

Toplinski valovi na Jadranu

Pilić, Pave

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, University of Split, Faculty of science / Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:166:866610>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-10**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Science](#)



SVEUČILIŠTE U SPLITU
PRIRODOSLOVNO MATEMATIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

Toplinski valovi na Jadranu

Pave Pilić

Split, rujan 2020.

Sadržaj

1.	Uvod.....	4
1.1.	Toplinski valovi.....	5
1.2.	Klimatska regionalizacija Jadrana.....	7
2.	Meteorološke postaje, podaci i motrenja.....	9
2.1.	Izračun podataka.....	10
3.	Analiza rezultata.....	12
3.1.	Podaci.....	13
3.1.1.	Meteorološka postaja Venecija / Tessera (Italija).....	13
3.1.2.	Meteorološka postaja Portorož (Slovenija).....	15
3.1.3.	Meteorološka postaja Senj.....	17
3.1.4.	Meteorološka postaja Split / Marjan.....	19
3.1.5.	Meteorološka postaja Hvar.....	21
3.1.6.	Meteorološka postaja Termoli (Italija).....	23
3.1.7.	Meteorološka postaja Dubrovnik.....	25
3.1.8.	Meteorološka postaja Brindisi (Italija).....	27
3.1.9.	Usporedba rezultata.....	29
3.2.	Diskusija rezultata analize.....	31
3.2.1.	Kretanje srednje, maksimalne i minimalne temperature.....	31
3.2.2.	Vrući i vrlo vrući dani, 95. i 99. percentil, meteorološki ekstremi.....	33
3.2.3.	Usporedba s razdobljem 1971.-2000.....	35
4.	Zaključak.....	37
5.	Literatura.....	40

1. Uvod

Vrlo visoka temperatura zraka može uzrokovati brojne zdravstvene probleme, posebno kod najosjetljivijih skupina ljudi kao što su starije osobe, kronični bolesnici, mala djeca te osobe čiji posao uključuje fizički rad i dulji boravak na otvorenim prostorima.

Temperatura koja predstavlja određenu opasnost nije jednaka za sva područja, već ovisi o klimatskom području u kojem stanovništvo živi. Zbog toga povišena temperatura koja predstavlja probleme za ljude koji žive u hladnijem području, kao što je sjever Europe, ne predstavlja značajniji rizik za stanovnike na području Sredozemlja gdje su takve pojave uobičajene.

Područje uz Jadran, premda je razmjerno malo, ima vrlo raznoliku klimu i postoje značajne razlike u klimatskim prilikama na različitim dijelovima područja, što se posebno odnosi na sjever i jug područja.

Ovakve pojave, koje mogu potrajati nekoliko dana, imaju značajan utjecaj na društvo, uključujući porast broja smrtnih slučajeva koji su povezani s vrućinom. Toplinski valovi spadaju u najopasnije prirodne opasnosti, ali rijetko dobivaju odgovarajuću pozornost jer razmjer njihove opasnosti nije uvijek očigledan.

Osim ljudskih žrtava, abnormalno visoke temperature mogu izazvati nestašice struje, glad zbog štete u vegetaciji, šumske požare i infrastrukturna oštećenja.

Proučavanjem toplinskih valova na području Jadrana dolazimo do analize različitih posljedica koje ove pojave ostavljaju na navedenom području, te povezujemo njihovu pojavu s ostalim klimatskim parametrima za ovo područje.

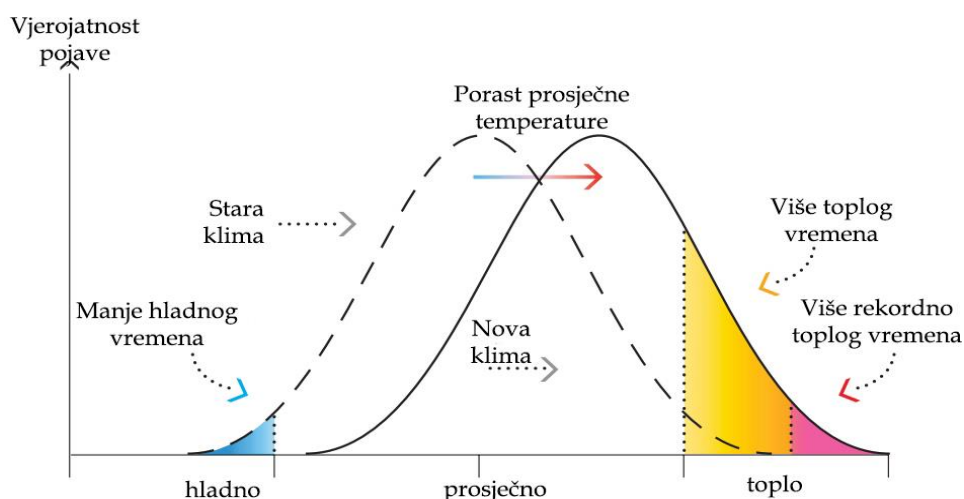
1.1. Toplinski valovi

Toplinski val razdoblje je abnormalno visokih temperatura u odnosu na one koje su uobičajene za neko područje. Mogu trajati nekoliko dana do nekoliko tjedana, a njihova sve veća učestalost i intenzitet primijećeni su od 1950-ih godina i povezani su s klimatskim promjenama.

Takve vremenske pojave može pratiti niska vlažnost koja može pogoršati sušu ili visoka vlažnost koja može pogoršati zdravstvene učinke stresa povezanog s toplinom, što uključuje iscrpljenost, dehidraciju i srčani udar.

Ne postoji standardizirana definicija toplinskog vala. Recenzirana definicija iz Pojmovnika meteorologije navodi da toplinski val mora trajati najmanje jedan dan, ali dogovorno od nekoliko dana do nekoliko tjedana.^[1] Svjetska meteorološka organizacija definira toplinski val kao niz od pet ili više dana u kojim je maksimalna temperatura viša od prosječne maksimalne temperature za 5°C ili više. Međutim, ova definicija razlikuje se od države do države te su neke zemlje odredile vlastite kriterije za proglašavanje toplinskog vala.

Ekstremni vremenski događaji po definiciji su rijetki događaji. S klimatskim promjenama, čak i ako statistička raspodjela takvih događaja ostaje ista, pomak srednje vrijednosti podrazumijeva nelinearnu učestalost ekstremnih događaja. Globalnim zatopljenjem raste i mogućnost pojave toplinskih valova.^[2]



Slika 1. Utjecaj globalnog zatopljenja na ekstremne vremenske pojave ^[2]

Rastom prosječne temperature zraka rastu minimalne i maksimalne temperature što posljedično rezultira sve rjeđim pojavama ekstremno hladnog vremena i sve češćim pojavama dugotrajnih toplijih razdoblja, uz koja se češće javlja i iznimno toplo vrijeme.

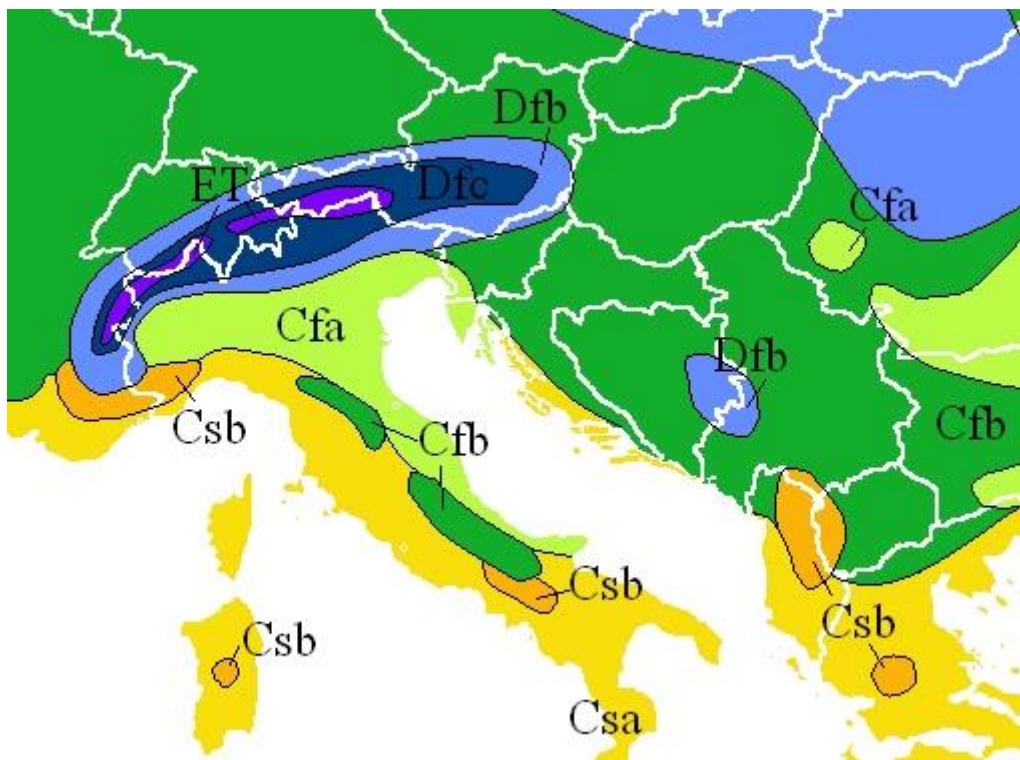
U velikoj većini slučajeva toplinski valovi na Jadranu javljaju se u periodu klimatološkog ljeta, koje traje od 1. lipnja do 1. rujna, s naglaskom na srpanj i kolovoz koji su i statistički najtopliji mjeseci u godini.

1.2. Klimatska regionalizacija Jadrana

Klimatska regionalizacija Jadrana po W. Köppenu u standardnom razdoblju 1961.-1990- izgleda ovako: čitava obala Jadrana ima klime Cs razreda - sredozemnu klimu i Cf razreda – umjereno toplu vlažnu klimu.

Treba naglasiti da je Köppen za podtipove klima C kojih ima i na Jadranu uveo uže oznake:

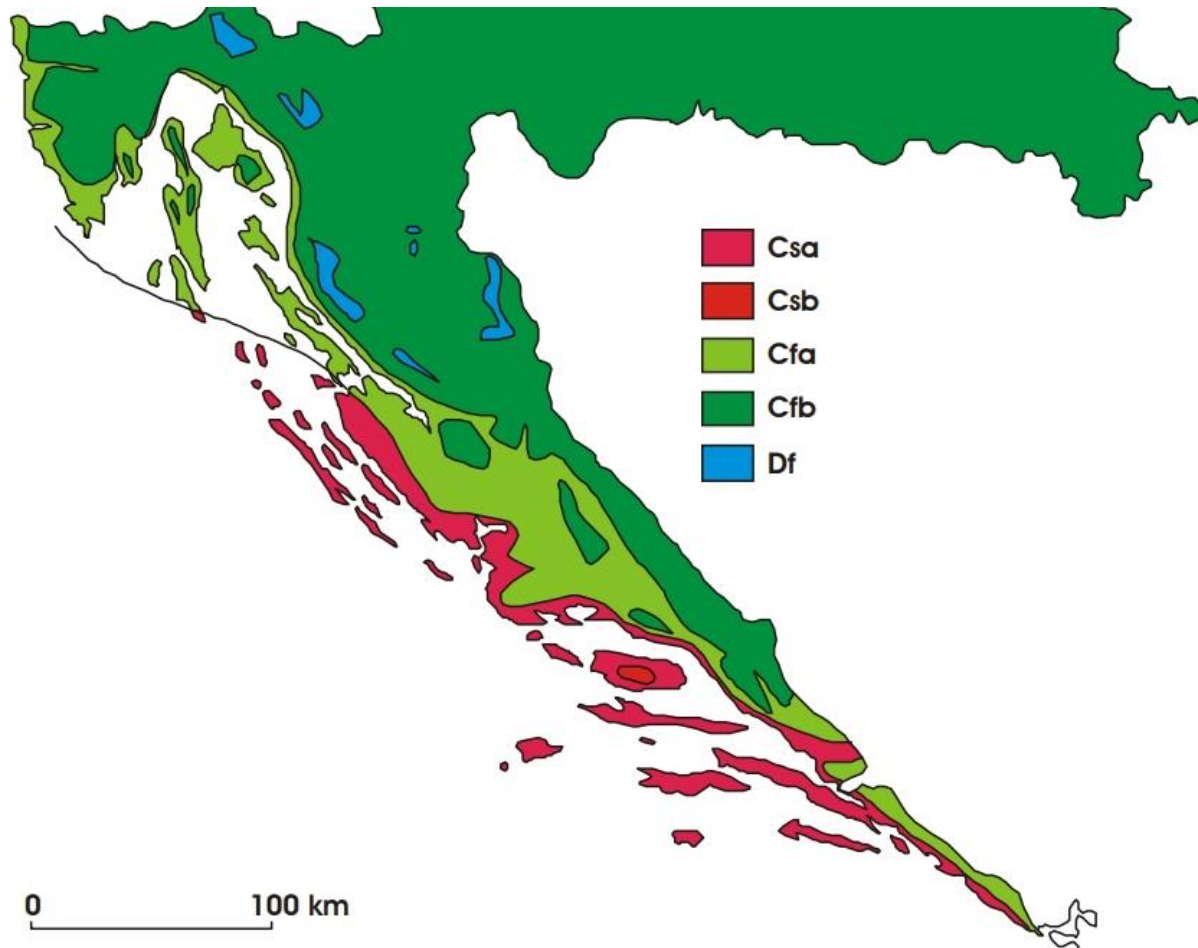
- Csa - sredozemna klima s vrućim ljetom, srednja temperatura zraka najtoplijeg mjeseca veća ili jednaka 22 stupnja Celzijeva;
- Csb - sredozemna klima s toplim ljetom, srednja temperatura zraka najtoplijeg mjeseca niža od 22 stupnja Celzijeva;
- Cfa - umjereno topla vlažna klima s vrućim ljetom, srednja temperatura zraka najtoplijeg mjeseca veća ili jednaka 22 stupnja Celzijeva;
- Cfb - umjereno topla vlažna klima s toplim ljetom, srednja temperatura zraka najtoplijeg mjeseca niža od 22 stupnja Celzijeva.^[3]



Slika 2. Klimatska regionalizacija šireg područja Jadrana^[3]

Sredozemnu klimu ima cijela obala Dalmacije, obala Albanije i dio talijanske obale koji pripada Jadranu. To je sredozemna klima s vrućim ljetom (Csa). Samo manje područje u najvišem dijelu Brača i Hvara ima sredozemnu klimu s toplim ljetom (Csb).

Sjevernije od sredozemne klime, na istočnoj obali Jadrana, javlja se umjereno topla vlažna klima, tipa Cf. Topliji uski primorski pojas i otoci sjevernog Jadrana imaju umjereno toplu vlažnu klimu s vrućim ljetom (Cfa), a viši otočni i priobalni predjeli s toplim ljetom (Cfb).



Slika 3. Tipovi klime na istočnoj obali Jadrana (Hrvatska)^[4]

Svi navedeni tipovi klime podložni su iznimno visokim temperaturama karakterističnim za toplinske valove. Također, valja naglasiti da istočna obala Jadrana u prosjeku ima više sunčanih sati od zapadnog, talijanskog dijela obale.

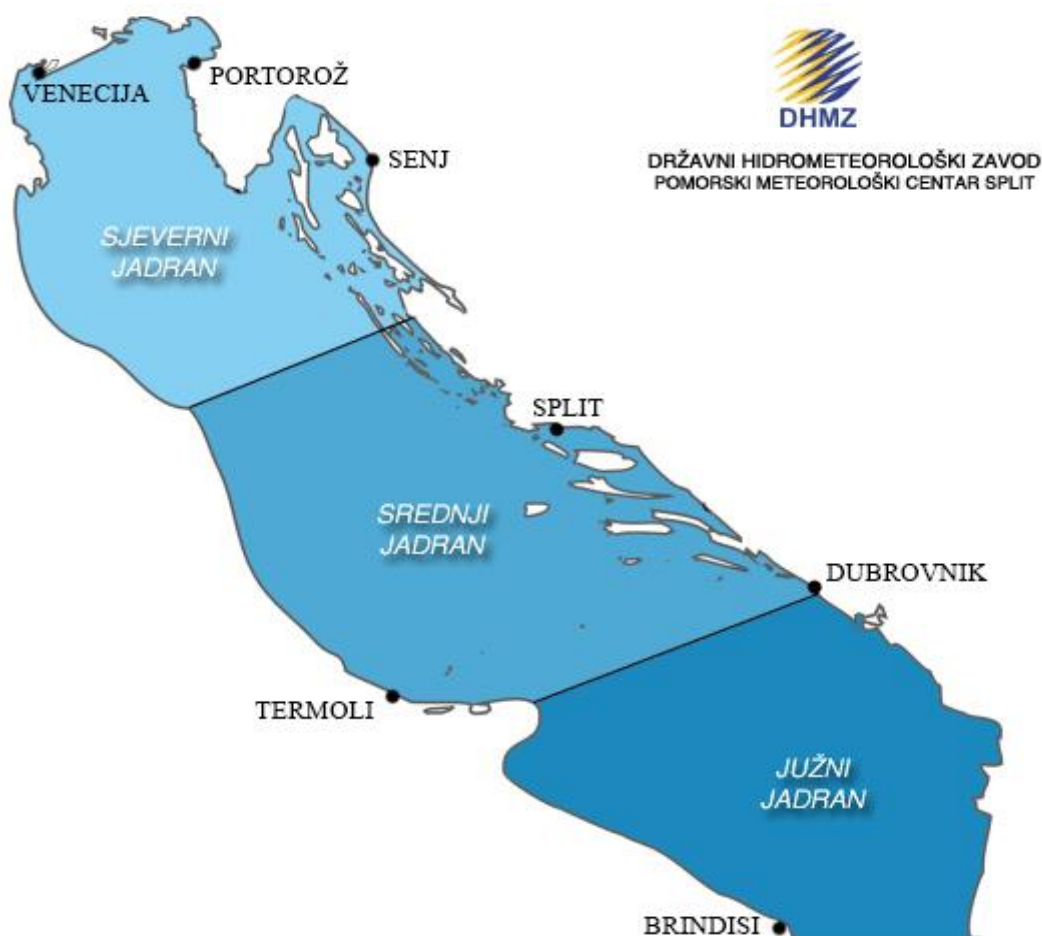
2. Meteorološke postaje, podaci i motrenja

Za analizu toplinskih valova na Jadranu koristit ćemo službenu podjelu na sjeverni, srednji i južni Jadran kakvu koristi Pomorski meteorološki centar Split Državnog hidrometeorološkog zavoda.^[5]

Na sjevernom dijelu Jadrana gdje vlada umjereno topla vlažna klima istočnu stranu Jadrana predstavljat će klimatološke postaje u Senju i Portorožu, a zapadnu Venecija.

Na istočnoj obali srednjeg Jadrana uzimamo Split, a na zapadnoj Termoli u Italiji. Na ovom području obrađujemo i klimatološku postaju na Hvaru.

U južnom Jadranu na zapadnoj strani odabrana je postaja u Brindisiju, a na istočnoj Dubrovnik koji je na granici srednjeg i južnog Jadrana. Interval koji se promatra je od 2000. do 2020. godine.



Slika 4. Podjela Jadrana prema PMC-u Split^[5]

2.1. Izračun podataka

Kao izvor podataka koristimo bazu meteorološkog informacijskog servisa Ogimet koji prikuplja meteorološke podatke velikog broja službenih javnih meteoroloških postaja na svijetu.^[6]

U računu se koriste podaci dnevnih maksimalnih, minimalnih i srednjih temperatura, koje nam trebaju za izračun srednjih mjesečnih temperatura zraka, te prosječnih minimalnih i maksimalnih dnevnih temperatura za sve ljetne mjesece u navedenim meteorološkim postajama.

Srednja dnevna temperatura za određeni datum

Za najpreciznije određivanje klimatologije nekog područja koristi se srednja dnevna temperatura. Uzimamo, na primjer, srednju temperaturu na datum 1. lipnja od 2000. godine i na isti datum svake iduće godine, do 2020., te ih sumiramo i podijelimo s brojem koliko se puta 1. lipanj javio u tom razdoblju. Tako smo dobili srednju dnevnu temperaturu za datum 1. lipanj u razdoblju od 2000. do 2020. godine.

Na isti način računaju se i datumske prosječne minimalne i maksimalne temperature zraka.

Prosječna maksimalna i minimalna mjesečna temperatura za jedan mjesec u jednoj godini

Prosječnu maksimalnu (minimalnu) temperaturu za određeni mjesec dobijemo sumom svih datumskih maksimalnih (minimalnih) temperatura u tom mjesecu, koju podijelimo s brojem dana u tom mjesecu (30 lipanj, 31 srpanj i kolovoz).

$$\text{Prosječna } t_{max}/t_{min} = \frac{\sum_1^{30 \text{ ili } 31} \text{ dnevni } t_{max}/t_{min}}{30 \text{ ili } 31 \text{ dana}}$$

Naravno, to nam otkriva situaciju samo za taj mjesec u jednoj godini, a nama treba 21-godišnja klimatološka slika tog mjeseca.

Prosječna maksimalna i minimalna mjesečna temperatura za jedan mjesec u klimatološkom razdoblju

Nakon što smo izračunali prosječnu maksimalnu (minimalnu) temperaturu za npr. lipanj 2000. godine, izračunamo je i za preostale godine do 2020., pa te prosjeke podijelimo s brojem godina u klimatološkom razdoblju kojeg promatramo (u ovom slučaju 21 godina) i dobijemo prosječnu maksimalnu (minimalnu) dnevnu temperaturu za lipanj u klimatološkom razdoblju od 2000. do 2020. godine.

Srednja mjesečna temperatura za jedan mjesec u jednoj godini

Srednju temperaturu za određeni mjesec dobijemo sumom svih srednjih dnevnih temperatura tog mjeseca, koju podijelimo s brojem dana u mjesecu (30 ili 31).

$$\text{Srednja mjesečna temp.} = \frac{\sum_1^{30 \text{ ili } 31} \text{srednja dnevna temperatura}}{\text{broj dana u mjesecu}}$$

Srednja mjesečna temperatura za jedan mjesec u klimatološkom razdoblju

Ovaj podatak dobijemo zbrajanjem srednjih mjesečnih temperatura za određeni mjesec i dijeljenjem tog broja s brojem godina u tom klimatološkom razdoblju.

Varijacija, varijanca i standardna devijacija

Varijaciju nađemo tako da odredimo koliko svaka izmjerena vrijednost odstupa od prosječne vrijednosti, kvadriramo to odstupanje i sumiramo kvadrate.

$$\text{Varijacija} = \sum_{k=0}^n (t - \text{tsr})^2$$

Varijanca je prosječan kvadrat tog odstupanja i dobije se dijeljenjem varijacije s brojem mjerenja.

$$\text{Varijanca} = \sigma = \frac{\text{varijacija}}{\text{broj mjerenja}}$$

Standardna devijacija je drugi korijen od vrijednosti varijance.

3. Analiza rezultata

Za svaku od osam navedenih lokacija odredili smo kompletnu temperaturnu sliku klimatološkog ljeta.

Na prvom grafu bit će srednja dnevna temperatura kroz svaki od 92 dana klimatološkog ljeta, te prosječna dnevna maksimalna i minimalna temperatura. Također, prikazana je i srednja temperatura uvećana i umanjena za prvu standardnu devijaciju.

Drugi graf prikazuje ukupan broj dana s maksimalnom temperaturom zraka koja je prešla 95. i 99. percentil po godinama, a treći graf prikazuje ukupan broj vrućih dana ($t_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) i vrlo vrućih dana ($t_{\max} \geq 35^{\circ}\text{C}$).

Posljednji graf prikazuje prosječnu maksimalnu, srednju i minimalnu temperaturu u razdoblju od 2000. do 2020., s linearnim trendom kretanja temperature.

Za lakše određivanje toplinskih valova prvo smo izračunali prosječnu srednju, maksimalnu i minimalnu temperaturu, te odredili srednju temperaturu uvećanu za jednu standardnu devijaciju i srednju temperaturu umanjenu za jednu standardnu devijaciju.

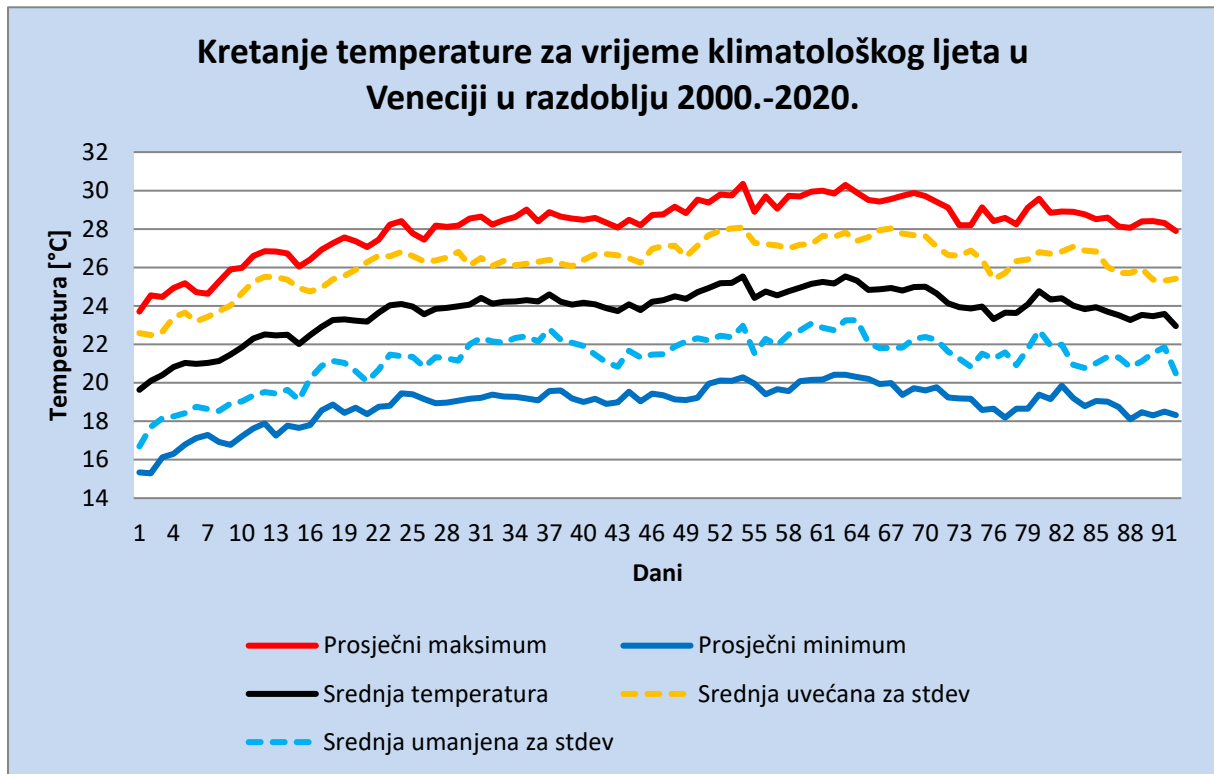
Izračunali smo broj dana kada maksimalna temperatura prelazi 95. i 99. percentil, te broj dana kada maksimalna temperatura prelazi 30°C i 35°C . Određeni su i koeficijenti rasta i prosjeci ovih veličina.

S obzirom na to da je granica od 95. i 99. percentila na svakoj lokaciji drugačija, ovo će nam koristiti kao podatak koliko se često stanovništvo može susretati s ekstremnim temperaturama za svoje područje, dok nam podatak o temperaturama iznad 30°C i 35°C govori ne samo o utjecaju na zdravlje, već i o utjecaju na infrastrukturu i poljoprivredu.

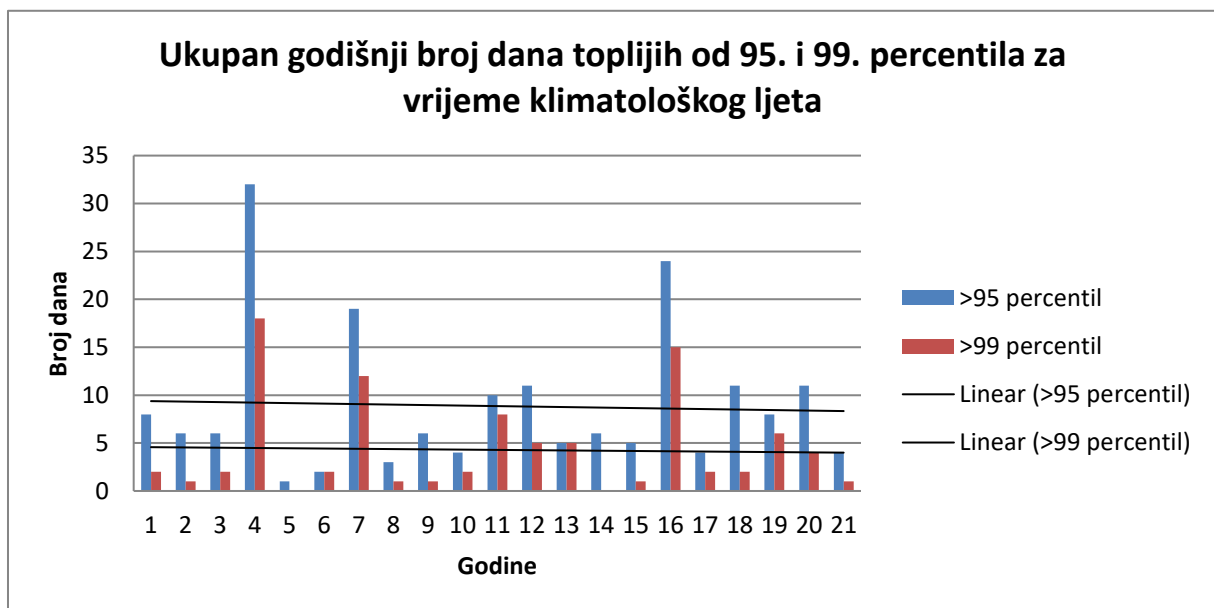
3.1. Podaci

3.1.1. Meteorološka postaja Venecija / Tessera (Italija)

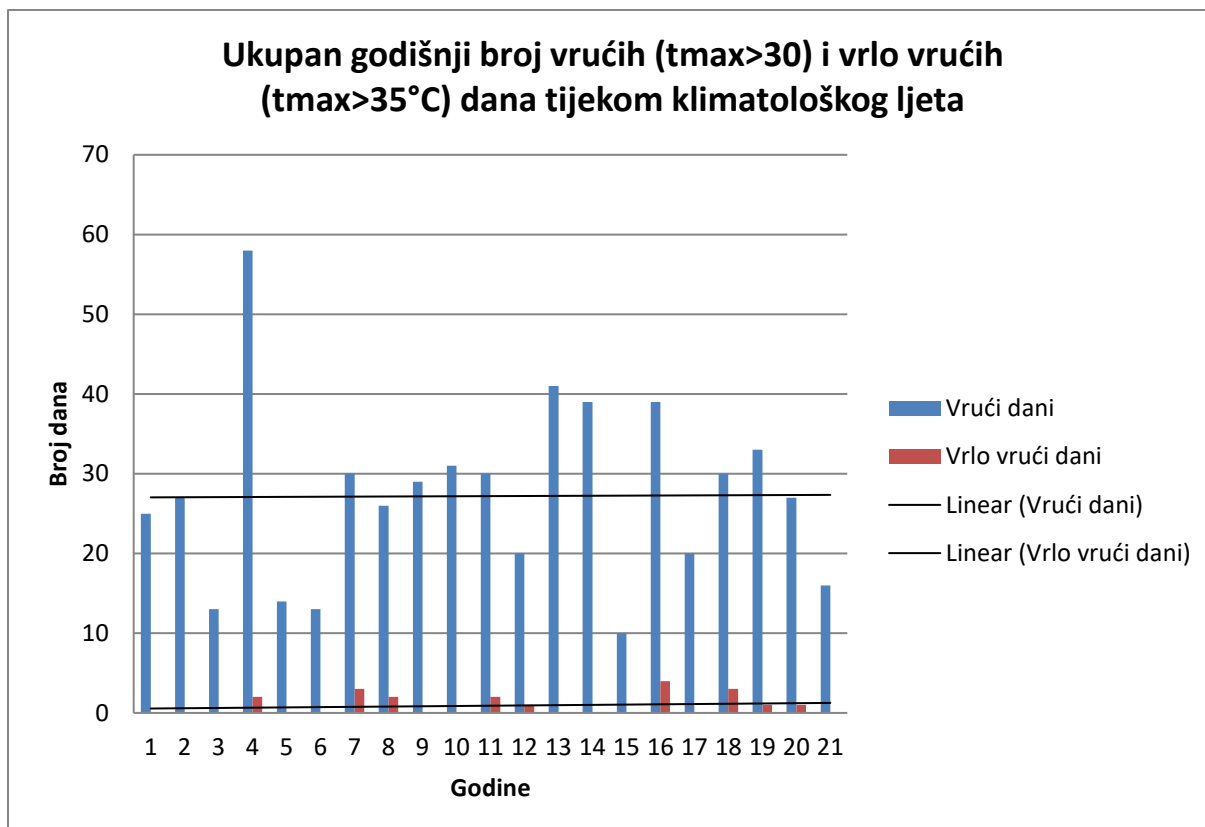
Postaja se nalazi na 2 metra nadmorske visine.



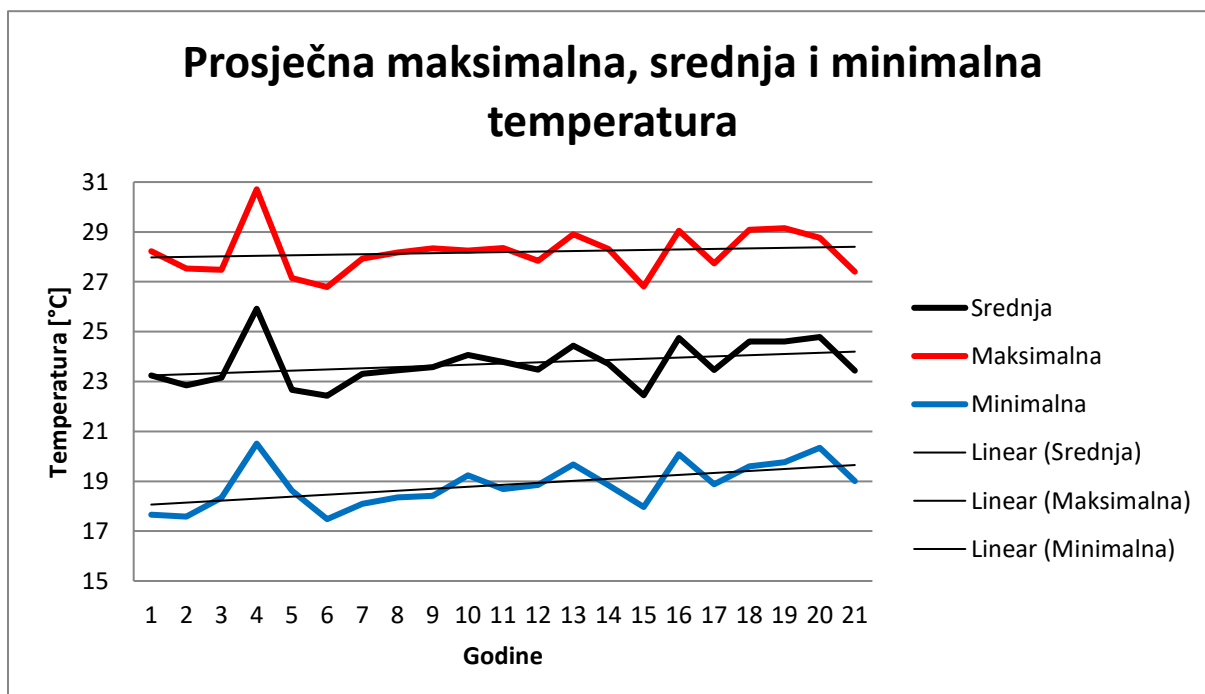
Graf 1. Temperature zraka za vrijeme klimatološkog ljeta u Veneciji u razdoblju 2000.-2020.



Graf 2. Ukupan broj dana s maksimalnom temperaturom iznad 95. i 99. perc. po godinama u Veneciji za vrijeme klimatološkog ljeta



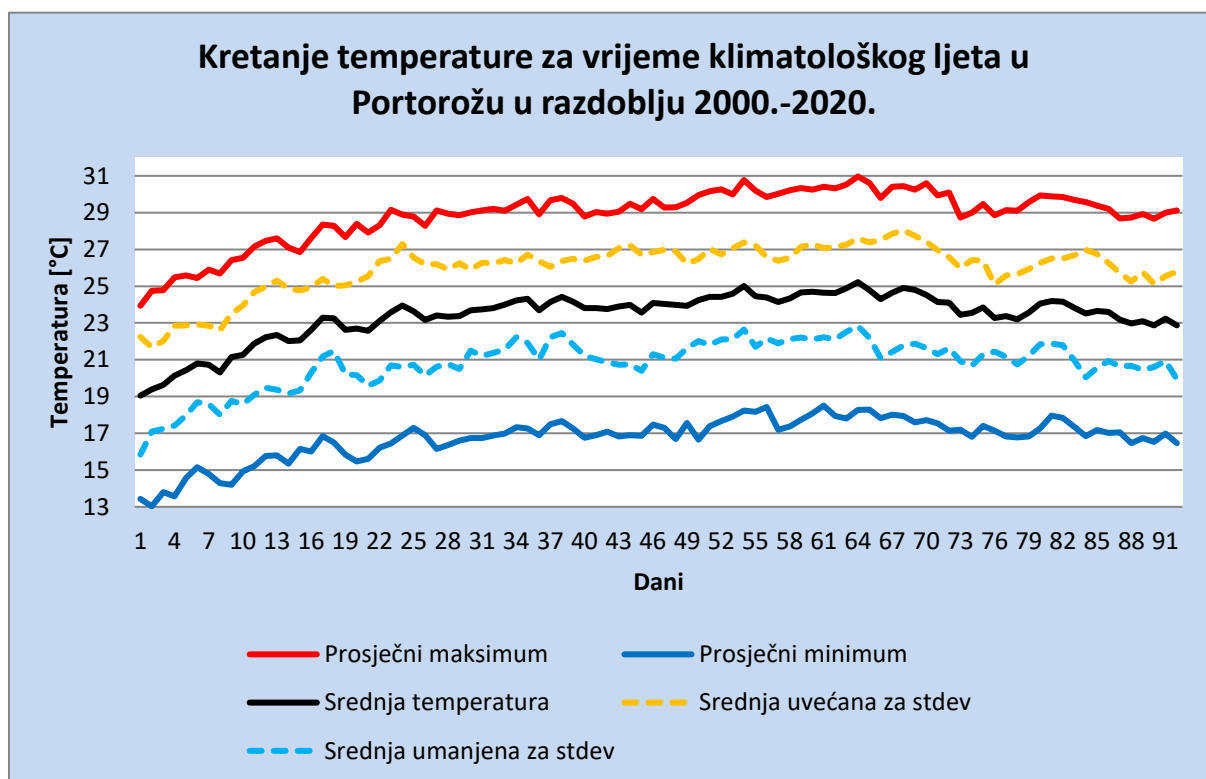
Graf 3. Broj vrućih i vrlo vrućih dana za vrijeme klimatološkog ljeta u Veneciji po godinama (2000.-2020.)



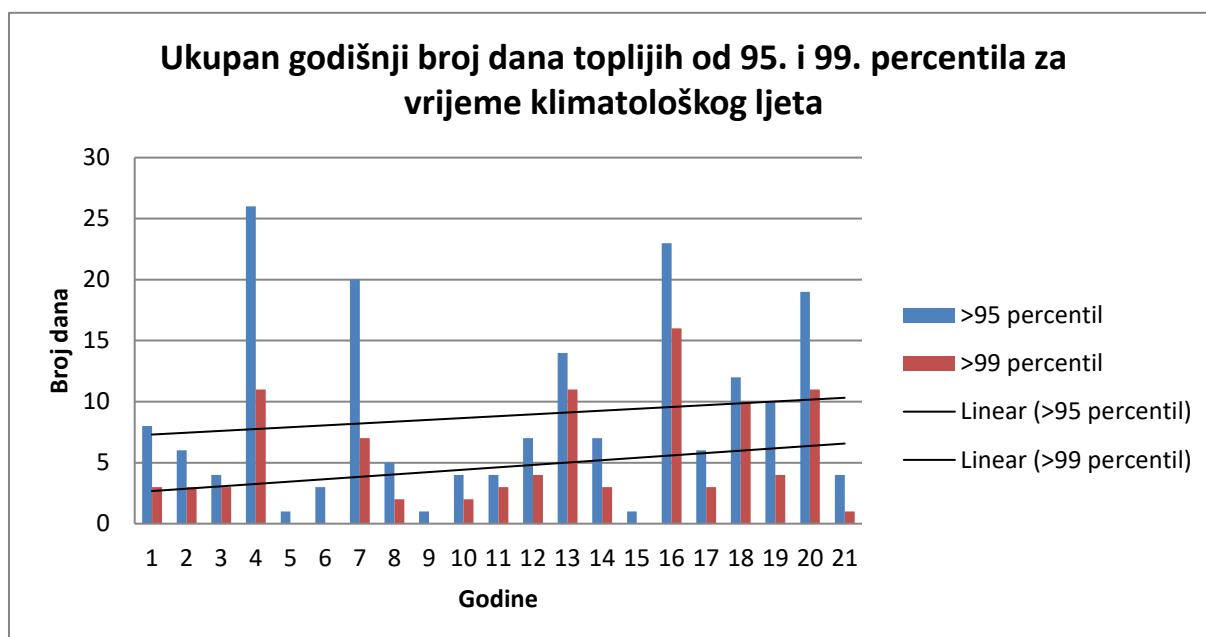
Graf 4. Prosječna godišnja maksimalna, srednja i minimalna temperatura zraka klimatološkog ljeta uz koeficijente rasta za Veneciju po godinama (2000.-2020.)

3.1.2. Meteorološka postaja Portorož (Slovenija)

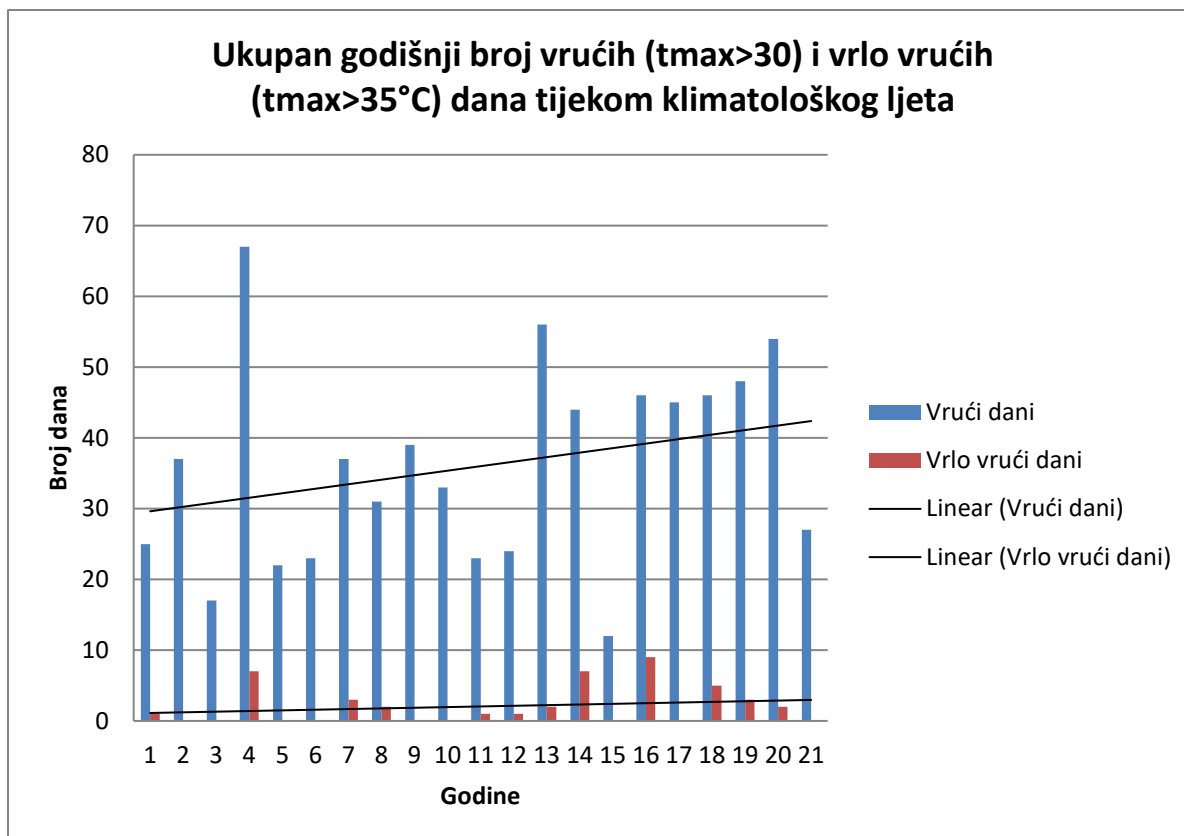
Postaja se nalazi na 2 metra nadmorske visine.



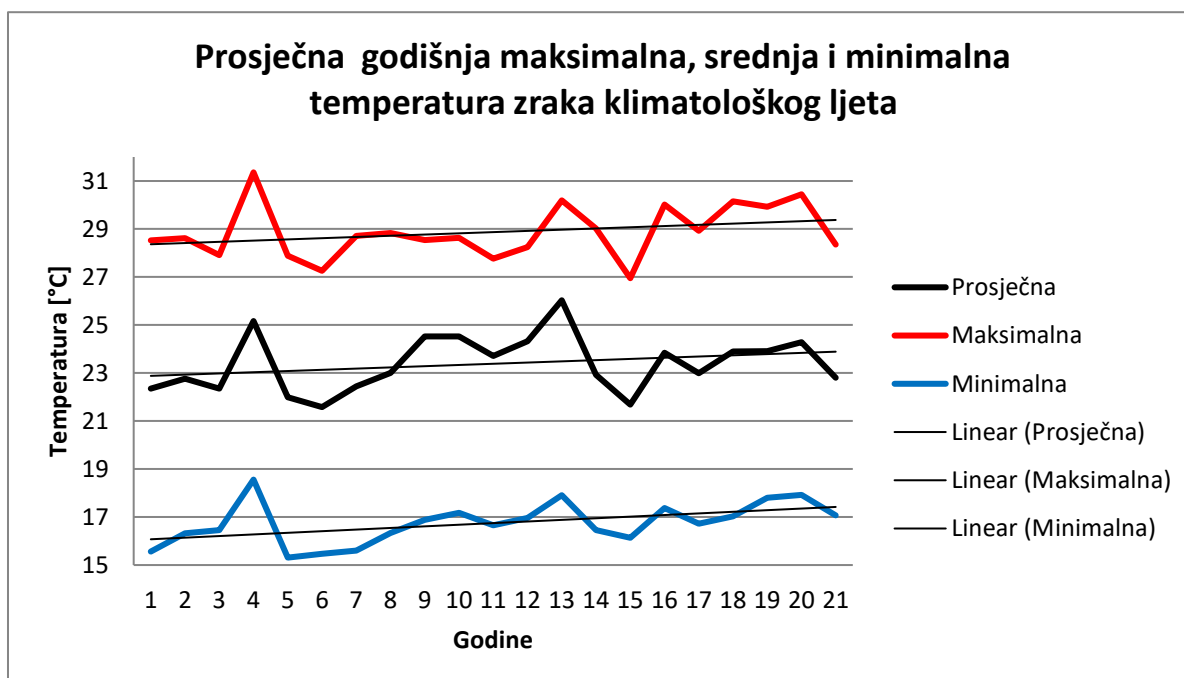
Graf 5. Temperature zraka za vrijeme klimatološkog ljeta u Portorožu u razdoblju 2000.-2020.



Graf 6. Ukupan broj dana s maksimalnom temperaturom iznad 95. i 99. perc. po godinama u Portorožu za vrijeme klimatološkog ljeta



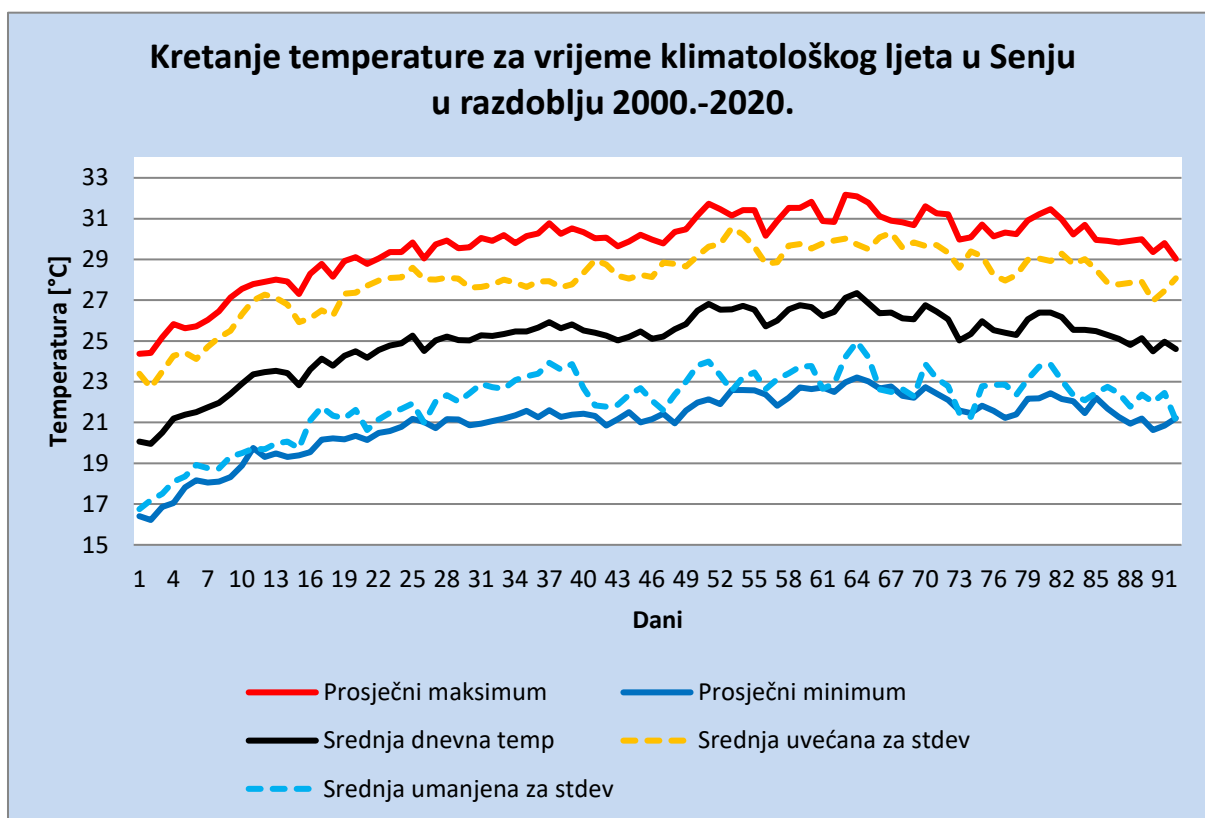
Graf 7. Broj vrućih i vrlo vrućih dana za vrijeme klimatološkog ljeta u Portorožu po godinama (2000.-2020.)



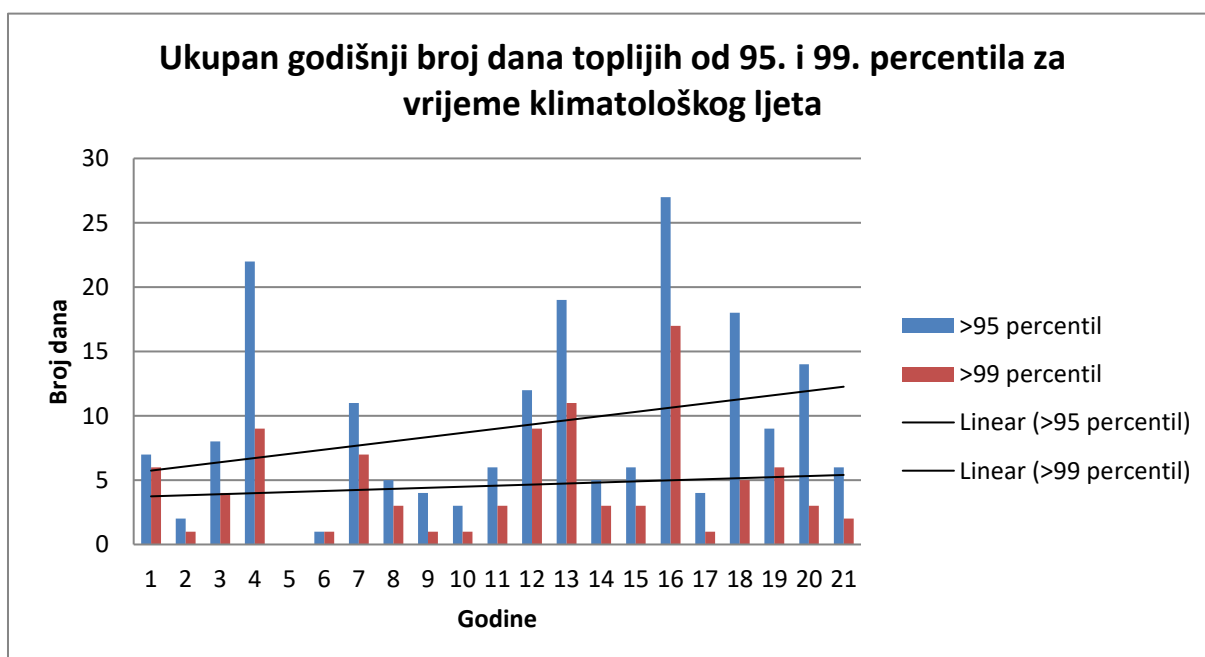
Graf 8. Prosječna godišnja maksimalna, srednja i minimalna temperatura zraka klimatološkog ljeta uz koeficijente rasta za Portorož po godinama (2000.-2020.)

3.1.3. Meteorološka postaja Senj

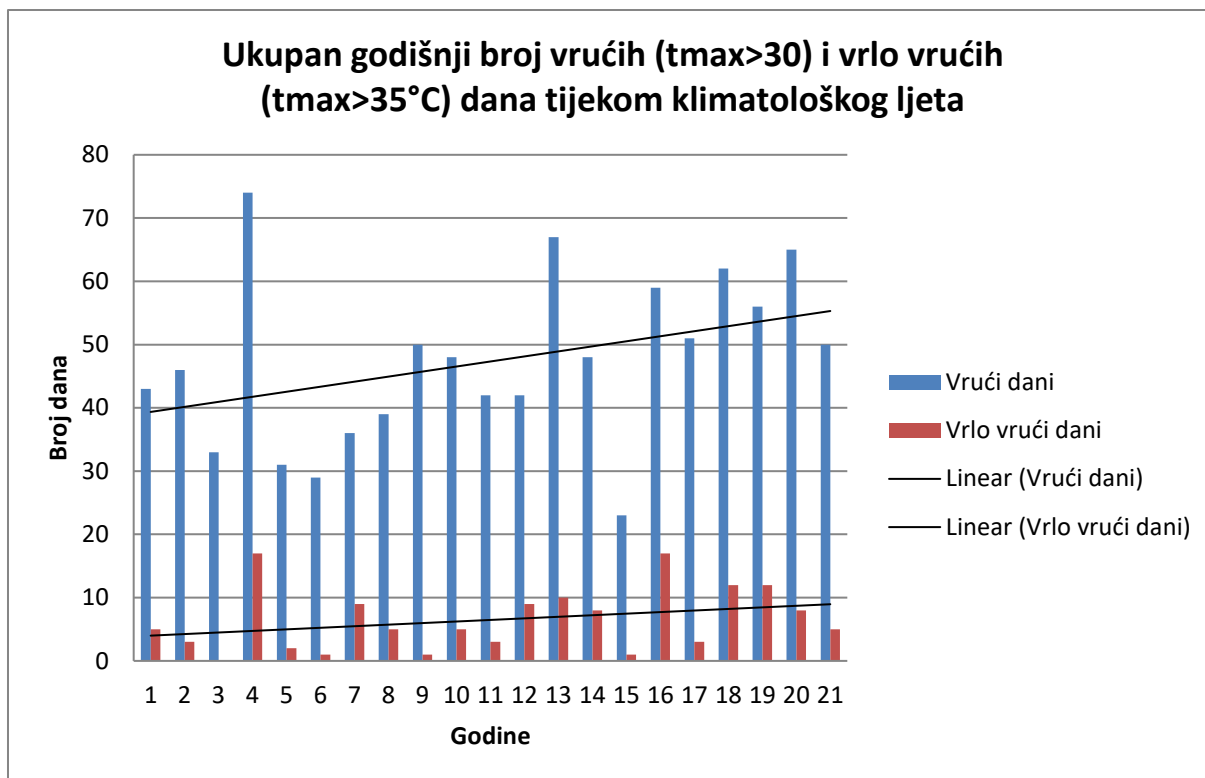
Postaja se nalazi na 26 metara nadmorske visine.



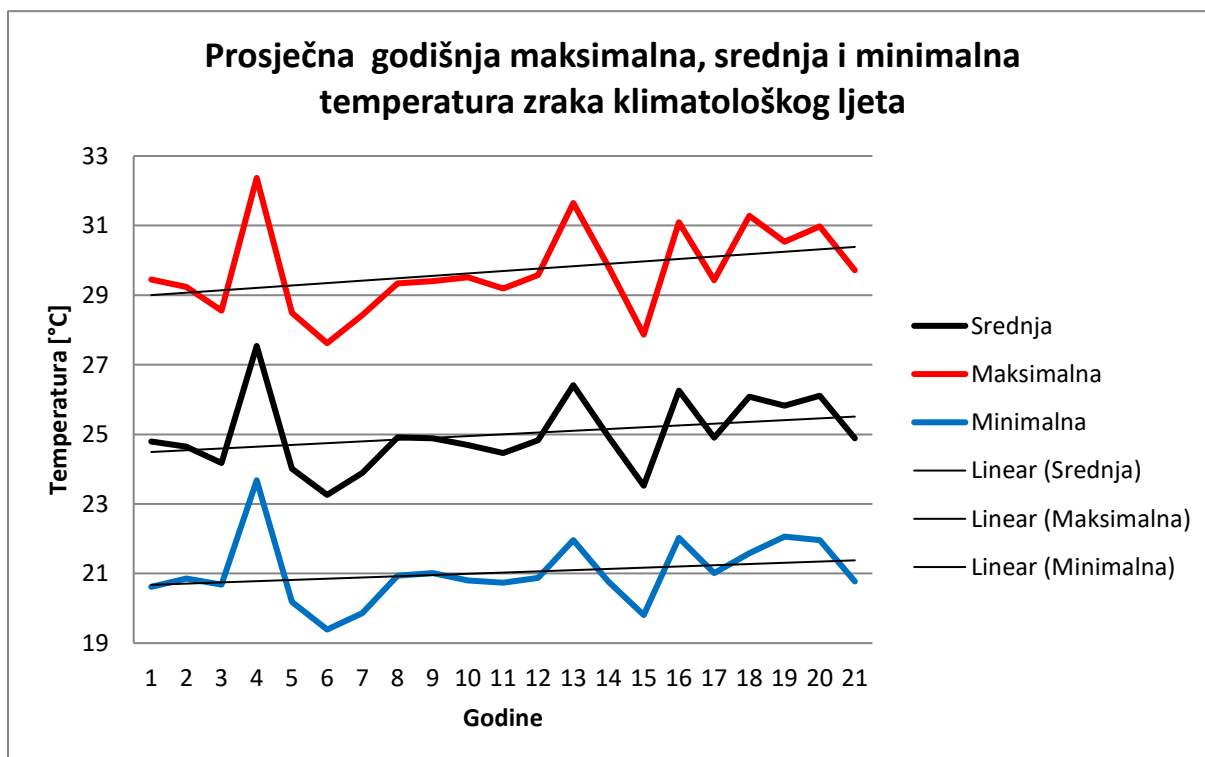
Graf 9. Temperature zraka za vrijeme klimatološkog ljeta u Senju u razdoblju 2000.-2020.



Graf 10. Ukupan broj dana s maksimalnom temperaturom iznad 95. i 99. perc. po godinama u Senju za vrijeme klimatološkog ljeta



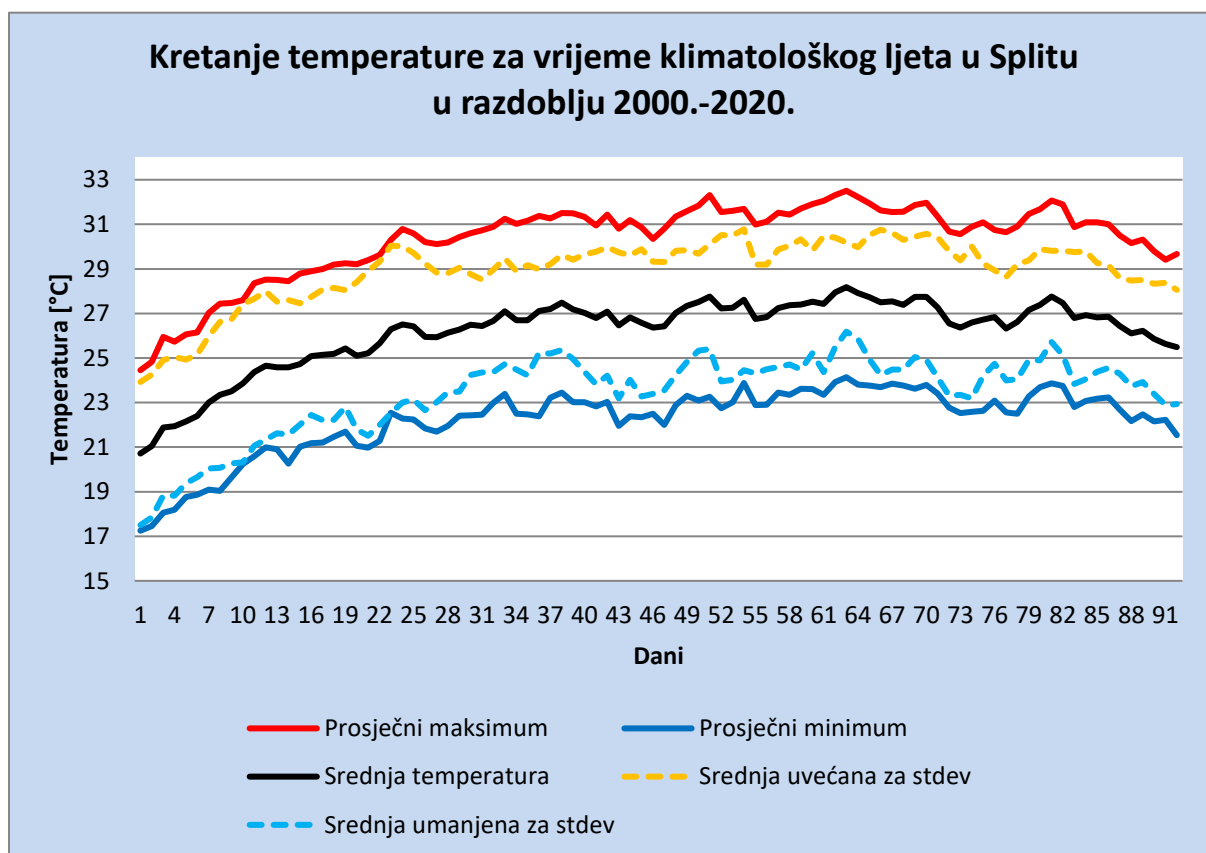
Graf 11. Broj vrućih i vrlo vrućih dana za vrijeme klimatološkog ljeta u Senju po godinama (2000.-2020.)



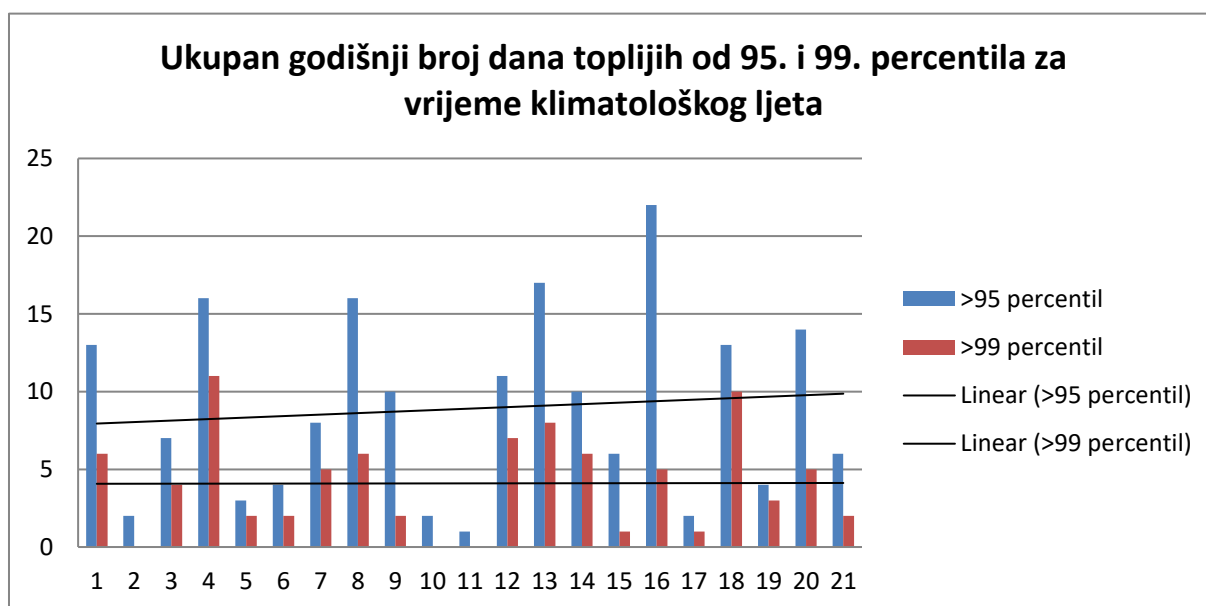
Graf 12. Prosječna godišnja maksimalna, srednja i minimalna temperatura zraka klimatološkog ljeta uz koeficijente rasta za Senj po godinama (2000.-2020.)

3.1.4. Meteorološka postaja Split / Marjan

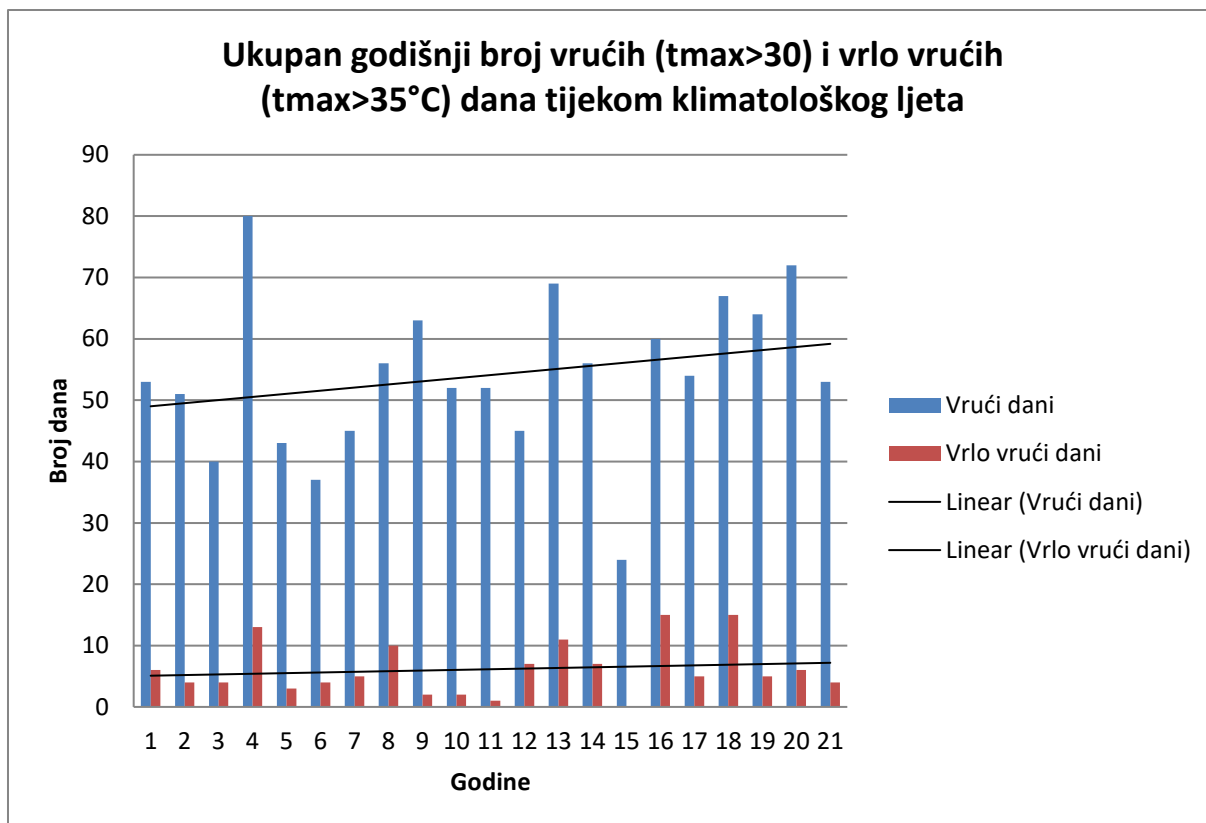
Postaja se nalazi na 122 metra nadmorske visine.



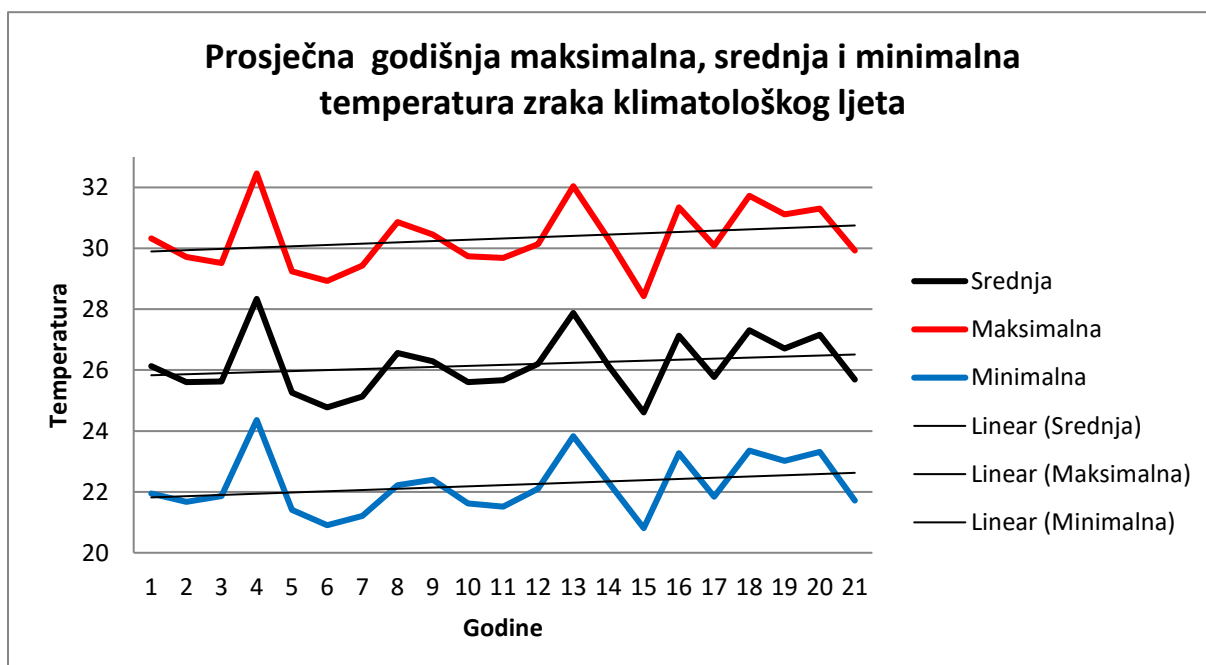
Graf 13. Temperature zraka za vrijeme klimatološkog ljeta u Splitu u razdoblju 2000.-2020.



Graf 14. Ukupan broj dana s maksimalnom temperaturom iznad 95. i 99. perc. po godinama u Splitu za vrijeme klimatološkog ljeta



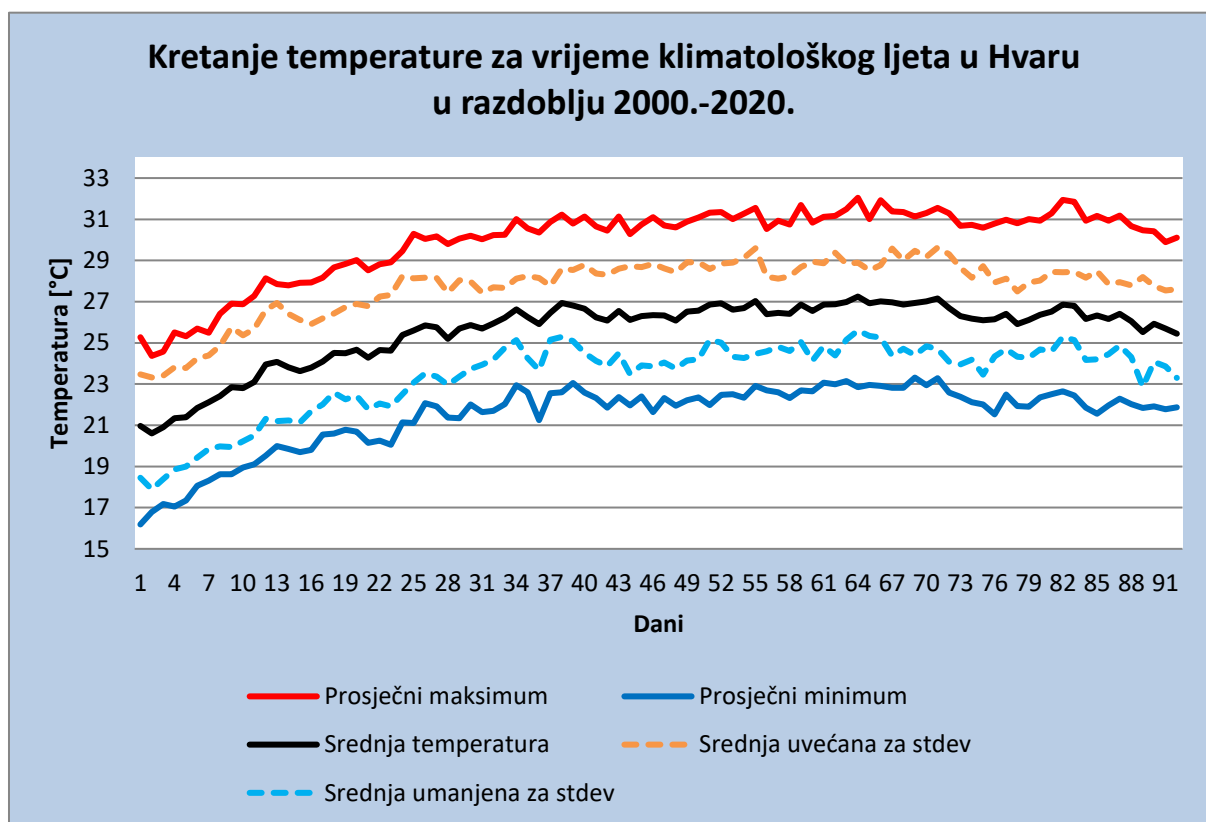
Graf 15. Broj vrućih i vrlo vrućih dana za vrijeme klimatološkog ljeta u Splitu po godinama (2000.-2020.)



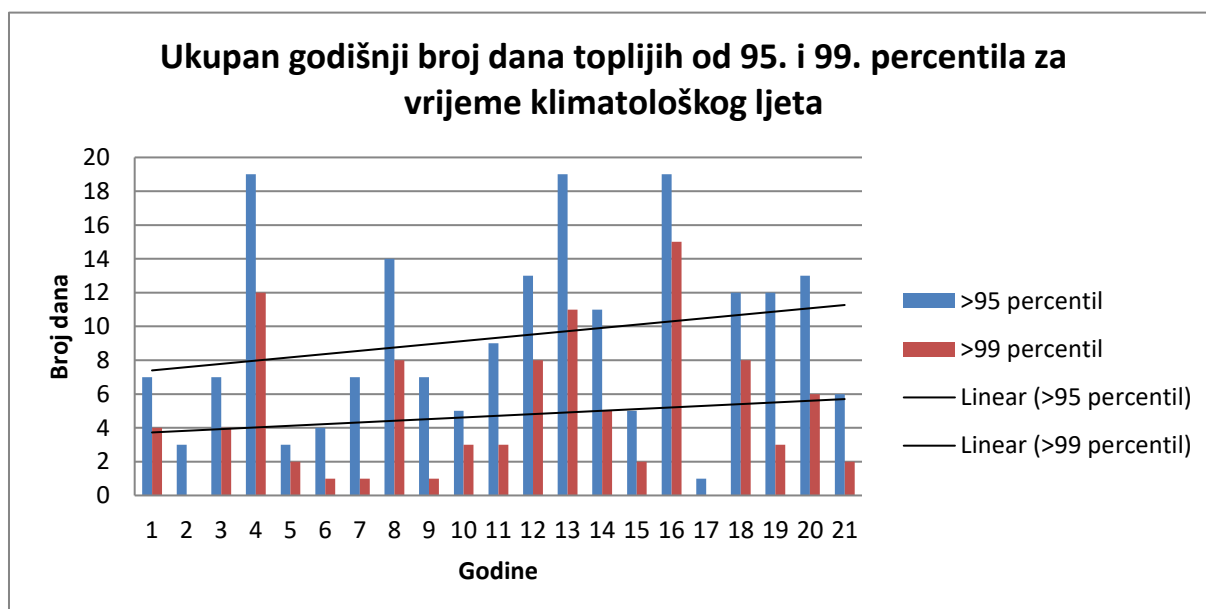
Graf 16. Prosječna godišnja maksimalna, srednja i minimalna temperatura zraka klimatološkog ljeta uz koeficijente rasta za Split po godinama (2000.-2020.)

3.1.5. Meteorološka postaja Hvar

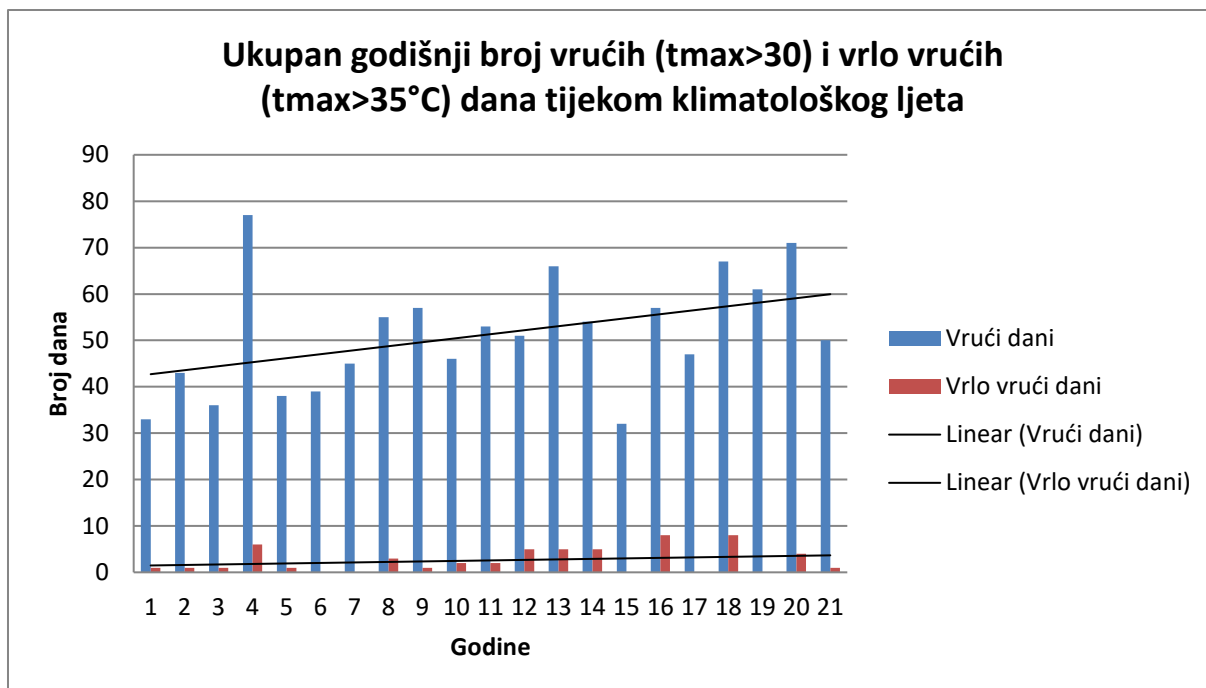
Postaja se nalazi na 20 metara nadmorske visine.



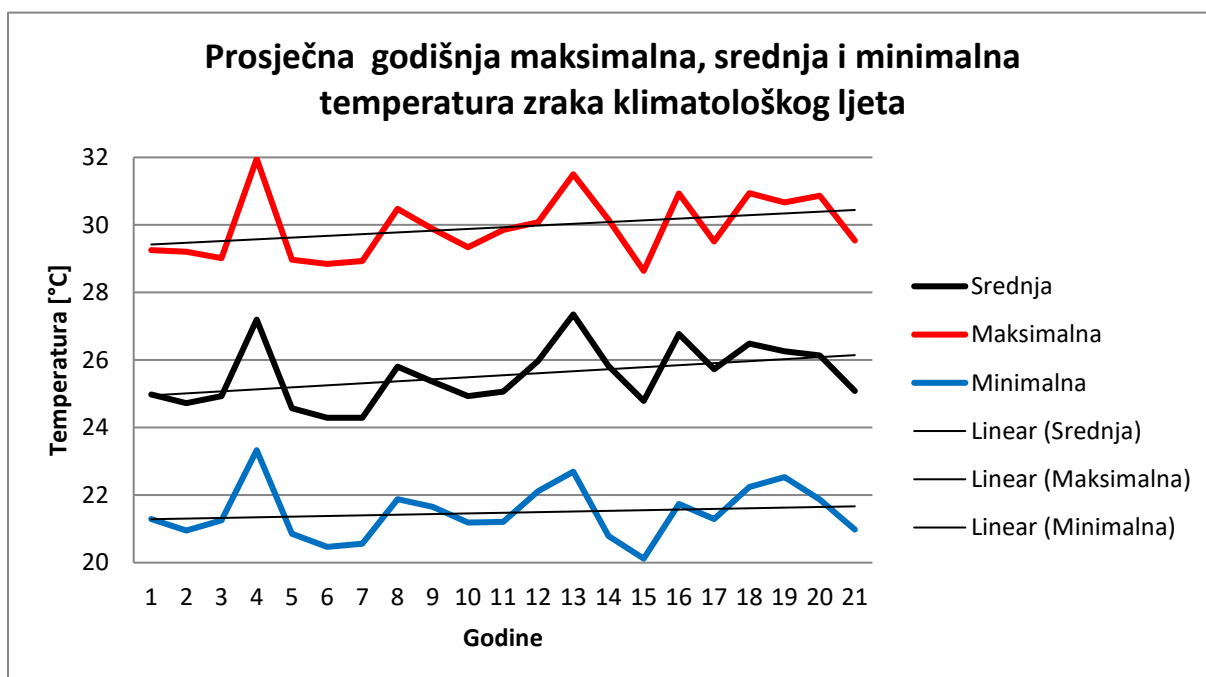
Graf 17. Temperature zraka za vrijeme klimatološkog ljeta u Hvaru u razdoblju 2000.-2020.



Graf 18. Ukupan broj dana s maksimalnom temperaturom iznad 95. i 99. perc. po godinama u Hvaru za vrijeme klimatološkog ljeta



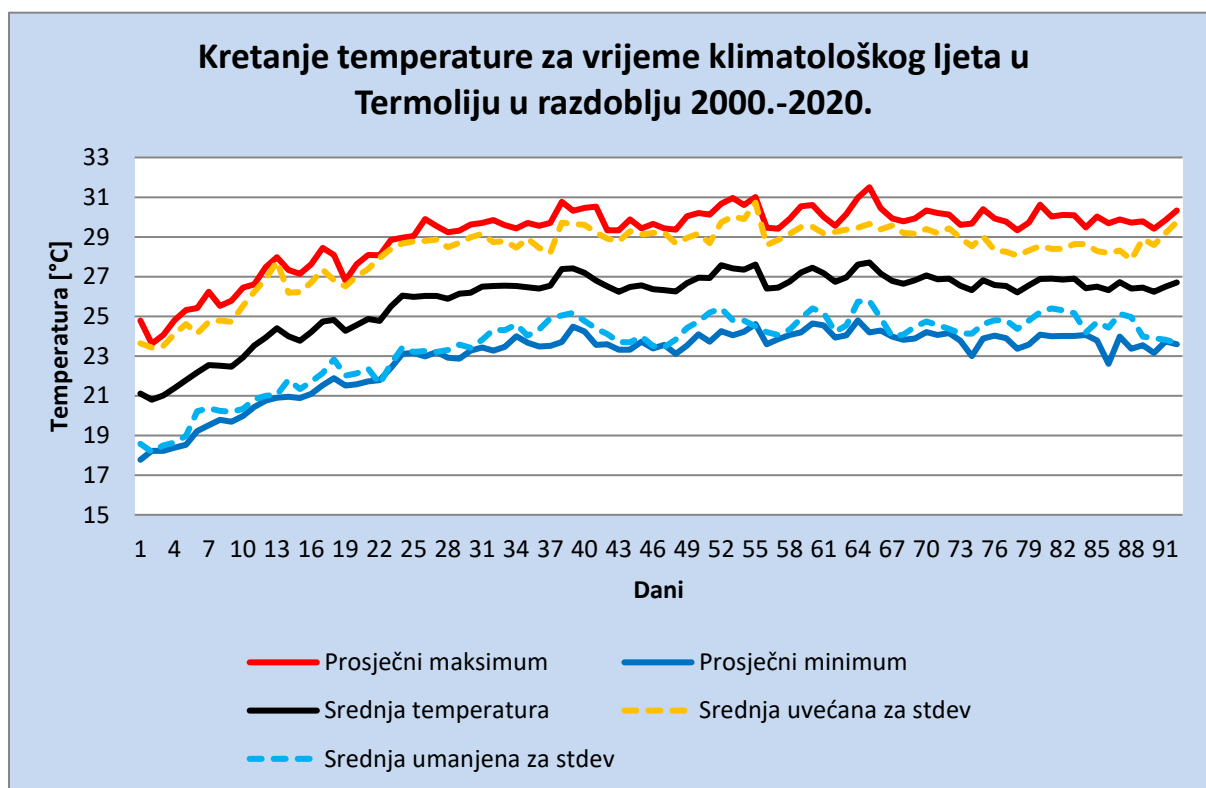
Graf 19. Broj vrućih i vrlo vrućih dana za vrijeme klimatološkog ljeta u Hvaru po godinama (2000.-2020.)



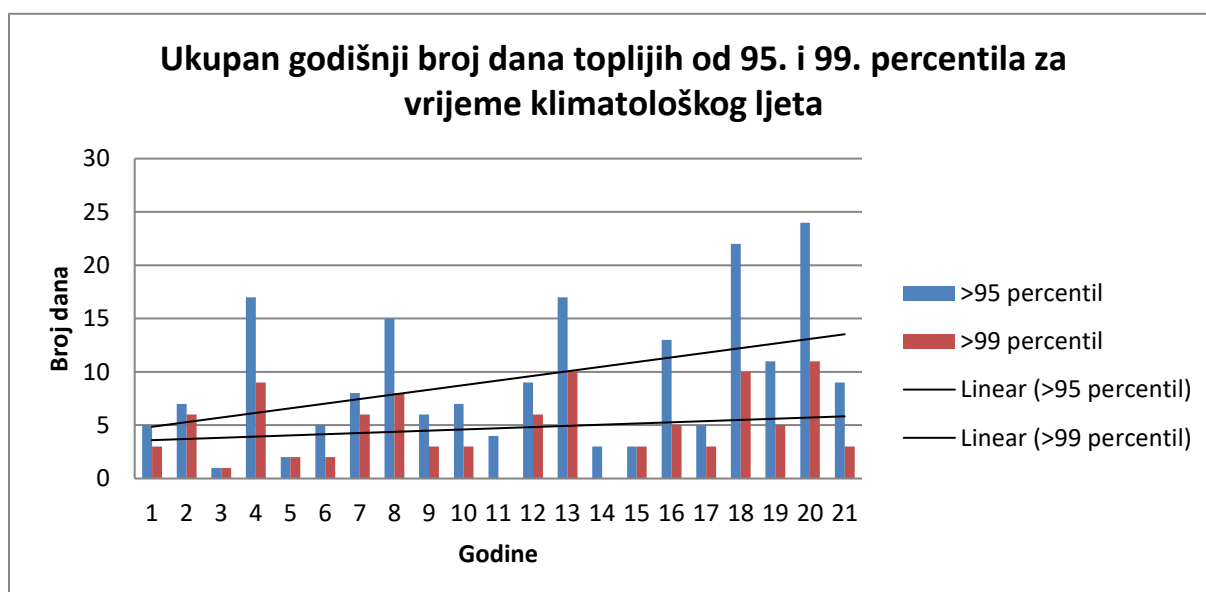
Graf 20. Prosječna godišnja maksimalna, srednja i minimalna temperatura zraka klimatološkog ljeta uz koeficijente rasta za Hvar po godinama (2000.-2020.)

3.1.6. Meteorološka postaja Termoli (Italija)

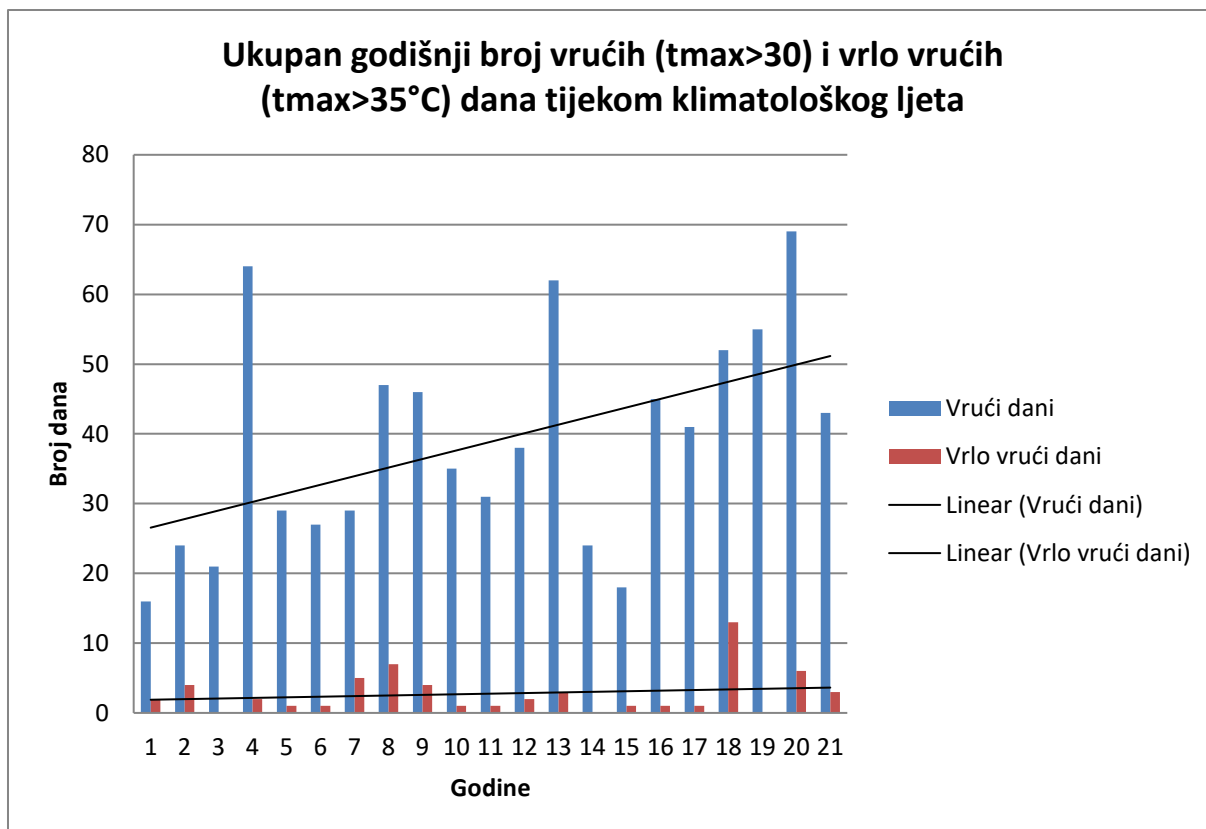
Postaja se nalazi na 16 metara nadmorske visine.



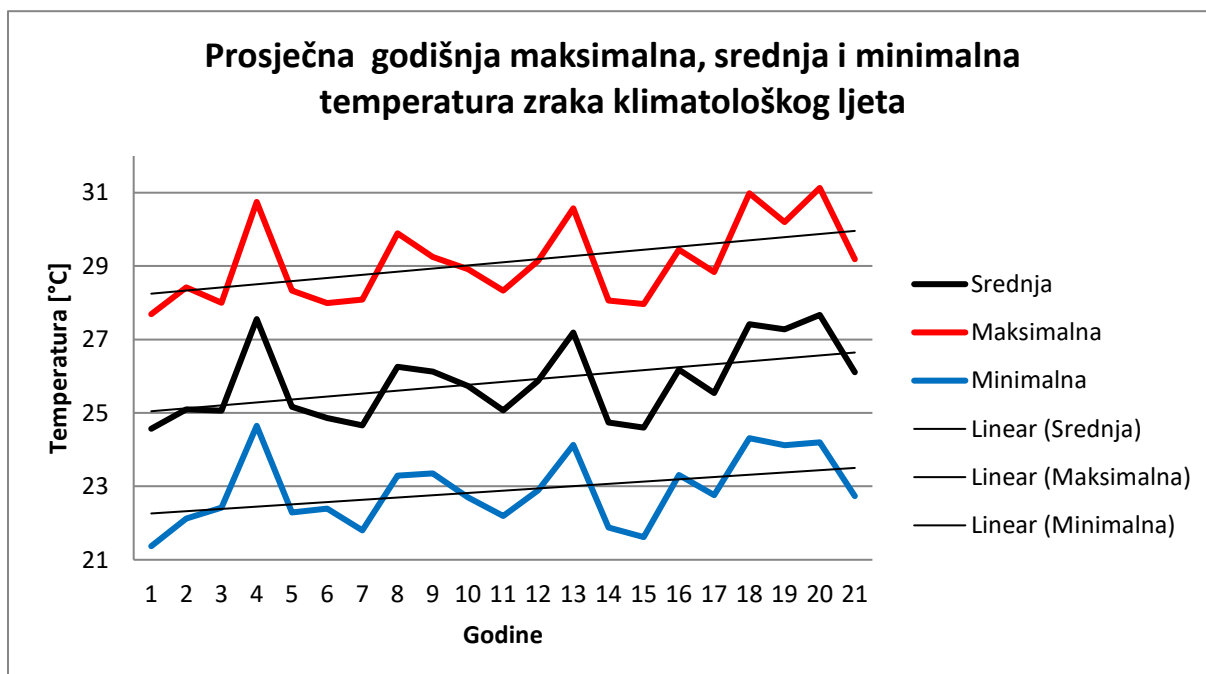
Graf 21. Temperature zraka za vrijeme klimatološkog ljeta u Termoliju u razdoblju 2000.-2020.



Graf 22. Ukupan broj dana s maksimalnom temperaturom iznad 95. i 99. perc. po godinama u Termoliju za vrijeme klimaološkog ljeta



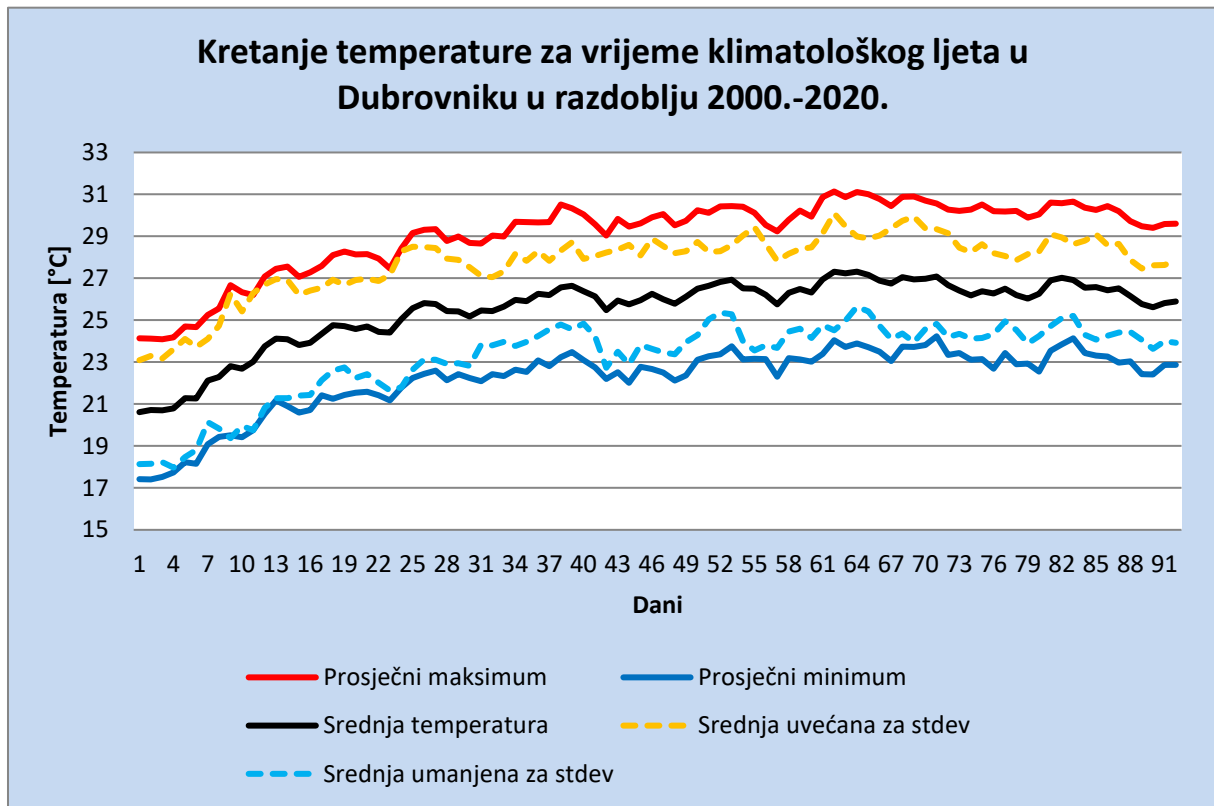
Graf 23. Broj vrućih i vrlo vrućih dana za vrijeme klimatološkog ljeta u Termoliju po godinama (2000.-2020.)



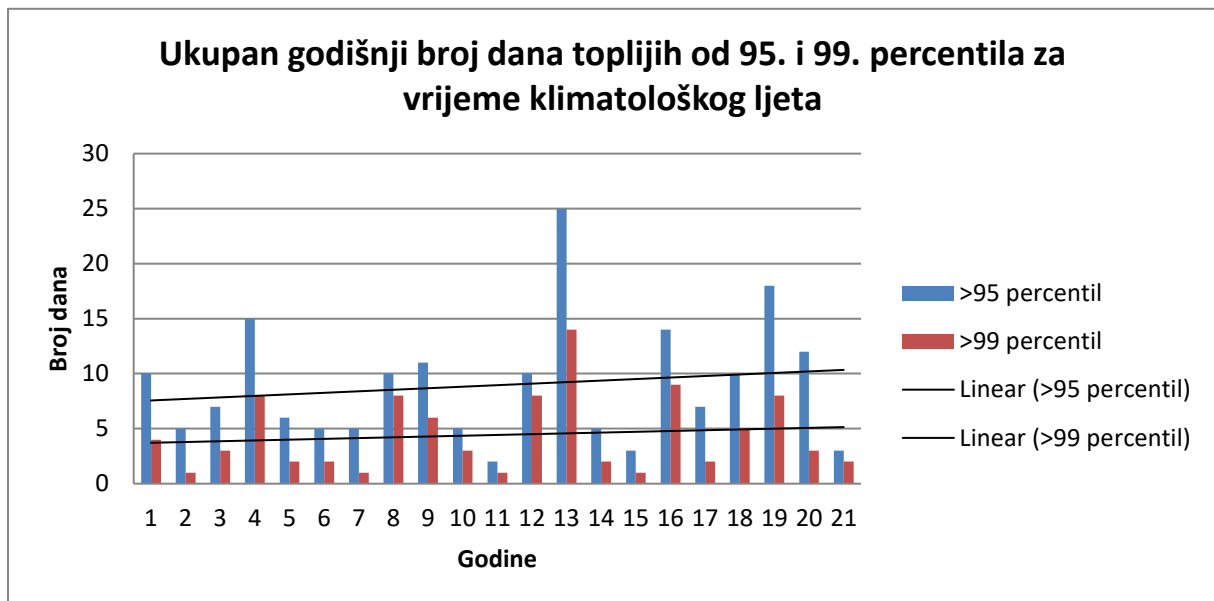
Graf 24. Prosječna godišnja maksimalna, srednja i minimalna temperatura zraka klimatološkog ljeta uz koeficijente rasta za Termoli po godinama (2000.-2020.)

3.1.7. Meteorološka postaja Dubrovnik

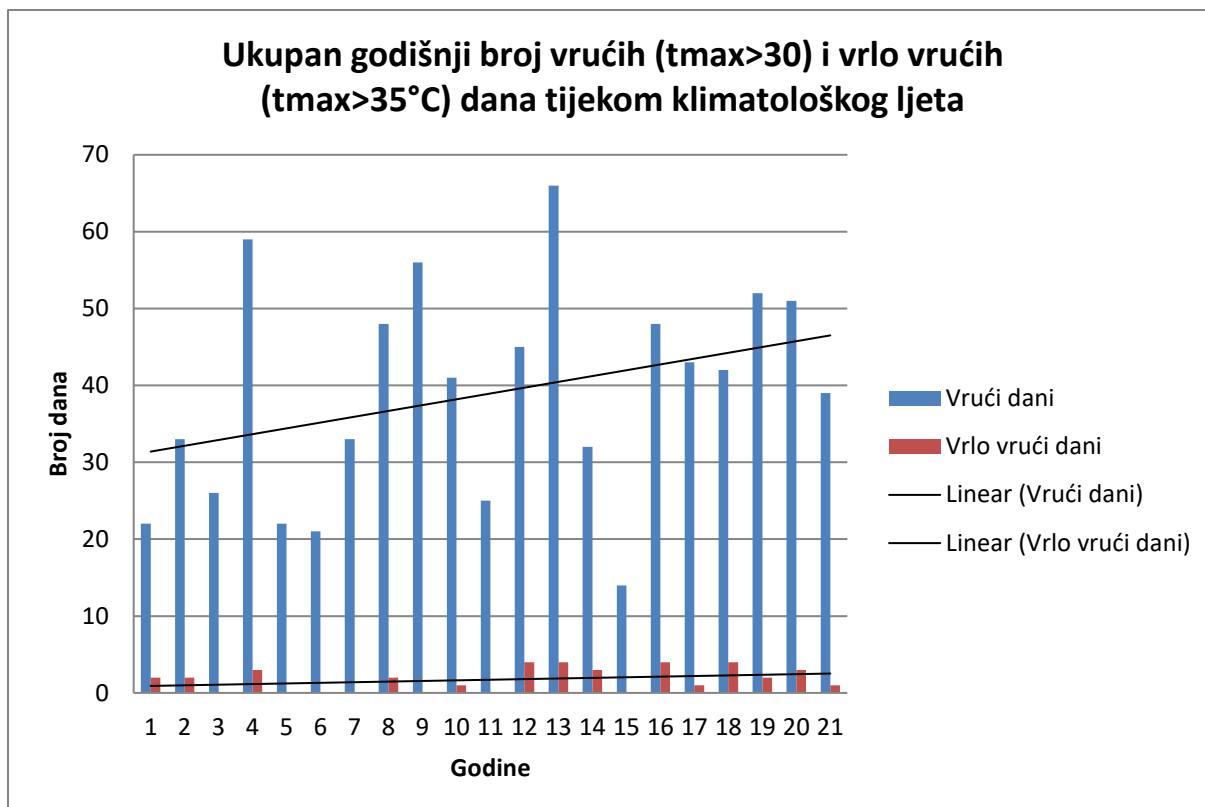
Postaja se nalazi na 52 metra nadmorske visine.



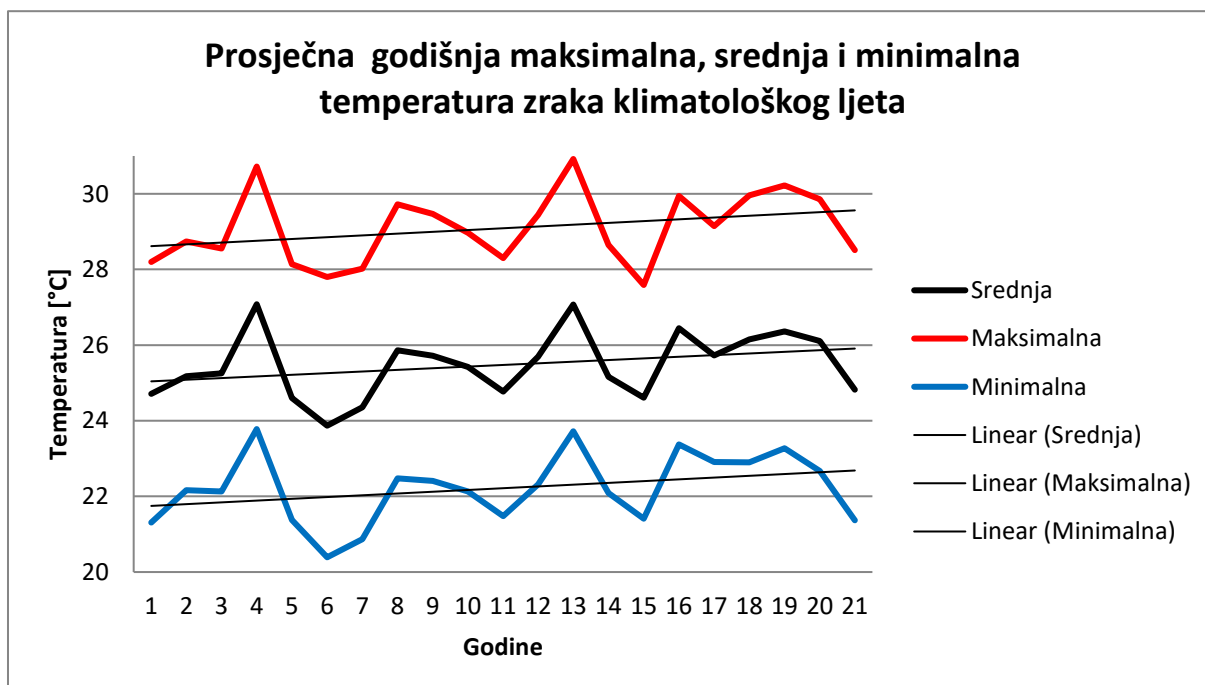
Graf 25. Temperature zraka za vrijeme klimatološkog ljeta u Dubrovniku u razdoblju 2000.-2020.



Graf 26. Ukupan broj dana s maksimalnom temperaturom iznad 95. i 99. perc. po godinama u Dubrovniku za vrijeme klimatološkog ljeta



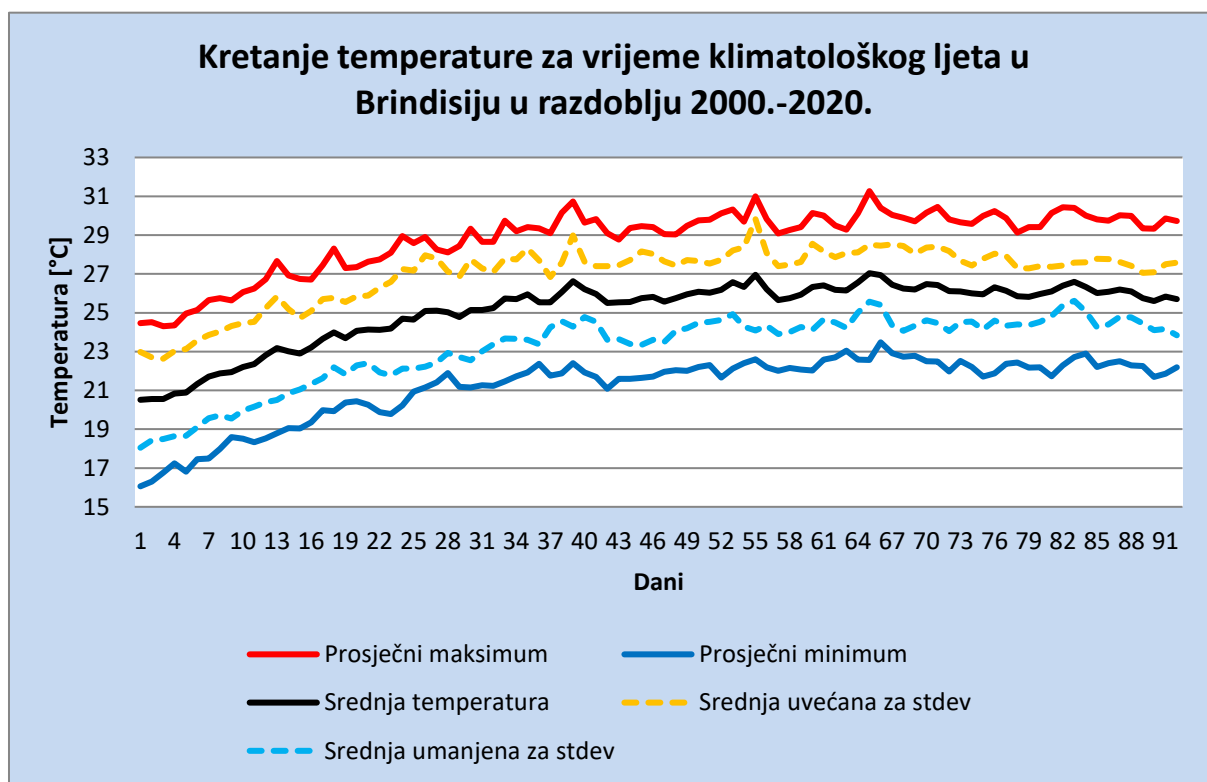
Graf 27. Broj vrućih i vrlo vrućih dana za vrijeme klimatološkog ljeta u Dubrovniku po godinama (2000.-2020.)



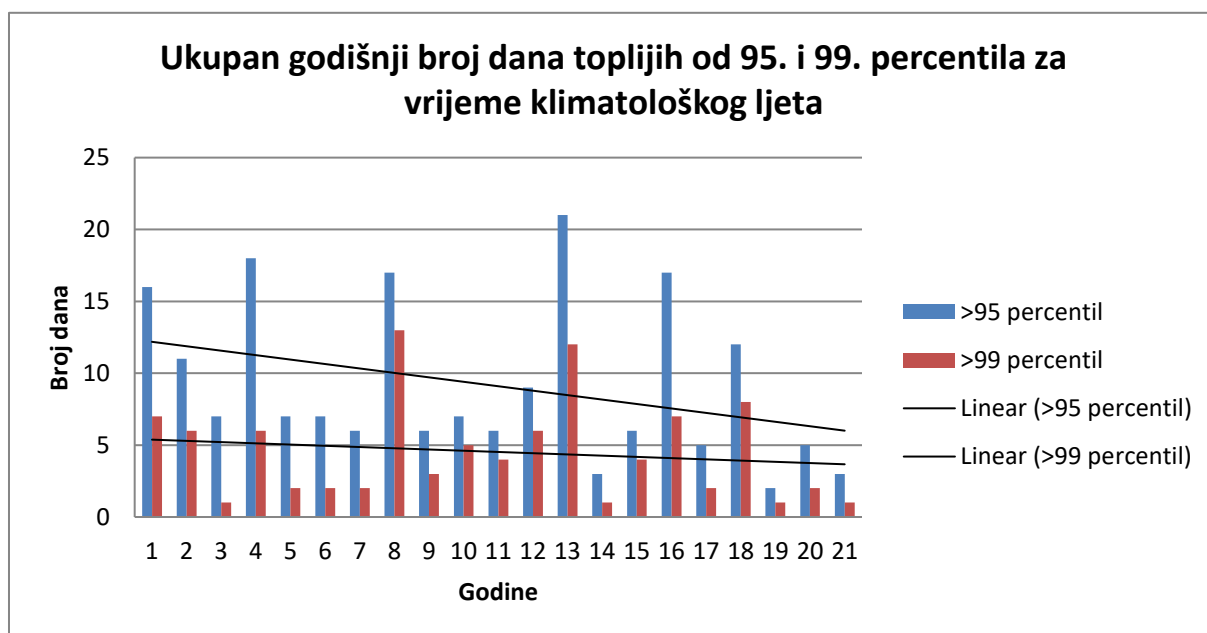
Graf 28. Prosječna godišnja maksimalna, srednja i minimalna temperatura zraka klimatološkog ljeta uz koeficijente rasta za Dubrovnik po godinama (2000.-2020.)

3.1.8. Meteorološka postaja Brindisi (Italija)

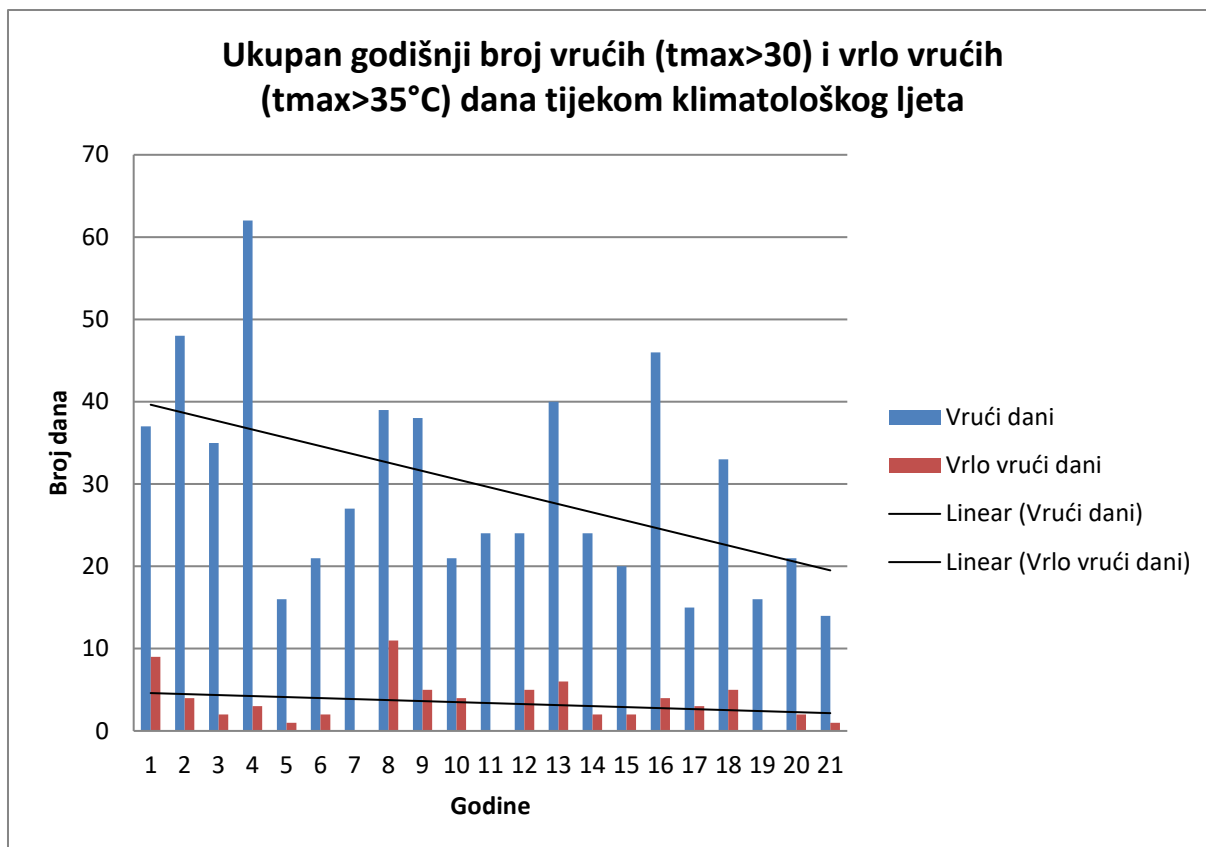
Postaja se nalazi na 15 metara nadmorske visine.



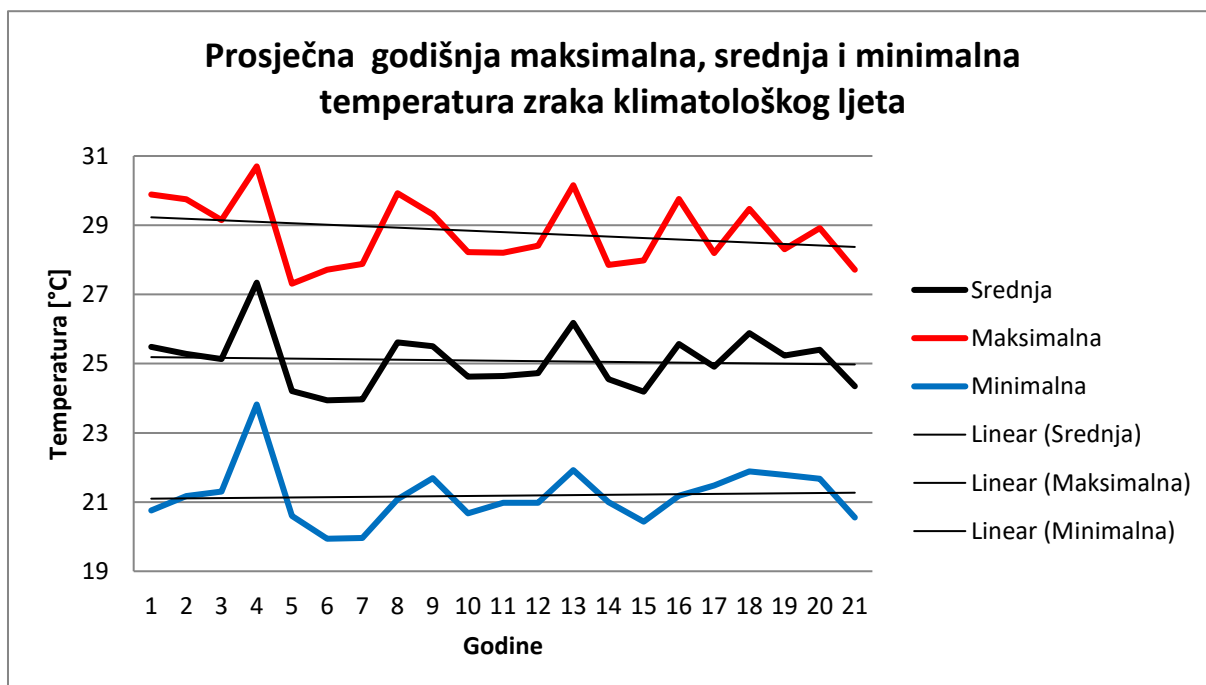
Graf 29. Temperature zraka za vrijeme klimatološkog ljeta u Brindisiju u razdoblju 2000.-2020.



Graf 30. Ukupan broj dana s maksimalnom temperaturom iznad 95. i 99. perc. po godinama u Brindisiju za vrijeme klimatološkog ljeta

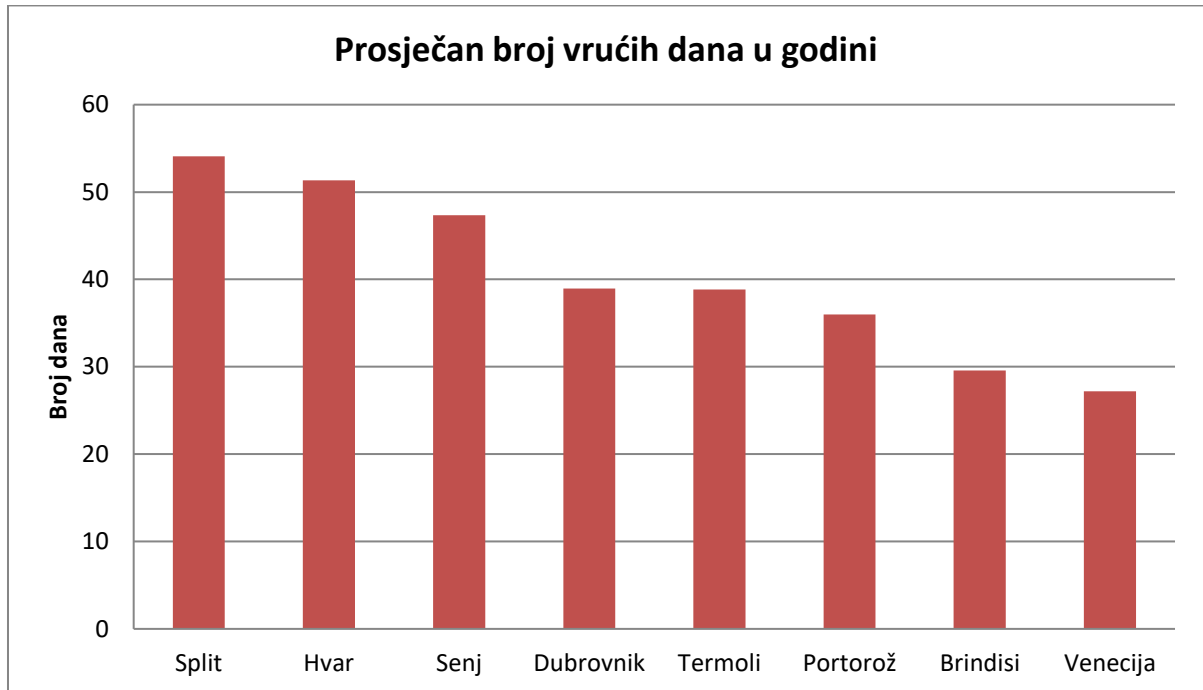


Graf 31. Broj vrućih i vrlo vrućih dana za vrijeme klimatološkog ljeta u Brindisiju po godinama (2000.-2020.)

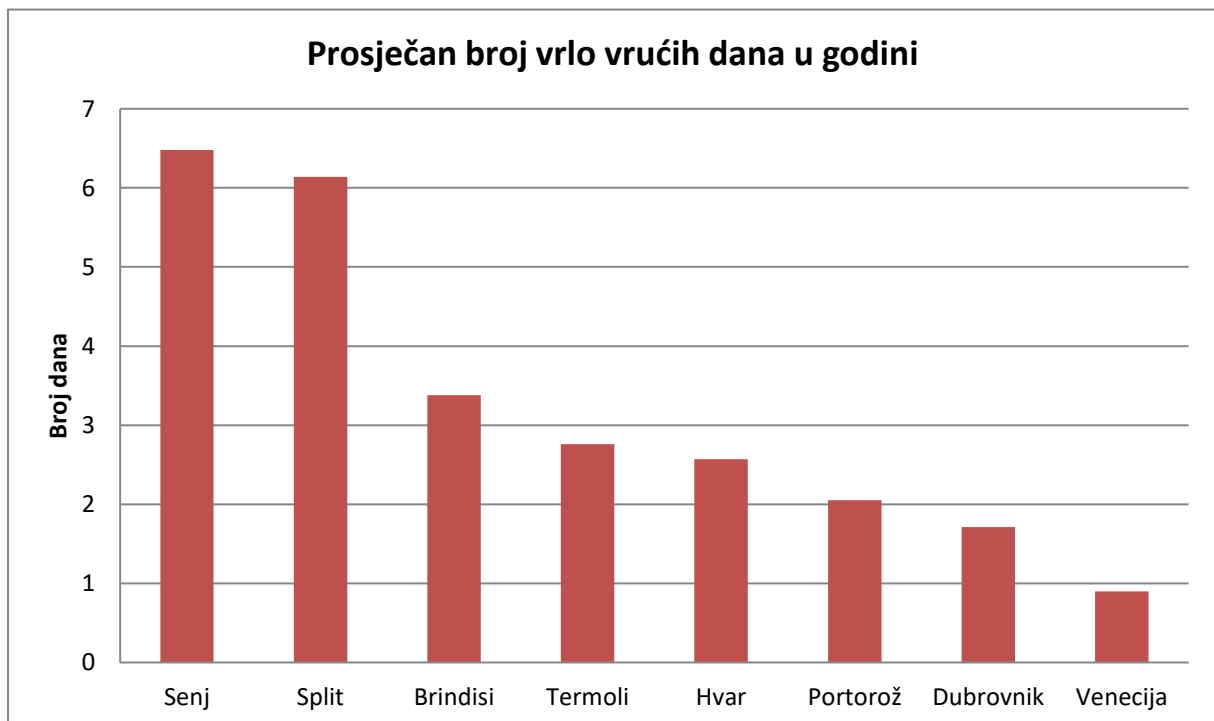


Graf 32. Prosječna godišnja maksimalna, srednja i minimalna temperatura zraka klimatološkog ljeta uz koeficijente rasta za Brindisi po godinama (2000.-2020.)

3.1.9. Usporedba rezultata



Graf 33. Prosječan godišnji broj dana u klimatološkom ljetu s maksimalnom temperaturom jednakom ili većom od 30 stupnjeva Celzijevih



Graf 34. Prosječan godišnji broj dana u klimatološkom ljetu s maksimalnom temperaturom jednakom ili većom od 35 stupnjeva Celzijevih

Tablica 1. Koeficijenti rasta/pada broja dana s $t_{max} \geq 95\text{per.}$, $t_{max} \geq 99\text{per.}$, $t_{max} \geq 30$ i $t_{max} \geq 35^\circ\text{C}$ i promjena broja takvih dana u razdoblju od 21 godine (u zagradi)

	$\geq 95\%$ koeficijent [dani]	$\geq 99\%$ koeficijent [dani]	$t_{max} \geq 30$ koeficijent [dani]	$t_{max} \geq 35$ koeficijent [dani]	Prosjek koeficijent [°C]	Max koeficijent [°C]	Min koeficijent [°C]
Venecija	-0.052 (-1.10)	-0.030 (-0.63)	+0.016 (+0.34)	+0.035 (+0.74)	+0.048 (+1.01)	+0.021 (+0.44)	+0.079 (+1.66)
Portorož	+0.151 (+3.17)	+0.195 (+4.10)	+0.638 (+13.40)	+0.092 (+1.93)	+0.050 (+1.05)	+0.051 (+1.07)	+0.067 (+1.41)
Senj	+0.326 (+6.85)	+0.083 (+1.74)	+0.797 (+16.74)	+0.248 (+5.21)	+0.051 (+1.07)	+0.069 (+1.45)	+0.035 (+0.74)
Split	+0.096 (+2.02)	+0.003 (+0.06)	+0.509 (+10.69)	+0.105 (+2.21)	+0.034 (+0.71)	+0.043 (+0.90)	+0.040 (+0.84)
Hvar	+0.194 (+4.07)	+0.099 (+2.08)	+0.862 (+18.10)	+0.109 (+2.29)	+0.060 (+1.26)	+0.051 (+1.07)	+0.019 (+0.40)
Termoli	+0.434 (+9.11)	+0.112 (+2.35)	+1.230 (+25.83)	+0.087 (+1.83)	+0.080 (+1.68)	+0.086 (+1.81)	+0.062 (+1.30)
Dubrovnik	+0.139 (+2.92)	+0.071 (+1.49)	+0.756 (+15.88)	+0.081 (+1.70)	+0.043 (+0.90)	+0.047 (+0.99)	+0.047 (+0.99)
Brindisi	-0.309 (-6.49)	-0.086 (-1.81)	-1.006 (-21.13)	-0.122 (-2.56)	-0.011 (-0.23)	-0.043 (-0.90)	+0.009 (+0.19)

Tablica 2. Srednja, prosječna maksimalna i minimalna temperatura u razdoblju 2000.-2020.

2000.-2020.	Srednja[°C]	Maksimalna[°C]	Minimalna[°C]
Venecija	23.72	28.19	18.86
Portorož	23.39	28.87	16.75
Senj	25.00	29.69	21.03
Split	26.17	30.32	22.22
Hvar	25.55	29.93	21.48
Termoli	25.85	29.10	22.88
Dubrovnik	25.47	29.09	22.22
Brindisi	25.08	28.80	21.18

3.2. Diskusija rezultata analize

Nakon što smo teoretski, grafički i tablično predstavili rezultate analize, preostaje nam pronaći odgovore na neka od važnih pitanja koja ćemo obraditi kroz diskusiju.

3.2.1. Kretanje srednje, maksimalne i minimalne temperature

Najveća razlika između prosječne minimalne i prosječne maksimalne temperature zabilježena je na sjevernojadranskim postajama Portorož i Venecija. Razlika između prosječne minimalne i prosječne maksimalne temperature u Portorožu je 12.1°C , što se lako može objasniti geografskim položajem same meteorološke postaje koja se nalazi u najužem i najzatvorenijem dijelu Jadrana, pa je utjecaj mora na zračne mase najslabiji od postaja koje smo analizirali. Ovim bi lako moglo objasniti i činjenicu da Portorož ima i najbrži rast broja dana s temperaturom koja premašuje 99. percentil (koeficijent rasta $+0.195$), te je druga postaja, iza Venecije, po rastu prosječne minimalne temperature.

Utjecaj globalnog zatopljenja, koje je zabilježeno na većini postaja, na sjevernom Jadranu nije previše usporen zbog male morske površine koja ne može značajnije utjecati na prosječne temperature. Također, dnevno kretanje temperatura manje je u Veneciji jer je čitav grad izgrađen na moru u laguni, pa kretanje temperature zraka značajno ovisi o kretanju temperature prilično zatvorene morske površine. Samim time i srednja temperatura u Veneciji veća je nego u Portorožu.

Kretanjem prema jugu srednja temperatura zraka raste, pa je Senj i najtoplija od promatranih postaja na području sjevernog Jadrana, s najvećom prosječnom maksimalnom i prosječnom minimalnom temperaturom. Zbog sve veće morske površine, utjecaj mora na ovom dijelu Jadrana raste, pa je razlika prosječne maksimalne i prosječne minimalne temperature najmanja na sjevernom Jadranu te iznosi 8.66°C .

Tijekom većeg dijela klimatološkog ljeta more sjevernog Jadrana postiže i najveće temperature, tako da je utjecaj hlađenja mora tijekom dana najmanji pa Senj bilježi najveći broj vrlo vrućih dana od svih promatranih postaja. Također, riječ je o relativno zatvorenom obalnom dijelu pa je i utjecaj maestrala značajno manji nego na otocima i isturenim dijelovima obale.

Na srednjem dijelu Jadrana od značaja je promotriti i morske struje koje se kreću suprotno od smjera kazaljke na satu – ulazeći kao hladnije uz istočnu obalu Jadrana te izlazeći kao toplije uz zapadnu, talijansku obalu. Zbog takvog kretanja Termoli na ovom području ima najveće prosječne temperature mora, pa je zbog toga zabilježena i najviša prosječna minimalna temperatura zraka, koja uvelike ovisi o temperaturi mora te rijetko pada puno ispod nje.

Na srednjem Jadranu, kao postaja s najmanjim utjecajem mora na ovom području, koja je najviše uvučena u kopno, Split ima najveću srednju temperaturu od svih postaja (26.17°C), te najveću prosječnu maksimalnu temperaturu (30.32°C). Ovo je posljedica poluotočnog položaja u morskoj površini koja je zatvorena brojnim većim otocima, pa hladnije morske struje koje se kreću istočnom stranom Jadrana ne dopiru, a utjecaj maestrala znatno je manji nego na Hvaru i Termoliju. Kao posljedica hladnije struje, otočnog položaja i općenito sporijeg zagrijavanja otvorenog mora, Hvar ima i najnižu prosječnu minimalnu temperaturu od analiziranih postaja na srednjem Jadranu, a zbog najmanje količine oborina i oblačnih sati, u prosjeku ima više maksimalne temperature od Termolija.

More čija je prosječna temperatura u Termoliju sredinom ljeta 26.5°C omogućuje i najbrži rast broja dana s temperaturom zraka većom od 95. percentila, te najbrži rast prosječne srednje i prosječne maksimalne temperature na svim postajama. Termoli također bilježi i najveći rast broja dana s maksimalnom temperaturom iznad 30°C , te je taj broj u 21-godišnjem razdoblju porastao gotovo za 26 dana. Od svih analiziranih postaja na ovom dijelu Jadrana, Termoli bilježi i najveći rast broja dana s maksimalnom temperaturom koja prelazi 99. percentil, te najbrži rast minimalne temperature zraka (Tablica 1.).

Na južnom Jadranu, osim utjecaja Jadranskog, dodatno raste i utjecaj otvorenog Sredozemnog mora, pa ove postaje imaju i najmanju razliku između prosječne maksimalne i prosječne minimalne temperature (Tablica 2.). Također, po očekivanim srednjim, maksimalnim i minimalnim temperaturama ove postaje su svježije od srednjeg Jadrana.

Od svih dijelova Jadrana, tijekom ljeta sjeverni Jadran ima najveći utjecaj promjena vremena i najviše oborina, što ga čini u prosjeku najhladnijim područjem. Srednji i južni Jadran imaju uglavnom sušna i vruća ljeta s većim utjecajem mora prema jugu, pa je južni Jadran zbog toga hladniji od srednjeg.

3.2.2. Vrući i vrlo vrući dani, 95. i 99. percentil, meteorološki ekstremi

Najveći prosječan broj vrućih dana zabilježen je na srednjem Jadranu: 54.1 dan u Splitu i 51.33 na Hvaru, dok je najmanji broj takvih dana na sjevernom dijelu - 27.19 u Veneciji. Broj vrućih dana najbrže i raste na srednjem Jadranu, dok je na sjevernom najsporiji rast, a u Brindisiju je zabilježen čak i pad od 1.006 dana godišnje.

Situacija je malo drugačija kod vrlo vrućih dana zbog otočnog položaja Hvara, pa prva dva mjesta drže Senj (6.48 dana godišnje) i Split (6.14 dana godišnje). Utjecaj mora u ovom slučaju spustio je Hvar na 2.57 vrlo vrućih dana godišnje. Najbrži rast broja takvih dana mjeri Senj (+0.248 godišnje) i srednjojadranske postaje.

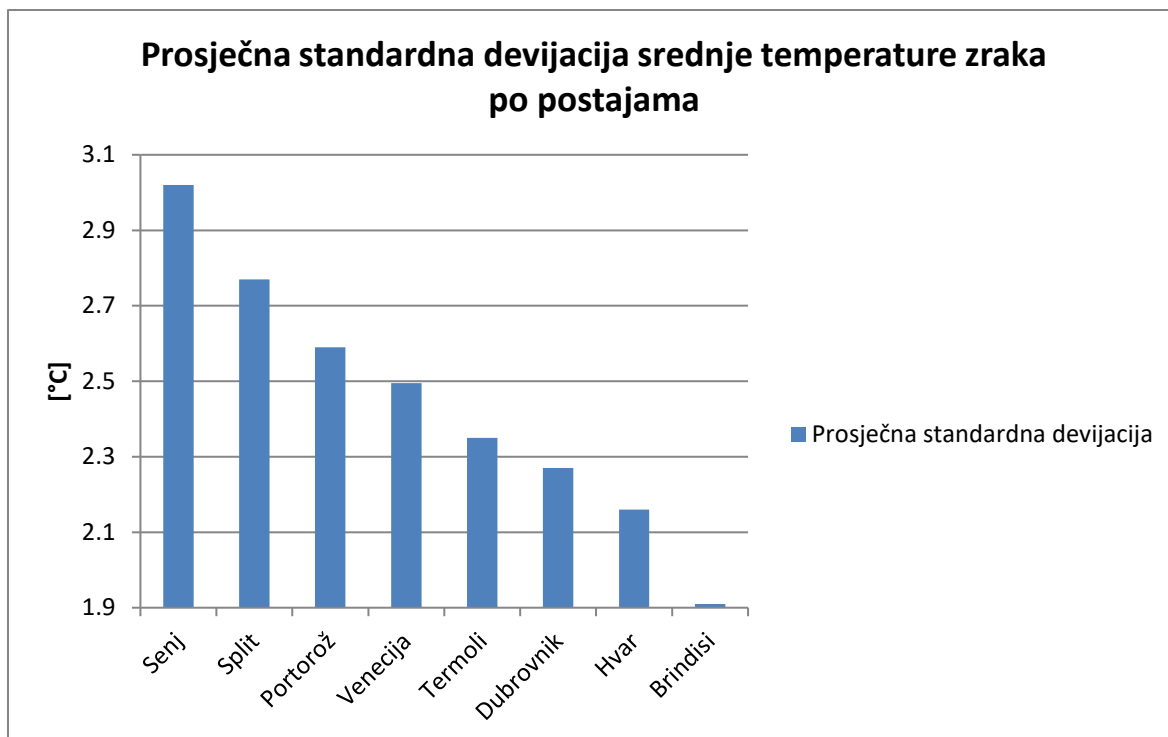
Općenito, kod broja vrlo vrućih dana uz geografski položaj najveći utjecaj ima more i dnevni vjetar s mora koji je jači na otocima i isturenim dijelovima obale pa je na takvim lokacijama broj vrlo vrućih dana najmanji. To se može naslutiti iz prosječne standardne devijacije tih područja.

Osim Venecije i Brindisija, sve postaje bilježe rast broja dana kad je maksimalna temperatura prešla 95. i 99. percentil. Najveći rast broja takvih dana mjeri Termoli: +0.434 godišnje za 95. i +0.112 za 99. percentil.

Ako pogledamo Tablicu 2., vidimo da najveće srednje, minimalne i maksimalne temperature bilježi područje srednjeg Jadrana te Senj, što znači da je populacija na tom području najviše naviknuta na visoke temperature. Ako pogledamo prosječan broj vrućih dana u godini, možemo uočiti pravilnost da su postaje na istočnoj obali Jadrana pogođenije vrućinama od zapadne, talijanske obale.

Za Veneciju i Termoli ovo se može objasniti tako što te dvije postaje pripadaju u Cfa klimatski razred: umjereno topla vlažna klima, tj. više oborina u odnosu na istočnu obalu Jadrana na kojoj na istoj geografskoj širini vlada sredozemna klima - vruća i suha ljeta. Općenito, zapadna obala Jadrana ima više oborina, a istočna više sunčanih sati.

Na većini postaja broj vrućih dana u posljednjih 21 godina značajno je porastao, pa je tako Termoli od 2000. godine dobio 25.83 takvih dana, Hvar 18.10, a Senj 16.74. Zabrinjavajuć je i porast broja vrlo vrućih dana koji je također najveći u Senju te području srednjeg Jadrana.



Graf 35. Prosječna standardna devijacija srednje temperature zraka po postajama

Ako pogledamo grafički prikaz (Graf 35.) prosječne standardne devijacije, otkrit ćemo koliko je zapravo temperatura zraka ovisna o temperaturi mora, terenu i koliko klima može varirati na nekom području. Promatrajući ovaj graf, vidimo da Senj i Split kao dva grada s najviše vrlo vrućih dana imaju i najveću prosječnu standardnu devijaciju. S druge strane, Brindisi koji je na posljednjem mjestu ima temperaturu koja vrlo malo varira – treći je na listi po broju vrlo vrućih dana i pretposljednji po broju vrućih. Ima gotovo najmanje vrućih ($t_{\max} \geq 30$) dana, ali je po broju vrlo vrućih ($t_{\max} \geq 35^{\circ}\text{C}$) odmah iza Senja i Splita.

Ovdje valja napomenuti kako se meteorološka postaja Split-Marjan nalazi u šumskom području na 122 metra nadmorske visine, te bi prosječna standardna devijacija zasigurno bila niža da je postaja locirana na 2 metra nadmorske visine, kao što je slučaj u Veneciji i Portorožu, ali možda i veća od senjske da je postavimo u višim predjelima grada u kojima zelenih površina ima vrlo malo. Od ostalih postaja najveću nadmorsku visinu ima Dubrovnik – 52 metra.

Portorož, koji također ima visoku prosječnu standardnu devijaciju, bilježi najveći porast broja dana s maksimalnom temperaturom iznad 99. percentila s koeficijentom rasta +0.195 dana godišnje.

3.2.3. Usporedba s razdobljem 1971.-2000.

Kako bismo potvrdili trendove dobivene u analizi za razdoblje klimatoloških ljeta 2000.-2020. usporedit ćemo dobivene trendove s trendovima iz posljednjeg 30-godišnjeg klimatološkog razdoblja. U ovoj analizi naišli smo na problem neobjavljene 30-godišnje klimatologije za Senj u razdoblju 1971.-2000., pa su za ovu postaju korišteni podaci 1948.-2018.

Također, valja napomenuti da ovdje uspoređujemo 30-godišnje klimatološko razdoblje s 20-godišnjim, a dulji niz u pravilu smanjuje trendove.

Tablica 3. Razlika klimatoloških razdoblja 1971.-2000. i 2000.-2020. Iznimka je postaja Senj za koju su izvedeni podaci 1948.-2018. ^{[7][8][9]}

	t _{srednja} 1971- 2000.	t _{srednja} 2000.- 2020.	Δ	t _{max} 1971.- 2000.	t _{max} 2000.- 2020.	Δ	≥30°C 1971.- 2000.	≥30°C 2000.- 2020.	Δ
Venecija	22.1	23.72	+1.67	26.7	28.19	+1.49	16	27.19	+11.19
Portorož	22.1	23.39	+1.29	27.37	28.87	+1.5	19.2	36	+16.8
Senj*	23.7	25	+1.3	-	-	-	33	47.33	+14.33
Split	24.63	26.17	+1.53	28.83	30.32	+1.49	37.2	54.1	+16.9
Hvar	24.03	25.55	+1.52	28.47	29.93	+1.46	31.1	51.3	+20.23
Termoli	23.45	25.85	+2.4	26.3	29.1	+2.8	12	38.86	+26.86
Dubrovnik	23.8	25.47	+1.67	27.3	29.09	+1.76	18.9	38.95	+20.1
Brindisi	25.13	25.08	-0.05	28	28.8	+0.8	22.9	29.57	+6.67

Promatranjem Tablice 3. možemo zaključiti da je na većini meteoroloških postaja na Jadranu u odnosu na posljednje klimatološko razdoblje prosječna temperatura narasla za više od 1°C, a najviše u Termoliju gdje je porasla za 2.4°C. Iznimka je postaja u Brindisiju koja bilježi zanemariv pad od 0.05°C.

Uspoređujući razliku rasta prosječnih temperatura između ova dva klimatološka razdoblja i trendove iz razdoblja 2000.-2020. (Tablica 1.) vidimo da su i Termoli i Brindisi zadržali ulogu postaja s najvećim, odnosno najmanjim rastom prosječne temperature zraka.

Rast prosječne maksimalne temperature između dvaju klimatoloških razdoblja zabilježen je na svim postajama i uglavnom se radi o vrijednostima oko 1.5°C sa očekivanim odstupanjima Termolija i Brindisija. Kao postaja sa najnižom prosječnom standardnom devijacijom,

Brindisi ima najmanji rast prosječne maksimalne temperature zraka i najsporiji rast broja vrućih dana.

Uz pretpostavku da bi Senj pokazivao nešto veću promjenu za sve navedene vrijednosti, uspoređujući Tablicu 1. i Tablicu 3. vidimo da su gotovo sve postaje zadržale identičan trend rasta broja vrućih dana u razdoblju 2000.-2020.

Iz svih navedenih podataka može se zaključiti da istočna obala Jadrana ima u prosjeku višu srednju temperaturu klimatološkog ljeta od zapadne, te višu prosječnu maksimalnu temperaturu i veći broj vrućih dana.

Prosječan broj vrućih dana u klimatološkom ljetu najveći je na srednjem Jadranu, a tu je i najbrži rast broja vrućih dana. Krajnji sjever i krajnji jug područja bilježe najsporiji porast broja dana u kojim maksimalna temperatura prelazi 95., 99. percentil, te 30 i 35 stupnjeva Celzijevih. Može se zaključiti da je opasnost od toplinskog vala najveća na istočnoj strani Jadrana, te se smanjuje kretanjem prema sjeveru, zapadu te otvorenom moru.

4. Zaključak

Za pisanje ovog rada bilo je potrebno u Excel unijeti više od 2.200 službenih meteoroloških podataka o srednjoj dnevnoj, maksimalnoj i minimalnoj temperaturi zraka na osam meteoroloških postaja na području Jadrana.

Cilj rada bio je utvrditi kako se mijenjaju srednje, maksimalne i minimalne temperature zraka, trend i prosjeci, te određivanje kretanja broja dana kad maksimalne temperature prelaze 95., 99. percentil i kretanje broja vrućih i vrlo vrućih dana.

Pokušali smo povezati kretanje temperature zraka s temperaturom mora, morskom površinom, morskim strujama i geografskim položajem.

U prvom poglavlju definiran je toplinski val i tu smo se susreli s prvim izazovom - definicija ovisi o lokaciji koju promatramo.

Za samu analizu bila nam je potrebna i klimatska regionalizacija Jadrana, koja nam je pomogla u usporedbi dobivenih rezultata s očekivanim. Tu smo uočili da talijanska strana Jadrana ima veću količinu oborina što značajno utječe na prosječnu maksimalnu temperaturu, ali i broj vrućih i vrlo vrućih dana.

Od preko 2.200 službenih podataka izračunati su svu važni parametri za definiranje klime nekog područja i toplinskih valova, pa su uz pomoć Excela izračunate srednje dnevne temperature za svaki datum, prosječne maksimalne i minimalne mjesečne temperature za jedan mjesec u jednoj godini, prosječne maksimume i minimume za jedan mjesec u klimatološkom razdoblju, srednje mjesečne temperature za jedan mjesec u jednoj godini i srednje mjesečne temperature za jedan mjesec u klimatološkom razdoblju, varijance, standardne devijacije, 95. i 99. percentil, te broj vrućih i vrlo vrućih dana s pripadajućim višegodišnjim prosjecima i trendovima.

U analizi su korišteni grafički i tablični prikazi klimatološkog ljeta u svakom od gradova u 21-godišnjem razdoblju, te je grafički prikazan prosječan maksimum, minimum i srednja temperatura zraka, te srednja temperatura uvećana i umanjena za jednu standardnu devijaciju - svaki podatak za svaki od 92 dana klimatološkog ljeta unutar 21 godine.

Računali smo brojeve dana u svakoj godini kada maksimalna temperatura prelazi 95. i 99. percentil, te koeficijent rasta takvih dana u razdoblju od 2000. do 2020. za svaku od lokacija. Također se isti račun vodio za broj vrućih i vrlo vrućih dana, njihove prosjeke i koeficijente rasta.

Nakon određivanja prosječne srednje, maksimalne i minimalne temperature u 21-godišnjem razdoblju, odredili smo i koeficijent njihovog rasta, što je dodatno pomoglo u analizi ostalih podataka.

Za analizu bi bilo vrlo korisno da smo pronašli još jednu postaju na talijanskoj strani sjevernog Jadrana i jednu u Albaniji, no podaci s tih lokacija imaju velike rupe u mjerenjima, pa su postaje u Pescari (Italija) i Draču (Albanija) bile potpuno neupotrebljive.

Analizom grafova i tabličnih podataka prosječne srednje, maksimalne i minimalne temperature te usporedbom njihovih linearnih trendova ustanovili smo da na svim analiziranim meteorološkim postajama prosječna minimalna temperatura u promatranom razdoblju raste, te primijetili kako se veći dio Jadrana zagrijava u prosjeku 1.5°C u odnosu na prethodno klimatološko razdoblje.

Odredili smo prosječnu standardnu devijaciju za sve postaje koja nam je poslužila kao potvrda koliko je određena postaja ovisna o moru i ostalim parametrima, kao npr. nadmorska visina postaje, koje smanjuju moguće devijacije od prosječne temperature, te smo vidjeli kako upravo Senj i Split, koji bilježe najveći broj vrućih i vrlo vrućih dana, imaju i najvišu prosječnu standardnu devijaciju.

Promatranjem broj dana kada maksimalna temperatura prelazi 95. i 99. percentil, te 30 i 35 stupnjeva Celzijevih, uočili smo kako je broj takvih dana i rast broja takvih dana najbrži na srednjem Jadranu, te se smanjuje prema sjeveru i zapadu područja.

Usporedbom analiziranog razdoblja s posljednjim klimatološkim razdobljem (1971.-2000.) ustanovili smo da su nastavljeni uglavnom isti trendovi.

Zaključili smo da istočna obala Jadrana ima u prosjeku višu srednju temperaturu klimatološkog ljeta od zapadne, te višu prosječnu maksimalnu temperaturu i veći broj vrućih dana. Vidjeli smo da se nastavlja trend u kojem je najbrži rast broja vrućih dana na srednjem Jadranu koji ima ujedno i najveći prosječan broj vrućih dana, te zaključili kako je upravo na

tom području opasnost od toplinskog vala najveća, te se smanjuje prema sjeveru, zapadu i otvorenom moru.

Daljnji radi bi mogao uključiti podatke o količini oborina, režimu vjetrova i insolaciji, što bi nam dodatno omogućilo vidjeti ostale opasne kombinacije u slučaju toplinskih valova (visoka vlažnost – zdravlje, niska vlažnost – požari, više sunčanog vremena – opekline, itd...).

5. Literatura

- [1] Glickman, Todd S. (lipanj, 2000.). *Glossary of Meteorology*, URL:
http://glossary.ametsoc.org/wiki/Heat_wave
- [2] Christina Koppe, Sari K., Gerd J. and Bettina M. (2004.), *Health and Global Environmental Change Series, No.2, Heat waves: Risks and responses*
<https://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/heat-waves-risks-and-responses>
- [3] Ferdinando S., Iacopo G., Emanuele de Lieto V., Fabio B., Fabio N., Massimo C, F. Gugliermetti, Andrea de Lieto V. (2015.), *Evaluation of Different Urban Microclimate Mitigation Strategies through a PMV Analysis*, URL:
https://www.researchgate.net/publication/279961548_Evaluation_of_Different_Urban_Microclimate_Mitigation_Strategies_through_a_PMV_Analysis
- [4] Šegota T., Anita F. *Koppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje* (2003.), PMF Zagreb, Geografski odsjek
- [5] *Karta podjele Jadrana*, PMC Split, DHMZ, URL:
https://meteo.hr/prognoze.php?section=prognoze_specp¶m=jadran
- [6] Meteorološki servis Ogimet, URL:
<https://www.ogimet.com/home.phtml.en>
- [7] Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M. et al, 2008: *Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961–1990., 1971–2000.* Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, URL:
https://klima.hr/razno/publikacije/klimatski_atlas_hrvatske.pdf
- [8] Klimatske normale Portorož, ARSO Slovenija, URL:
http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/table/en/by_location/portoroz/climate-normals_71-00_portoroz.pdf
- [9] Dati climatici 1971-2000, Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare
https://it.wikipedia.org/wiki/Stazione_meteorologica_di_Venezia_Tessera