srednja / mean	0,093	0,62210
	maks / max	0,036	0,97616
O / M	min / min	0,110	0,60652
	srednja / mean	-0,030	0,95827
	maks / max	-0,183	0,05035
T / A	min / min	0,006	0,95832
	srednja / mean	-0,189	0,25603
	maks / max	-0,345	0,06843
S / M	min / min	0,155	0,69792
	srednja / mean	0,022	0,95230
	maks / max	-0,261	0,06520
L / J	min / min	0,042	0,84027
	srednja / mean	-0,251	0,11489
	maks / max	-0,339	0,01062*
S / J	min / min	-0,308	0,04458*
	srednja / mean	-0,353	0,02397*
	maks / max	-0,014	0,83437
K / A	min / min	-0,329	0,03595*
	srednja / mean	-0,459	0,00048**
	maks / max	-0,311	0,01266*
R / S	min / min	0,109	0,62755
	srednja / mean	-0,037	0,39022
	maks / max	-0,173	0,31707
L / O	min / min	-0,017	1,00000
	srednja / mean	0,041	0,39843
	maks / max	0,041	0,49216
S / N	min / min	-0,014	0,60691
	srednja / mean	-0,067	0,78780
	maks / max	-0,161	0,35807
P / D	min / min	0,176	0,33546
	srednja / mean	0,232	0,08965
	maks / max	0,160	0,18150

\*  $0,01 < p < 0,05$

\*\*  $p < 0,01$

## ZAKLJUČAK

Zagrijavanje indeksa PTM-a izraženije je od zagrijavanje indeksa PTZ-a i događa se tijekom cijele godine (osim u listopadu). Sezonska analiza otkriva znatno veći porast ljetnih (lipanj, srpanj, kolovoz) i proljetnih (ožujak, travanj, svibanj) temperatura u odnosu na jesen i zimu. Ovaj je zaključak u skladu s najnovijim saznanjima iz mediteranske regije. Rezultati su istaknuli statistički značajan trend porasta za sva tri godišnja indeksa analizirana u PTM-u. U slučaju PTZ-a, apsolutni minimum porasta nije statistički značajan. Trendovi za ostala dva indeksa su značajni na razini  $p < 0,01$ . Mjesečne analize indeksa PTM-a gotovo u svim mjesecima (osim u listopadu) imaju statistički značajne trendove povećanja. U slučaju PTZ-a, statistički značajan trend porasta za sve analizirane indekse javlja se ljeti (srpanj i kolovoz). Svi rezultati ističu da su mali jadranski otoci ugroženi klimatskim promjenama, tj. globalnim zatopljenjem, posebice tijekom ljeta.

Bogati i osjetljivi ekosustavni mediteranskih otoka, kao i njihova socio-ekonomska struktura, pod snažnim su utjecajem mediteranske klime (BONACCI, 2019.). Drastična i ponekad nepredvidiva priroda mediteranske klime stvara jak i kontrastan stres na sve aspekte održivog razvoja malih otoka. Uloga Sredozemnog mora u europskoj ljetnoj klimi uglavnom je pasivna (TOMASSINI, ELIZALIDE, 2012.). Zimi, kada su gornji slojevi Sredozemnoga mora dobro izmiješani, podaci o površinskoj temperaturi Sredozemnoga mora protežu se kroz dulje vremenske razmjere, što u određenoj mjeri implicira potencijal za aktivno upravljanje regionalnim klimatskim karakteristikama.

F. Giorgi i P. Lionello (2008.) prognozirali su da bi pojava zagrijavanja ljeti dovela do veće pojave ekstremno visokih temperatura u cijeloj mediteranskoj regiji. Homogeniziranim dnevnim podacima o minimalnim i maksimalnim temperaturama (1955. – 2007.) za područje srednjega Mediterana u Toskani (Italija) istraženi su godišnji i sezonski dugoročni trendovi nekih klimatskih i ekstremnih klimatskih indeksa (BARTOLINI I DR., 2012.). Sezonska analiza otkrila je znatno veći porast ljetnih (lipanj, srpanj, kolovoz) i proljetnih (ožujak, travanj, svibanj) temperatura u odnosu na

## CONCLUSIONS

The warming of SST indices is more pronounced than the warming of SAT indices and it occurs during the whole year (except in October). The seasonal analysis revealed a much greater increase in summer (June, July, August) and spring (March, April, May) temperatures in respect of autumn and winter. This finding is consistent with the most recent evidence from the Mediterranean region. The results highlighted a statistically significant increasing trend for all three analysed SST annual indices. In the case of SAT, the absolute minimum increasing trend is not statistically significant. For the other two indices, the trends are statistically significant at the level  $p < 0.01$ . Monthly analysis for SST indices almost in all months (except October) have statistically significant increasing trends. In the case of SAT, a statistically significant increasing trend for all analysed indices occurs in summer (July and August). All results show that the small Adriatic islands are negatively affected by climate change, i.e. global warming, especially during the summertime.

The rich and vulnerable ecosystems of the Mediterranean islands, as well as their socio-economic structure, are under the strong influence of the Mediterranean climate (BONACCI, 2019). The drastic and sometimes unpredictable nature of the Mediterranean climate put severe and contrasted stress on all aspects of small island sustainable development. The role of the Mediterranean Sea in the European summer climate is mostly passive (TOMASSINI, ELIZALIDE, 2012). In winter, when the upper layers of the Mediterranean Sea are well mixed, the record of the Mediterranean Sea surface temperature stretches over longer time scales, which implies a potential for active governing of regional climate characteristics to some extent.

F. Giorgi and P. Lionello (2008) projected that occurrence of warming in the summer would lead to a greater occurrence of extremely high temperature events in the whole Mediterranean region. Using homogenized daily minimum and maximum temperature data set (1955–2007) for the central Mediterranean area of Tuscany (Italy), yearly and seasonal long-term trends of some climatic and extreme climatic indices were studied (BARTOLINI ET

jesen i zimu, u skladu s najnovijim saznanjima s Mediterana. Njihove analize potvrđuju da je Mediteran regija koja posebno reagira i stoga je vrlo osjetljiva na klimatske promjene. D. Macias i dr. (2013.) utvrdili su da se od 1990-ih mediteranske vode zagrijavaju prilično velikom brzinom te da je to razlog za znanstvenu i društvenu zabrinutost. Trend zagrijavanja primijećen je u satelitskim podacima, terenskim podacima i simulacijama modela, a utječe na površinske i duboke vode u cijelom mediteranskom bazenu. Na temelju regionalnog indeksa klimatskih promjena izračunatog iz projekcija temperature i oborina, otkriveno je da je mediteransko područje jedno od najistaknutijih žarišta širom svijeta (GIORGI, 2006.). Definitivan zaključak u mnogim objavljenim znanstvenim radovima jest da projekcije klimatskih promjena za mediteransku regiju upućuju na značajno zagrijavanje, posebno u toploj sezoni (npr. GIORGI, LIONELLO, 2008.; LÓPEZ GARCÍA, 2014.; SHALTOU, OMSTEDT, 2014.; MOHAMED I DR., 2019.; PISANO I DR., 2020.). Analize u ovome radu podupiru izjavu A. Pisano i dr. (2020.): „Promatrana promjena u Sredozemnom moru utječe ne samo na srednji trend, već i na amplitudu sezonskog signala Sredozemlja, uz konstantan relativni porast i pad ljetnih i zimskih srednjih vrijednosti, tijekom razmatranog razdoblja (1982. – 2018.).”

Ograničena veličina i ograničeni resursi malih otoka, kao i neodržive antropogene aktivnosti (npr. turizam, promjene namjene zemljišta i urbanizacija) smanjuju mogućnosti prilagodbe otoka na klimatske promjene. Zbog iznimne povijesne i društvene važnosti, biotske autentičnosti i ranjivosti na globalne promjene, mali mediteranski otoci, posebno otok Hvar, zahtijevaju hitne i učinkovite integrirane mjere, koje će osigurati njihov održivi razvoj. Praćenje, razumijevanje i objašnjavanje odnosa između PTM-a i PTZ-a prvi su i neizbježan korak za postizanje ovoga cilja.

Kao i nekim drugim mediteranskim zemljama, Hrvatskoj nedostaje dovoljno podataka za točno određivanje klimatskih promjena na malim otocima. Različita mjesta na otoku, zbog različitih udaljenosti od mora, lokalnog položaja u odnosu na otvoreno more, orografije i nadmorske visine, rezultiraju značajno različitim vrijednostima PTZ-a (BONACCI, LJUBENKOV, 2020.; BONACCI I

AL., 2012). The seasonal analysis revealed a much greater increase in summer (June, July, August) and spring (March, April, May) temperatures in respect of autumn and winter temperatures. This finding is consistent with most recent Mediterranean evidence. All their analyses confirm that the Mediterranean is a region especially responsive and thus very vulnerable to climate change. D. Macias et al. (2013) established that from the 1990s Mediterranean waters have been warming at a rather high rate resulting in scientific and social concern. The warming trend has been observed in satellite data, field data, and model simulations, and affects both surface and deep waters throughout the Mediterranean basin. Based on the regional climate change index calculated from temperature and precipitation projections, the Mediterranean region was revealed to be one of the most prominent hot-spots over the globe (GIORGI, 2006). Definite conclusion in many published scientific papers is that climate change projections for the Mediterranean region indicate substantial warming, especially in the warm season (e.g. GIORGI, LIONELLO, 2008; LÓPEZ GARCÍA, 2014; SHALTOU, OMSTEDT 2014; MOHAMED ET AL., 2019; PISANO ET AL., 2020). The analyses made in this paper support this statement of A. Pisano et al. (2020): “*The observed change in the Mediterranean Sea affects not only the mean trend but also the amplitude of the Mediterranean seasonal signal, with consistent relative increase and decrease of summer and winter mean values, respectively, over the period considered (1982-2018).*”

The limited size and limited resources of small islands, as well as unsustainable anthropogenic activities (e.g. tourism, land use changes, and urbanisation), reduce islands’ adaptation options to climate change. Due to exceptional historical and social importance, biotic authenticity, and vulnerability to global changes, the small Mediterranean islands, particularly the island of Hvar, require urgent and efficient integrated measures, which will ensure their sustainable development. Monitoring, understanding, and explaining the relationship between SST and SAT represent the first and inevitable step in order to achieve this goal.

Like some other Mediterranean countries, Croatia lacks sufficient data to determine climate change



DR., 2020.). Nedostatak točnih prikaza klimatskih promjena, prije svega PTM-a i PTZ-a, ozbiljno ograničava napore na planu očuvanja, prilagodbe i ublažavanja, a nadalje koči odgovarajuće mjere pripravnosti (AL SAYAH I DR., 2021.). Cilj ove studije je pokrenuti detaljna interdisciplinarna istraživanja u vezi s promjenama PTM-a i PTZ-a na malim otocima i obalnim zonama. Takva istraživanja mogu pomoći u boljoj pripremi za buduće izazove po pitanju klime.

## 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.).

at small islands accurately. Different locations on the island, due to various distances from the sea, local position relative to the open sea, orography, and altitude, result in significantly different SAT values (BONACCI, LJUBENKOV, 2020; BONACCI ET AL., 2020). A shortage of accurate climate change representations, first of all, SST and SAT, severely handicaps conservation, adaptation, and mitigation plan efforts, and further hinders appropriate preparedness measures (AL SAYAH ET AL., 2021). The aim of this study is to initiate detailed interdisciplinary research regarding the changes in SST and SAT on the small islands and coastal zones. Such research can help prepare better for future climatic uncertainty.

## ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by the project KK.05.1.1.02.0024 “VODIME-Waters of Imotski region”, a project financed by the Croatian Government and the European Union through the European Structural Fund as part of the call “Strengthening the applied research for climate change adaptation measures” KK.05.1.1.02.

## LITERATURA / BIBLIOGRAPHY

- A Climate for Change: Climate change and its impacts on society and economy in Croatia*, (ur. Landau, S., Legro, S., Vlašić, S.), Human Development Report Croatia, United Nations Development Programme (UNDP), Zagreb, 2008.
- AL SAYAH, M. J., ABDALLAH, C., KHOURI, M., NEDJAI, R., DARWICH, T. (2021): A framework for climate change assessment in Mediterranean data-sparse watersheds using remote sensing and ARIMA modeling, *Theoretical and Applied Climatology*, 143 (1-2), 639-658, DOI: 10.1007/s00704-020-03442-7
- BARBOSA, S. M., ANDERSEN, O. B. (2009): Trend patterns in global sea surface temperature, *International Journal of Climatology*, 29 (14), 2049-2055, DOI: 10.1002/joc.1855
- BARTOLINI, G., DI STEFANO, V., MARACCHI, G., ORLANDINI, S. (2012): Mediterranean warming is especially due to summer season, Evidences from Tuscany (central Italy), *Theoretical and Applied Climatology*, 107 (1-2), 279-295, DOI: 10.1007/s00704-011-0481-1
- BARTZOKAS, A., METAXAS, D. A., GANAS, I. S. (1994): Spatial and temporal sea-surface temperature, covariances in the Mediterranean, *International Journal of Climatology*, 14 (2), 201-213, DOI:10.1002/joc.3370140206
- 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, DOI: 10.15292/acta.hydro.2019.10
- BONACCI, O., PATEKAR, M., POLO, 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/atmos11101044
- 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 (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), *Hrvatske Vode*, 28 (113), 183-196.
- BRANKOVIĆ, C., GÜTTLER, I., GAJIĆ-ČAPKA, M. (2013): Evaluating climate change at the Croatian Adriatic from observations and regional climate models' simulations, *Climate Dynamic*, 41(9-10), 2353-2373, DOI: 10.1007/s00382-012-1646-z
- BULGIN, C. E., MERCHANT, C.J., FERREIRA, D. (2020): Tendencies, variability and persistence of sea surface temperature anomalies, *Scientific Report*, 10, 7986, DOI: 10.1038/s41598-020-64785-9
- DESER, C., ALEXANDER, M. A., XIE, S. P., PHILLIPS, A. S. (2010): Sea surface temperature variability: Patterns and mechanisms, *Annual Review of Marine Science*, 2, 115-143, DOI: 10.1146/annurev-marine-120408-151453
- 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, pp. 25.
- DUPLANČIĆ LEDER, T., UJEVIĆ, T., ČALA, M. (2004): Coastline lengths and areas of islands in the Croatian part of the Adriatic Sea determined from the topographic maps at the scale 1:25,000, *Geoadria*, 9 (1), 5-32, DOI: 10.15291/geoadria.127
- 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
- GIORGI, F. (2006): Climate change hot-spots, *Geophysical Research Letter*, 33 (8), L08707, DOI: 10.1029/2006GL025734
- 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.gloplacha.2007.09.005
- 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
- JASWAL, A., SINGH, V., BHAMBAK, S. R. (2012): Relationship between sea surface temperature and surface air temperature over Arabian Sea, Bay of Bengal and Indian Ocean, *Journal of Indian Geophysical Union*, 16 (2), 41-53.
- LÓPEZ GARCÍA, M. J. (2014): Recent warming in the Balearic Sea and Spanish Mediterranean coast, Towards an earlier and longer summer, *Atmósfera*, 28 (3), 149-160, DOI: 10.20937/ATM.2015.28.03.01
- MAMUT, M., ČIRJAK, B. R. (2017): Prirodno-geografske značajke otoka Hvara (Natural and geographical features of the Island of Hvar), *Naše More*, 64 (3), 81-91, DOI: 10.17818/NM/2017/3.12
- MACIAS, D., GARCIA-GORRIZ, E., STIPS, A. (2013): Understanding the causes of recent warming of Mediterranean waters. How much could be attributed to climate change?, *PLoS ONE*, 8 (11) e81591, DOI:10.1371/journal.pone.0081591
- MCGHEE, J. W. (1985): *Introductory statistics*, West Publishing Company, St Paul and New York, pp. 249.
- MAIYZA, I. A., SAID, M. A., KAMEL, M. S. (2010): Sea Surface Temperature anomalies in the South Eastern Mediterranean Sea, *JKAU: Marine Science*, 21 (1), 151-159., DOI: 10.4197/Mar. 21-1.9
- MOHAMED, B., MOHAMED, A., EL-DIN, K.A., NAGY, H., SHALTOU, M. (2019): Inter-annual variability and trends of sea level and Sea Surface Temperature in the Mediterranean Sea over the last 25 years, *Pure Applied Geophysics*, 176 (8), 3787–3810, DOI: 10.1007/s00024-019-02156-w
- ODA, R., KANDA, M. (2009): Observed Sea Surface Temperature of Tokyo Bay and its impact on urban air temperature, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48 (10), 2054–2068, DOI: 10.1175/2009JAMC2163.1
- PASTOR, F., ESTRELA, M. J., PEÑARROCHA, D., MILLÁN, M. M. (2001): Torrential rains on the Spanish Mediterranean coast: modelling the effects of the Sea Surface Temperature, *Journal of Applied Meteorology*, 40 (7), 1180–1195, DOI: 10.1175/1520-0450(2001)040<1180:TROTSM>2.0.CO;2
- PENZAR, B., PENZAR, I., ORLIĆ, M. (2001): *Vrijeme i klima hrvatskog Jadrana*, Nakladna kuća “dr. Feletar”, Zagreb, pp. 256.
- PISANO, A., MARULLO, S., ARTALE, V., FALCINI, F., YANG, C., LEONELLI, F. E., SANTOLERI, R., NARDELLI, B. B. (2020): New evidence of Mediterranean climate change and variability from Sea Surface Temperature observations, *Remote Sensing*, 12 (1), 132. DOI: 10.3390/rs12010132
- SHALTOU, M., OMSTEDT, A. (2014): Recent sea surface temperature trends and future scenarios for the Mediterranean Sea, *Oceanologia*, 56 (3), 411–443. DOI:10.5697/oc.56-3.411
- ŠEGOTA, T., FILIPČIĆ, A. (2003): Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje (Köppen's Classification of Climates and the Problem of Corresponding Croatian Terminology), *Geoadria*, 8 (1), 17-37, DOI: 10.15291/geoadria.93
- TANG, Y. (2012): The effect of variable Sea Surface Temperature on forecasting sea fog and sea breezes: a case study, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51 (5), 986–990, DOI: 10.1175/JAMC-D-11-0253.1
- THEOHARATOS, G. A., TSELEPIDAKI, I. G. (1990): The temperature of the sea-surface in the region of the Aegean and its relation to air temperature, *Theoretical and Applied Climatology*, 42 (2), 117–119, DOI: 10.1007/BF00868218
- TINMAKER, M. I. R., KAUSHAR, A., BEIG, G. (2010): Relationship between lightning activity over Peninsular India and Sea Surface Temperature, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49 (4), 828–835, DOI: 10.1175/2009JAMC2199.1
- TOMASSINI, L., ELIZALIDE, A. (2012): Does the Mediterranean Sea influence the European summer climate? The anomalous summer 2003 as a test bed, *Journal of Climate*, 25 (20), 7028–7045, DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00330.1
- TRAVASSO, M. I., MAGRIN, G. O., RODRÍGUEZ, G. R. (2003): Relations between sea-surface temperature and crop yields in Argentina, *International Journal of Climatology*, 23 (13), 1655-1662, DOI: 10.1002/joc.957

- VLAHAKIS, G. N., POLLATOU, R. S. (1993): Temporal variability and spatial distribution of Sea Surface Temperatures in the Aegean Sea, *Theoretical and Applied Climatology*, 47 (1), 15–23, DOI: 10.1007/BF00868892
- YASUNAKA, S., HANAWA, K. (2011): Intercomparison of historical sea surface temperature datasets, *International Journal of Climatology*, 31 (7), 1056–1073, DOI: 10.1002/joc.2104
- ZHENG, Y., BOURASSA, M. A., HUGHES, P. (2013): Influences of Sea Surface Temperature gradients and surface roughness changes on the motion of surface oil: a simple idealized study, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52 (7), 1561–1575, DOI: 10.1175/JAMC-D-12-0211.1