

Geostatistički model prostorne razdiobe srednje dnevne temperature zraka u Republici Hrvatskoj

Zorko, Marija

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:559569>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET**

MARIJA ZORKO

**GEOSTATISTIČKI MODEL PROSTORNE RAZDIOBE SREDNJE
DNEVNE TEMPERATURE ZRAKA U REPUBLICI HRVATSKOJ**

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2023.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva
za 20.07.2023. u 9 sa
Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu
Varaždin, 06.07.2023.

Predsjednik
ispitnog povjerenstva

Prof. dr. sc. Saša Kovač

Članovi povjerenstva

- 1) izv. prof. dr. sc. Ivan Kovač
- 2) Doc. dr. sc. Kresimir Pandžić
- 3) Doc. dr. sc. Davor Stanković

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

**GEOSTATISTIČKI MODEL PROSTORNE RAZDIOBE SREDNJE DNEVNE
TEMPERATURE ZRAKA U REPUBLICI HRVATSKOJ**

KANDIDAT:

Marija Zorko

Marija Zorko

MENTOR:

izv. prof. dr. sc. Ivan Kovač

KOMENTOR:

doc. dr. sc. Krešo Pandžić

VARAŽDIN, 2023.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

GEOSTATISTIČKI MODEL PROSTORNE RAZDIOBE SREDNJE DNEVNE TEMPERATURE ZRAKA U REPUBLICI HRVATSKOJ

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **izv. prof. dr. sc. Ivana Kovača** i komentorstvom **doc. dr. sc. Kreše Pandžića**.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 4.7.2023.

Marija Zorko
(Ime i prezime)

Marija Zorko
(Vlaštoručni potpis)

IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI DIPLOMSKOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

GEOSTATISTIČKI MODEL PROSTORNE RAZDIOBE SREDNJE DNEVNE TEMPERATURE ZRAKA U REPUBLICI HRVATSKOJ

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog diplomskog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti diplomskog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 4.7.2023

izv. prof. dr. sc. Ivan Kovač
(Mentor)



(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

Autor: Marija Zorko

Naslov: Geostatistički model prostorne razdiobe srednje dnevne temperature zraka u Republici Hrvatskoj

Geostatistika spada u granu geomatematike koja se bavi analizom prostornih podataka u svrhu kvantificiranja i modeliranja njihove prostorne korelacije. U geostatistici, a katkad uz određene prilagodbe i u meteorologiji, računalni programi poput Surfera, ArcGIS-a itd. koriste se za analizu prostorne distribucije meteoroloških elemenata. Prostornu distribuciju meteoroloških elemenata moguće je grafički prikazati izradom variograma i konturnih karata u računalnom programu Surfer.

Osnovni cilj ovog istraživanja je proučavanje prostorne raspodjele srednjih dnevnih temperatura zraka u Republici Hrvatskoj (RH) u dva 30 - godišnja klimatska razdoblja: 1961. – 1990. i 1991. – 2020. Podaci o vrijednostima srednjih dnevnih temperatura zraka na 30 promatranih meteoroloških postaja, preuzeti su iz Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske (DHMZ).

Variografska analiza srednjih godišnjih temperatura zraka u primorskoj, nizinskoj i gorskoj regiji RH provedena je u računalnom programu Surfer. Izrađene su konturne karte pomoću kojih će se pokušati ustvrditi postoji li porast ili opadanje godišnjih prosjeka temperature zraka između dva navedena razdoblja. Rezultati geostatističkog modela uspoređeni su s rezultatima regionalnog klimatskog modela (RegCM).

Također, testirana je hipoteza o statističkoj značajnosti trenda porasta srednje dnevne temperature zraka za meteorološku postaju u Ogulinu za razdoblje 1961. – 2021.

Ključne riječi: prizemna temperatura zraka u Republici Hrvatskoj, Surfer, variografska analiza, geostatistički modeli

ABSTRACT

Author: Marija Zorko

Title: The geostatistical model of spatial distribution of mean daily air temperature in the Republic of Croatia

Geostatistics is a branch of geomathematics that deals with the analysis of spatial data for the purpose of quantifying and modeling their spatial correlation. In geostatistics, and sometimes with certain adjustments in meteorology, computer programs such as Surfer, ArcGIS, etc. are used to analyze the spatial distribution of meteorological elements. The spatial distribution of meteorological elements can be displayed graphically by creating variograms and contour maps in the Surfer computer programme..

The main goal of this research is to study the variability of mean annual air temperatures in two 30-year-long periods: 1961 – 1990 and 1991 – 2020 in the territory of the Republic of Croatia. The data on mean daily air temperatures at 30 observed meteorological stations were taken from the Croatian Meteorological and Hydrological Service (CMHS).

A variographic analysis of annual average air temperatures in the Republic of Croatia's coastal, lowland and mountainous regions was carried out in the Sufer computer programme. Contour maps were created to determine whether there was an increase or decrease in annual average air temperatures between the two mentioned periods. The results of the geostatistical model created in Surfer were compared with the Regional Climate Model (RegCM) results.

Also, a hypothesis about the statistical significance of the trend for an average daily increase in an air temperature at the meteorological station in Ogulin in the period from 1961 to 2021 was tested.

Keywords: surface air temperature in the Republic of Croatia, Surfer, variographic analysis, geostatistical models

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. CILJ ISTRAŽIVANJA I HIPOTEZA	3
3. TEORETSKI DIO	6
3.1 Klimatska područja Republike Hrvatske	6
3.2 Mjerenje temperature zraka u Republici Hrvatskoj	9
3.3 Dekadni trendovi godišnje temperature zraka u Republici Hrvatskoj	12
3.4 Klimatsko modeliranje budućih promjena temperature zraka u Republici Hrvatskoj	13
3.5 Primjena geostatistike u meteorologiji	17
4. METODOLOGIJA RADA	20
4.1 Izrada variograma i konturnih karata	20
4.2 Reprezentativnost statističkih uzoraka i statističko testiranje	22
5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RASPRAVA	24
5.1 Srednje godišnje temperature zraka za područje Republike Hrvatske za dva uzastopna klimatska razdoblja	24
5.2 Variografska analiza	25
5.3 Geostatistički model prostorne razdiobe srednje godišnje temperature zraka u Republici Hrvatskoj	30
5.4 Geostatistički model promjene prizemne temperature zraka između 1990. – 2020. i 1961. – 1990.	36
5.5 Usporedba geostatističkog modela izrađenog u Surferu i RegCM	38
5.6 Statistički test značajnosti trenda porasta srednje dnevne temperature zraka u Republici Hrvatskoj	40
6. ZAKLJUČAK	42
7. POPIS LITERATURE	44

1. UVOD

Meteorologija je grana geofizike koja proučava Zemljinu atmosferu i njeno međudjelovanje s površinom Zemlje. Može se podijeliti na: dinamičku meteorologiju, sinoptičku meteorologiju, klimatologiju, biometeorologiju, mikrometeorologiju, aerologiju i aeronomiju. Kako bi se unaprijedile pojedine grane ljudske djelatnosti razvijena je i zrakoplovna meteorologija, pomorska meteorologija, agrometeorologija i sl [1].

Sinoptička meteorologija proučava i prognozira kratkoročne vremenske promjene koje se zbivaju u nižim slojevima atmosfere [2]. Klimatologija, kao grana meteorologije, proučava dugoročne vremenske prilike u blizini Zemljine površine. Glavna područja istraživanja u klimatologiji su varijabilnosti klimatskih veličina i klimatske promjene. Klimatološke analize služe kao osnova u brojnim studijama utjecaja na okoliš (prostornom planiranju, energetici, poljoprivredi, vodnom gospodarstvu) [3].

Kako bi mogli proučavati klimu i klimatske promjene na određenom području potrebno je imati kvalitetna mjerenja klimatoloških elemenata iz višegodišnjeg perioda. Svjetska meteorološka organizacija (engl. World Meteorological Organization - WMO) odredila je da su potrebni 30-godišnji nizovi podataka kako bi se ocjenila klima određenog područja, te je definirala standardne klimatske normale koje označavaju srednje vrijednosti klimatskih parametara za razdoblja: 1931. – 1960., 1961. – 1990. i 1991. – 2020. Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske (DHMZ) za navedena razdoblja priprema klimatske atlase, publikacije s klimatskim kartama, grafikonima i opisom klime [4].

Također, iznimno je bitna homogenost klimatskih podataka koja se postiže mjerenjem i opažanjem neprestano u istim uvjetima. „Kvalitetu i homogenost mjerenja narušava čak i manja promjena lokacije postaje, gradnja objekata u blizini, uklanjanje ili sadnja drveća i sl.“ [4]

U ovom diplomskom radu izračunati su godišnji prosjeci srednjih dnevnih temperatura zraka na 30 meteoroloških postaja u Republici Hrvatskoj (RH) za dva 30-godišnja razdoblja:

- 1961. – 1990.
- i 1991. – 2020.

Podaci o vrijednostima srednjih dnevnih temperatura zraka, tijekom razdoblja 1961. – 2020., preuzeti su iz DHMZ-a.

U računalnom programu „Surfer“ izrađeni su te analizirani variogrami i konturne karte godišnjih prosjeka srednje dnevne temperature zraka prema regijama RH (Primorska Hrvatska, Gorska Hrvatska i Nizinska Hrvatska). Također, izrađen je geostatistički model promjene prizemne temperature zraka između dva promatrana razdoblja koji je uspoređen s regionalnim klimatskim modelom (engl. regional climate model, RegCM) iz DHMZ-a.

Na kraju rada, proveden je statistički test o značajnosti trenda porasta srednje godišnje temperature zraka na meteorološkoj postaji u Ogulinu u razdoblju 1961. – 2021.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA I HIPOTEZA

Osnovni cilj ovog istraživanja je proučavanje prostorne raspodjele srednjih godišnjih temperatura zraka u RH u dva 30 - godišnja klimatska razdoblja:

- 1961. – 1990.
- i 1991. – 2020.

Provedena je variografska analiza srednjih godišnjih temperatura zraka prema regijama RH te su izrađeni geostatistički modeli pomoću kojih će se pokušati ustvrditi postoji li porast ili opadanje godišnjih prosjeka temperature zraka između dva navedena razdoblja. Također, rezultati modeliranja u Surferu uspoređeni su s RegCM izrađenim u DHMZ-u.

Postavljena je hipoteza o statističkoj značajnosti trenda porasta srednje dnevne temperature zraka za meteorološku postaju u Ogulinu za razdoblje 1961. – 2021.:

- H_0 : koeficijent smjera modela linearne regresije je jednak 0 (odnosno varijabla t je suvišna u modelu)
- H_1 : koeficijent smjera modela linearne regresije je različit od 0

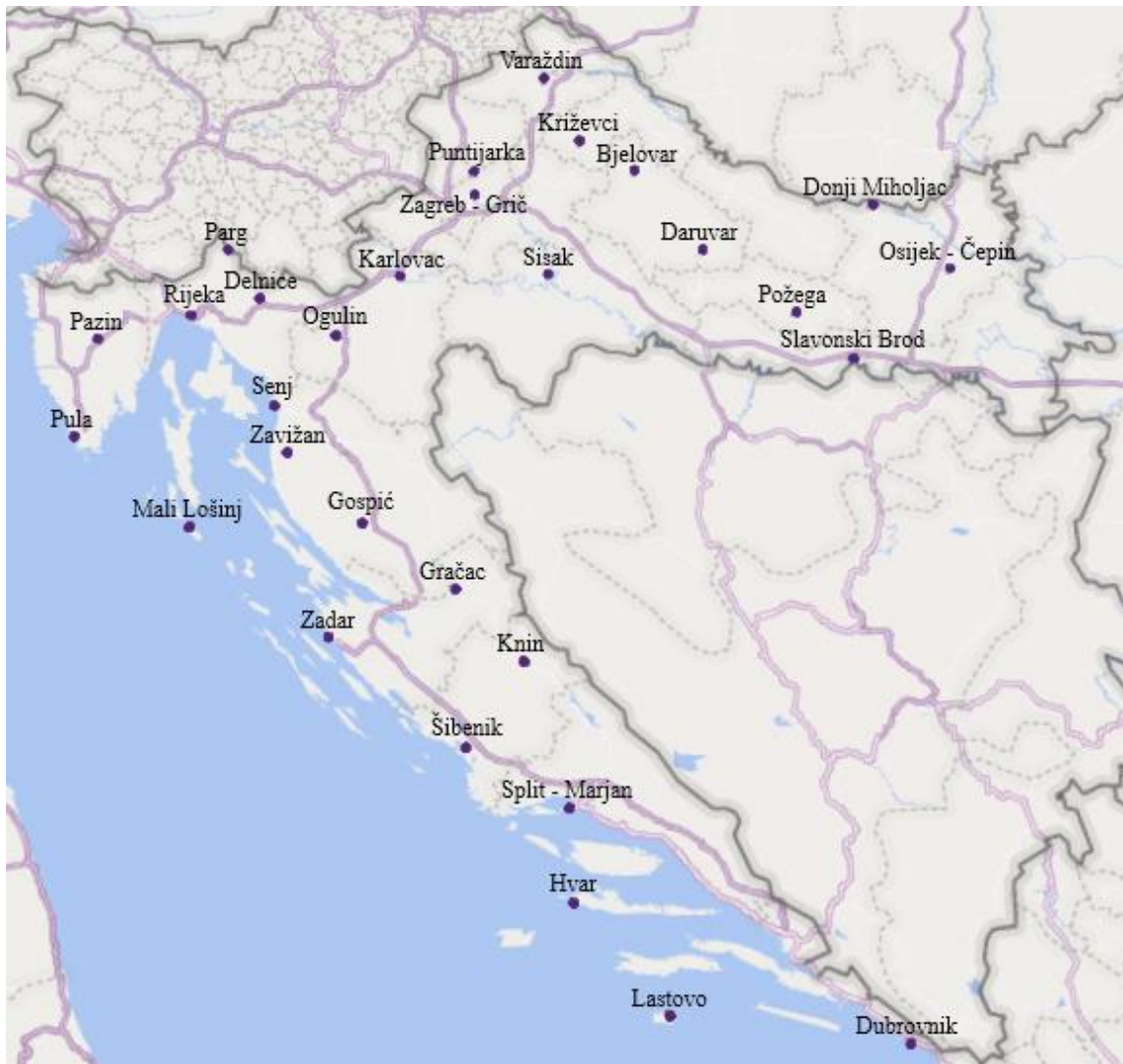
U modelu linearne regresije, koeficijent smjera predstavlja prosječnu linearnu promjenu temperature u jedinici vremena (u ovome slučaju to je godina dana). Hipoteza H_0 pretpostavlja da temperatura zraka ne ovisi o vremenu, odnosno ne mijenja se s godinama.

U Tablici 1. prikazan je popis promatranih postaja, njihove geografske koordinate te nadmorska visina na kojoj se nalaze.

Tablica 1. Popis meteoroloških postaja i njihova osnovna obilježja

<i>Područje Republike Hrvatske</i>	<i>Naziv postaje</i>	<i>Geografska širina [N]</i>	<i>Geografska dužina [E]</i>	<i>Nadmorska visina [m.n.m.]</i>
Primorska Hrvatska	Pula	44° 51' 56.0"	13° 50' 46.0"	29
	Pazin	45° 14' 27.0"	13° 56' 43.0"	291
	Rijeka	45° 20' 13.4"	14° 26' 34.2"	120
	Mali Lošinj	44° 31' 57.0"	14° 28' 19.0"	53
	Zadar	44° 07' 48.4"	15° 12' 20.9"	5
	Šibenik	43° 43' 41.2"	15° 54' 22.7"	77
	Split - Marjan	43° 30' 30.0"	16° 25' 34.8"	122
	Dubrovnik	42° 38' 41.1"	18° 05' 05.5"	52
	Hvar	43° 10' 14.7"	16° 26' 14.1"	20
	Lastovo	42° 46' 06.0"	16° 54' 00.5"	186
	Senj	44° 59' 32.9"	14° 54' 12.2"	26
	Knin	44° 02' 26.8"	16° 12' 24.7"	255
Gorska Hrvatska	Gospić	44° 33' 01.6"	15° 22' 23.4"	564
	Zavižan	44° 48' 52.8"	14° 58' 31.0"	1594
	Ogulin	45° 15' 46.0"	15° 13' 20.0"	328
	Parg	45° 35' 36.5"	14° 37' 49.9"	863
	Delnice	45° 24' 15.6"	14° 48' 29.2"	681
	Gračac	44° 18' 21.6"	15° 51' 26.4"	567
Nizinska Hrvatska	Osijek - Čepin	45° 30' 08.1"	18° 33' 42.1"	89
	Slavonski Brod	45° 09' 32.9"	17° 59' 43.6"	88
	Daruvar	45° 35' 29.0"	17° 12' 36.6"	152
	Bjelovar	45° 54' 35.1"	16° 51' 09.9"	141
	Zagreb - Grič	45° 48' 52.5"	15° 58' 19.3"	157
	Križevci	46° 01' 43.8"	16° 33' 12.5"	157
	Varaždin	46° 16' 58.0"	16° 21' 50.0"	167
	Sisak	45° 29' 59.8"	16° 22' 00.7"	98
	Karlovac	45° 29' 37.0"	15° 33' 54.0"	110
	Puntijarka	45° 54' 27.6"	15° 58' 06.0"	991
	Požega	45° 20' 32.6"	17° 42' 08.1"	152
Donji Miholjac	45° 45' 32.0"	18° 09' 37.7"	97	

Na Slici 1. prikazan je položaj promatranih meteoroloških postaja na geografskoj karti RH.



Slika 1. Prikaz položaja meteoroloških postaja na geografskoj karti Republike Hrvatske

3. TEORETSKI DIO

3.1 Klimatska područja Republike Hrvatske

Istraživanje klime RH predstavlja velik izazov za klimatologe zbog toga što postoji velika prostorna raznolikost prosječnog stanja atmosfere. Klima RH određena je položajem u sjevernom umjerenom pojasu, a modificirana je utjecajem Jadranskog i Sredozemnog mora te orografijom Dinarida. Prema tome, u RH prevladavaju tri osnovna klimatska područja: primorska, kontinentalna i planinska klima [5].

U kontinentalnom dijelu RH stanje atmosfere je izrazito promijenljivo. Intenzivne promjene tijekom godine uzrokuju putujući sustavi niskog ili visokog tlaka zraka. U zimskom razdoblju prevladavaju stacionarni anticiklonalni tipovi vremena pri čemu često nastaje magla ili niski oblaci sa slabim strujanjem te dolazi do stvaranja inja. U proljeće prevladavaju brže pokretni ciklonalni tipovi vremena te dolazi do nagle promjene vremena. Ljeti noćni povjetarac prolazi niz padine gore ili planine, dok hladna fronta donosi svjež zrak s Atlantika pri čemu dolazi do jakog miješanja zraka, pojave jakog vjetra, grmljavine i pljuskova. Takva labilna stratifikacija zadržava se dok novu zračnu masu ne ugrije podloga. U ranoj jeseni prevladava mirno anticiklonalno vrijeme čije su karakteristike topli i sunčani dani i svježije noći s pojavom rose i magle nad potocima i rijekama. U kasnoj jeseni anticiklonalno vrijeme je hladno, tmurno i maglovito. Klima kontinentalnog dijela RH izložena je utjecaju Sredozemnog mora čiji se učinak ističe jače na području južno od Save te slabi prema istoku. Također, orografija značajno utječe na kontinentalnu klimu (Medvednica, gore u Hrvatskom Zagorju) tako što pojačava jake kratkotrajne oborine na navjetrinskom dijelu planine ili stvara oborinsku sjenu u zavjetrini [5].

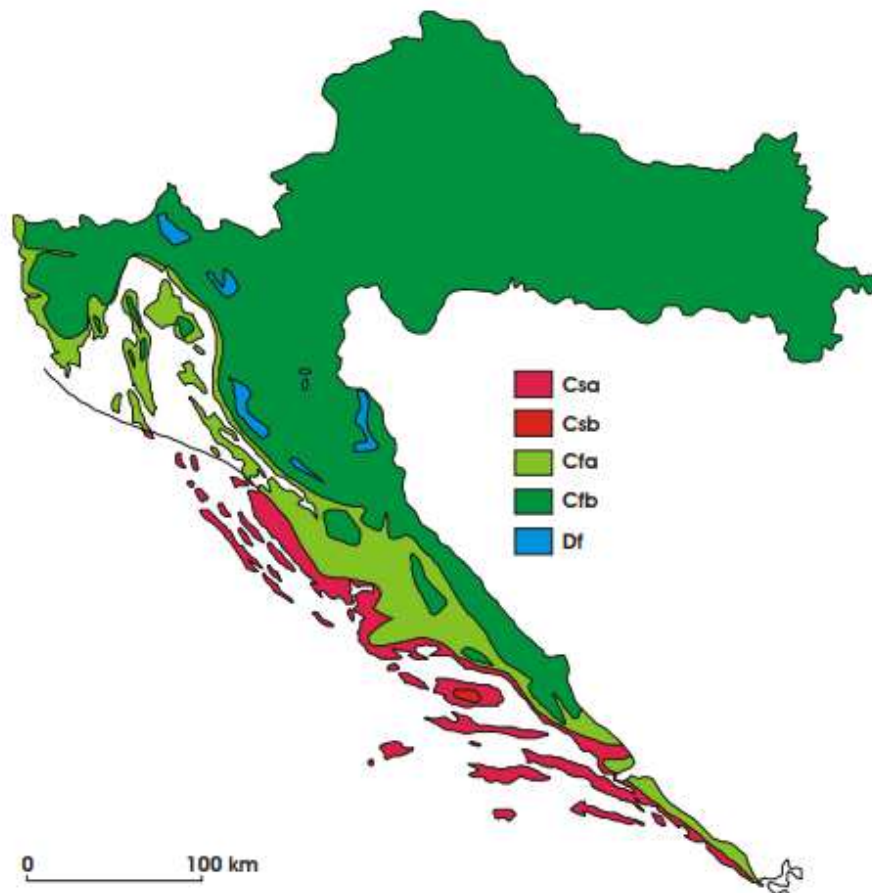
Planinska klima pojavljuje se na višim nadmorskim visinama na Dinaridima u Gorskom kotaru, dalmatinskom zaleđu i Lici. Takva područja razlikuju se od ostalih prema temperaturnom i snježnom režimu. Karakteriziraju je niske temperature zraka te dugotrajne i obline snježne oborine [5].

Klimu u primorskom dijelu RH karakteriziraju česte i intenzivne promjene vremena, osim ljeti kada azorska anticiklona sprječava prodor hladnog zraka na Jadran te donosi suho i toplo vrijeme. Najveći utjecaj na to područje ima more, ali i orografija dinarskog planinskog lanca. Na Jadranu, tijekom ljetnog razdoblja prevladava dugotrajno vedro vrijeme. Na pučini struji sjeverozapadni vjetar, na sjevernom dijelu Jadrana slab, a na središnjem dijelu Jadrana umjeren vjetar. Na obali i otocima u RH razvijaju se lokalne dnevne periodične cirkulacije zraka uzrokovane nejednakom brzinom zagrijavanja i hlađenja kopna i mora. Danju vjetar puše s mora na kopno, a noćni vjetar puše s kopna prema moru. Zimi je turbulencija mala zbog čega su su lokalni uvjeti dominantni. Vjetar koji prevladava na sjevernom Jadranu i istarskom priobalnom području je bura koja je poznata po velikim brzinama (više desetaka km na sat) i trajanju. Na srednjem i južnom Jadranu po intenzitetu i učestalosti prevladava jugo [5].

Klasifikacija klime u RH obično se provodi prema Köppenovim i Thornthwaitovim kriterijima. Köppenova klasifikacija klime definirana je prema prosječnom godišnjem hodu temperature zraka i količini oborina, a Thornthwaitova prema odnosu količine vode koja je potreban za potencijalnu evapotranspiraciju i oborinskih voda [5].

Prema Köppenovim kriterijima u RH prevladava klima razreda C (umjereno topla kišna klima) gdje je srednja mjesečna temperatura zraka najhladnijeg mjeseca viša od -3°C i niža od 18°C (Slika 2) [6]. Bitna karakteristika ovog razreda klime je pravilan ritam godišnjih doba, nema neprekidno visokih ili niskih temperatura zraka. Tip C_f , odnosno umjereno topla vlažna klima, pokriva većinu RH. Na srednjem i južnom dijelu Jadrana prevladava tip C_s , odnosno sredozemna klima. Podtipovi razreda C sa oznakom "a" označavaju vruće ljeto gdje srednja temperatura zraka najtoplijeg mjeseca iznosi $\geq 22^{\circ}\text{C}$, a podtipovi sa oznakom "b" toplo ljeto gdje je srednja temperatura zraka najtoplijeg mjeseca $< 22^{\circ}\text{C}$ [6].

Planinska područja na nadmorskim visinama većim od 1200 m imaju klimu razreda D (snježno-šumska klima) gdje srednja temperatura zraka najhladnijeg mjeseca ima vrijednost nižu od -3°C [6].



Slika 2. Köppenova klasifikacija klime Republike Hrvatske: Csa, sredozemna klima s vrućim ljetom; Csb, sredozemna klima s toplim ljetom; Cfa, umjereno topla vlažna klima s vrućim ljetom; Cfb, umjerena topla vlažna klima s toplim ljetom; Df, vlažna borealna klima [6]

Prema Thornthwaiteovoj klasifikaciji postoji pet tipova klime: perhumidna (izrazito vlažna), humidna (vlažna), subhumidna (poluvlažna), semiaridna (polusuha) i aridna (suha) klima [7]. U RH pojavljuju se tri tipa ove klime [5]:

- perhumidna
- humidna
- i subhumidna klima.

U nizinskom dijelu RH uglavnom prevladava humidna klima, osim u istočnoj Slavoniji gdje prevladava subhumidna klima. U gorskom dijelu dominira perhumidna klima, dok se u primorju pojavljuju perhumidna, humidna i subhumidna klima. Humidna

klima prevladava na sjevernom i srednjem dijelu Jadrana s time da su Kvarner, dalmatinsko zaleđe i unutrašnjost Istre vlažniji od obalnog dijela Istre i srednjeg Jadrana. Klima u području Kvarnerskog zaljeva, osobito u riječkoj regiji, svrstava se u perhumidnu klimu zbog orografskog efekta intenzifikacije oborine. Na južnom Jadranu i malom dijelu srednjeg Jadrana prevladava subhumidna klima, a na najjužnijim dijelovima RH (oko Dubrovnika) prevladava humidna klima zbog većih količina oborina [5].

3.2 Mjerenje temperature zraka u Republici Hrvatskoj

Meteorološki elementi podrazumijevaju veličine kojima se prikazuje fizikalno stanje i pojave u atmosferi. Glavni meteorološki elementi mogu se podijeliti u tri skupine [8, 9]:

- elementi koji određuju stanja mehaničke prirode vezane uz utjecaj sile teže (tlak zraka, brzina i smjer vjetra)
- elementi koji ovise o djelovanju Sunca (temperatura zraka, trajanje i intenzitet sijanja Sunca)
- i elementi vezani uz vodenu paru (naoblaka, vlažnost zraka, oborine).

Rezultati istraživanja razdiobe temperature zraka u horizontalnom i vertikalnom smjeru i promjene temperature zraka u dnevnom, sezonskom i godišnjem hodu služe kao osnova za razumijevanje vremenskih zbivanja. Podaci o klimatskim elementima dobivaju se motrenjem na meteorološkim postajama. Termometrijska kućica je kućište izrađeno po propisima WMO-a u kojem se nalaze meteorološki instrumenti. Na taj način oni su zaštićeni od oborina i izravnog Sunčevog zračenja te su izloženi slobodnom strujanju zraka [5, 10].

Temperatura zraka, prema preporuci WMO, mjeri se živinim ili alkoholnim termometrom na visini 2 m od tla unutar termometrijske kućice (Slika 3) [5]. Također, mjeri se i maksimalna i minimalna temperatura zraka u određenom vremenskom intervalu (npr. 24 sata). Maksimalna temperatura zraka mjeri se vodoravno postavljenim živinim termometrom, dok se minimalna temperatura zraka mjeri alkoholnim termometrom. U maksimum-termometru, pri snižavanju temperature zraka živina nit se prekida, a zaostala

živa u kapilari pokazuje najvišu dostignutu vrijednost temperature. U minimum-termometru, pri povećanju temperature, alkohol teče mimo štapića i ostaje na mjestu najniže temperature [10]. Uređaji koji neprestano bilježe promjenu temperature zraka nazivaju se termografi [11].



Slika 3. Prikaz unutrašnjosti termometrijske kućice [12]

Današnje meteorološke postaje, osim navedenim klasičnim instrumentima opremljene su i suvremenim elektroničkim osjetnicima koji bilježe podatke o stanju atmosfere sekundne vremenske razlučivosti. Očekuje se postupni prelazak s klasičnog na suvremeniji elektronički način motrenja stanja atmosfere. Zbog homogenosti podataka i usporedivosti dobro bi bilo zadržati određen broj referentnih meteoroloških postaja s klasičnim kao i suvremenim motrenjima.

Vrijednost srednje dnevne temperature zraka (t_{sr}) u DHMZ-u izračunava se prema jednadžbi (1) [5]:

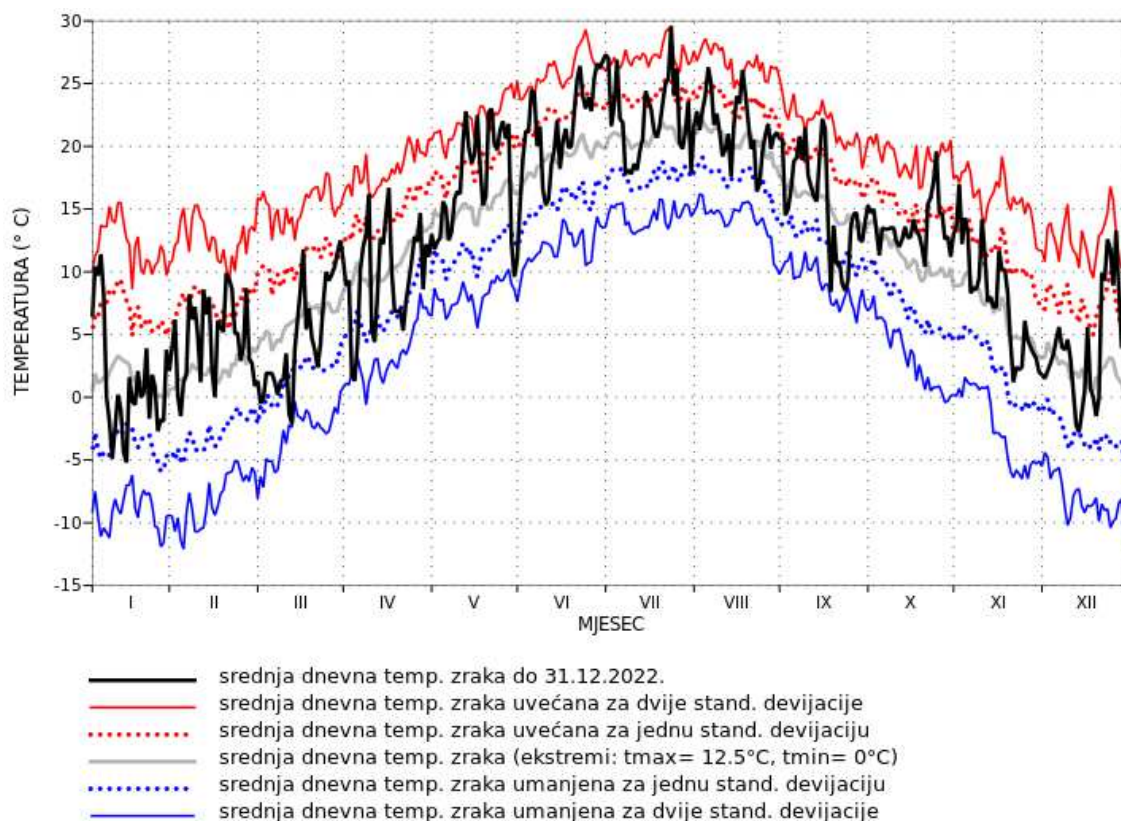
$$t_{sr} = \frac{t_7 + t_{14} + 2t_{21}}{4} \quad (1)$$

pri čemu je:

- t_{sr} - srednja dnevna temperatura zraka
- t_7 - vrijednost temperature zraka izmjerene u 7 sati
- t_{14} - vrijednost temperature zraka izmjerene u 14 sati
- t_{21} - vrijednost temperature zraka izmjerene u 21 sat, po lokalnom vremenu.

Dvostrukim umnoškom vrijednosti temperature zraka izmjerene u 21 sat, po lokalnom vremenu, nadoknađuje se nedostatak mjerenja u noćnom terminu.

Višegodišnji prosjek podrazumijeva prosjek srednjih dnevnih temperatura zraka iz određenog višegodišnjeg razdoblja. Standardna devijacija predstavlja prosječno srednje kvadratno odstupanje srednjih dnevnih temperatura zraka od višegodišnjeg prosjeka [13]. Dani u kojima se srednja dnevna temperatura zraka nalazi u granicama između višegodišnjeg srednjaka umanjenog ili uvećanog za jednu standardnu devijaciju nazivaju se *relativno umjereno topli* dani. Dani u kojima se srednja dnevna temperatura zraka nalazi u granicama između višegodišnjeg srednjaka umanjenog ili uvećanog za dvije standardne devijacije smatraju se *relativno toplim* ili *hladnim* danima. Dani u kojima je srednja dnevna temperatura zraka izvan granica relativno toplih ili hladnih dana smatraju se *relativno ekstremno toplim* ili *hladnim* danima [13]. Na Slici 4 dan je grafički prikaz izračunatih srednjaka temperature zraka za 2022. godinu u gradu Ogulinu.

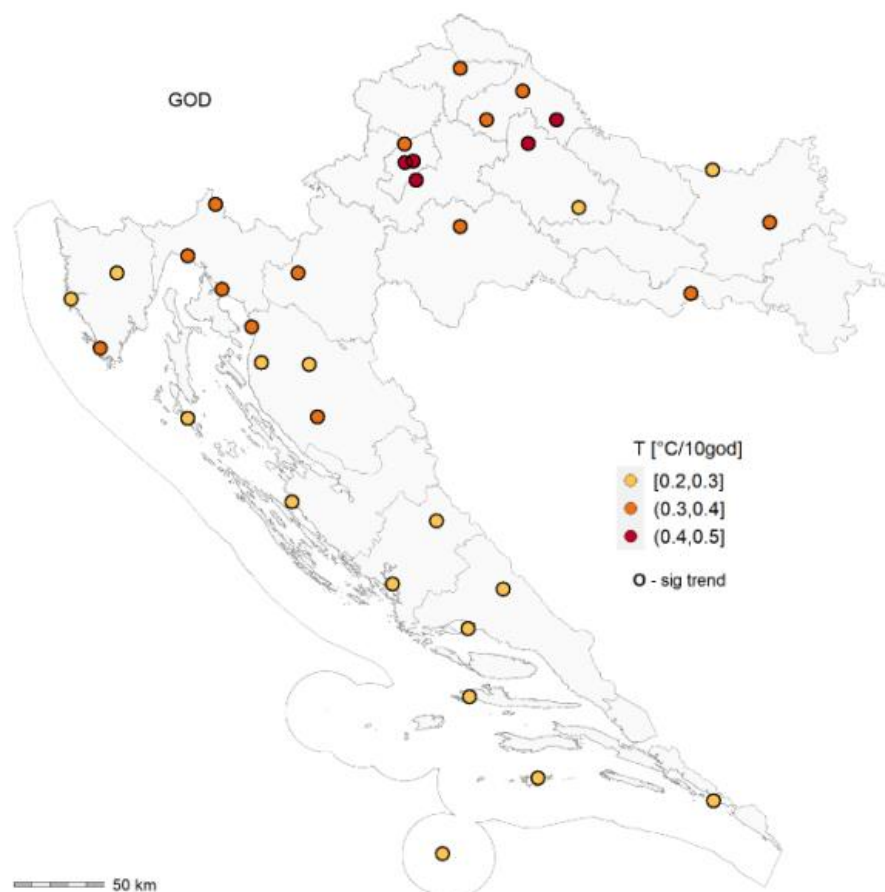


Slika 4. Srednjaci temperature zraka za grad Ogulin 2022. godine [13]

3.3 Dekadni trendovi godišnje temperature zraka u Republici Hrvatskoj

Na području RH od druge polovine 20. stoljeća moguće je uočiti konzistentan porast prizemne temperature zraka. Na Slici 5 prikazani su dekadni trendovi srednje godišnje prizemne temperature zraka u RH prema razdoblju mjerenja 1961. – 2020.

Duž Jadrana vrijednost trenda srednje godišnje temperature zraka iznosi 0,2 – 0,3 °C po dekadi, dok u središnjem dijelu zemlje iznosi do 0,5 °C po dekadi [14]. Uočen porast srednje godišnje prizemne temperature zraka posljedica je porasta temperature zraka u svim sezonama, a pogotovo ljeti (0,3 – 0,6 °C / 10 god) [14].



Slika 5. Dekadni trendovi godišnje temperature zraka u Republici Hrvatskoj [14]

3.4 Klimatsko modeliranje budućih promjena temperature zraka u Republici Hrvatskoj

Na Slici 6 prikazana je projicirana promjena srednje temperature zraka (oznaka t), minimalne temperature zraka (oznaka t_{\min}) i maksimalne temperature zraka (oznaka t_{\max}) na 2 m u srednjaku ansambla modela za razdoblje 2041. – 2070. u odnosu na referentno razdoblje 1981. – 2010. za scenarij umjerenog razvoja koncentracije stakleničkih plinova (RCP4.5). Promjene temperature zraka promatrane su u cijeloj godini (oznaka GOD) i po sezonama [14]:

- zima (oznaka DJF)
- proljeće (oznaka MAM)
- ljeto (oznaka JJA)
- jesen (oznaka SON)

Vidljiv je izrazit porast vrijednosti temperatura zraka na području cijele RH na godišnjoj razini i po sezonama. Porast srednje temperature zraka na godišnjoj razini 1,5 °C – 1,6 °C očekuje se na gotovo cijelom teritoriju RH, dok se nešto veći porast 1,6 °C – 1,7 °C očekuje na teritoriju gorskog dijela RH [14].

Također, izrazit porast vidljiv je i za maksimalne i minimalne vrijednosti godišnje temperature zraka. Na najistočnijem dijelu RH projicirani porast minimalnih vrijednosti temperature zraka iznosi 1,4 – 1,5 °C, a u ostatku zemlje 1,5 – 1,6 °C [14]. Na području Jadrana te u središnjem i istočnom dijelu RH projicirani porast maksimalnih vrijednosti temperature zraka iznosi 1,5 – 1,6 °C, a u gorskom dijelu i u unutrašnjosti Istre 1,6 – 1,7 °C [14].

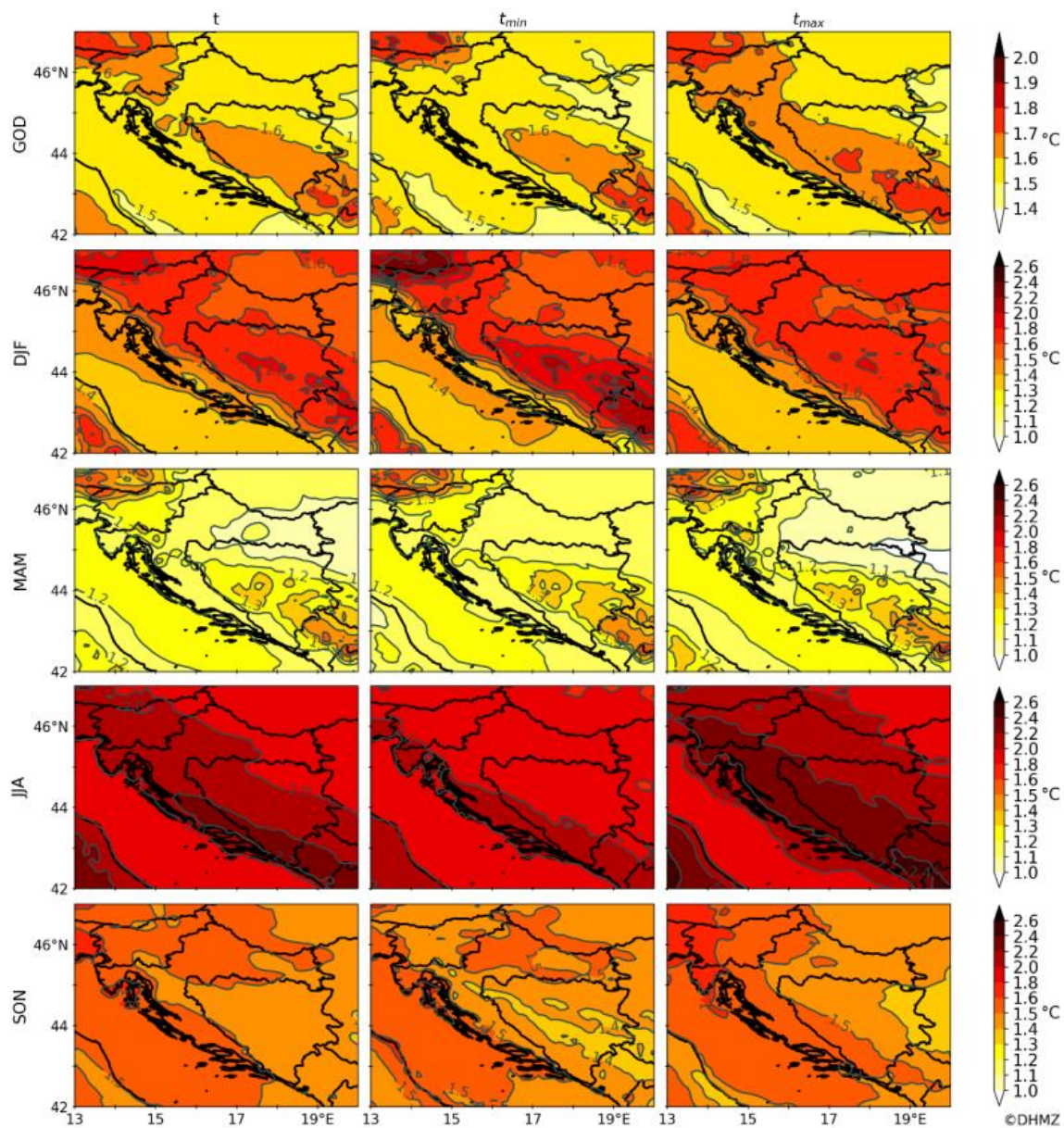
Promatrajući promjenu po sezonama, najveći porast srednje vrijednosti temperature zraka očekuje se u ljetim mjesecima koji će u gotovo čitavom području RH iznositi 2 – 2,2 °C, dok u Dalmaciji promjena temperature zraka može doseći i 2,4 °C [14]. U zimskom razdoblju primjećuje se da se najveći porast srednje godišnje temperature zraka očekuje u gorskom i sjeverozapadnom dijelu zemlje (1,6 – 1,8 °C). Na istočnom dijelu zemlje očekivan porast zimi iznosi 1,5 – 1,6 °C u priobalnom području 1,4 – 1,5 °C [14]. Porast godišnjih temperatura zraka u jesen od 1,5 do 1,6 °C zahvaćat će područje cijele RH, osim gorskog i najistočnijeg dijela RH (1,4 – 1,5 °C) te područja Kvarnerskog zaljeva (1,6 i 1,8 °C) [14]. Najmanji porast srednje godišnje temperature zraka očekuje se u proljeće koji će u najvećem dijelu zemlje iznositi 1,1 – 1,2 °C [14]. Viši porast biti će na obali (1,2 – 1,3 °C), a niži na istoku zemlje (1 – 1,1 °C) [14].

Najveći porast vrijednosti minimalnih i maksimalnih temperatura zraka također se očekuje ljeti. Na području Jadrana, središnjeg i istočnog dijela zemlje očekuje se porast ljetnih maksimalnih temperatura 2 – 2,2 °C, a u gorskom dijelu zemlje i u unutrašnjosti Istre 2,2 – 2,4 °C [14]. Ljeti u priobalnom području, unutrašnjosti Istre i Dalmacije porast minimalne temperature iznosit će 2 – 2,2 °C, a u ostatku zemlje iznosit će 1,8 - 2 °C [14].

Porast zimskih maksimalnih temperatura zraka u gorskom dijelu i unutrašnjosti bit će 1,5 – 1,8 °C, u Istri i u priobalju 1,4 – 1,5 °C, na Jadranu 1,3 – 1,4 °C [14]. Porast zimskih minimalnih temperatura na području cijele zemlje iznosit će 1,3 °C – 1,8 °C [14].

Maksimalne temperature zraka na jesen, na obali Jadrana, u Gorskom kotaru i Lici, na zapadu i središnjem dijelu zemlje porast će između 1,5 – 1,6 °C, u Istri će iznositi 1,6 – 1,8 °C, a u kontinentalnom dijelu 1,4 – 1,5 °C [14]. Porast minimalnih jesenskih temperatura najveći je na Kvarneru (do 1,8 °C) te Jadranu i središnjem dijelu zemlje gdje iznosi 1,5 – 1,6 °C, a u gorskom području i središnjem dijelu istočne RH iznosi između 1,4 i 1,5 °C [14].

Proljetne maksimalne temperature zraka najmanje će porasti na istoku zemlje i (1 – 1,1 °C), dok će veći porast (1,1 – 1,2 °C) biti u zapadnom dijelu unutrašnjosti zemlje i dijelu Dalmacije [14]. Na obalnom području i u Istri porast maksimalnih proljetnih temperatura bit će 1,2 – 1,3 °C [14]. Promjene minimalnih temperatura u proljeće na većem području zemlje iznose 1,1 – 1,2 °C, a u gorskom dijelu zemlje 1,2 – 1,3 °C [14].



Slika 6. Promjena srednje (t), minimalne (t_{min}) i maksimalne (t_{max}) temperature zraka na 2 m u srednjaku ansambla korištenih modela za razdoblje 2041. – 2070. u odnosu na razdoblje 1981. – 2010. za scenarij RCP4.5 [14]

3.5 Primjena geostatistike u meteorologiji

Geostatistika spada u granu geomatematike koja se bavi analizom prostornih podataka (korištenjem variograma ili drugih tehnika) u svrhu kvantificiranja i modeliranja njihove prostorne korelacije [15]. U meteorologiji, računalni programi poput Surfera, ArcGIS-a itd., uz određenu prilagodbu, koriste se za analizu prostorne distribucije meteoroloških elemenata. U programu Surfer, prostornu distribuciju meteoroloških elemenata moguće je grafički prikazati izradom variograma i konturnih karata [16, 17].

Variogram je jedan od osnovnih geostatističkih alata za vizualizaciju i modeliranje prostorne i vremenske ovisnosti slučajne varijable, a može se opisati eksperimentalnim i teorijskim variogramom [15].

Eksperimentalni variogram može se opisati jednačbom (2) [15]:

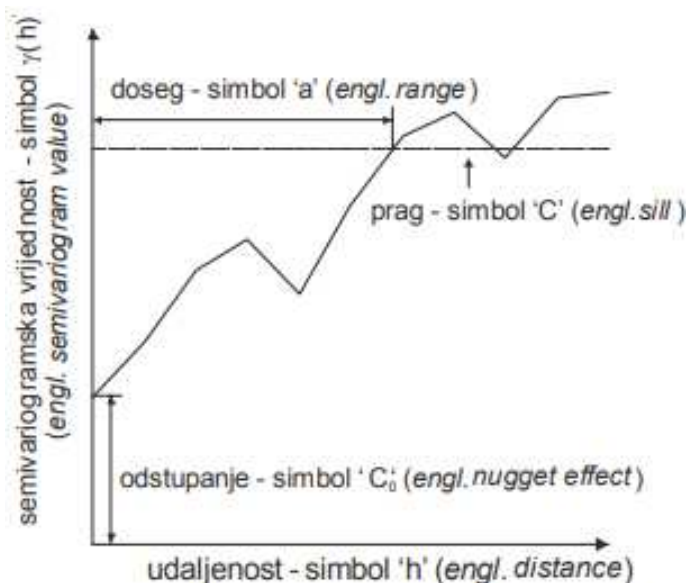
$$2\gamma(h) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

Pri tome je:

- $2\gamma(h)$ - vrijednost variograma
- n - broj parova podataka uspoređenih na udaljenosti h
- $z(x_i)$ - vrijednost varijable na lokaciji x_i
- $z(x_i+h)$ - vrijednost varijable na lokaciji udaljenoj za h od promatrane lokacije x_i

Parametri eksperimentalnog variograma prikazani su na Slici 7 [18]:

- odstupanje – C_0
- prag – C
- doseg – a
- udaljenost – h



Slika 7. Parametri eksperimentalnog variograma [18]

Odstupanje (C_0) predstavlja pojavu u kojoj krivulja siječe ordinatu u određenoj pozitivnoj vrijednosti i uvijek je niža od praga. Što je veće odstupanje procjena će biti slabija. Ukoliko odstupanje ima vrijednost jednaku pragu, variogram se ne koristi [15, 18].

Prag (C), odnosno varijanca, predstavlja mjeru disperzije mjerenih ili slučajnih varijabli. Izračunava se prema jednadžbi (3) [19]:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (3)$$

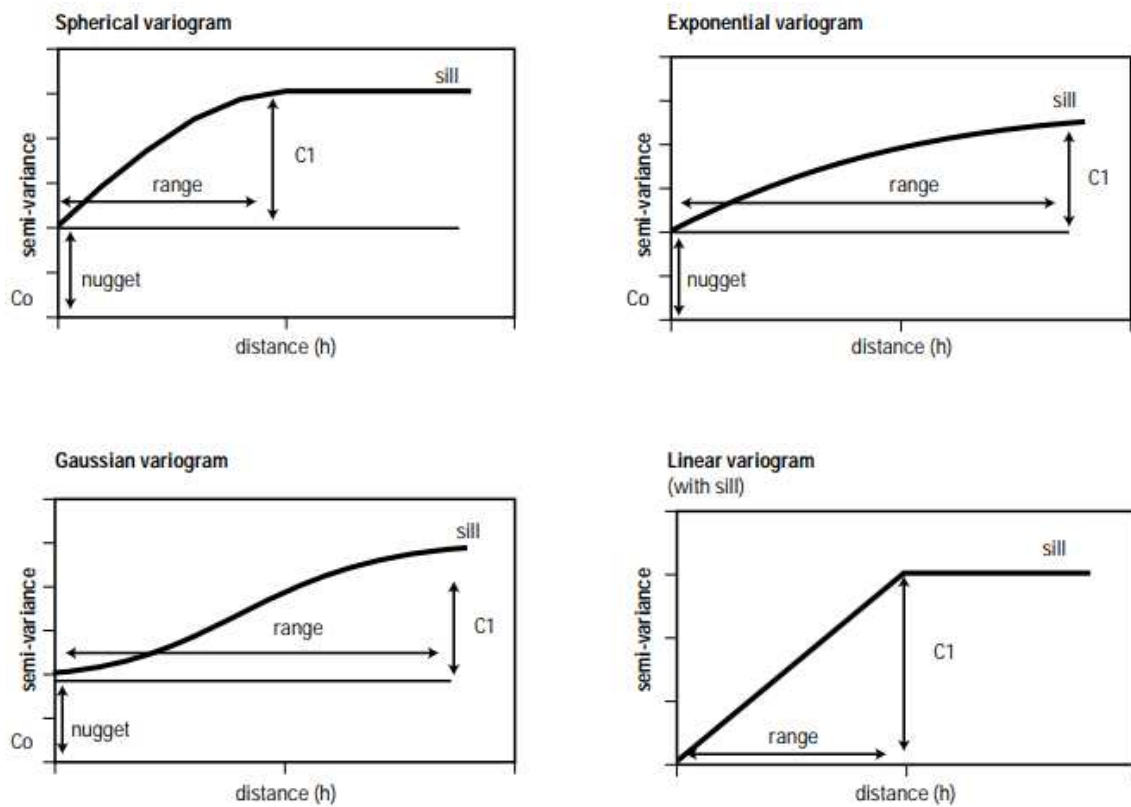
pri čemu je:

- σ^2 - varijanca
- x_i - pojedinačna vrijednost
- \bar{x} - srednja vrijednost skupova podataka

Doseg (a) predstavlja vrijednost u kojoj eksperimentalna krivulja prvi put presijeca prag, a nakon toga više ne postoji prostorna korelacija [15].

Udaljenost (h) predstavlja vrijednost na kojoj se međusobno uspoređuju podaci [15].

Eksperimentalni variogrami mogu se matematički aproksimirati teorijskim variogramskim modelima [20]. Na Slici 8 prikazani su najčešće korišteni teorijski variogramski modeli: sferni, eksponencijalni, Gaussov i linearni.



Slika 8. Teorijski variogramski modeli [20]

4. METODOLOGIJA RADA

4.1 Izrada variograma i konturnih karata

Za izradu variograma i konturnih karata prostorne razdiobe srednje dnevne temperature zraka u RH korišten je računalni program „Surfer“, softver tvrtke „GoldenSoftware“. Za vizualizaciju prostornog korelacijskog modela odabrana je tehnika kriginga. Krigiranje je metoda interpolacije koja se temelji na iterativnom računanju težinskih koeficijenata za mjerene podatke kako bi se postigla najmanja varijanca u točki procjene gdje vrijedi jednačina (4) [15]:

$$Z_k = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z_i \quad (4)$$

Pri tome je:

- Z_k - vrijednost procijenjena iz ‘n’ okolnih podataka
- λ_i - težinski koeficijent na lokaciji ‘i’
- Z_i - mjerena vrijednost na lokaciji ‘i’

Kako bi se odredilo koji se teorijski variogram najbolje uklapa u eksperimentalnu krivulju, proveden je postupak krosvalidacije. Tim postupkom saznajemo kolika je srednja vrijednost kvadrirane razlike između mjerene i procijenjene vrijednosti na lokaciji, odnosno koliko kriging griješi u analizi. Izračunava se prema jednačini (5) [15]:

$$MSE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (v_i - \hat{v}_i)^2 \quad (5)$$

pri čemu je:

- MSE - srednja kvadratna pogreška procjene odabrane metode
- v_i - vrijednost izmjerena vrijednost na lokaciji ‘i’
- \hat{v}_i - interpolirana vrijednost na lokaciji ‘i’

- n - broj mjerenja

Za izradu geostatističkih modela godišnjih prosjeka temperature zraka u RH i njenim regijama, zemljopisne koordinate konvertirane su u projekcijski koordinatni sustav RH poprečne Mercatorove (Gauss-Krügerove) projekcije (HTRS96/TM) (Tablica 2).

Tablica 2. Koordinate meteoroloških postaja prema HTRS96/TM

<i>Postaja</i>	<i>E(m) HTRS96/TM</i>	<i>N(m) HTRS96/TM</i>
Pula	4972934,09	290281,00
Pazin	5014384,11	299434,40
Rijeka	5023959,96	338769,20
Mali Lošinj	4934500,15	338814,77
Zadar	4888605,14	396434,78
Šibenik	4843299,84	452169,86
Split - Marjan	4818715,26	494043,50
Dubrovnik	4724000,93	629961,51
Hvar	4781213,00	494898,01
Lastovo	4736587,87	532746,77
Knin	4877907,24	476506,90
Gospić	4935110,62	410469,60
Zavižan	4964982,94	379405,49
Ogulin	5014440,94	399722,94
Parg	5052096,58	354142,72
Delnice	5030769,93	367554,98
Gračac	4907533,71	448724,91
Osijek - Čepin	5042326,75	661114,95
Slavonski Brod	5003217,83	617572,39
Daruvar	5050410,14	555409,82
Bjelovar	5085606,50	527366,83
Zagreb - Grič	5075104,97	458969,25
Križevci	5098782,26	504139,57
Varaždin	5127014,08	489511,27
Sisak	5040011,11	489595,15
Karlovac	5039723,93	426921,31
Puntijarka	5085451,91	458751,04
Požega	5023196,70	594217,85
Donji Miholjac	5070120,85	629169,83

Kako bi se izračunala razlika u godišnjim prosjecima temperature zraka između razdoblja 1990. – 2020 i 1961. – 1990. korištena je jednadžba (6):

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad (6)$$

pri čemu je:

- ΔT - razlika u godišnjim prosjecima temperature zraka između razdoblja 1990. – 2020. i 1961. – 1990.
- T_2 - godišnji prosjek temperature zraka u razdoblju 1990. – 2020.
- T_1 - godišnji prosjek temperature zraka u razdoblju 1961. – 1990.

4.2 Reprezentativnost statističkih uzoraka i statističko testiranje

Cilj statističke analize je, na temelju skupa podataka o nekom obilježju, donijeti valjane zaključke o obilježju u cjelini. Statistička hipoteza predstavlja pretpostavku o razdiobi ili vrijednosti parametra slučajne varijable, a metoda u kojoj se ispituje istinitost hipoteze naziva se statistički test [21, 22].

Uzorak sadrži samo nekoliko vrijednosti promatranog obilježja zbog toga što nije moguće obuhvatiti cijeli skup vrijednosti ispitivanjima. Zaključak o istinitosti hipoteze ne može se donijeti sa apsolutnom sigurnošću, već samo sa određenom vjerojatnošću. Postoje različiti testovi za različite vrste hipoteza, kojima je propisan postupak koji se treba provesti [21, 22].

Za testiranje hipoteze o statističkoj značajnosti trenda porasta srednje godišnje temperature zraka potrebno je provesti t-test koji se može prikazati jednadžbom (7):

$$t = r \sqrt{\frac{d_f}{1 - r^2}} \quad (7)$$

pri čemu je:

- t - vrijednost t-testa
- r - drugi korijen koeficijenta determinacije R^2
- df - broj stupnjeva slobode

Oznaka “ t ” u ovom se slučaju odnosi na vrijednost t-testa, a podudarnost s oznakom za vrijeme je slučajna.

Koeficijent determinacije R^2 je pokazatelj reprezentativnosti modela trenda. Model trenda najpouzdaniji je kada je njegova R^2 vrijednost približno jednaka 1.

5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RASPRAVA

5.1 Srednje godišnje temperature zraka za područje Republike Hrvatske za dva uzastopna klimatska razdoblja

U Tablici 3 prikazani su izračunati višegodišnji prosjeci temperature zraka na 30 meteoroloških stanica za razdoblja: 1961. – 1990. i 1991. – 2020.

Tablica 3. Godišnji prosjek temperature zraka [°C] na 30 meteoroloških postaja za razdoblja: 1961. – 1990. i 1991. – 2020.

Naziv postaje	Godišnji prosjek temperature zraka [°C]	
	1961. – 1990.	1991. – 2020.
<i>Pula</i>	13,7497	15,0012
<i>Pazin</i>	11,0883	11,9852
<i>Rijeka</i>	13,6675	14,7573
<i>Mali Lošinj</i>	15,1328	16,0988
<i>Zadar</i>	14,7387	15,8063
<i>Šibenik</i>	15,1793	15,9881
<i>Split - Marjan</i>	15,9749	16,9015
<i>Dubrovnik</i>	16,3184	17,18
<i>Hvar</i>	16,3554	17,1019
<i>Lastovo</i>	15,4666	16,3541
<i>Senj</i>	14,5076	15,6562
<i>Knin</i>	12,8288	13,6047
<i>Gospic</i>	8,4275	9,7748
<i>Zavižan</i>	3,583	4,4253
<i>Ogulin</i>	9,7234	10,9803
<i>Parg</i>	7,0164	8,2266
<i>Delnice</i>	/	8,9297
<i>Gračac</i>	9,348	10,0448
<i>Osijek - Čepin</i>	10,8089	11,8576
<i>Slavonski Brod</i>	10,5206	11,7407
<i>Daruvar</i>	/	11,4088
<i>Bjelovar</i>	10,319	11,8196
<i>Zagreb - Grič</i>	11,4849	12,9216
<i>Križevci</i>	9,784	11,1334
<i>Varaždin</i>	9,9229	11,1924
<i>Sisak</i>	10,6578	11,9686

Tablica 3. (nastavak)

<i>Karlovac</i>	10,8358	11,3941
<i>Puntijarka</i>	/	7,4678
<i>Požega</i>	10,616	11,6697
<i>Donji Miholjac</i>	10,81	11,8612

Na meteorološkim postajama Delnice, Daruvar i Puntijarka u razdoblju od 1961.-1990. nema dovoljno podataka o srednjim dnevnim temperaturama zraka te stoga za njih nije izračunat višegodišnji prosjek prizemne temperature zraka.

5.2 Variografska analiza

U Tablicama 4 i 5 prikazane su srednje kvadratne pogreške procjene svih teorijskih variograma za razdoblja: 1961. – 1990. i 1991. – 2020. prema regijama RH. Crvenom bojom istaknuta je najmanja srednja kvadratna pogreška procjene određenog teorijskog variograma.

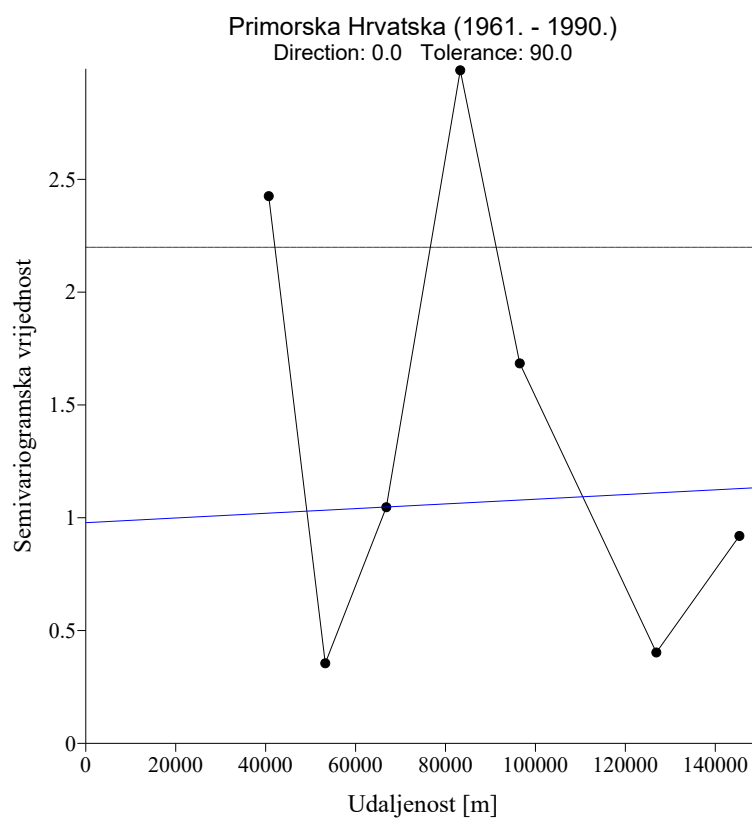
Rezultati za razdoblje 1961. – 1990. prikazani su na Slikama 9, 10 i 11, a za razdoblje 1991. – 2020. na Slikama 12, 13 i 14. Teorijski variogram koji je imao najmanju srednju kvadratnu pogrešku procjene uklopljen je u eksperimentalni variogram te je prikazan plavom linijom.

Tablica 4. Srednja kvadratna pogreška procjene teorijskih variograma za razdoblje 1961. – 1990. prema područjima RH (crvenom bojom istaknuta je najmanja srednja kvadratna pogreška procjene)

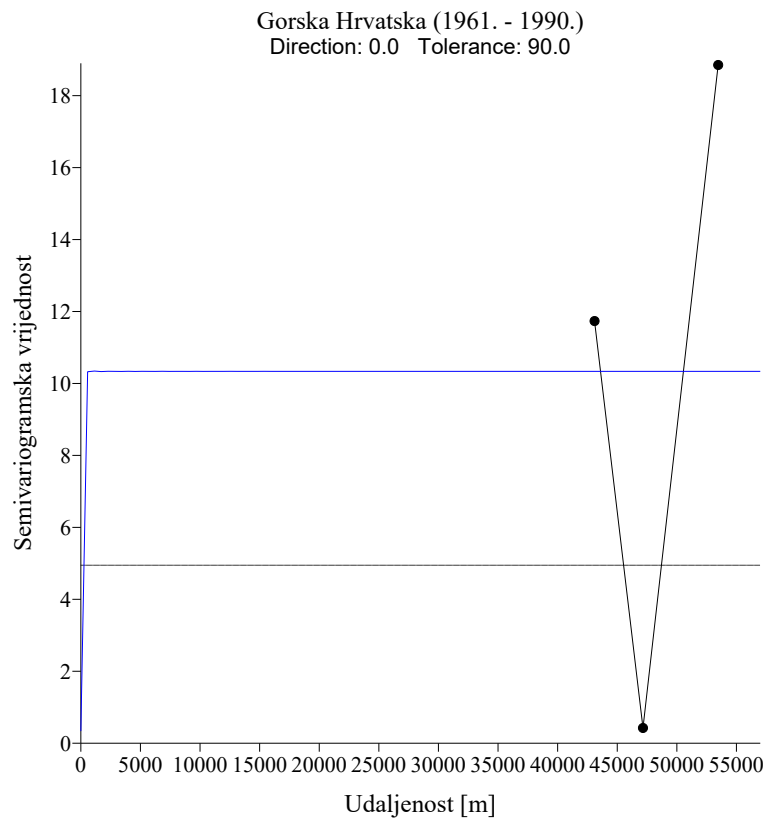
<i>Teorijski variogrami</i>	<i>MSE 1961. - 1990.</i>		
	Primorska Hrvatska	Gorska Hrvatska	Nizinska Hrvatska
<i>Exponential</i>	2,6163	7,7262	0,2634
<i>Gaussian</i>	2,6163	7,7262	0,2634
<i>Linear</i>	1,62	8,9156	0,1743
<i>Logarithmic</i>	2,5544	7,7422	0,2603
<i>Nugget Effect</i>	2,6163	7,7262	0,2634
<i>Power</i>	1,7954	8,2564	0,1898

Tablica 4. (nastavak)

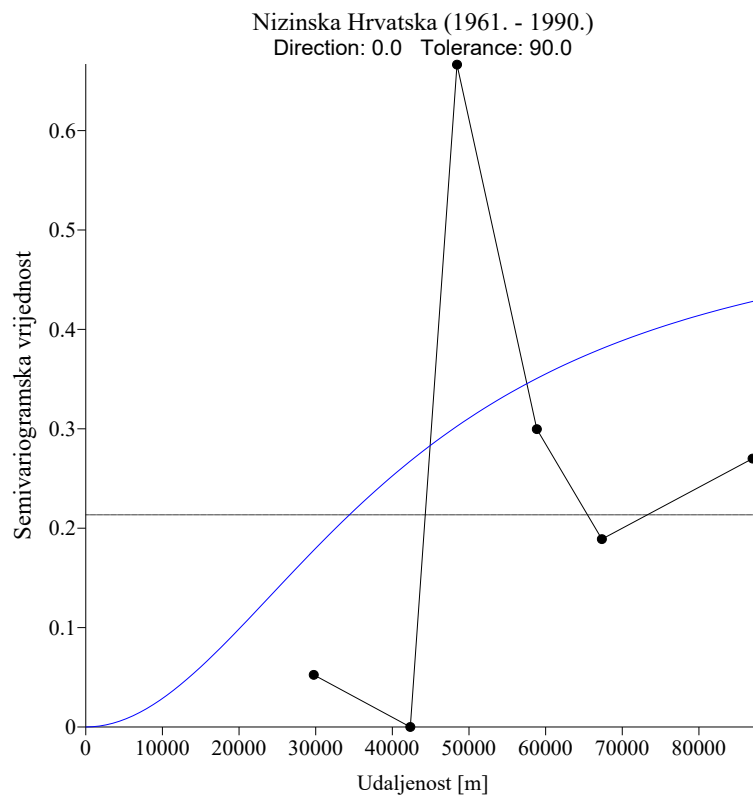
<i>Quadratic</i>	2,6163	7,7262	0,2634
<i>Rational Quadratic</i>	1,9612	17,357	0,1313
<i>Spherical</i>	2,6163	7,7262	0,2634
<i>Wave</i>	2,6163	7,7261	0,2618
<i>Cubic</i>	2,6163	7,7262	0,2634
<i>Pentaspherical</i>	2,6163	7,7262	0,2634



Slika 9. Primorska Hrvatska (1961. – 1990.) - teorijski variogram Linear (plava linija)



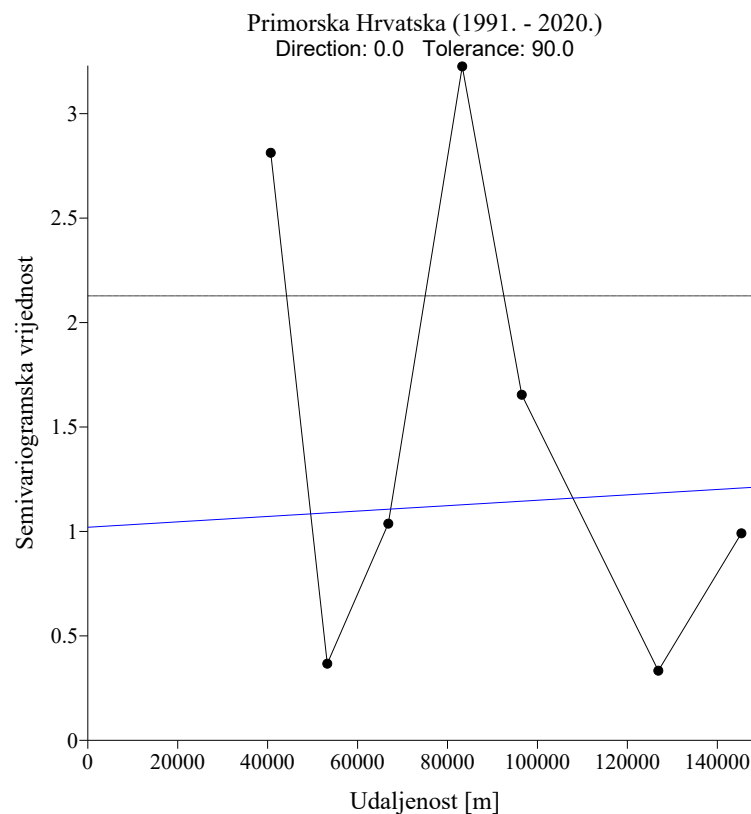
Slika 10. Gorska Hrvatska (1961. – 1990.) - teorijski variogram Wave (plava linija)



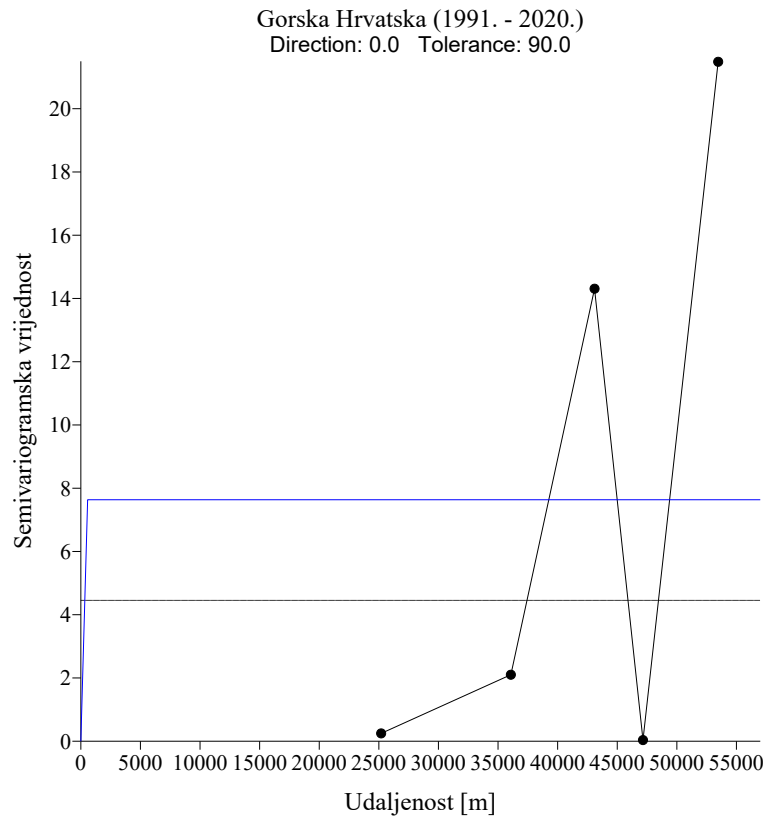
Slika 11. Nizinska Hrvatska (1961. – 1990.) - teorijski variogram Rational Quadratic (plava linija)

Tablica 5. Srednja kvadratna pogreška procjene teorijskih variograma za razdoblje 1991. – 2020. prema područjima RH (crvenom bojom istaknuta je najmanja srednja kvadratna pogreška procjene)

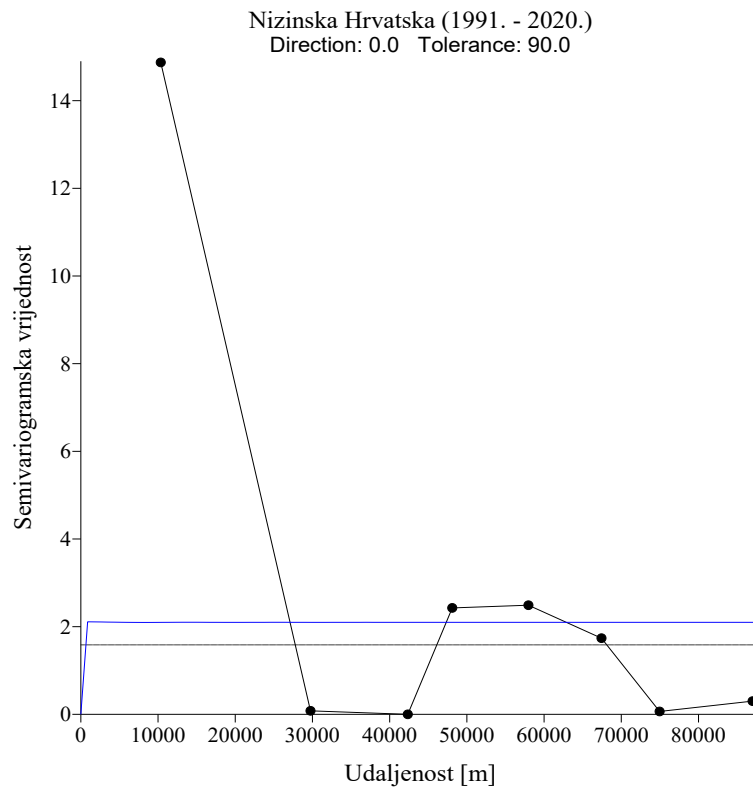
Teorijski variogrami	MSE 1991. - 2020.		
	Primorska Hrvatska	Gorska Hrvatska	Nizinska Hrvatska
Exponential	2,5317	6,4098	1,8834
Gaussian	2,5317	6,4098	1,8834
Linear	1,8635	7,1547	1,8834
Logarithmic	2,4874	6,4282	1,8997
Nugget Effect	2,5317	6,4098	1,8834
Power	1,927	6,9173	2,3163
Quadratic	2,5317	6,4098	1,8834
Rational Quadratic	2,3176	7,8082	688,2979
Spherical	2,5317	6,4098	1,8834
Wave	2,5345	6,4122	1,8816
Cubic	2,5317	6,4098	1,8834
Pentaspherical	2,5317	6,4098	1,8834



Slika 12. Primorska Hrvatska (1991. – 2020.) - teorijski variogram Linear (plava linija)



Slika 13. Gorska Hrvatska (1991. – 2020.) - teorijski variogram Exponential (plava linija)



Slika 14. Nizinska Hrvatska (1991. – 2020.) - teorijski variogram Wave (plava linija)

Prag variograma za Primorsku Hrvatsku u razdoblju 1961. – 1990. iznosi 2,1985, a u razdoblju 1991. – 2020. iznosi 2,1273. Domet variograma za Primorsku Hrvatsku u navedenim razdobljima iznosi oko 43000 m.

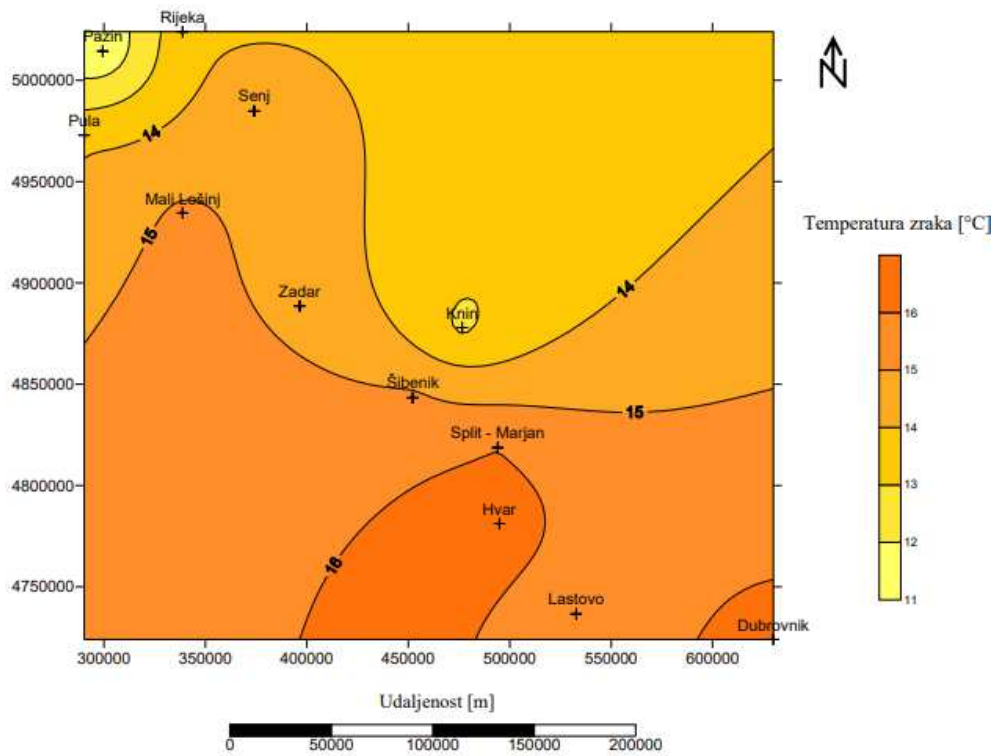
Prag variograma za Gorsku Hrvatsku u razdoblju 1961. – 1990. iznosi 4,9448, a u razdoblju 1990. – 2020. iznosi 4,451. Domet variograma u razdoblju 1961. – 1990. iznosi 46000 m, a u razdoblju 1991. – 2020. iznosi 37000 m.

Prag variograma za Nizinsku Hrvatsku u razdoblju 1961. – 1990. iznosi 0,2134, a u razdoblju 1991. – 2020. iznosi 1,5826. Domet variograma u razdoblju 1961. – 1990. iznosi oko 43000 m, a u razdoblju 1990. – 2020. oko 28500 m.

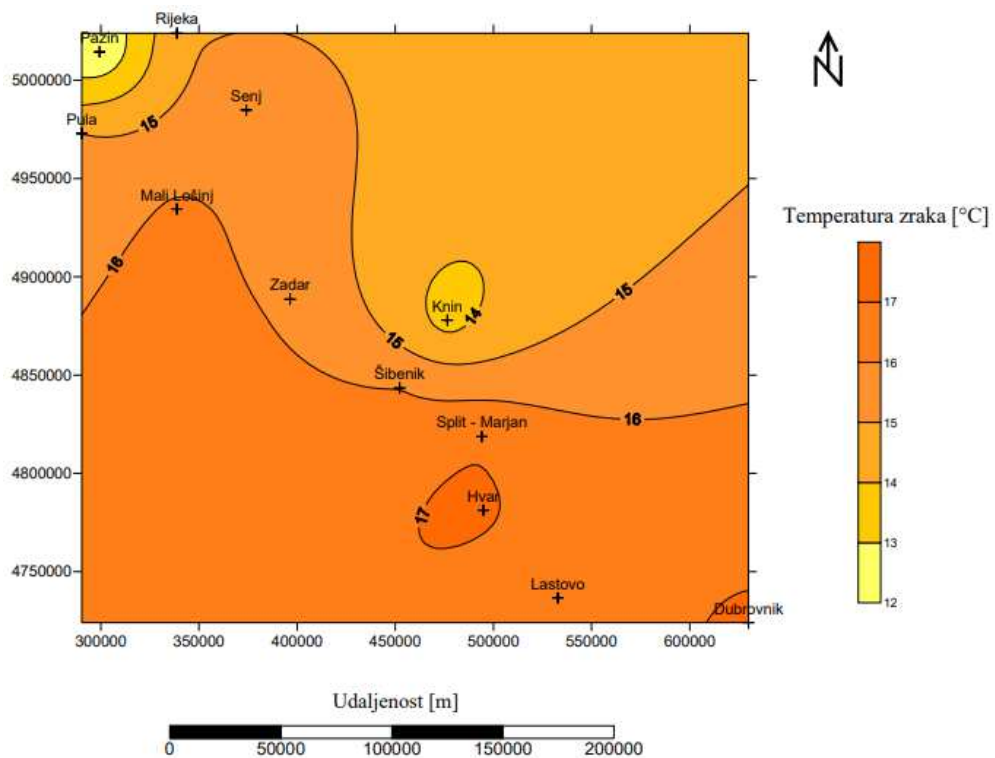
Usporedbom variograma može se primjetiti da su uklopljeni teorijski variogrami u Nizinskoj Hrvatskoj imali najmanju grešku procjene, dok je u Gorskoj Hrvatskoj najveća greška procjene. Također, pragovi variograma najmanji su Nizinsku, a najveći za Gorsku Hrvatsku. Najmanji domet variograma uočen je u razdoblju od 1991. – 2020. u Nizinskoj Hrvatskoj, dok je najveći domet uočen u razdoblju od 1961. – 1990. u Gorskoj Hrvatskoj. Može se zaključiti da su dometi u razdoblju od 1961. – 1990. veći nego u razdoblju od 1991. – 2020. što znači da postoji manja prostorna korelacija u drugom razdoblju.

5.3 Geostatistički model prostorne razdiobe srednje godišnje temperature zraka u Republici Hrvatskoj

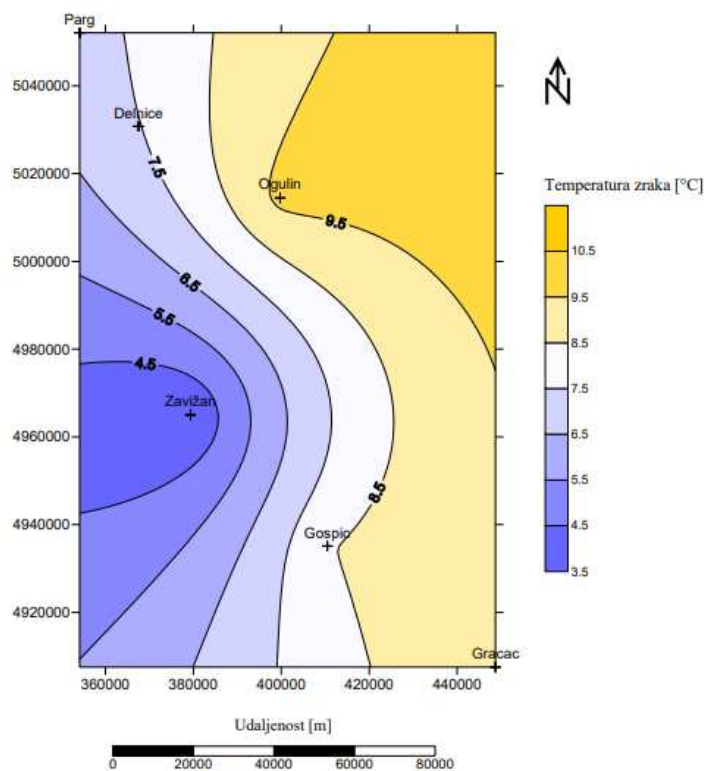
U računalnom programu Surfer izrađene su konturne karte prostorne razdiobe srednje godišnje temperature zraka u razdobljima 1961. – 1990. i 1991. – 2020. Rezultati za Primorsku Hrvatsku prikazani su na Slikama 15 i 16, Gorsku Hrvatsku na Slikama 17 i 18, Nizinsku Hrvatsku na Slikama 19 i 20 te na čitavom području RH na Slikama 21 i 22.



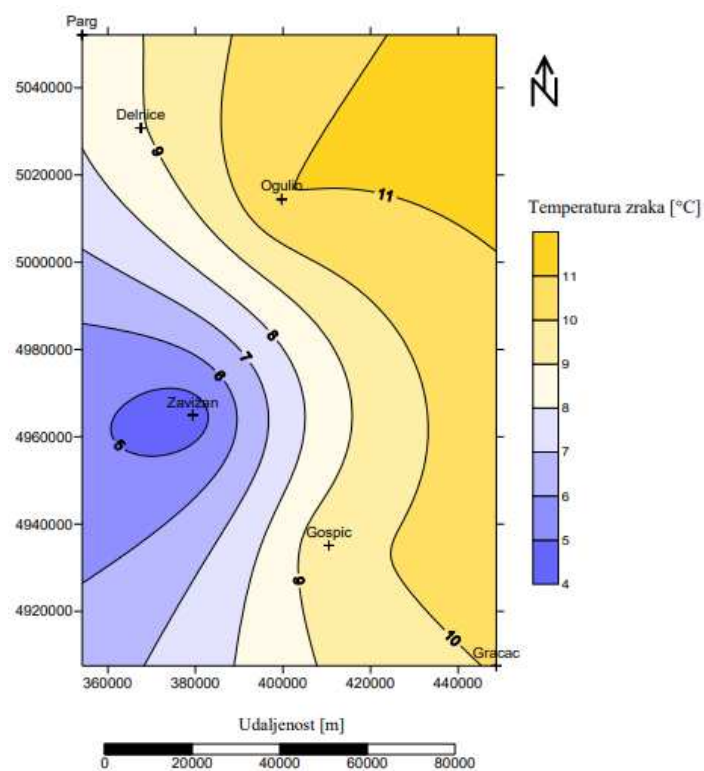
Slika 15. Geostatistički model prostorne razdiobe godišnjih prosjeka temperature zraka u Primorskoj Hrvatskoj u razdoblju 1961. – 1990.



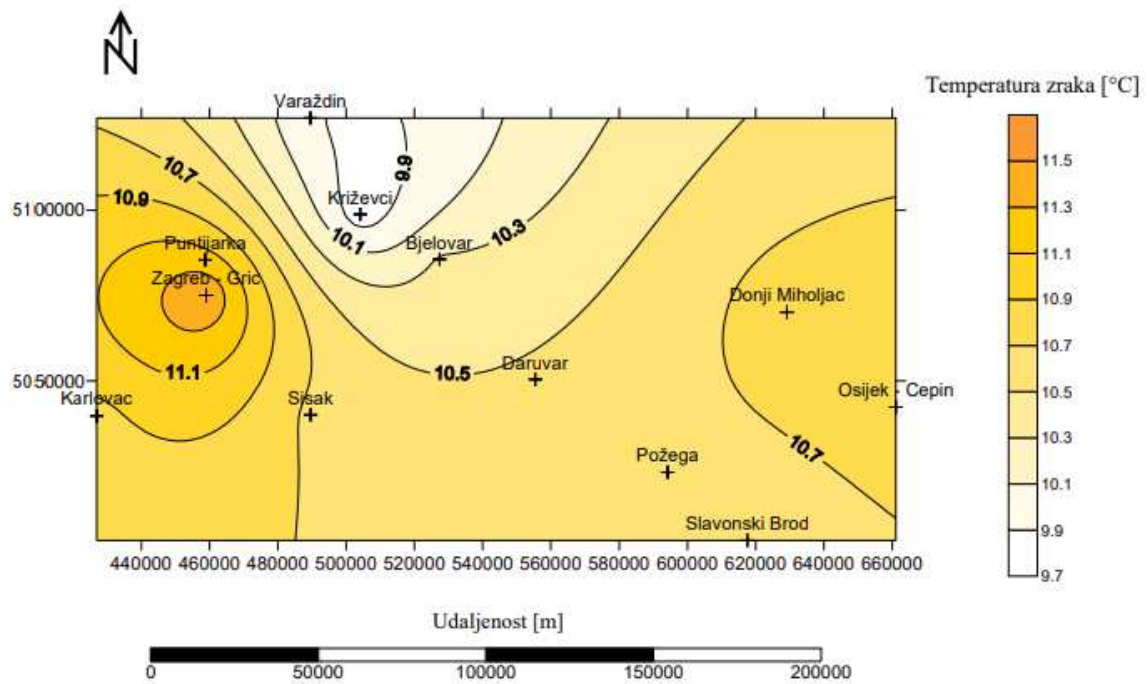
Slika 16. Geostatistički model prostorne razdiobe godišnjih prosjeka temperature zraka u Primorskoj Hrvatskoj u razdoblju 1991. – 2020.



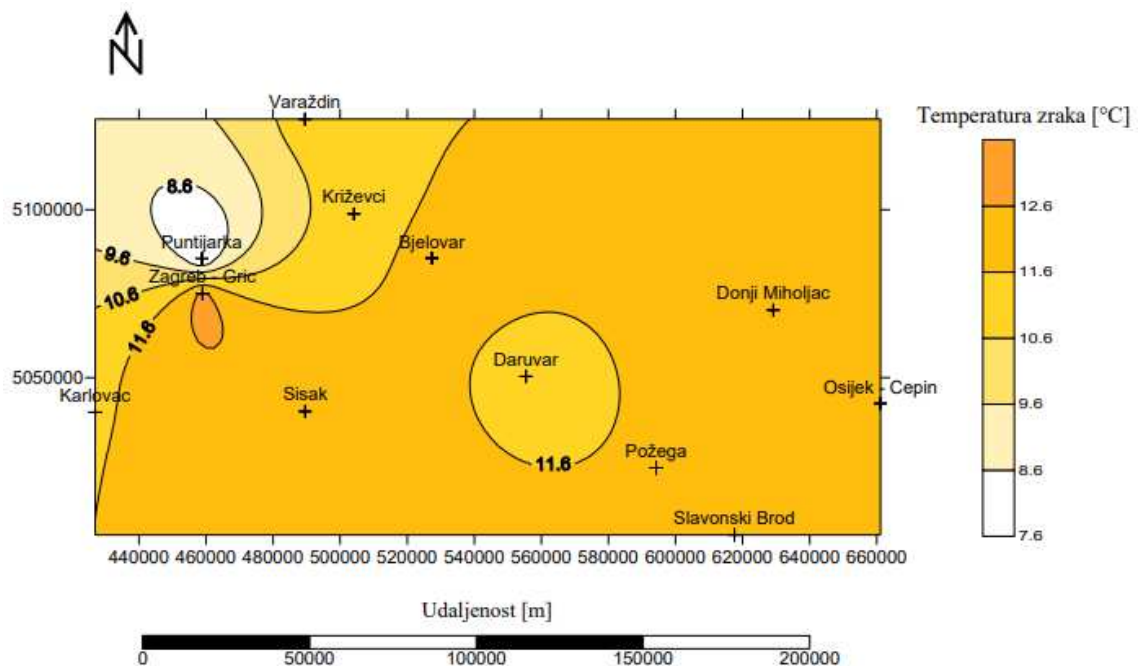
Slika 17. Geostatistički model prostorne razdiobe godišnjih prosjeka temperature zraka u Gorskoj Hrvatskoj u razdoblju 1961. – 1990.



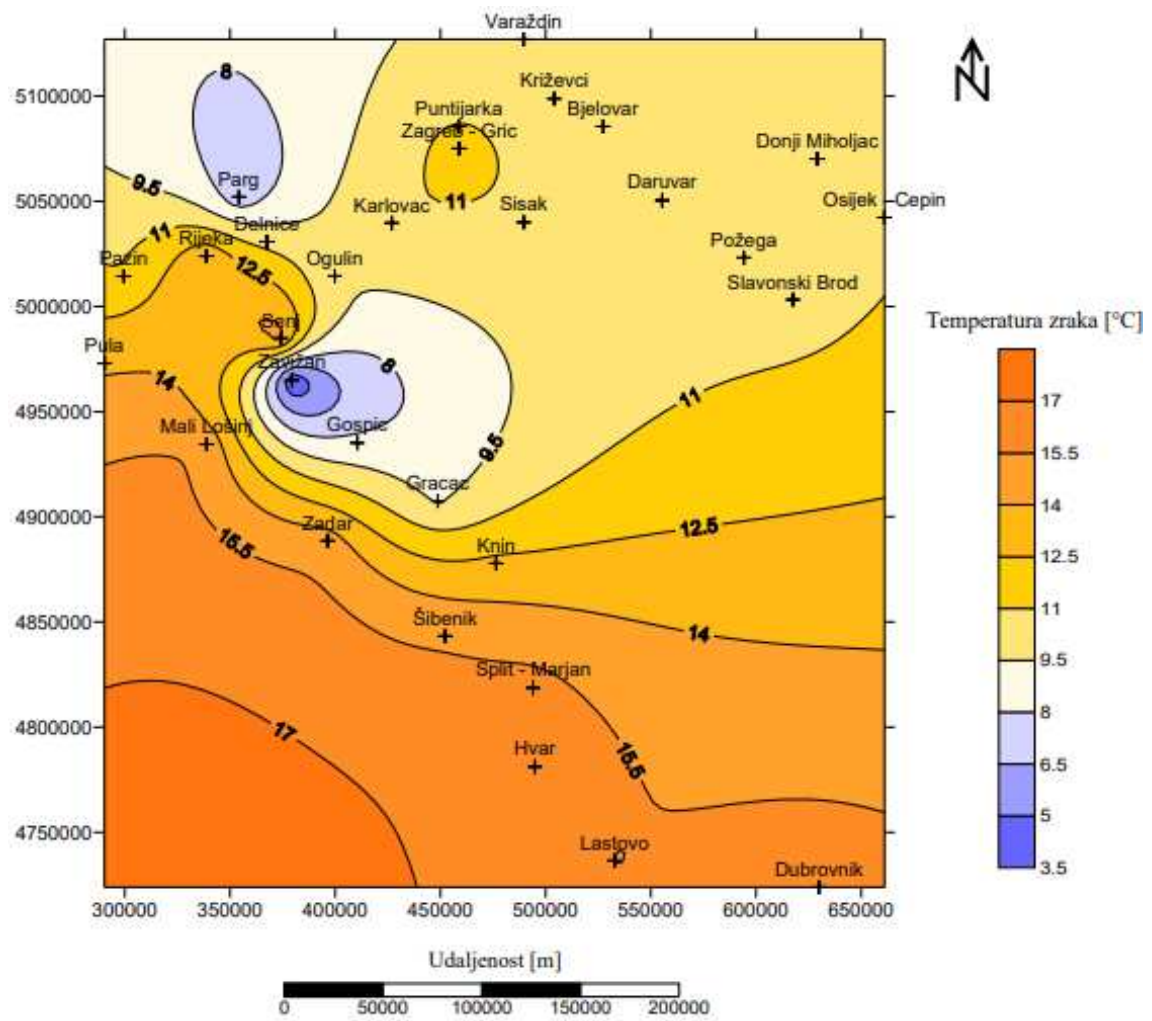
Slika 18. Geostatistički model prostorne razdiobe godišnjih prosjeka temperature zraka u Gorskoj Hrvatskoj u razdoblju 1991. - 2020.



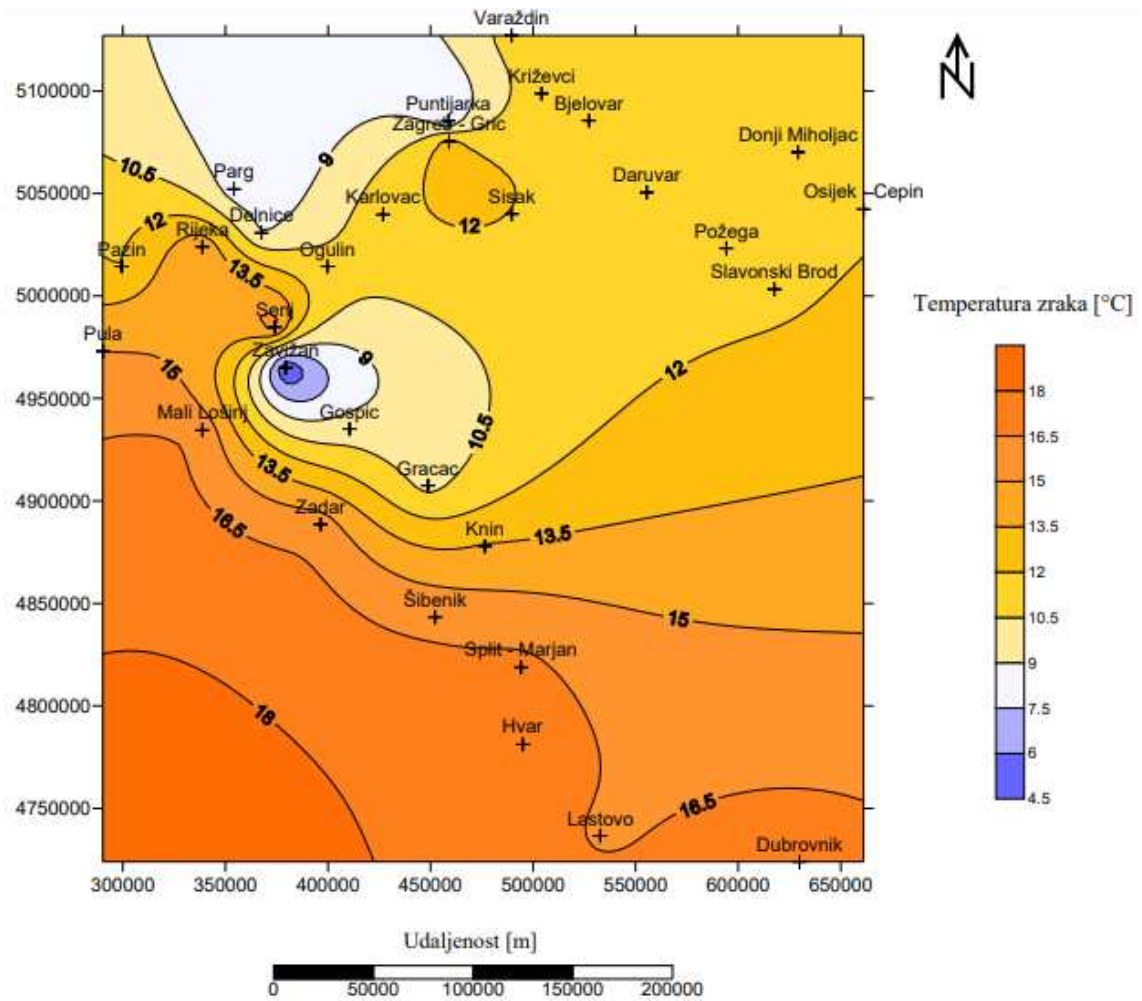
Slika 19. Geostatistički model prostorne razdiobe godišnjih prosjeka temperature zraka u Nizinskoj Hrvatskoj u razdoblju 1961. – 1990.



Slika 20. Geostatistički model prostorne razdiobe godišnjih prosjeka temperature zraka u Nizinskoj Hrvatskoj u razdoblju 1961. – 1990. 1991. – 2020.



Slika 21. Geostatistički model prostorne razdiobe godišnjih prosjeka temperature zraka u Republici Hrvatskoj za razdoblje 1961. – 1990.



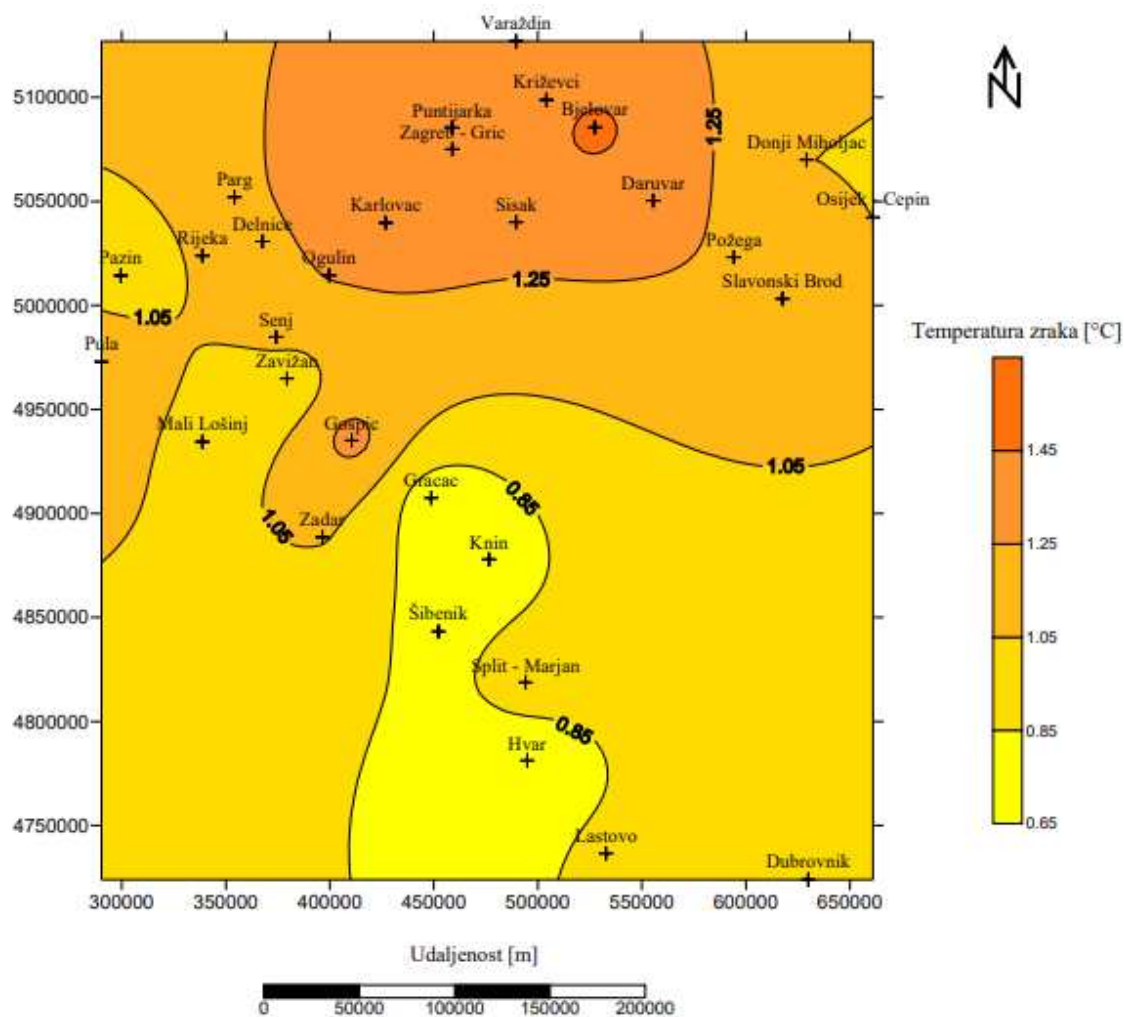
Slika 22. Geostatistički model prostorne razdiobe godišnjih prosjeka temperature zraka u Republici Hrvatskoj za razdoblje 1991. – 2020.

5.4 Geostatistički model promjene prizemne temperature zraka između 1990. – 2020. i 1961. – 1990.

U Tablici 6 prikazana je razlika godišnjih prosjeka temperature zraka između razdoblja 1990. – 2020. i 1961. – 1990. Na pojedinim meteorološkim postajama nije bilo dovoljno podataka o vrijednostima godišnjih prosjeka temperature zraka te stoga za njih nije izračunata razlika. Rezultati su prikazani kartom kontura na Slici 23.

Tablica 6. Razlika u godišnjim prosjecima temperature zraka između razdoblja 1990. – 2020. i 1961. – 1990.

<i>Naziv postaje</i>	<i>Promjena temperature zraka [°C]</i>
Pula	1,2515
Pazin	0,8969
Rijeka	1,0897
Mali Lošinj	0,9660
Zadar	1,0676
Šibenik	0,8089
Split - Marjan	0,9266
Dubrovnik	0,8616
Hvar	0,7466
Lastovo	0,8875
Senj	1,1486
Knin	0,7759
Gospic	1,3472
Zavižan	0,8423
Ogulin	1,2569
Parg	1,2101
Gračac	0,6968
Osijek - Čepin	1,0487
Slavonski Brod	1,2202
Bjelovar	1,5006
Zagreb - Grič	1,4368
Križevci	1,3494
Varaždin	1,2695
Sisak	1,3109
Donji Miholjac	1,0512



Slika 23. Geostatistički model promjene prizemne temperature zraka između 1991. – 2020. i 1961. – 1990.

Najveća razlika uočava se u Bjelovaru gdje je godišnji prosjek temperature zraka u za 1,5 °C veći je nego u razdoblju 1961. – 1990. Najmanja razlika u godišnjim prosjecima temperature zraka uočava se u Gračacu (0,697 °C), na Hvaru (0,747 °C), u Kninu (0,776 °C) i Šibeniku (0,809 °C).

Primjećen je znatan porast prizemne temperature zraka tijekom novijeg klimatološkog razdoblja 1991. – 2020. koji je najizraženiji u Nizinskoj Hrvatskoj, dok je u Primorskoj Hrvatskoj slabije izražen. Smanjenje prizemne temperature zraka nije uočeno niti na jednoj postaji.

5.5 Usporedba geostatističkog modela izrađenog u Surferu i RegCM

U ovom poglavlju uspoređen je model izrađen u Surferu (Slika 23) i RegCM izrađen u DHMZ-u (Slika 24a). U RegCM simulacije su izrađene za područje Europe, a dobivene su iz razlika sezonskih prosjeka dva 30-godišnja razdoblja [23]:

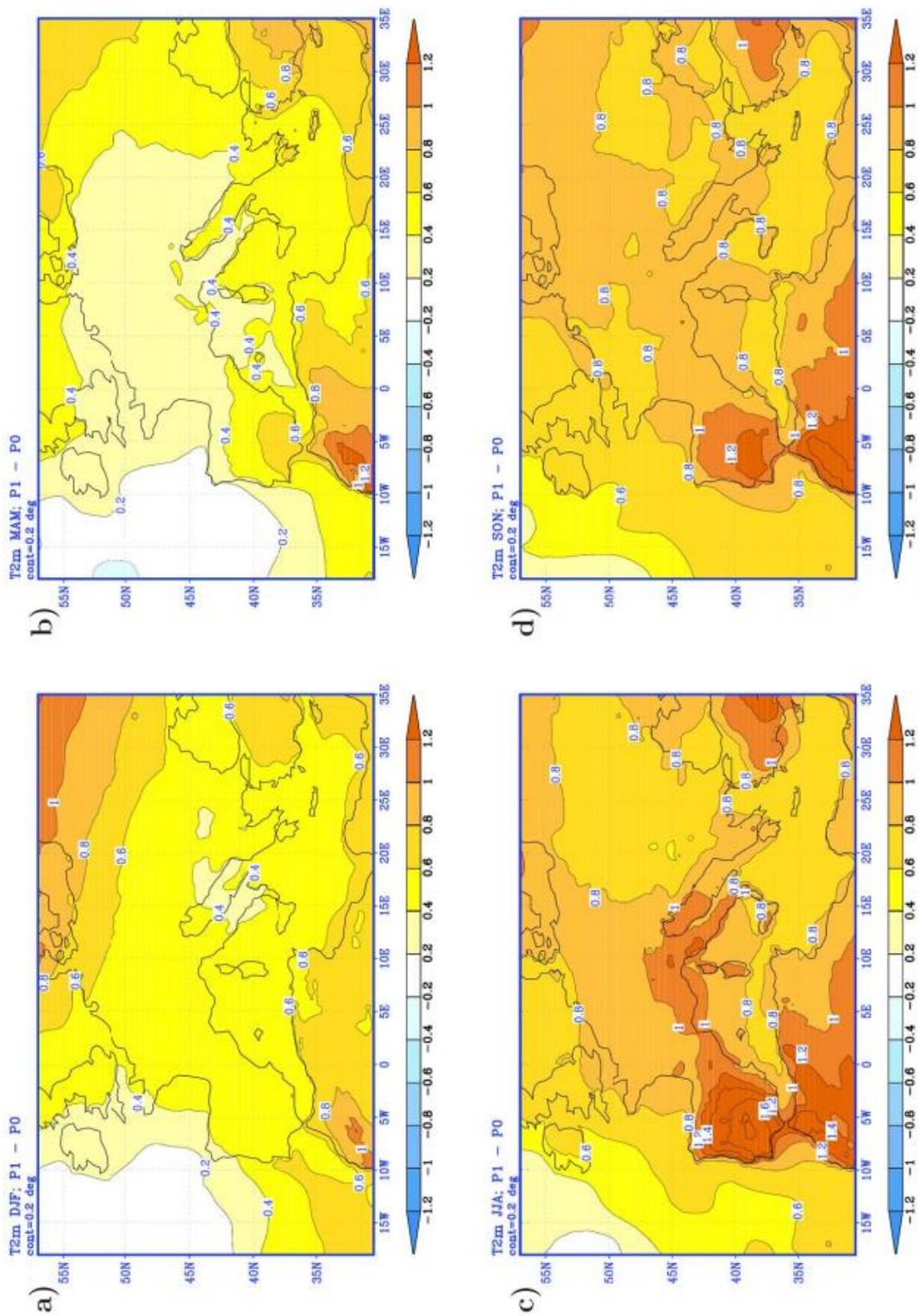
- 1961. – 1990. (P0, “sadašnja klima“)
- i 2011. – 2040. (P1, “buduća klima“).

U razdoblju 2011. – 2040. riječ je o simuliranoj promjeni (scenariju), dok je u razdoblju 1961. – 1990. riječ o postojećim podacima. Analiza RegCM je prikazana za četiri klimatološke sezone: zima (DJF), proljeće (MAM), ljeto (JJA) i jesen (SON).

Najveća promjena temperature zraka u RH, uočava se u ljetnim mjesecima od 0,8 °C u Slavoniji, od 0,8 °C do 1 °C u središnjoj Hrvatskoj, Istri te na srednjem i južnom Jadranu, a porast od 1 °C na otocima i obali sjevernog Jadrana [23]. U jesen se očekuje da će promjena prizemne temperature zraka iznositi oko 0,8 °C, a u proljeće i zimskom periodu od 0,2 °C do 0,4 °C [23].

Vrijednosti u zimskom razdoblju odgovaraju godišnjoj raspodjeli i dominantne su osobito u unutrašnjosti Hrvatske, dok je u Primorskoj Hrvatskoj utjecaj zimskih vrijednosti manje izražen.

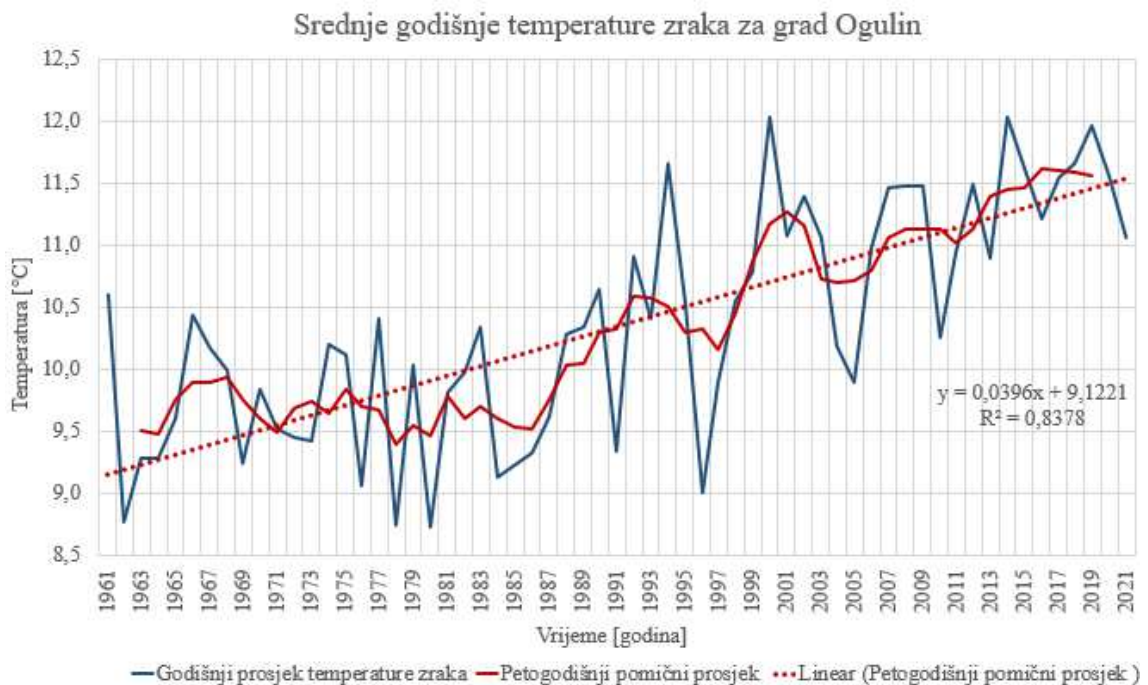
Promjena prizemne temperature zraka u razdoblju 2011. – 2040. u RegCM djelomično se poklapa s promjenom u razdoblju 1991. – 2020. modeliranom u Surferu. Uspoređujući konturnu kartu izrađenu u Surferu (Slika 23) i RegCM-u (Slika 24a) možemo vidjeti da se najveći porast prizemne temperature zraka zimi uočava u središnjoj Hrvatskoj, Slavoniji i na sjevernom Jadranu, a najmanji na srednjem i južnom Jadranu.



Slika 24. Razlike prizemne temperature zraka između razdoblja 2011. – 2040. i 1961. – 1990.: a) zima, b) proljeće, c) ljeto, d) jesen [23]

5.6 Statistički test značajnosti trenda porasta srednje dnevne temperature zraka u Republici Hrvatskoj

Testiranje hipoteze o statističkoj značajnosti trenda porasta srednje dnevne temperature provedeno je za meteorološku postaju u Ogulinu za razdoblje 1961. – 2021. Na Slici 25, plavom bojom prikazan je vremenski niz godišnjih prosjeka temperature zraka u Ogulinu. Crvenom isprekidanom linijom prikazan je model linearnog trenda petogodišnjeg pomičnog prosjeka temperature zraka koji predstavlja model linearne regresije u kojem je nezavisna varijabla vrijeme t .



Slika 25. Srednje godišnje temperature zraka za grad Ogulin u razdoblju 1961. – 2021.

Koeficijent smjera u tom modelu predstavlja prosječnu linearnu promjenu temperature u godini dana, a konstantni član tretira se kao vrijednost linearnog trenda za godinu koja prethodi prvom članu vremenskog niza. Koeficijent determinacije ovog linearnog trenda iznosi $R^2 = 0,8378$ što navodi na zaključak da se radi o reprezentativnom linearnom trendu. Njegov drugi korijen iznosi $r = 0,9153$.

Testirana je hipoteza o značajnosti trenda porasta godišnje temperature zraka:

- Nulta hipoteza (H_0): koeficijent smjera jednak je nuli
- Alternativna hipoteza (H_1): koeficijent smjera različit je od nule

H_0 hipoteza znači da se temperatura zraka, u ovom slučaju za grad Ogulin, ne mijenja s godinama. Ovaj test zasniva se na test-statistici koji ima t-razdiobu s (n-1) stupnjeva slobode. Za razinu značajnosti $\alpha = 0,05$ iz tablice t-razdiobe očitana je granična vrijednost 1,671.

Provedeni t-test prikazan je jednadžbom (8):

$$t = 0,9153 \sqrt{\frac{60}{1 - 0,9153^2}} = 17,6 \quad (8)$$

Vrijednost test-statistike iznosi 17,6 što je veće od granične vrijednosti, stoga se nulta hipoteza može odbaciti, a prihvaća se alternativna hipoteza H_1 i dobiveni model linearnog trenda. Zaključak ovog t-testa vrijedi i na preostalim promatranim meteorološkim stanicama.

6. ZAKLJUČAK

Osnovni cilj ovog istraživanja bio je proučavanje prostorne raspodjele srednjih godišnjih temperatura zraka u RH u dva 30 - godišnja klimatska razdoblja: 1961. – 1990. i 1991. – 2020. Računalni program „Surfer“ korišten je za izradu variograma i konturnih karata.

Analizom variograma uočeno je da teorijski variogrami izrađeni za područje Nizinske Hrvatske imaju najmanju grešku procjene i najmanje pragove, a za područje Gorske Hrvatske najveću grešku procjene te najveće pragove. Dometi svih variograma u razdoblju od 1961. – 1990. veći su nego u razdoblju od 1991. – 2020.

Uspoređujući navedena klimatološka razdoblja, zaključeno je da je porast prizemne srednje godišnje temperature zraka najveći u Nizinskoj Hrvatskoj, dok je najmanji na području Primorske Hrvatske. Porast prizemne srednje godišnje temperature zraka na panonskom dijelu RH povezan je s promjenama temperature zraka na kopnu sjeverne hemisfere.

Promjena prizemne temperature zraka modelirana u DHMZ-u (RegCM) za razdoblje 2011. – 2040. djelomično se poklapa s promjenom u razdoblju 1991. – 2020. modeliranom u računalnom programu „Surfer“ u slučaju zime (DJF). Najveći porast prizemne srednje godišnje temperature zraka uočava se u središnjoj Hrvatskoj, Slavoniji i na sjevernom Jadranu, dok je najmanji porast uočen na srednjem i južnom Jadranu.

Prema izloženim rezultatima može se zaključiti da je model linearnog trenda reprezentativan u slučaju srednje godišnje površinske temperature zraka u Ogulinu. Model se može koristiti u predikciji budućih vrijednosti, ali uz odgovarajući oprez s obzirom da se okolnosti koje utječu na zatopljenje neprestano mijenjaju, npr. koncentracija stakleničkih plinova u atmosferi. Zaključak ovog statističkog testa jednak je i u slučaju srednje godišnje površinske temperature zraka na preostalim meteorološkim stanicama.

Obzirom da srednje godišnje temperature zraka za različita klimatska razdoblja ovise o nadmorskoj visini, sljedeći korak u istraživanju ove teme moglo bi biti određivanje vertikalnih gradijenta temperature zraka te izrada modela interpoliranih srednjih godišnjih temperatura zraka u okviru granica RH .

7. POPIS LITERATURE

[1] meteorologija. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=40414> Pristupljeno: 9.6.2023.

[2] Pandžić, K. (2002). Analiza meteoroloških polja i sustava. Zagreb: Hinus.

[3] klimatologija. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=31895> Pristupljeno: 9.6.2023.

[4] Primijenjena znanstvena istraživanja u Državnom hidrometeorološkom zavodu. Hrvatski meteorološki časopis [Internet]. 2019, 54/55(54/55):147-149. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/264707> Pristupljeno: 9.6.2023.

[5] 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, 200 str.

[6] Šegota T, Filipčić A. Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje. Geoadria [Internet]. 2003; 8(1):17-37. Dostupno na: <https://doi.org/10.15291/geoadria.93> Pristupljeno: 9.6.2023.

[7] klima. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=31884> Pristupljeno: 9.6.2023.

[8] meteorološki element. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=40416> Pristupljeno: 9.6.2023.

- [9] Škreb, S. (1942). Klima Hrvatske. Zagreb: Geofizicki zavod.
- [10] Penzar B. , Stankov D. , Bratanić A. (1996). Meteorologija za korisnike. Zagreb: Školska knjiga.
- [11] termograf. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=60973>
Pristupljeno: 9.6.2023.
- [12] Državni hidrometeorološki zavod - službeni Twitter račun. Dostupno na: https://twitter.com/DHMZ_HR/status/1153650973581205505/photo/1 Pristupljeno: 9.6.2023.
- [13] Državni hidrometeorološki zavod. Srednjaci temperature. Dostupno na: https://meteo.hr/klima.php?section=klima_pracenje¶m=srednja_temperatura
Pristupljeno: 9.6.2023.
- [14] Državni hidrometeorološki zavod. Odabrana poglavlja Osmog nacionalnog izvješća Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC). Zagreb, siječanj 2023. Dostupno na: https://meteo.hr/proizvodi.php?section=publikacije¶m=publikacije_publicacije_dh_mz Pristupljeno: 9.6.2023.
- [15] Malvić T, Novak Zelenika K. Hrvatski rječnik odabranih geostatističkih pojmova. Rudarsko-geološko-naftni zbornik [Internet]. 2013; 26(1):1-9. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/file/159007> Pristupljeno: 16.6.2023.
- [16] X. Wen, L. Zhao and L. Han, "The Application of Surfer Software in the Teaching Practice of Atmospheric Science," 2021 6th International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC), Qingdao, China, 2021, pp. 475-479, doi: 10.1109/ICIVC52351.2021.9526987

[17] Golden Software (2021) Surfer - Powerful contouring gridding and surface mapping system user's guide, Golden, Colorado.

[18] Malvić, Tomislav. Primjena geostatistike u analizi geoloških podataka. Zagreb: INA-Industrija nafte d.d., 2008 (Sveučilišni priručnik)

[19] varijanca. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=63913>
Pristupljeno: 16.6.2023.

[20] Hartkamp, A.D., K. De Beurs, A. Stein, and J.W. White. 1999. Interpolation Techniques for Climate Variables. NRG-GIS Series 99-01. Mexico, D.F.: CIMMYT.

[21] Pfaff, S. (2012). Osnove statistike. Zagreb: Element.

[22] Pavlić, I. (1985). Statistička teorija i primjena. Zagreb: Tehnička knjiga.

[23] Državni hidrometeorološki zavod. Šesto nacionalno izvješće Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC). Zagreb, listopad 2013. Dostupno na: https://meteo.hr/proizvodi.php?section=publikacije¶m=publikacije_publicacije_dh
mz
Pristupljeno: 16.6.2023.

PREPORUKE ZA DALJNJE ČITANJE:

[24] Perčec Tadić M (2010) Objektivna analiza temperaturnog polja s prikazom u geografskom informacijskom sustavu. Magistarski rad, PMF Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

POPIS SLIKA

SLIKA 1. PRIKAZ POLOŽAJA METEOROLOŠKIH POSTAJA NA GEOGRAFSKOJ KARTI REPUBLIKE HRVATSKE	5
SLIKA 2. KÖPPENOVA KLASIFIKACIJA KLIME REPUBLIKE HRVATSKE: CSA, SREDOZEMNA KLIMA S VRUĆIM LJETOM; CSB, SREDOZEMNA KLIMA S TOPLIM LJETOM; CFA, UMJERENO TOPLA VLAŽNA KLIMA S VRUĆIM LJETOM; CFB, UMJERENA TOPLA VLAŽNA KLIMA S TOPLIM LJETOM; DF, VLAŽNA BOREALNA KLIMA [6]	8
SLIKA 3. PRIKAZ UNUTRAŠNJOSTI TERMOMETRIJSKE KUĆICE [12]	10
SLIKA 4. SREDNJACI TEMPERATURE ZRAKA ZA GRAD OGULIN 2022. GODINE [13]	12
SLIKA 5. DEKADNI TRENDОВI GODIŠNJE TEMPERATURE ZRAKA U REPUBLICI HRVATSKOJ [14]	13
SLIKA 6. PROMJENA SREDNJE (T), MINIMALNE (T_{MIN}) I MAKSIMALNE (T_{MAX}) TEMPERATURE ZRAKA NA 2 M U SREDNJAKU ANSAMBLA KORIŠTENIH MODELA ZA RAZDOBLJE 2041. – 2070. U ODNOSU NA RAZDOBLJE 1981. – 2010. ZA SCENARIJ RCP4.5 [14]	16
SLIKA 7. PARAMETRI EKSPERIMENTALNOG VARIOGRAMA [18]	18
SLIKA 8. TEORIJSKI VARIOGRAMSKI MODELI [20]	19
SLIKA 9. PRIMORSKA HRVATSKA (1961. – 1990.) - TEORIJSKI VARIOGRAM LINEAR (PLAVA LINIJA)	26
SLIKA 10. GORSKA HRVATSKA (1961. – 1990.) - TEORIJSKI VARIOGRAM WAVE (PLAVA LINIJA)	27
SLIKA 11. NIZINSKA HRVATSKA (1961. – 1990.) - TEORIJSKI VARIOGRAM RATIONAL QUADRATIC (PLAVA LINIJA)	27
SLIKA 12. PRIMORSKA HRVATSKA (1991. – 2020.) - TEORIJSKI VARIOGRAM LINEAR (PLAVA LINIJA)	28
SLIKA 13. GORSKA HRVATSKA (1991. – 2020.) - TEORIJSKI VARIOGRAM EXPONENTIAL (PLAVA LINIJA)	29
SLIKA 14. NIZINSKA HRVATSKA (1991. – 2020.) - TEORIJSKI VARIOGRAM WAVE (PLAVA LINIJA)	29
SLIKA 15. GEOSTATISTIČKI MODEL PROSTORNE RAZDIOBE GODIŠNJIH PROSJEKA TEMPERATURE ZRAKA U PRIMORSKOJ HRVATSKOJ U RAZDOBLJU 1961. – 1990.	31
SLIKA 16. GEOSTATISTIČKI MODEL PROSTORNE RAZDIOBE GODIŠNJIH PROSJEKA TEMPERATURE ZRAKA U PRIMORSKOJ HRVATSKOJ U RAZDOBLJU 1991. – 2020.	31

SLIKA 17. GEOSTATISTIČKI MODEL PROSTORNE RAZDIOBE GODIŠNJIH PROSJEKA TEMPERATURE ZRAKA U GORSKOJ HRVATSKOJ U RAZDOBLJU 1961. – 1990.	32
SLIKA 18. GEOSTATISTIČKI MODEL PROSTORNE RAZDIOBE GODIŠNJIH PROSJEKA TEMPERATURE ZRAKA U GORSKOJ HRVATSKOJ U RAZDOBLJU 1991. - 2020.....	32
SLIKA 19. GEOSTATISTIČKI MODEL PROSTORNE RAZDIOBE GODIŠNJIH PROSJEKA TEMPERATURE ZRAKA U NIZINSKOJ HRVATSKOJ U RAZDOBLJU 1961. – 1990.	33
SLIKA 20. GEOSTATISTIČKI MODEL PROSTORNE RAZDIOBE GODIŠNJIH PROSJEKA TEMPERATURE ZRAKA U NIZINSKOJ HRVATSKOJ U RAZDOBLJU 1961. – 1990. 1991. – 2020.	33
SLIKA 21. GEOSTATISTIČKI MODEL PROSTORNE RAZDIOBE GODIŠNJIH PROSJEKA TEMPERATURE ZRAKA U REPUBLICI HRVATSKOJ ZA RAZDOBLJE 1961. – 1990.....	34
SLIKA 22. GEOSTATISTIČKI MODEL PROSTORNE RAZDIOBE GODIŠNJIH PROSJEKA TEMPERATURE ZRAKA U REPUBLICI HRVATSKOJ ZA RAZDOBLJE 1991. – 2020.....	35
SLIKA 23. GEOSTATISTIČKI MODEL PROMJENE PRIZEMNE TEMPERATURE ZRAKA IZMEĐU 1991. – 2020. I 1961. – 1990.....	37
SLIKA 24. RAZLIKE PRIZEMNE TEMPERATURE ZRAKA IZMEĐU RAZDOBLJA 2011. – 2040. I 1961. –1990.: A) ZIMA, B) PROLJEĆE, C) LJETO, D) JESEN [23].....	39
SLIKA 25. SREDNJE GODIŠNJE TEMPERATURE ZRAKA ZA GRAD OGULIN U RAZDOBLJU 1961. – 2021.....	40

POPIS TABLICA

TABLICA 1. POPIS METEOROLOŠKIH POSTAJA I NJIHOVA OSNOVNA OBILJEŽJA	4
TABLICA 2. KOORDINATE METEOROLOŠKIH POSTAJA PREMA HTRS96/TM	21
TABLICA 3. GODIŠNJI PROSJEK TEMPERATURE ZRAKA [°C] NA 30 METEOROLOŠKIH POSTAJA ZA RAZDOBLJA: 1961. – 1990. I 1991. – 2020.	24
TABLICA 4. SREDNJA KVADRATNA POGREŠKA PROCJENE TEORIJSKIH VARIOGRAMA ZA RAZDOBLJE 1961. – 1990. PREMA PODRUČJIMA RH (CRVENOM BOJOM ISTAKNUTA JE NAJMANJA SREDNJA KVADRATNA POGREŠKA PROCJENE).....	25
TABLICA 5. SREDNJA KVADRATNA POGREŠKA PROCJENE TEORIJSKIH VARIOGRAMA ZA RAZDOBLJE 1991. – 2020. PREMA PODRUČJIMA RH (CRVENOM BOJOM ISTAKNUTA JE NAJMANJA SREDNJA KVADRATNA POGREŠKA PROCJENE).....	28
TABLICA 6. RAZLIKA U GODIŠNJIH PROSJEKIMA TEMPERATURE ZRAKA IZMEĐU RAZDOBLJA 1990. – 2020. I 1961. – 1990.....	36

POPIS I OBJAŠNJENJE KRATICA KORIŠTENIH U RADU

KRATICA	ZNAČENJE
WMO	Svjetska meteorološka organizacija
DHMZ	Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske
RH	Republika Hrvatska
RegCM	Regionalni klimatski model