

Utjecaj toplinskih valova na mortalitet i morbiditet u Republici Hrvatskoj 2006.-2016.

Perić, Zvonimir

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zadar / Sveučilište u Zadru**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:162:546693>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Sveučilište u Zadru
Universitas Studiorum
Jadertina | 1396 | 2002 |

Repository / Repozitorij:

[University of Zadar Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zadru

Odjel za geografiju

Jednopredmetni diplomski sveučilišni studij primijenjene geografije

Zvonimir Perić

**Utjecaj toplinskih valova na mortalitet i morbiditet u
Republici Hrvatskoj 2006. - 2016.**

Diplomski rad

Zadar, 2018.

Sveučilište u Zadru

Odjel za geografiju

Jednopredmetni sveučilišni studij primijenjene geografije

Utjecaj toplinskih valova na mortalitet i morbiditet u Republici Hrvatskoj 2006. - 2016.

Diplomski rad

Student/ica:

Zvonimir Perić

Mentor/ica:

doc. dr. sc. Nina Lončar

Zadar, 2018.



Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Zvonimir Peric**, ovime izjavljujem da je moj **diplomski** rad pod naslovom **Utjecaj toplinskih valova na mortalitet i morbiditet u Republici Hrvatskoj 2006. - 2016.** rezultat mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mogega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mogega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Zadar, 28. ožujak 2018.

Zahvala

Posebnu zahvalnost želim iskazati svojoj mentorici doc. dr. sc. Nini Lončar na bezrezervnoj stručnoj i prijateljskoj pomoći kao i na omogućavanju prikupljanja traženih podataka. Pored brojnih savjeta, komentara i ispravaka zahvaljujem i na pruženoj psihološkoj te motivacijskoj podršci u ključnim trenucima izrade diplomskog rada.

Veliko hvala i dr. med. Andreji Barišin na pomoći pri prikupljanju zdravstvenih podataka kao i brojnim stručnim savjetima i sugestijama te omogućavanju sudjelovanja na stručnim skupovima vezanih uz ovu znanstvenu tematiku.

Također veliko hvala i Državnom hidrometeorološkom zavodu na ustupljenim meteorološkim podacima gdje se posebno zahvaljujem dr. sc. Kseniji Zaninović te mr. sc. Lidiji Srnec pri pružanju pomoći u određivanju metodologije diplomskog rada.

Želim se zahvaliti i doc. dr. sc. Anti Blaći za savjete i pomoć kod statističke obrade podataka kao i profesoru doc. dr. sc. Anti Šiljegu za savijete vezano uz geografski informacijski sustav i prostornu vizualizaciju podataka.

Međutim, ogromnu pomoć u statističkoj obradi te stalnoj podršci kroz sve faze diplomskog rada želim iskazati svojoj djevojci Gorani Komšo kao i volji što me je trpjela cijelo vrijeme tijekom izrade diplomskog rada.

Ali ništa od ovoga ne bi bilo moguće da nije bilo mojih pokojnih roditelja Željke i Branka koji su me odgojili u osobu kakav sam danas te mi i dalje bili snaga i inspiracija da nastavim ka sve višim i višim ciljevima.

Naravno zahvaljujem se i sestri Marijani i bratu Ivanu na potpori kao i cijeloj rodbini koja me je kroz cijelo studijsko razdoblje pomagala.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zadru

Diplomski rad

Odjel za geografiju

Sažetak

Utjecaj toplinskih valova na morbiditet i mortalitet u Republici Hrvatskoj 2006. – 2016.

Zvonimir Perić

Toplinski valovi spadaju u skupinu prirodnih katastrofa, i u odnosu na druga nepovoljna atmosferska djelovanja, slabije uočljivi u nastanku i destruktiji. Projekcije ukazuju kako će toplinski valovi postat sve intenzivniji i učestaliji te da će se njihova frekvencija u svijetu vrlo vjerojatno udvostručiti za manje od 20 godina, a do kraja 21. stoljeća i utrostručiti. U kontekstu ovog rada istraživani su toplinski valovi u Republici Hrvatskoj u odnosu na mortalitet u periodu između 2006. i 2015. te morbiditet u 2016. godini. Fiziološka ekvivalentna temperatura (PET) te podaci o mortalitetu i morbiditetu temeljni su podaci istraživanja koji su organizirani prema klimatološkim regijama Republike Hrvatske. Cilj istraživanja jest utvrditi periode nastanka toplinskog vala na temelju pragova kritične temperature (*heat cut point - HCP*), te analizirati povezanost istih s povećanom smrtnošću i obolijevanjem s obzirom na cjelokupnu populaciju, ranjive skupine te karakteristike trajanja i nastanka toplinskog vala. Navedeno je analizirano na temelju metoda zaključne statistike – usporedbom srednje vrijednosti, varijance te korelacije termičkih i biostatističkih varijabli. Rezultati ukazuju kako postoje statistički razlike između klimatoloških regija Hrvatske gdje su izražene značajne razlike u smrtnosti tijekom toplinskog vala s obzirom na dužinu trajanja termičkog opterećenja, spol i dijagnosticirane skupine bolesti.

Ključne riječi: toplinski valovi, mortalitet, morbiditet, fiziološka ekvivalentna temperatura, kritična temperatura povećane smrtnosti

78 stranica, 22 grafička priloga, 17 tablica, 40 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Voditelj: Doc. dr. sc. Nina Lončar

Povjerenstvo: doc. dr. sc. Nina Lončar, doc. dr. sc. Ante Šiljeg, izv. prof. dr. sc. Vera Graovac Matassi

Rad prihvaćen: Rad je pohranjen u Knjižnici Odjela za geografiju Sveučilišta u Zadru, Ulica dr. F. Tuđmana

24 i, Zadar, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zadar

Graduation Thesis

Department of Geography

Abstract

The Impact of Heat Waves on Morbidity and Mortality in the Republic of Croatia 2006 –
2016

Zvonimir Perić

Heat waves fall into a group of natural disasters and, in relation to other unfavorable atmospheric hazards; they are less visible according to their emergence and destruction. The projections suggest that the heat waves will become more intense and more frequent. Their frequency worldwide will probably double in less than 20 years, and by the end of the 21st century, they will probably triple. In the context of this research, the heat waves in the Republic of Croatia were explored over a ten-year period, between 2006 and 2015 for mortality and for morbidity in 2016. The analysis is based on physiologically equivalent temperature (PET) and data on mortality and morbidity, organized by climatic regions. The aim of the research is to determine Heat Cut Point (HCP) and to analyze their association with increased mortality and morbidity, by the given overall population, by the vulnerable groups, and the characteristics of duration and thermal loads. The analysis was based on the method of inferential statistics by comparing the mean value, variance and correlation of thermal and biostatistical values. The results indicate the significant statistical differences between the climatic regions in Croatia, where differences in mortality during the thermal wave are observed with regard to the duration of the thermal load, gender and the diagnosed disease group.

Key words: heat waves, mortality, morbidity, physiological equivalent temperature (PET), heat cut point (HCP)

78 pages, 22 figures, 17 tables, 40 references, Original in Croatian language

Supervisor: Nina Lončar, PhD, assistant profesor

Reviewers: Nina Lončar, PhD, assistant profesor, Ante Šiljeg PhD assistant profesor, Vera Graovac Matassi, PhD, Associate professor

Thesis deposited in Library of Department of Geography, University of Zadar, Ulica dr. F. Tuđmana 24 i, Zadar, Croatia.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
1.1. Ciljevi i hipoteze istraživanja.....	3
2. Pregled dosadašnjih istraživanja	4
3. Metodologija istraživanja	7
3.1. Određivanje klimatoloških regija	7
3.2. Meteorološki podaci	9
3.3. Podaci o mortalitetu i morbiditetu.....	10
3.4. Određivanje metode statističke interferencije	11
4. Teorijska osnova.....	14
4.1. Što su toplinski valovi i kako se određuju?.....	14
4.1. Ranjive skupine stanovništva	15
4.2. Fiziološka ekvivalentna temperatura (PET)	17
5. Rezultati i rasprava	21
5.1. Deskriptivna statistika podataka morbiditeta i PET-a.....	21
5.2. Test normalnosti distribucije	22
5.3. Rezultati korelacije mortaliteta i PET-a	23
5.3.1. Rezultati korelacije mortaliteta i PET-a kod smrtnih slučajeva ženskog spola	28
5.3.2. Rezultati korelacije PET-a i mortaliteta muškaraca.....	29
5.3.3. Rezultati korelacije PET-a i mortaliteta uzrokovano kardiovaskularnim bolestima	31
5.3.4. Rezultati korelacije PET-a i mortaliteta navršene dobi s 65 i više godina	32
5.4. Korelacija morbiditeta i temperature u 2016. godini	33
5.5. Kritična temperatura povišenog mortaliteta	34
5.5.1. Kritična temperatura povišenog mortaliteta po mjesecima	41
5.6. Definirani periodi toplinskih valova	49

5.7. Povezanost duljine toplinskog vala i mortaliteta.....	54
5.7.1. Individualna analiza dana termičkog opterećenja	55
5.8. Analiza mortaliteta ranjivih skupina stanovništva tijekom toplinskih valova	57
5.8.1. Analiza mortaliteta s obzirom na ranjive skupine tijekom toplinskog vala.....	58
6. Zaključak	61
Izvori	64
Literatura	64
Summary	68

1. Uvod

Toplinski valovi spadaju u skupinu prirodnih katastrofa te su u odnosu na druga nepovoljna atmosferska djelovanja, slabije uočljiva u samom nastanku pojave što otežava njihovo točno određivanje u prostoru i vremenu. Apstraktnost i kompleksnost pojma toplinskog vala ogleda se u tome što ne postoji službeno potvrđena i univerzalno priznata definicija toplinskog vala, kao primjerice sa strane Svjetske meteorološke organizacije. Pojam toplinskog vala općenito se opisuje kao period neobičnog ili izuzetno vrućeg vremena s trajanjem od najmanje dva do tri dana (WMO WHO, 2015). Iz tog razloga, potrebna su daljnja istraživanja i proširivanje znanja o ovoj temi što je, između ostalog, i svrha ovoga rada. Unatoč tomu što toplinski valovi nepovoljno djeluju na biljni i životinjski svijet te gospodarske prilike, fokus ovog istraživanja je isključivona nepovoljnom djelovanju po ljudsko zdravlje.

Posljednjih nekoliko desetljeća zabilježeno je nekoliko katastrofalnih toplinskih valova koji su značajno povećale broj smrtnosti i oboljenja diljem svijeta. Vjerojatno najpoznatiji takav događaj toplinskog vala jest onaj koji je pogodio zapadnu i srednju Europu, u ljeto 2003. godine, s procijenjenih 25 000 do 70 000 smrtnih slučajeva (Koppe i dr., 2005; D'ippolit i dr., 2010; WMO i WHO, 2015). Međutim, vrlo destruktivni toplinski valovi po ljudsko zdravlje su bilježeni i ranije. Godine 1995. u Chicagu (SAD), toplinski val je uzrokovao izravno preko 500 smrtnih slučajeva (Karl, Knight, 1997), kao i u Orissi (Indija), gdje je 1995. i 1998. godine toplinski val uzrokovao 558 odnosno 2541 smrtni slučaj (WMO i WHO, 2015). Na južnoj hemisferi najrazorniji toplinski val zahvatio je Australiju 2009. godine s procijenjenih 500 smrtnih slučajeva (Nairn i Fawcett, 2013). Godine 2010. ekstremni toplinski val pogodio je i istočnu Europu koji je bio popraćen tresetnim i šumskim požarima u Ruskoj Federaciji, zajedno uzrokujući dodatnih 55 000 smrtnih slučajeva (Koppe i Jendritzky, 2014).

Projekcije za budućnost ukazuju kako će toplinski valovi postat sve intenzivniji i učestaliji te je vrlo vjerojatno kako će se frekvencija toplinskih valova u svijetu udvostručiti za manje od 20 godina (WMO i WHO, 2015) te do kraja 21. stoljeća i utrostručiti u odnosu na sadašnje stanje (Zacharias i dr., 2015). Posebno negativne predikcije očekuju se za Europu, gdje će frekvencija i intenzitet toplinskih valova porasti najviše u istočnoj, južnoj te srednjoj Europi (D'ippolit i dr., 2010), što nedvojbeno ukazuje na negativne trendove i na prostoru Republike

Hrvatske. Pretpostavlja se kako će se u budućnosti razvijati sve veća potreba za istraživanjem ove teme te da je znanstveni problem aktualan.

Toplinska ravnoteža ljudskog tijela kompleksna je interakcija između unutarnjih termalnih čimbenika te okolišnih ili vanjskih čimbenika koji mogu biti nepovoljni tijekom djelovanja toplinskog vala. Navedeno ukazuje kako je objekt istraživanja izrazito interdisciplinaran koje uključuje medicinska, prirodna i društvena područja znanosti. Stoga, ne čudi što su toplinski valovi interesno područje više znanstvenih grana, kao primjerice medicinske geografije, epidemiologije, meteorologije, klimatologije, prirodnih prijetnji te demografije općenito.

1.1. Ciljevi i hipoteze istraživanja

Temeljni cilj istraživanja jest utvrditi koliki je utjecaj toplinskih valova na mortalitet i morbiditet na prostoru Republike Hrvatske u desetogodišnjem periodu između 2006. i 2015. godine. Istraživanjem se želi utvrditi postoji li povezanost visoke temperature i mortaliteta te morbiditeta s obzirom na cjelokupno stanovništvo, ranjive skupine stanovništva te duljinu termičkog opterećenja. Navedeni cilj trebao bi odgovoriti na sljedeća pitanja:

- Na kojoj razini termičkog opterećenja nastupa povećana smrtnost?
- Kada su nastupali periodi povišenog termičkog opterećenja?
- Koja je razina povezanosti između meteoroloških parametara i smrtnosti te morbiditeta?
- U kojoj mjeri se manifestiraju razlike u mortalitetu tijekom termičkog opterećenja između različitih skupina stanovništva?
- U kojoj mjeri se razlikuju pojedine regije Hrvatske s obzirom na povezanost termičkog opterećenja i mortaliteta te morbiditeta?
- Je li duljina trajanja toplinskog vala povezana sa stopom mortaliteta?
- Postoji li trend prilagodbe stanovništva na visoke temperature gledano kroz stopu smrtnosti?

Svrha ovoga rada jest doprinijeti spoznaji novih znanja o toplinskim valovima u Republici Hrvatskoj odnosno, proširiti znanja negativnog utjecaja toplinskih valova i visokih temperatura na temelju kojih je moguća bolja prevencija istih. Sirenjem svijesti eventualno bi se moglo doprinijeti boljoj prevenciji negativnih utjecaja visokih temperatura na zdravlje stanovništva.

Hipoteze su definirane s obzirom na rezultate prijašnjih istraživanja s djelomičnim modifikacijama zbog različitog područja istraživanja, kako bi se iste potvrdile ili odbacile za prostor Hrvatske.

H1: Odnos mortaliteta i toplinskih valova je različit s obzirom na geografske regije u Republici Hrvatskoj.

H2: Mortalitet se povećava s obzirom na dužinu trajanja toplinskog vala.

H3: Kritična temperatura povišene smrtnosti promjenjiva je zbog kratkoročne aklimatizacije.

H4: Žene su podložnije mortalitetu tijekom djelovanja toplinskih valovima.

2. Pregled dosadašnjih istraživanja

U posljednjih nekoliko desetljeća, ozbiljniji toplinski valovi uzrokovali su visok mortalitet i morbiditet u mnogim dijelovima svijeta, što je potaklo veću znanstvenu zainteresiranost za ovaj problem. Vrlo je vjerojatan scenarij kako će toplinski valovi postati još aktualniji u narednim godinama odnosno, da će se smrtnost toplinskim valovima udvostručiti za manje od 20 godina (WMO i WHO, 2015), zbog čega su se posljednjih godina izrađivale brojne studije, poglavito o prevenciji utjecaja toplinskih valova (*Heat Health Warning System*) (Das i Smith, 2012). Toplinski val, koji je pogodio Europu u ljeto 2003. godine, uzrokovao je novi val istraživanja na ovu temu.

S obzirom na područje istraživanja, pregled prethodnih istraživanja bazirao se na područje Europe. D'Ippoliti i dr. (2010) proučavali su u sklopu projekta *EuroHEAT* utjecaj toplinskih valova na mortalitet u devet europskih gradova. Studija je pokazala kako toplinski valovi parcijalno obuhvaćaju europske gradove, odnosno kako su samo tijekom toplinskog vala iz 2003. godine bili zahvaćeni svi analizirani gradovi. Kako bi se napravila usporedba između gradova, bilo je potrebno uskladiti metodologiju i definiciju toplinskog vala. Rezultati studije pokazuju kako dugotrajniji toplinski valovi imaju i do tri puta veći utjecaj na mortalitet. Također se pokazalo kako postoji velika heterogenost u analiziranim gradovima, odnosno veća je smrtnost u onim gradovima gdje se toplinski valovi rjeđe pojavljuju. Potvrđuje se kako su respiratorni bolesnici podložniji mortalitetu nego kardiovaskularni bolesnici. Izolirani pojedinci te skupina stanovništva s nižim prihodima također je podložnija većoj smrtnosti od toplinskog vala. *Efekt žetve* potvrđen je samo u nekoliko istraživanih gradova.

Gabriel (2009) je u svojoj doktorskoj disertaciji detaljno opisala nekoliko definicija toplinskog vala. Autorica navodi nekoliko metoda definiranja: fiksna vrijednost, udio, regresija temperature i mortaliteta (metoda hokejaške palice) te toplinski indeksi.

Ipak, najveći broj istraživanja temeljio se na analizi pojedinih država ili regija unutar država. Geografi Sherber i dr. (2013) proučili su utjecaj toplinskih valova na području saveznih republika Berlin i Brandenburg u Njemačkoj u razdoblju od 2002. do 2006. godine. Zaključili su kako su kardiovaskularni i respiratorni bolesnici posebno ugrožena grupa, kao i starije dobne skupine (iznad 65 godina) te dojenčad. Tijekom dužeg toplinskog vala izražen je porast pacijenata u bolnicama za 13% više u odnosu na prosječan tjedni broj pacijenata.

U istraživanju Schneider et al (2009) uočena je povezanost između porasta ili pada temperature i smrtnosti, te povezanost između pada temperature i pobola u Bavarskoj. S obzirom na predviđene promjene klime, autori navode kako će negativne zdravstvene posljedice u budućnosti biti još izraženije.

Moshhammer i dr. (2009) analizirali su utjecaj toplinskog vala na smrtnost na području Gornje Austrije. Naglasak istraživanja bio je na proučavanju statistički značajne razlike lokacija s porastom broja dana s vrlo visokom temperaturom. Optimalna temperatura, odnosno temperatura s najmanjom stopom smrtnosti iznosi 20–22°C. Također, potvrđuje se kako su područja gdje se toplinski valovi rjeđe pojavljuju ujedno i pogubnija po stanovništvo.

U radu Koppe i dr. (2003) analiziran je utjecaj toplinskog vala u Njemačkoj gdje se bilježi porast mortaliteta u pojedinim gradovima i do 16%. Mortalitet je najmanji u podgrupama: mlado zdravo stanovništvo, seosko stanovništvo, stanovništvo dobrog socio-ekonomskog statusa, dok je mortalitet najveći u podgrupama kao što je staro stanovništvo, stanovništvo niskog socio-ekonomskog statusa, samci te stanovništvo koje živi u višim katovima stambenih zgrada.

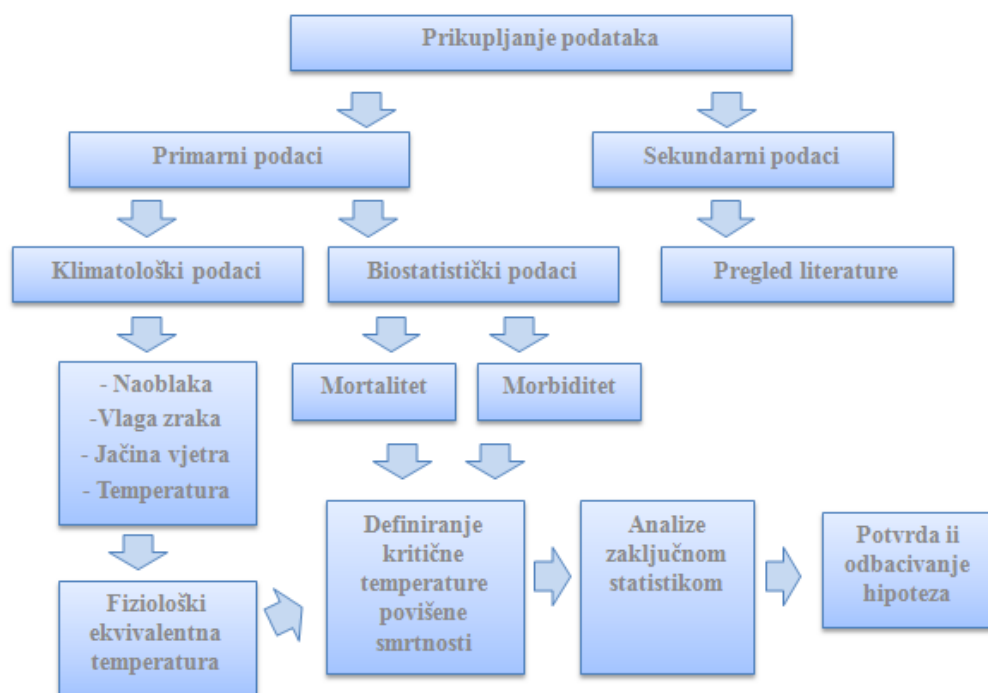
Istraživanje koje obuhvaća cijelu Republiku Hrvatsku i koje je do sada najopsežniji rad na ovu temu jest doktorska disertacija Gaćeše-Zaninović (2011). U radu su određeni kriteriji odnosa toplinskih valova i mortaliteta u različitim regijama Republike Hrvatske, na temelju podataka od 1983. do 2008. godine. Povećana smrtnost uzrokovana toplinskim valovima definirana je aritmetičkom sredinom Gaussovog filtera od 183 dana, psihološke ekvivalentne temperature. Rezultati istraživanja pokazali su kako je mortalitet izražen i u zimskim i u ljetnim mjesecima, odnosno krivulja je u obliku slova U, s tim da je mortalitet značajniji tijekom ljetnih mjeseci. Vrijednosti mortaliteta su manje u obalnom dijelu Hrvatske u odnosu na kontinentalnu Hrvatsku. Povećanje smrtnosti toplinskim valom najveći je tijekom prvih 3 do 5 dana, nakon toga pada na ispod očekivane vrijednosti.

Vlada Republike Hrvatske dala je izraditi studiju Procjena rizika od katastrofa na prostoru Hrvatske 2015. godine, gdje su ekstremne temperature posebno razrađene za prostor Grada Zagreba u ljetnim mjesecima, između 15. svibnja i 15. rujna. Studija potvrđuje kako se toplinski valovi pojavljuju u cijeloj Hrvatskoj, dok granične vrijednosti nisu jednake za sve dijelove zemlje te ovise o lokalnim klimatološki čimbenicima. Interval pojavljivanja razmjerno je čest. Godišnje nastaje oko 13 umjerenih, 9 jakih i 5-6 ekstremnih toplinskih valova. Naglašava se kako su ugrožene grupe stanovništva: djeca i mladež, treća životna dob,

trudnice te osobe s invaliditetom. Mortalitet i morbiditet u stalnom su porastu u analiziranom razdoblju od 2012. do 2014. godine. Najveći broj prijavljenih medicinskih intervencija hitne pomoći bio je u dobnoj skupini između 7-19 te 65 i više godina, dok su oboljeni uglavnom bolesnici dišnih, kardiovaskularnih i bubrežnih kroničnih bolesti. Također, definirana je granična vrijednost nastupa toplinskog vala za Zagrebu koji iznosi 37,1°C. Utjecaj toplinskog vala analiziran je i *Humidity indeksom* koji pored temperature obuhvaća i utjecaj vlažnost zraka.

3. Metodologija istraživanja

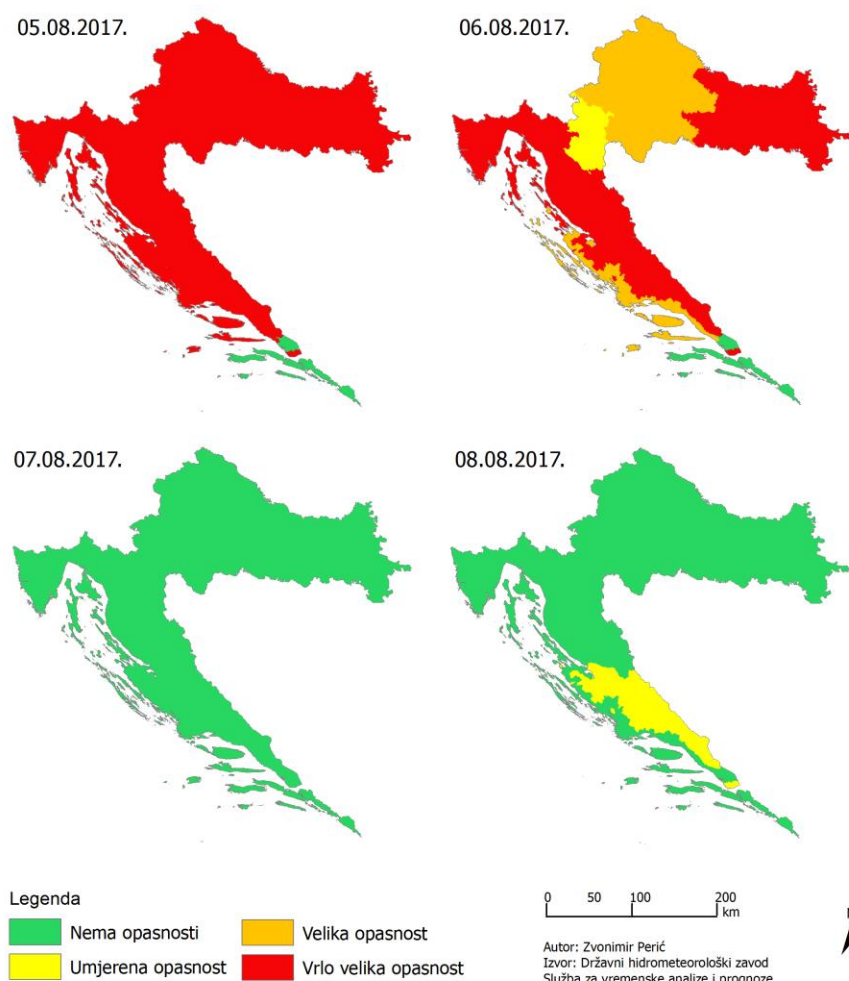
Kako bi se ostvarili što kvalitetniji rezultati istraživanja korištene su različite istraživačke metode tijekom procesa izrade diplomskog rada. S obzirom na okvir istraživanja i hipoteze, korištene su metode zasnovane na deskriptivnoj statistici i statistici zaključivanja, odnosno korišteni su: testovi korelacije, testovi normalnosti distribucije, linearna regresija, analiza varijance i usporedbe srednje vrijednosti. Uopćen metodološki proces istraživanja prikazan je na slici 1.



Slika 1. Proces prikupljanja i analize podataka

3.1. Određivanje klimatoloških regija

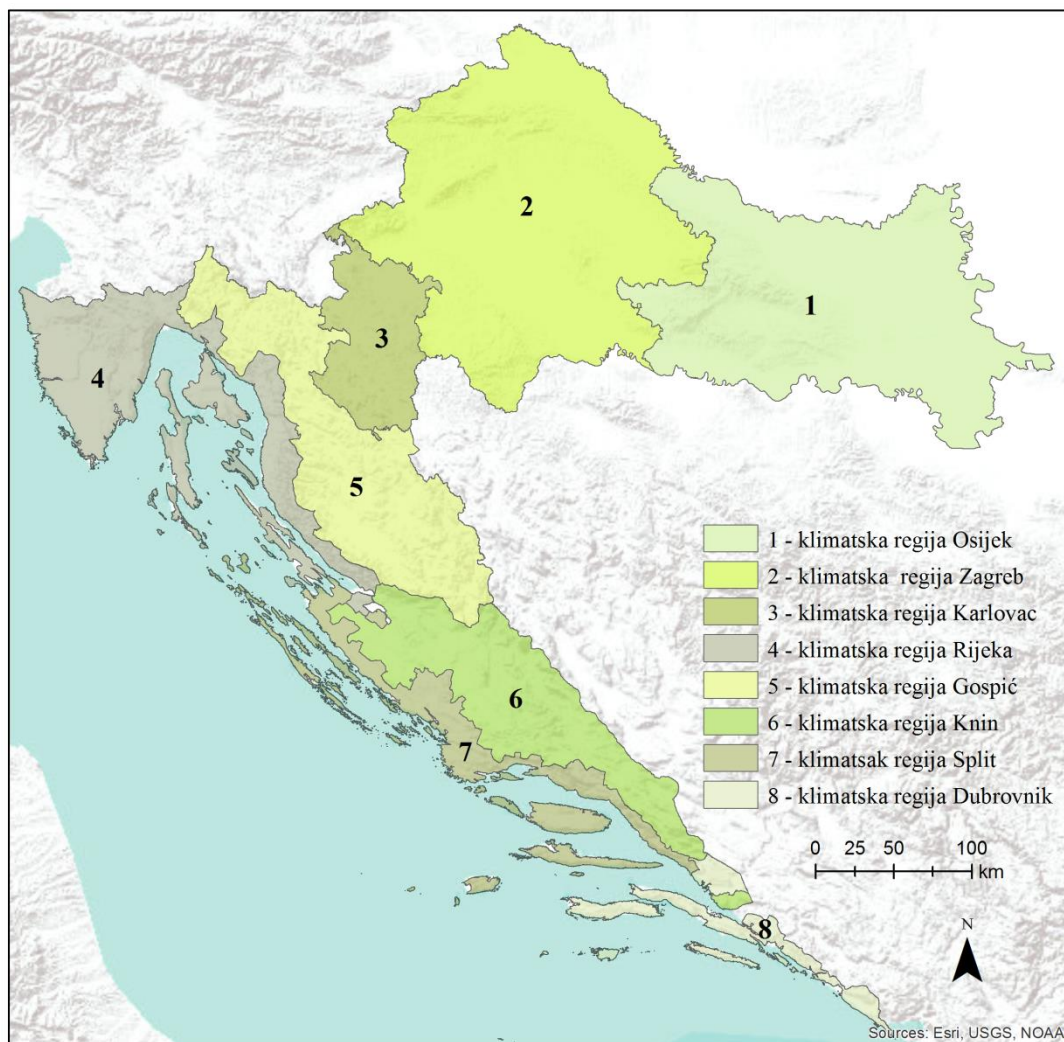
Klimatološke regije definirane su od DHMZ-a za potrebe upozoravanja na vremenske nepogode *Meteoalarm* (URL 1) koje se ujedno koriste i za upozoravanje na toplinske valove (slika 2.). Hrvatska se tako raščlanjuje na osam klimatoloških regija nazvanih prema najvećim demografskim središtima unutar istih, a to su klimatološka regija Dubrovnik, Gospić, Karlovac, Knin, Osijek, Rijeka, Split i Zagreb (slika 2., slika 3.).



Slika 2. Primjer različitog stupanja upozorenja na toplinske valove temeljeno na *Meteoalarm* klimatološkim regijama Hrvatske. Boje prikazuju stupanj upozorenja.

Navedene klimatološke regije zasnovane su na lokalnim klimatološkim čimbenicima (URL 1), međutim granice krajnjeg obuhvata regije nisu strogo klimatski uvjetovane, nego prate administrativne granice županija ili općina. Primjerice, kopno Zadarske županije raščlanjeno je na četiri klimatološke regije, odnosno područje Općine Gračac određeno je kao dio klimatološke regije Gospić, Bukovica i unutrašnjost Ravnih kotara pripadaju Kninskoj klimatološkoj regiji, obalni pojas Splitskoj klimatološkoj regiji, dok otok Pag i krajnji sjeverozapad pripadaju Riječkoj klimatološkoj regiji. S druge strane krajnje granice između klimatoloških regija Osijek i Zagreb definirane su s obzirom na granice županija. Kako bi se točno mogla odrediti raščlamba te kartografska vizualizacija Hrvatske po klimatološkim regijama, korišten je registar naselja s dodatkom pripadnosti određenoj klimatološkoj regiji dobiven od Državnog zavoda za statistiku (DZS). Nadalje, sustav upozoravanja na nepovoljne

utjecaje toplinskih valova u Republici Hrvatskoj definiran je za razdoblje od 15. svibnja do 15. rujna (Barišin i dr., 2016). Međutim, radi lakše obrade podataka u ovom istraživanju obuhvaćen je period analize toplinskih valova od 1. svibnja do 30. rujna.



Slika 3. Definirane klimatološke regije Hrvatske na temelju registra naselja s pribrojenim klimatološkim regijama

3.2. Meteorološki podaci

Tema istraživanja iziskuje dva skupa izvornih podataka, jedan je vezan uz toplinske valove, odnosno meteorološki skup podataka, dok je drugi vezan uz podatke o mortalitetu i morbiditetu, odnosno biostatistički skup podataka. Meteorološki podaci prikupljeni su od strane Hrvatskog hidrometeorološkog zavoda (*DHMZ*) i ravnomjerno su distribuirani prema klimatološkim regijama Hrvatske.

Zbog šireg uvida u meteorološki fenomen toplinskog vala, korišteni su sljedeći meteorološki podaci za razdoblje od 2006. do 2015. godine: temperatura (°C), vlaga zraka (%), naoblaka (u desetinama) i jačina vjetra (bofor) te dnevni temperaturni minimum i maksimum. Radi što točnijeg određivanja termičkog opterećenja, analizirani su dnevni podaci izmjereni u 14 sati. Na izvornim meteorološkim podacima učinjene su sljedeće promjene:

- izdvojena su meteorološka mjerenja za razdoblje od 1. svibnja do 30. rujna za svaku analiziranu godinu;
- podaci o jačini vjetra u boforima preračunate su u jedinicu metri u sekundi (m/s);
- naoblaka u desetinama preračunata je u jedinicu naoblake u osminama;
- izdvojeni meteorološki podaci objedinjenim su za svaku klimatološku regiju zasebno te je dodan novi atribut, redoslijed dana u godini.

Na pripremljenim meteorološkim podacima generiran je biometeorološki indeks fiziološke ekvivalentne temperature (PET). Vrijednosti biometeorološkog indeksa PET-a izračunate su unosom navedenih meteoroloških varijabli u program Rayman 1.2.. Pored unosa meteoroloških podataka moguće je analizirati PET na individualnoj razini za svaku osobu zasebno, određujući visinu, težinu, spol, indeks odjevenosti i geografske koordinate, kako bi izračun kod, primjerice, mikro analize utjecaja termičkog opterećenja bili što precizniji. Ulazni podaci za izračun fiziološke ekvivalentne temperature su sljedeći: temperatura (°C), vlaga zraka (%), tlak zraka (hPa) koji je generiran unutar programa na temelju temperature i vlage zraka, zatim jačina vjetra (m/s), naoblaka (u osminama) i srednja radijalna temperatura (°C). Vrijednosti srednje radijalne temperature (T_{mrt}) stavljene su isto kao vrijednosti temperature zraka, referirajući se na rad Gaćeša-Zaninović (2011). Detaljnije objašnjenje fiziološke ekvivalentne temperature dano je u poglavlju 4.2.

3.3. Podaci o mortalitetu i morbiditetu

Drugi neizostavni segment primarnih podataka su podatci o mortalitetu i morbiditetu, dobiveni od Hrvatskog zavoda za javno zdravstvo (HZJZ). Za istraživanje su korišteni podaci o cjelokupnom mortalitetu od 2006. do 2015. godine za cijelu Republiku Hrvatsku. S druge strane podaci o morbiditetu dobiveni su samo za 2016. godinu, što je rezultiralo orijentiranost rada u većoj mjeri ka analizi utjecaja toplinskih valova na mortalitet. Podaci o mortalitetu i morbiditetu sadrže sljedeća obilježja: datum smrti, datum rođenja, spol, mjesto smrti,

dijagnosticiran uzrok smrti. Prilikom analize podataka u obzir su uzeti svi smrtni slučajevi uključujući i nesreće sa smrtnim posljedicama. Na izvornim podacima učinjene su sljedeće promjene:

- odstranjeni su detektirani šumovi i greške (podaci bez obilježja, mortalitet i obolijevanje izvan analiziranog razdoblja od 2006. do 2015. godine
- izdvojeno je obolijevanje i smrtnost tijekom toplijeg dijela godine odnosno od 1. svibnja do 30. rujna
- na temelju datuma rođenja i datuma smrtni izračunat je podatak dobi
- uz pomoć registra naselja s klimatološkim regijama pribrojen je novi atribut; klimatološka regija mortaliteta
- izvorni podaci raščlanjeni su na temelju atributa klimatološke regije te im je dodan atribut izračunate vrijednosti fiziološke ekvivalentne temperature PET
- nakon prebrojavanja novih značajki podacima je napravljena i krajnja mikro raščlamba na temelju ranjivih skupina stanovništva

Detaljnija raščlamba tabličnih podataka odnosila se po interesnim atributima podataka te su stoga izdvojeni tablični podaci prema spolu, dobnim skupinama i dijagnosticiranim uzrocima smrti. Detaljnija analiza napravljena je za Zagrebačku klimatološku regiju zbog najvećeg broja zabilježenih biostatističkih podataka.

3.4. Određivanje metode statističke interferencije

Zbog postojanja više različitih metoda statističke obrade podataka, potrebno je odabrati valjanu s obzirom na vrstu analiziranih podataka. Osnovni kriteriji koji se uzimaju u obzir prilikom određivanja metode jesu: vrsta mjerne skale, distribucija, broj uzoraka te linearnost uzorka (Udovčić i dr., 2007; Memišević, 2015). Svi mjerni podaci pripadaju određenoj mjernoj skali te je neophodno prepoznati kojoj vrsti analizirani podaci pripadaju. Utvrđeno je kako su podaci o temperaturi i PET-u tipičan primjer intervalne mjerne skale jer jednake razlike u brojčanoj vrijednosti predstavljaju jednake razlike u promatranom svojstvu, dok vrijednost nula (0°C) predstavlja određenu vrijednost, a ne nepostojanje vrijednosti. Podaci o smrtnosti pripadaju skupini omjernih mjernih skala jer brojčani podaci predstavljaju

jednake razlike u mjerenom svojstvu dok vrijednost nule označava nepostojanje svojstva (Petz, 1997).

Sljedeći korak jest određivanje distribucije podataka. Distribucija podataka iznimno je važna jer determinira skup statističkih metoda s kojim je moguća obrada istih. Točnije rečeno, distribucija podataka određuje korištenje skupa parametrijskih ili neparametrijskih statističkih metoda (Armitage i dr., 2002). Normalna distribucija (prirodna, odnosno Gaussova) prikazuje zvonoliku i simetričnu raspodjelu podataka na histogramu i česta je kod prikupljenih uzoraka u prirodnim znanostima. Savršena normalna distribucija ima istu aritmetičku sredinu, mod i medijan. Ostale distribucije podataka generalno se mogu odrediti kao nepravilne, eksponencijalne, polinomalne, ujednačene i ukošene (Petz, 1997). Vrstu distribucije moguće je odrediti vizualnom metodom odnosno histogramom ili brojčanom metodom ili testovima za utvrđivanje normaliteta (Memišević, 2015).

Za procjenu normalnosti distribucije podataka za potrebe ovoga rada korištena su tri testa: Kolmogorov-Smirnovljev (KS), Shapiro-Wilk (SW) te Lillieforsov test normalnosti distribucije, integrirani u programu Statistica. Ne ulazeći u matematičku pozadinu istih, testovi normalnosti ispituju nultu hipotezu kako su podaci normalno distribuirani. Na temelju p vrijednosti, interpretiraju se rezultati testa, odnosno, ako je $p > 0,05$ tada je potvrđena nulta hipoteza kako su podaci normalno distribuirani.

S određivanjem distribucije podataka, moguć je sljedeći korak, to jest određivanje tipa korelacije podataka. Jačina povezanosti između varijabli koja se dobiva analizom korelacije izražava se kao vrijednost r . Ukoliko je $r = 1$ posrijedi je potpuna korelacija, ukoliko je ona jednaka ili veća od 0,8 riječ je o jakoj korelaciji među varijablama, ukoliko je ona jednaka 0,5 ili između 0,5 i 0,8 riječ je o srednje jakoj korelaciji. Kada je r vrijednost jednaka 0,2 ili između 0,2 i 0,5 radi se o relativno slaboj korelaciji, a ukoliko je r vrijednost između 0 i 0,2 posrijedi je neznatna korelacija. Kada je r vrijednost -1 bilježimo obrnutu korelaciju, odnosno povećanjem jedne varijable dolazi do smanjenja druge s njom povezane varijable (Petz, 1997). U tabličnim prikazima u ovom diplomskom radu zvjezdicama će biti iskazana snaga korelacije među varijablama u istraživanju koje su statistički značajne. Prema tome, potpuna korelacija označena je s pet zvjezdica (*****), jaka korelacija s četiri zvjezdice (****), srednje jaka korelacija s tri zvjezdice (***) te relativno slaba s dvije zvjezdice (**), dok je neznatna korelacija iskazana s jednom zvjezdicom (*).

Pored korelacije varijabli zaključeno je kako je bitno odrediti i valjani test usporedbe dviju varijabli zasnovan na aritmetičkoj sredini. Odnosno odrediti postoji li značajno odstupanje između dvaju uzoraka potvrđeno na statističkoj značajnosti. Najčešće korišten takvi test jest student t-test. Međutim student t-test pogodniji je za istraživanja manjeg uzorka što u ovom radu nije slučaj. Stoga je korišten z-test koji predstavlja adekvatnu alternativu. Za usporedbu srednje vrijednosti i odstupanje od srednjaka triju ili više varijabli korištena je metoda analize varijance (ANOVA).

4. Teorijska osnova

4.1. Što su toplinski valovi i kako se određuju?

Toplinski valovi, toplinski udari ili ekstremne temperature su sveprisutni oblik prirodne katastrofe bez službeno prihvaćene definicije (Koppe i dr., 2003). Najčešće su to periodi neuobičajeno visoke temperature sa suhim ili vlažnim vremenom, sa suptilnim početkom i završetkom te trajanjem od najmanje dva ili tri dana. Toplinski valovi vrlo često imaju vidljiv učinak na ljude i prirodne sustave. Budući da nema univerzalno definirane vrijednosti ekstremne temperature pri kojoj započinje toplinski val, ona se određuje prema lokalnim klimatološkim čimbenicima. Stoga nerijetko određena temperatura u pojedinom prostoru predstavlja toplinski val dok se na drugom području klasificira kao uobičajena i normalna. Osim toga, za razumijevanje zdravstvenih učinaka toplinskih valova jednako je važna dnevna i noćna temperatura (WMO WHO, 2015).

Kroz literaturu se pojavljuju razne definicije i formule određivanja nastanka toplinskog vala. Prema Zaninoviću i Matzarakisu (2013) svaka bi država ili regija unutar države, trebala definirati uvjete nastanka toplinskih valova ovisno o lokalnim čimbenicima. Postojeću metodu definiranja toplinskog opterećenja potrebno je kalibrirati, ako ju želimo "implementirati" na novo istraživano područje (Koppe i dr., 2003).

U ovom radu se stoga navodi nekoliko već definiranih primjera toplinskog vala. U projektu EuroHEAT analize toplinskih valova za devet europskih gradova se toplinski val definira kao razdoblje u kojem maksimalna očitana temperatura ($T_{app_{max}}$) i minimalna temperatura (T_{min}) prelaze preko 90 percentila mjesečne temperaturne distribucije tijekom barem dva dana (D'Ippolit i dr., 2010). Toplinski valovi u Berlinu definiraju se kao klimatske pojave koje traju najmanje tri dana s temperaturom zraka najmanje 25°C ili 30°C (Scherber i dr., 2013). Prema Procjeni rizika od katastrofa za Republiku Hrvatsku (2015.), toplinski val definiran je za prostor Grada Zagreba te je njegov početak u trenutku kada se dosegne kritična temperatura zraka od 37,1°C.

Postojeće metode definiranja toplinskog vala moguće je svrstati u nekoliko grupa: fiksne vrijednosti, percentili, regresija mortaliteta i temperature (metoda hokejaške palice) te termički indeksi (Gabriel, 2009). Fiksne vrijednosti su najjednostavniji pristup definiranja toplinskog vala. Metoda se odnosi na proizvoljno odabrane srednje dnevne ili maksimalne

dnevne temperature ($T_{\max}$). Ona se razlikuje s obzirom na različite lokalne klimatske karakteristike (Gabriel, 2009).

Druga metoda, odnosno metoda percentila, definira toplinski val kao rijetku pojavu, odnosno fenomen. Granična vrijednost toplinskog vala definira se na temelju percentila mjerene temperature unutar analiziranog razdoblja. Često korištena vrijednost jest 95. percentil (P95). Ako se uzme vrijednost percentila 85 (P85) tada se toplinski val definira onom temperaturom koja prelazi vršnih 15% zabilježenih najviših temperatura. Ova metoda se primjenjuje na srednjim dnevnim temperaturnim vrijednostima, dnevne maksimume ili na kombinaciju minimuma i maksimuma dnevne temperature. Mana ove metode jest u tome što definira samo učestalost nastanka toplinskih valova ne uzimajući u obzir utjecaj na ljudsko zdravlje (Gabriel, 2009).

Metodom regresije mortaliteta i temperature (metoda hokejaške palice) povezuje se odnos između termičke opterećenosti i ljudskog zdravlja, prilikom koje se analiziraju podaci o mortalitetu ili morbiditetu. Na temelju toga se mogu diferencirati krivulje odnosa u obliku slova U, V ili J. Porastom temperature u ljeto ili smanjenjem temperature zimi, dolazi do porasta mortaliteta i generiranja "U" oblika dijagrama. Najniža točka krivulje predstavlja *threshold* graničnu vrijednost ili termički optimum. U odnos se češće uzimaju podaci srednjih dnevnih vrijednost nego dnevni temperaturni maksimumi (Gabriel, 2009).

Posljednja metoda ili metoda termičkih indeksa predstavlja kompleksniji pristup definiranja toplinskog vala u odnosu na prethodne metode. Osim temperature u obzir se uzimaju i drugi meteorološki parametri kao što su vlažnost zraka i brzina puhanja vjetra te humani parametri, odnosno starost, spol, način odijevanja i pokretljivost. Na temelju toga se granične vrijednosti definiraju prema percipiranim temperaturama. Daljnji razvoj termičkih indeksa pod projektom HeRATE uspostavljen je univerzalni termalni klimatski indeks (UTCI) koji uključuje još veći broj varijabli koje utječu na čovjekov tjelesni temperaturni sustav (Gabriel, 2009). Međutim bitno je napomenuti kako niti jedna postojeća metoda definiranja toplinskog vala ne obuhvaća kompletno sve čimbenike koji utječu na čovjekovu toplinsku ravnotežu (Koppe i dr., 2003).

4.1. Ranjive skupine stanovništva

Kada je riječ o ranjivosti stanovništva na visoke temperature treba naglasiti kako sve skupine stanovništva nisu jednako ranjive. Osjetljivost (ranjivost) stanovništva na visoke

temperature analizira se kroz više dimenzija uključujući: individualnu ranjivost, ranjivost s obzirom na zdravstveno stanje stanovništva, ranjive socioekonomske skupine kao i ranjivost s obzirom na mjesto i okolinu življenja (Ministarstvo zdravlja, 2012).

Dosadašnja istraživanja ukazuju kako su razlike u osjetljivosti na toplinske valove prama spolu vidljive. Istraživanja ukazuju kako žene u većoj mjeri traže liječničku pomoć tijekom visokih temperatura, razlog tomu može biti i u činjenici da je veći broj žena u starijoj dobi u odnosu na muškarce (Gaćeša-Zaninović, 2011). K tome, žene imaju drugačiju termalnu fiziologiju, kao što je smanjena mogućnost znojenja što krajnje gledano može otežati hlađenje tijela tijekom ekstremno visokih temperatura (D'lippolit i dr., 2010).

Istraživanja pokazuju i potkrepljuju pretpostavku kako su starije dobne skupine izloženije utjecaju toplinskih valova i visokih temperatura u odnosu na srednje i mlađe dobne skupine (Conti i dr., 2005). Na osjetljivost starijih skupina utječu i sljedeće fiziološke odlike povezane sa starijom dobi: smanjena mišićna masa i povećanje udjela masnog tkiva te smanjenje udjela tjelesnih tekućina za oko 10%. Smanjeni udio vode u tijelu tijekom pojačanog znojenja može uzrokovati nedostatak tekućine u organizmu (hipohidratacija) koje starije osobe teško nadoknađuju. Naime, mlađe dobne skupine u kratkom vremenu jednostavno nadoknade nedostatak vode pijenjem, dok je starijim osobama potrebno više dana kako bi se nadoknadio gubitak vode (Robert Koch Institut, 2004). Dodatni otežavajući čimbenik jest često narušeno zdravstveno stanje kod starijih osoba, smanjena mogućnost kretanja kao i često korištenje lijekova zbog kojih nerijetko dodatno dehidriraju (Basu i dr., 2004).

Limitirane sposobnosti adaptiranja na toplinu posebno su izražene i kod bolesnika s određenim dijagnosticiranim kardiovaskularnim i dišnim bolestima (Scherber i dr., 2013). Druge osjetljive skupine stanovništva su oni s oboljenjima bubrežnog sustava, dijabetesom, te bolestima povezanim uz mentalno zdravlje (DUZS, 2015). Posebice je potrebno uzeti u obzir i spektar lijekova za navedene bolesti jer nerijetko uzrokuju dehidraciju budući da sadrže alkohol, kofein i slično, otežavajući tako dodatno termoregulaciju tijela tijekom visokih temperatura (Robert Koch Institut, 2004).

Nekolicina studija pokazala kako je urbani okoliš također opasan tijekom djelovanja ekstremnih temperatura. Relevantan fenomen u ovom kontekstu poznat je kao efekt "urbanog toplinskog otoka" (*Urban Heat Island – UHI*). Gusto izgrađena područja imaju veće indekse topline od okolnih predgrađa ili ruralnih područja. Štoviše, što je veće urbano područje i što više ljudi živi u gradu, to je izraženiji UHI. Najvažniji čimbenici koji utječu na urbanu

mikroklimu su antropogena proizvodnja topline (umjetna rasvjeta, kućanski i uredski aparati, uključujući klima uređaje) i protok zraka (zbog gustoće i visine zgrada brzine vjeta u gradovima su općenito niže od onih u otvorenom prostoru) (Conti i dr., 2005). Također, toplinski valovi predstavljaju posebne probleme u urbanim područjima zbog akumulacije topline u zgradama; tijekom toplinskih valova, stanovnici urbanih područja mogu tijekom dana i noći doživjeti trajno toplinsko naprezanje, dok stanovnici ruralnih sredina često dobivaju olakšanje od toplinskog stresa tijekom noćnih sati (Conti i dr., 2005).

4.2. Fiziološka ekvivalentna temperatura (PET)

Ljudi žive u pojasevima od polarnih do tropskih i pustinskih uvjeta što potkrepljuje činjenicu kako je ljudski organizam sposoban postepeno se prilagoditi širokom rasponu toplinskih uvjeta. I u tome postoje apsolutne granice toplinskog opterećenja koje čovjek može podnijeti stoga veće odstupanje od uvjeta na koje je navikao, kao što su toplinski ili hladni stres, mogu uzrokovati nepovoljne učinke na njegov organizam pa čak i dugotrajne posljedice. Istraživanja pokazuju kako je ravnoteža između ljudskog tijela i toplinskog stanja okoline složeni sustav koji ne ovisi samo o temperaturi zraka, već i o strujanju i vlažnosti zraka, zračenju sunca i okoline, kao i o spolu, metabolizmu i odjevenosti (Gaćeša-Zaninović, 2011).

Fanger (1970) navodi kako utjecaj toplinskog stanja atmosfere na čovjeka ne ovisi samo o temperaturi zraka, već je to kompleksni sustav razmjene topline između ljudskog tijela i okoline na koji utječe više meteoroloških i ne meteoroloških čimbenika. Prema njemu, čovjek se osjeća ugodno, ako su primitak i gubitak topline jednaki, no ako je primitak energije veći od njenog gubitka čovjeku će biti pretoplo, a ako gubi više topline nego što je tijelo može proizvesti, bit će mu hladno (Gaćeša-Zaninović, 2011). Čovjekova prilagodba može biti potpomognuta odjećom kojom se štiti tako da ju prema potrebi dodaje ili odbacuje, povećanom aktivnošću za vrijeme hladnoće i manjom za vrijeme vrućine, prehranom koja je zimi obilnija, a ljeti lakša. Iz toga proizlazi kako je proces prilagodbe različit u različitim klimatološkim zonama (Gaćeša-Zaninović, 2011). Na same pak meteorološke parametre čovjek ne može utjecati i on im se mora prilagođavati. Na njegov osjet ugone utječu temperatura, strujanje, vlažnost zraka te zračenje (Gaćeša-Zaninović, 2011).

Fanger (1970) ističe kako zračenje Sunca i okolnih predmeta u znatnoj mjeri utječe na osjet topline i kako se osjet topline znatno mijenja ukoliko je čovjek izložen direktnom Sunčevom zračenju. Strujanje zraka pospješuje odvođenje topline s površine tijela, a utjecaj vlažnosti zraka veći je u toplijem dijelu godine nego kod niskih temperatura. Isparavanje znoja s površine tijela troši energiju i smanjuje osjet topline, te ukoliko zrak sadrži veći udio vodene pare, otežano je isparavanje znoja s površine tijela, što doprinosi osjetu topline i sparine kod visokih temperatura (Gaćeša-Zaninović, 2011).

Gaćeša-Zaninović (2011) iznosi i suvremeno biomatematičko objašnjenje za ocjenu termičkog stanja atmosfere. Autorica navodi kako se koriste biometeorološki indeksi izvedeni iz modela toplinske ravnoteže između tijela i okoline koji uvažavaju niz meteoroloških i nemeteoroloških parametara koji na taj osjet utječu.

"Ako postoji toplinska ravnoteža, proizvodnja i gubitak topline moraju biti jednaki, pa vrijedi jednadžba toplinske ravnoteže između tijela i okoline koja ima općeniti oblik (Höppe, 1999):

$$M + W + R + C + E_d + E_{res} + E_{sw} + S = 0 \quad (1)$$

gdje je M stupanj metabolizma, W energija stvorena fizičkim radom, R ukupno zračenje tijela, C konvektivni tok topline, E_d – gubitak topline difuzijom vodene pare kroz kožu, E_{res} ukupni tok topline zbog zagrijavanja i vlaženja zraka disanjem, E_{sw} tok topline zbog isparavanja znoja i S spremanje energije u organizmu, sve u W. Stupanj metabolizma je energija oslobođena oksidacijskim procesima u organizmu i pretvara se u mehanički rad (W) i većim dijelom za unutarnju toplinu organizma (S). Ovisi prvenstveno o aktivnosti, ali i o fizičkim karakteristikama kao što su visina, težina i spol. Latentni tok topline uzrokuje difuzija vodene pare kroz kožu (E_d) zbog razlike zasićenog tlaka vodene pare na koži i parcijalnog tlaka vodene pare u okolnom zraku, isparavanju znoja (E_{sw}) i razlici sadržaja vode u udahnutom i izdahnutom zraku (E_{res}). Tok topline s kože u okolinu sastoji se od gubitka topline radijacijom (R) i konvekcijom (C) s vanjske površine odjevenog tijela (Fanger, 1970). Kad je gubitak topline s tijela jednak pritjecanju topline iz okoline, čovjeku je ugodno. S druge strane, nedovoljno odvođenje topline s površine tijela uzrokuje zagrijavanje (hipertermija), a preveliki gubitak topline do hlađenja organizma (hipotermija)." (Gaćeša-Zaninović, 2011).

Postoji niz biometeoroloških indeksa temeljenih na modelu termičke ravnoteže, no u ovom diplomskom radu korištena je metoda fiziološki ekvivalentne temperature zraka PET, koju se može definirati kao temperatura pri kojoj bi se čovjek koji sjedi u zatvorenoj prostoriji (odjeven je u lagano odijelo – indeks odjevenosti $I_{clo} = 0.9$ i sjedi – $W = 80W$, srednja temperatura zračenja jednaka temperaturi zraka ($T_{mrt} = T$), brzina strujanja 0.1 m/s , tlak vodene pare 12 hPa (relativna vlažnost 50% uz temperaturu zraka 20°C) osjećao jednako kao u stvarnim uvjetima (Gaćeša-Zaninović, 2011).

PET daje ekvivalentnu temperaturu izotermnog referentnog okružja s tlakom vodene pare od 12 hPa (50% pri 20°C) i s laganim strujanjem zraka ($0,1 \text{ m/s}$), pri čemu se ravnoteža topline referentne osobe održava s unutarnjom i temperaturom kože jednakom onima u uvjetima koji se procjenjuje. Za referentni osobu uzet je tipični uređeni unutarnji prostor s radnim metabolizmom od 80 W i toplinske otpornost odjeće od $0,9 \text{ clo}$. Utjecaj vlage na PET je ograničen na latentnu toplinu procijenjenu putem disanja i difuzijom kroz kožu. PET je utemeljen zapravo na mjerenju stanja udobnosti tijela (WHO, 2015).

Matzarakis i Endler (2010) ističu kako se fiziološki ekvivalentna temperatura temelji na ljudskoj energijskoj ravnoteži i opisuje učinke meteoroloških uvjeta (kratkotrajno i dugo valno zračenje, temperatura zraka, vlažnost zraka i brzina vjetra) i termofiziološki uvjeti (odjeća i aktivnost na čovjeka). Höppe (1999) naglašava kao je PET utemeljen na Munich Energy-balance za individue (MEMI), koji modelira termalne uvjete za ljudsko tijelo na fiziološki relevantan način. Na taj način PET omogućava laičkoj osobi lako usporediti integralne učinke složenih termalnih uvjeta u otvorenom prostoru, s vlastitim iskustvom u zatvorenom prostoru.

Za izračun fiziološke ekvivalentne temperature koriste se podaci temperature, relativne vlažnosti ili tlaka vodene pare, brzine strujanja vjetra i naoblake (ako nema podataka o zračenju). Za navedeni indeks određena je i klasifikacija osjeta ugone te termičkog opterećenja (tablica 1.). Zbog prilagođavanja toplinskom stanju, utjecaj toplinskih valova na smrtnost je početkom tople temperaturne sezone različit od onoga kasnije, s jačim utjecajem ranih toplinskih valova od toplinskih valova istih karakteristika krajem ljeta (Koppe i Jendritzky 2003) Nadalje je zanimljivo i prikazati pragove termalnog senzibiliteta i razine fiziološkog stresa koji Matzarakis i Mayer, (1996) prikazuju u svome radu.

Tablica 1. Klasifikacija termalnog senzibiliteta i razine fiziološkog stresa

PET (°C)	Termalni senzibilitet	Razina fiziološkog stresa
<4	jako hladno	ekstremni hladni stres
4 – 8	hladno	jaki hladni stres
8 – 13	prohladno	umjereni hladni stres
13 – 18	blago hladno	blagi hladni stres
18 – 23	ugodno	nema termalnog stresa
23 – 29	blago toplo	blagi toplinski stres
29 – 35	toplo	umjereni toplinski stres
35 – 41	vruće	jaki toplinski stres
> 41	jako vruće	ekstremni toplinski stres

Izvor: Matzarakis, Mayer, 1996.

5. Rezultati i rasprava

5.1. Deskriptivna statistika podataka morbiditeta i PET-a

U periodu od 2006. do 2015. godine u Republici Hrvatskoj je umrlo ukupno 553 947 osoba, od čega njih 221 528 u toplijem dijelu godine, preciznije u razdoblju od 1. svibnja do 30. rujna. Navedeni broj čini ukupno 39,99% ukupne smrtnosti od 2006. do 2015. Udio muškaraca u ukupnoj smrtnosti u toplijem periodu godine iznosi 50,73 % (112 369 zabilježenih smrtnih slučajeva), dok je žena 49,27 % (109 159 zabilježenih smrtnih slučajeva).

Najveća zabilježena smrtnost bila je u 2015. godini i to 58 187 zabilježenih smrtnih slučajeva, dok je najmanja zabilježena bila 2006. godine kada je zabilježeno 53 094 umrlih. Najveća zabilježena smrtnost u toplom periodu zabilježena je također 2015. godine s 22 854 umrlih. Najmanja smrtnost u toplom periodu registrirana je 2013. godine s 21 509 umrlih osoba (tablica 2.).

Tablica 2. Prikaz osnovnih deskriptivnih podataka mortaliteta u Republici Hrvatskoj po analiziranim godinama od 2006. do 2015. godine

Godina	Ukupna smrtnost	Smrtnost u ljetnom periodu			
		Ukupna smrtnost	Muškarci	Žene	Kardiovaskularne bolesti
2015.	58 187	22 854	11 466	11 388	9 920
2014.	55 119	22 147	11 025	11 122	9 543
2013.	56 090	21 509	10 933	10 576	9 495
2012.	55 129	21 844	11 032	10 812	9 740
2011.	54 862	21 738	10 898	10 840	9 725
2010.	55 256	22 692	11 403	11 289	10 291
2009.	55 652	21 885	11 179	10 706	9 813
2008.	55 339	22 422	11 567	10 855	10 182
2007.	55 219	22 433	11 542	10 891	10 436
2006.	53 094	22 004	11 324	10 680	10 242
Ukupno	553 947	221 528	112 369	109 159	99 387

U istom periodu između 1. svibnja i 30. rujna od 2006. do 2015. godine analizirani su meteorološki parametri te je izračunata fiziološka ekvivalentna temperatura za ukupno 1530 dana za svaku regiju zasebno što je ukupno 12 240 analiziranih vrijednosti PET-a. Najviša dobivena vrijednost dobivena je za regiju Knin s 42,3 °C PET, dok je najviša zabilježena temperatura PET-a s druge strane u klimatološkoj regiji Gospić 5 stupnjeva niža s dobivenih 37,3 °C. Najniže PET vrijednosti izračunate su s vrijednostima i ispod nule, odnosno -1,3 °C i -0,4 °C PET u Gospićkoj odnosno Kninskoj klimatološkoj regiji. S druge strane najniža dobivena vrijednost u klimatološkoj regiji Dubrovnik iznosi 7,6 °C PET.

5.2. Test normalnosti distribucije

Za početak, prije provođenja složenijih statističkih operacija i testova, bilo je potrebno utvrditi normalnost distribucije. Kao što je to već navedeno, za procjenu normalnosti distribucije podataka za potrebe ovoga rada korištena su tri testa: Kolmogorov-Smirnovljev (KS), Shapiro-Wilk (SW) te Lillieforsov test normalnosti distribucije, integrirani u programu Statistica. Testovima je utvrđeno kako podatci iz niti jedne godine i niti jedne regije ne zadovoljavaju normalnu distribuciju podataka, odnosno u većini slučajeva je p vrijednost manja od 0,05. (tablica 3.).

Tablica 3. Rezultati testa normalnosti PET-a i dnevnog mortaliteta (K-S, S-W, Lilliefors) po klimatološkim regijama za razdoblje od 1. svibnja do 30. rujna u razdoblju od 2006. do 2015. godine.

Test normalnosti za klimatološku regiju Zagreb						
	N	max D	K-S – p	Lilliefors – p	W	P
PET (°C)	1530	0,029	p < ,20	p < ,01	0,937	0,000
Dnevni mortalitet	1530	0,050	p < ,01	p < ,01	0,994	0,001
Test normalnosti za klimatološku regiju Split						
	N	max D	K-S – p	Lilliefors – p	W	P
PET (°C)	1530	0,051	p < ,01	p < ,01	0,984	0,000
Dnevni mortalitet	1530	0,081	p < ,01	p < ,01	0,985	0,000
Test normalnosti za klimatološku regiju Rijeka						
	N	max D	K-S – p	Lilliefors – p	W	P

PET (°C)	1530	0,036	p < ,05	p < ,01	0,994	0,001
Dnevni mortalitet	1530	0,075	p < ,01	p < ,01	0,987	0,000
Test normalnosti za klimatološku regiju Osijek						
	N	max D	K-S - p	Lilliefors – p	W	P
PET (°C)	1530	0,024	p > .20	p < ,05	0,995	0,001
Dnevni mortalitet	1530	0,067	p < ,01	p < ,01	0,976	0,000
p vrijednosti (K-S - p, Lilliefors - p, p) ispod 0,05 je označena crvenom bojom što indicira na to kako normalna distribucija nije zadovoljena						

5.3. Rezultati korelacije mortaliteta i PET-a

Međusobnu povezanost mortaliteta te temperature i bioindeksa moguće je izračunati uz pomoć koeficijenta korelacije. Metoda korelacije često je korišten postupak u biomedicini, a ona predstavlja statističku metodu izračunavanja povezanosti dvaju varijabli (Alexander, i dr., 2007). Bitno je za naglasiti kako korelacija ne prikazuje nužno kauzalnost odnosno utjecaj jedne varijable na drugu, nego samo povezanost varijabli. Prednost korelacije s druge strane jest objektivna procjena povezanosti na temelju vrijednosti koeficijenta korelacije (Petz, 1997).

Nakon provedenog testa normalnosti proveden je i test korelacije između PET-a i mortaliteta u zadanom vremenskom periodu i zadanim regijama. Analizirani su podaci za razdoblje od 1. svibnja do 30. rujna od 2006. do 2015. godine. Ukupni uzorak podataka za svaku regiju iznosi 1 530. Podatci su analizirani za svaku godinu zasebno i podijeljeni po klimatološkim regijama: Zagreb, Rijeka, Split, Osijek. Kako podaci ne zadovoljavaju uvjet normalnosti, podatke je potrebno analizirati kroz neparametrijske statističke metode. Na temelju navedenog izračunata je povezanost između dnevne vrijednosti PET-a i mortaliteta Spearmanovim koeficijentom korelacije (tablica 4.).

Tablica 4. Povezanost između PET i dnevnog mortaliteta po klimatološkim regijama za razdoblje od 1. svibnja do 30. rujna po analiziranim godinama

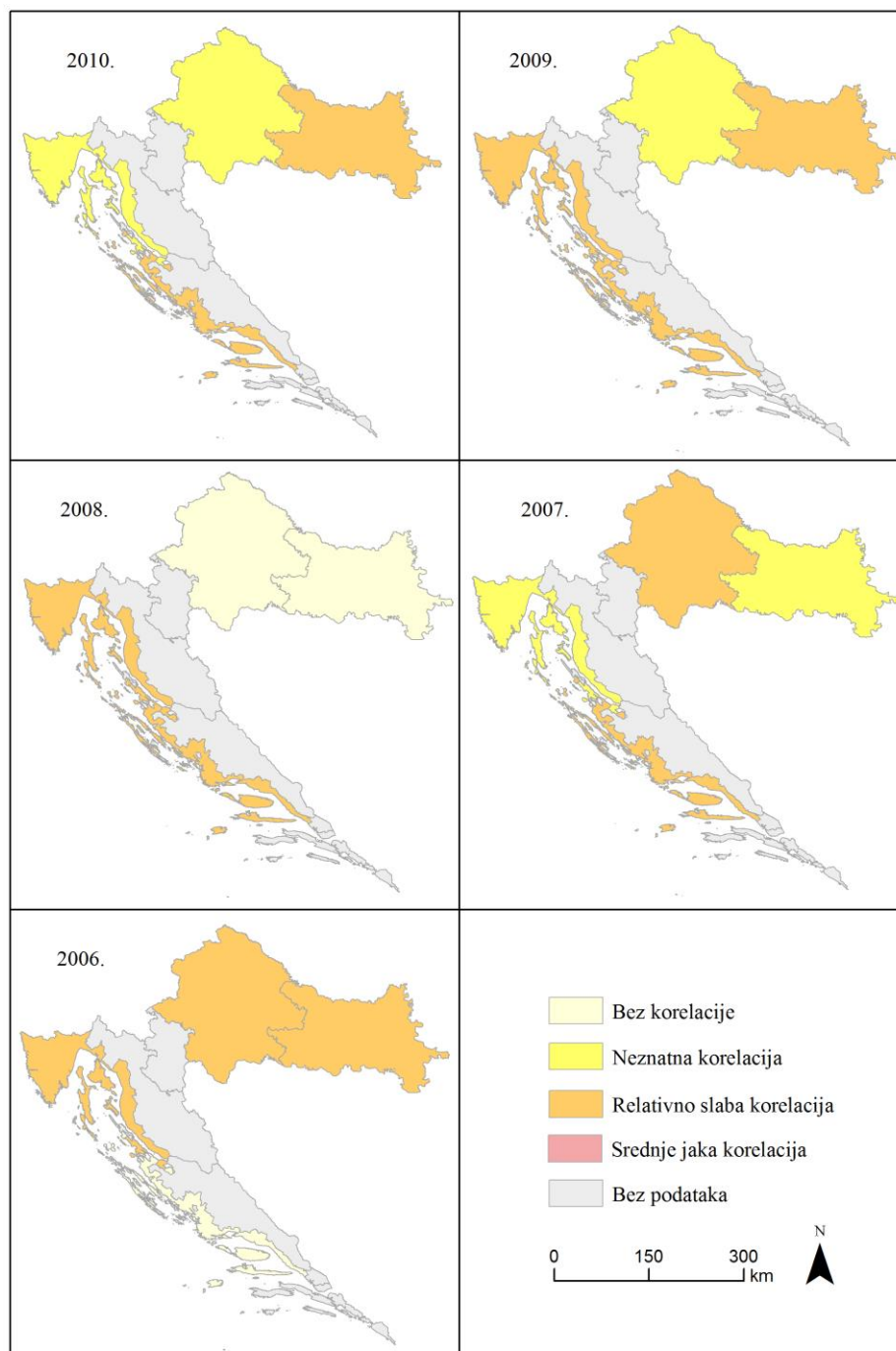
Klimatološka regija Zagreb	N	Spearman	p vrijednost
Mortalitet 2015. & PET (°C) 2015.	153	0,523 ***	0,000
Mortalitet 2014. & PET (°C) 2014.	153	0,143	0,078
Mortalitet 2013. & PET (°C) 2013.	153	-0,144	0,076
Mortalitet 2012. & PET (°C) 2012.	153	0,178*	0,027
Mortalitet 2011. & PET (°C) 2011.	153	0,034	0,680
Mortalitet 2010. & PET (°C) 2010.	153	0,165*	0,041
Mortalitet 2009. & PET (°C) 2009.	153	0,162*	0,046
Mortalitet 2008. & PET (°C) 2008.	153	0,128	0,115
Mortalitet 2007. & PET (°C) 2007.	153	0,273**	0,001
Mortalitet 2006. & PET (°C) 2006.	153	0,222**	0,006
Klimatološka regija Split	N	Spearman	p vrijednost
Mortalitet 2015. & PET (°C) 2015.	153	0,434**	0,000
Mortalitet 2014. & PET (°C) 2014.	153	0,209**	0,009
Mortalitet 2013. & PET (°C) 2013.	153	0,187*	0,021
Mortalitet 2012. & PET (°C) 2012.	153	0,397**	0,000
Mortalitet 2011. & PET (°C) 2011.	153	0,122	0,134
Mortalitet 2010. & PET (°C) 2010.	153	0,364**	0,000
Mortalitet 2009. & PET (°C) 2009.	153	0,219**	0,007
Mortalitet 2008. & PET (°C) 2008.	153	0,238**	0,003
Mortalitet 2007. & PET (°C) 2007.	153	0,368**	0,000
Mortalitet 2006. & PET (°C) 2006.	153	0,042	0,609
Klimatološka regija Rijeka	N	Spearman	p vrijednost
Mortalitet 2015. & PET (°C) 2015.	153	0,322**	0,000
Mortalitet 2014. & PET (°C) 2014.	153	-0,021	0,793
Mortalitet 2013. & PET (°C) 2013.	153	0,258**	0,001
Mortalitet 2012. & PET (°C) 2012.	153	0,109	0,179
Mortalitet 2011. & PET (°C) 2011.	153	0,300**	0,000
Mortalitet 2010. & PET (°C) 2010.	153	0,191*	0,018
Mortalitet 2009. & PET (°C) 2009.	153	0,224**	0,005
Mortalitet 2008. & PET (°C) 2008.	153	0,255**	0,001
Mortalitet 2007. & PET (°C) 2007.	153	0,175*	0,031
Mortalitet 2006. & PET (°C) 2006.	153	0,369**	0,000

Klimatološka regija Osijek	N	Spearman	p vrijednost
Mortalitet 2015. & PET (°C) 2015.	153	0,414**	0,000
Mortalitet 2014. & PET (°C) 2014.	153	0,083	0,309
Mortalitet 2013. & PET (°C) 2013.	153	0,152	0,060
Mortalitet 2012. & PET (°C) 2012.	153	0,191*	0,018
Mortalitet 2011. & PET (°C) 2011.	153	0,189*	0,019
Mortalitet 2010. & PET (°C) 2010.	153	0,209**	0,010
Mortalitet 2009. & PET (°C) 2009.	153	0,224**	0,005
Mortalitet 2008. & PET (°C) 2008.	153	0,154	0,058
Mortalitet 2007. & PET (°C) 2007.	153	0,190*	0,019
Mortalitet 2006. & PET (°C) 2006.	153	0,283**	0,000

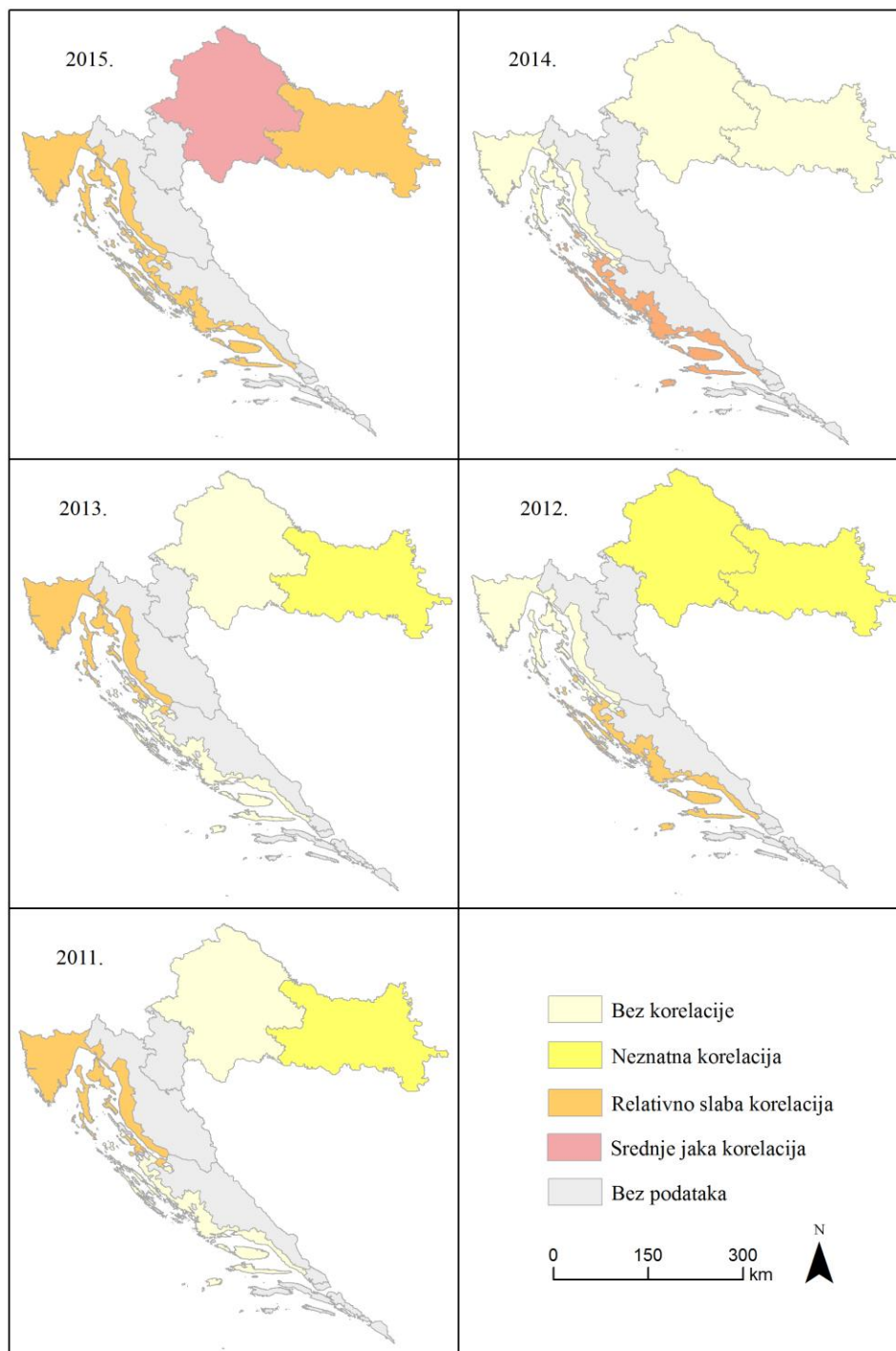
Prema rezultatima analize vidljiva je povezanost između dnevnog mortaliteta i PET-a u većini proučavanih godina. Godine u kojima ta povezanost nije utvrđena kao statistički značajnom su za Zagrebačku regiju 2014. ($r = 0,143$), 2016. ($r = -0,144$), 2011. ($r = 0,034$) i 2008. ($r = 0,128$) godina. U Splitskoj regiji statistički značajna korelacija nije utvrđena samo 2011. ($r = 0,122$) godine, dok je u Riječkoj klimatološkoj regiji statistički značajna korelacija izostala 2014. ($r = -0,021$) i 2012. ($r = 0,109$) godine. U Osječkoj klimatološkoj regiji korelacija nije statistički značajna 2014. ($r = 0,083$), 2016. ($r = 0,152$) i 2008. ($r = 0,154$) godine. Osim toga javlja se i negativna korelacija i to u Zagrebačkoj klimatološkoj regiji 2016. godine i u Riječkoj klimatološkoj regiji 2014. godine.

Najjača povezanosti između promatranih varijabli u Zagrebačkoj regiji zabilježene su 2015. godine ($r = 0,523$). Ta se povezanost može okarakterizirati kao srednje jaka korelacija. U Splitskoj klimatološkoj regiji također se najjača povezanost bilježi 2015. ($r = 0,434$), no ova se korelacija može klasificirati kao relativno slaba korelacija. Kod Riječke klimatološke regije najjača se korelacija bilježi 2006. ($r = 0,369$) godine, dok je 2015. ($r = 0,322$) zabilježen sličan koeficijent korelacije kao i 2009. godine. Koeficijenti korelacije u ova dva slučaja mogu se ubrojiti u relativno slabe korelacije. Kod Osječke je klimatološke regije, isto kao i u Zagrebačkoj i Splitskoj regiji, najjača korelacija zabilježena 2015. ($r = 0,414$) te se i u ovom slučaju može okarakterizirati kao relativno slaba korelacija. Iz navedenog proizlazi da je 2015. godina statistički najzanimljivija s obzirom na razinu korelacije u proučavanim regijama. Kartografskim prikazom koeficijenta korelacije za analizirane klimatološke regije omogućen je lakši uvid i usporedbu između regija. Kako su dobivene vrijednosti koeficijenta korelacije analizirane za četiri od osam klimatoloških regija, usporedba je samo moguća na

istim dok su klimatološke regije bez izračuna korelacije opisane kao regije bez podataka (slika 4. i 5.)



Slika 4. Koeficijent korelacije (R) po klimatološkim regijama izraženo u korelacijskim razredima prema Petzu (1996), od 2006. do 2010. godine.



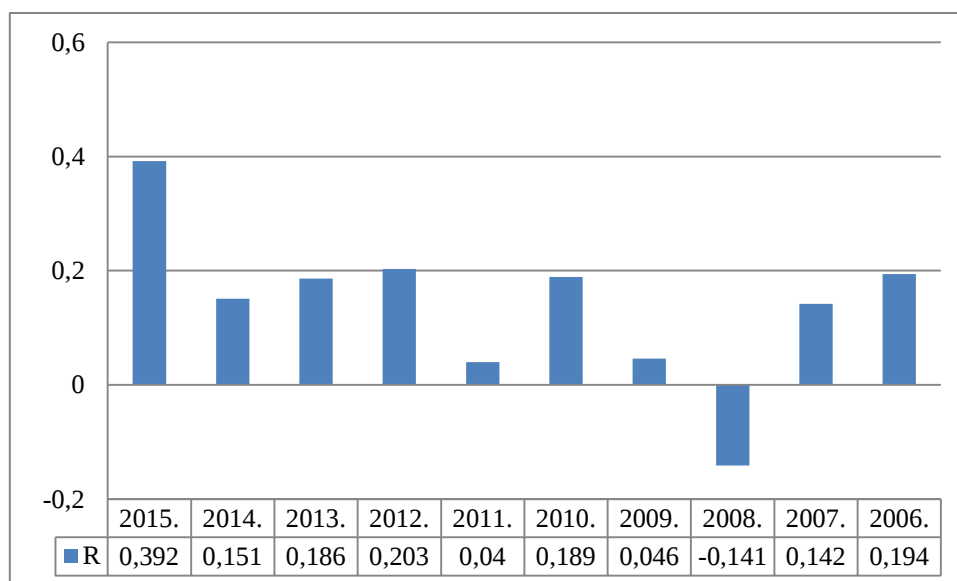
Slika 4. Koeficijent korelacije (R) po klimatološkim regijama izraženo u korelacijskim razredima prema Petzu (1997), od 2011. do 2015. godine.

5.3.1. Rezultati korelacije mortaliteta i PET-a kod smrtnih slučajeva ženskog spola

Najjača statistički značajna korelacija kada se u odnos stavi mortalitet žena i PET u periodu od 2006. do 2015. u toplijem dijelu godine javlja se u 2015. godini kada je ona bez obzira na to i dalje relativno slaba ($r = 0,392$). Najslabija korelacija koja je statistički značajna kod žena bilježi se u 2013. godini u kojoj je $r = 0,186$ i samim time se ta korelacija može smatrati neznatnom. Zanimljivo je primijetiti kako u većem broju godina nije zabilježena statistički značajna razlika, točnije u 2014., 2011., 2009., 2008. i 2007. godini (slika 6.) Negativna korelacija između promatranih varijabli javlja se samo 2008. godine ($r = -0,141$). Detaljniji prikaz rezultata predložen je u tablici 5.

Tablica 5. Povezanost između PET i dnevnog mortaliteta kod smrtnih slučajeva žena za razdoblje od 1. svibnja do 30. rujna po analiziranim godinama

Žene	Upareni uzorci	Spearman	p vrijednost
Mortalitet 2015. & PET (°C) 2015.	153	0,392**	0,000
Mortalitet 2014. & PET (°C) 2014.	153	0,151	0,061
Mortalitet 2013. & PET (°C) 2013.	153	0,186*	0,021
Mortalitet 2012. & PET (°C) 2012.	153	0,203**	0,011
Mortalitet 2011. & PET (°C) 2011.	153	0,040	0,620
Mortalitet 2010. & PET (°C) 2010.	153	0,189*	0,018
Mortalitet 2009. & PET (°C) 2009.	153	0,046	0,564
Mortalitet 2008. & PET (°C) 2008.	153	-0,141	0,081
Mortalitet 2007. & PET (°C) 2007.	153	0,142	0,078
Mortalitet 2006. & PET (°C) 2006.	153	0,194*	0,015



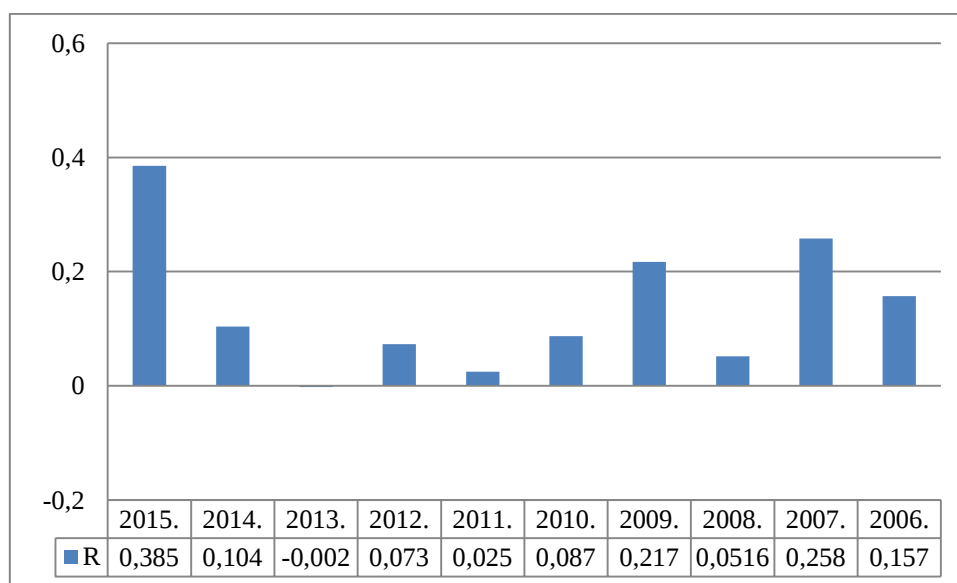
Slika 5. Rezultati koeficijenta korelacije (R) po godinama između smrtnosti žena i PET-a.
Kod vrijednost gdje je $r > 0,2$ bilježena je pozitivna korelacija

5.3.2. Rezultati korelacije PET-a i mortaliteta muškaraca

Analizom korelacija između osoba muškog spola i PET-a utvrđen je mali broj onih koje su statistički značajne. Njih točnije ima samo tri te su one zabilježene u 2015. ($r = 0,385$), 2009. ($r = 0,217$) i 2007. ($r = 0,258$) godini. Od toga su sve tri statistički relativno slabe. Samo je jedna korelacija i to ona iz 2013. ($r = -0,002$) godine negativna. Svi rezultati prikazani su u tablici 6. Navedeno pokazuje kako je porast smrtnosti muškaraca manje povezana s porastom PET-a u odnosu na žene gdje je u više godina i u većoj mjeri korelacija izražena. S obzirom kako je hipoteza 4 vezana uz povećanu smrtnost žena tijekom termičkog opterećenja ova saznanja idu tomu u prilog (tablica 6., slika 7.)

Tablica 6. Povezanost između PET-a i mortaliteta muškaraca za razdoblje od 1. svibnja do 30. rujna po analiziranim godinama

Analizirane varijable	Upareni uzorci	Spearman	p-vrijednost
Mortalitet 2015. & PET (°C) 2015.	153	0,385**	0,000
Mortalitet 2014. & PET (°C) 2014.	153	0,104	0,199
Mortalitet 2013. & PET (°C) 2013.	153	-0,002	0,998
Mortalitet 2012. & PET (°C) 2012.	153	0,073	0,367
Mortalitet 2011. & PET (°C) 2011.	153	0,025	0,759
Mortalitet 2010. & PET (°C) 2010.	153	0,087	0,284
Mortalitet 2009. & PET (°C) 2009.	153	0,217**	0,007
Mortalitet 2008. & PET (°C) 2008.	153	0,0516	0,526
Mortalitet 2007. & PET (°C) 2007.	153	0,258**	0,001
Mortalitet 2006. & PET (°C) 2006.	153	0,157	0,052



Slika 6. Rezultati koeficijenta korelacije (R) po godinama između smrtnosti muškaraca i PET-a. Kod vrijednost gdje je $r > 0,2$ bilježena je pozitivna korelacija

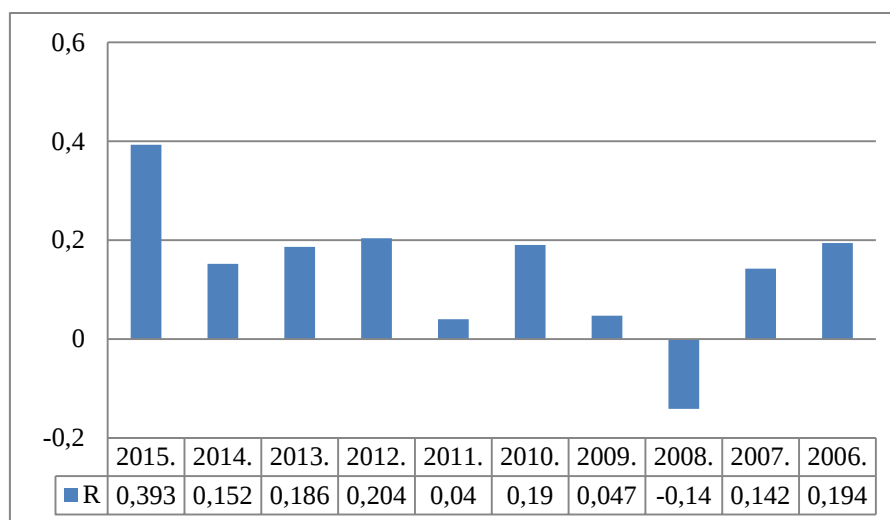
5.3.3. Rezultati korelacije PET-a i mortaliteta uzrokovano kardiovaskularnim bolestima

Pored analize razlika po spolu napravljena je i korelacije na temelju uzroka smrti s obzirom na vrstu bolesti (morbidity). Kako je najveći broj smrtnih slučajeva uzrokovan kardiovaskularnim bolestima u analiziranom desetogodišnjem razdoblju (tablica 2.) te s obzirom na posebnu osjetljivost kroničnih kardiovaskularnih bolesnika na visoke temperature (Robert Koch Institut; 2004; Basu i dr., 2004; Conti i dr., 2005) provedena je i analiza korelacijom istih.

Rezultatom testa korelacije najjača statistički značajna razlika utvrđena je u 2015. godini, kada je ona bila relativno slaba ($r = 0,393$), dok je najslabija statistički značajna korelacija zabilježena 2013. godine kada je ona bila neznatna ($r = 0,186$). U ovom se slučaju javlja i veći broj godina kada nije zabilježena statistički značajna korelacija (2014., 2011., 2009., 2008., 2007. godine). Zabilježeno je čak i negativna korelacija u 2008. ($r = -0,141$), odnosno povećanjem vrijednosti jedne varijable smanjuje se vrijednost druga varijable (tablica 7., slika 8.).

Tablica 7. Povezanost između PET-a i dnevnog mortaliteta kod smrtnih slučajeva s dijagnozom kardiovaskularnih bolesti za razdoblje od 1. svibnja do 30. rujna po analiziranim godinama

Kardiovaskularna skupina bolesti	Upareni uzorci	Spearman	p vrijednost
Mortalitet 2015. & PET (°C) 2015.	153	0,393**	0,000
Mortalitet 2014. & PET (°C) 2014.	153	0,152	0,061
Mortalitet 2013. & PET (°C) 2013.	153	0,186*	0,021
Mortalitet 2012. & PET (°C) 2012.	153	0,204**	0,011
Mortalitet 2011. & PET (°C) 2011.	153	0,040	0,620
Mortalitet 2010. & PET (°C) 2010.	153	0,190*	0,018
Mortalitet 2009. & PET (°C) 2009.	153	0,047	0,564
Mortalitet 2008. & PET (°C) 2008.	153	-0,141	0,081
Mortalitet 2007. & PET (°C) 2007.	153	0,142	0,078
Mortalitet 2006. & PET (°C) 2006.	153	0,194*	0,015



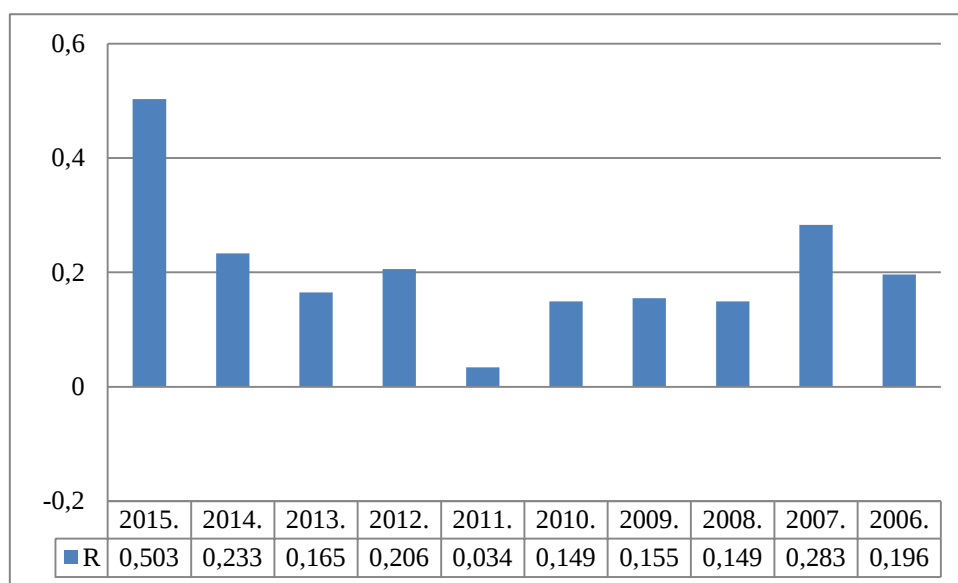
Slika 8. Koeficijent korelacije (R) po godinama između smrtnosti uzrokovano kardiovaskularni bolestima i PET-a. Vrijednost gdje je $r > 0,2$ bilježena je pozitivna korelacija

5.3.4. Rezultati korelacije PET-a i mortaliteta navršene dobi s 65 i više godina

Kao što je i prethodno opisano, starije osobe su općenito ranjivije na visoke temperature. S toga je posebno analizirana i skupina mortaliteta starijih osoba. Određeno je kako će se analizirati smrtni slučajevi osoba stariji od 65 godina kao što je to rađeno i istraživanjima u Contija i suradnika (2005); Hajat i Kosatsky (2010) te Scherber i suradnika (2013).

Tablica 8. Povezanost između PET i dnevnog mortaliteta osoba s 65 i više godina za razdoblje od 1. svibnja do 30. rujna po analiziranim godinama.

Osobe starije od 65 godina	Upareni uzorci	Spearman	p-vrijednost
Mortalitet 2015. & PET (°C) 2015.	153	0,503***	0,000
Mortalitet 2014. & PET(°C) 2014.	153	0,233**	0,004
Mortalitet 2013. & PET(°C) 2013.	153	0,165*	0,041
Mortalitet 2012. & PET (°C) 2012.	153	0,206**	0,011
Mortalitet 2011. & PET (°C) 2011.	153	0,034	0,676
Mortalitet 2010. & PET (°C) 2010.	153	0,149	0,065
Mortalitet 2009. & PET (°C) 2009.	153	0,155	0,056
Mortalitet 2008. & PET (°C) 2008.	153	0,149	0,067
Mortalitet 2007. & PET (°C) 2007.	153	0,283**	0,001
Mortalitet 2006. & PET (°C) 2006.	153	0,196*	0,015



Slika 7. Rezultati koeficijenta korelacije (R) po godinama između smrtnosti uzrokovano kardiovaskularni bolestima i PET-a. Kod vrijednost gdje je $r > 0,2$ bilježena je pozitivna korelacija

Od svih do sada promatranih analiza korelacija PET-a i mortaliteta, statistički najznačajnija razlika uočena je kod analize smrtnih slučajeva osoba starijih od 65 godina. Kao što je to i kod ranijih analiza bio slučaj, najjača korelacija bilježi se 2015. godine (slika 9., tablica 8.). Korelacija iz navedene godine može se okarakterizirati kao srednje jakom s r-vrijednosti od 0,503. Najslabija korelacija kod ove skupine uočena je 2013. godine s r-vrijednosti od 0,165. U godinama 2011., 2010., 2009. i 2008. nije utvrđena statistički značajna razlika. Treba istaknuti da prilikom analize korelacije PET-a i mortaliteta osoba iznad 65 godina nije ustanovljena niti jedna negativna korelacija (tablica 8., slika 9.).

5.4. Korelacija morbiditeta i temperature u 2016. godini

Nakon što je provedena korelacija mortaliteta i PET-a, slijedi analiza odnosa morbiditeta i temperature. Ova analiza napravljena je detaljno samo za 2016. godinu, jer su podaci od Hrvatskog zavoda za javno zdravstvo i Državnog zavoda za statistiku za ranije godine bile nedostupne. U ovoj je godini zabilježena najjača korelacija između PET-a i mortaliteta kod svih klimatoloških regija osim Osječke klimatološke regije.

U ovoj analizi nije korišten PET, nego dnevne maksimalne, minimalne i srednje temperature za 2016. godinu (tablica 9). Zanimljivo je primijetiti kako su u ovoj godini za Zagrebačku

regiju, Riječku regiju i Splitsku regiju razlike koje se pojavljuju sve i statistički značajne, dok za Osječku regiju niti jedna razlika nije signifikantna (tablica 9). Sve statistički značajne razlike u Splitskoj regiji se mogu okarakterizirati kao srednje jake, dok su u Riječkoj regiji korelacije morbiditeta i srednje dnevne temperature i morbiditeta i maksimalnih dnevnih temperatura srednje jake, a one između morbiditeta i srednjih dnevnih temperatura relativno slabe. Kao relativno slabe korelacije mogu se okarakterizirati sve korelacije između promatranih temperatura i morbiditeta u Zagrebačkoj regiji (tablica 9).

Tablica 9. Povezanost između dnevnih maksimalnih, minimalnih, srednjih temperatura i morbiditeta u RH po regijama u 2015. godini

Split	Spearman (R)	p-vrijednost
Broj intervencija & t max	0,624	<0,001
Broj intervencija & t min	0,577	<0,001
Broj intervencija & t sred	0,611	<0,001
Zagreb	Spearman (R)	p-vrijednost
Broj intervencija & t max	0,365	<0,001
Broj intervencija & t min	0,268	0,003
Broj intervencija & t sred	0,332	<0,001
Rijeka	Spearman (R)	p-vrijednost
Broj intervencija & t max	0,575	<0,001
Broj intervencija & t min	0,488	<0,001
Broj intervencija & t sred	0,549	<0,001
Osijek	Spearman (R)	p-vrijednost
Broj intervencija & t max	-0,028	0,756
Broj intervencija & t min	-0,036	0,689
Broj intervencija & t sred	-0,042	0,645

5.5. Kritična temperatura povišenog mortaliteta

Kritična temperatura povišenog mortaliteta ili prag temperature nakon koje nastupa viša smrtnost od prosjeka (*heat cut point - HCP*), izrađena je na temelju dijagrama raspršenosti s krivuljom gladenja kao što je to izvedeno i u brojnim radovima Gaćeša-

Zaninović (2011); Gabriel (2009); Baccini i dr. (2008) i Hajat i dr. (2006; 2002). Za klimatski pokazatelj je uzeta dnevna vrijednost PET-a u 14h dok je smrtnost modificirana, odnosno izračunato je relativno odstupanje dnevne smrtnosti od prosječne dnevne smrtnosti kao što je to za prostor Hrvatske metodološki objašnjeno i napravljeno u istraživanju Gaćeša-Zaninović (2011). Postupak je prikazan u formuli;

$$MR\ dev = (X_{n1,n2, \dots} - \bar{X}) * 100$$

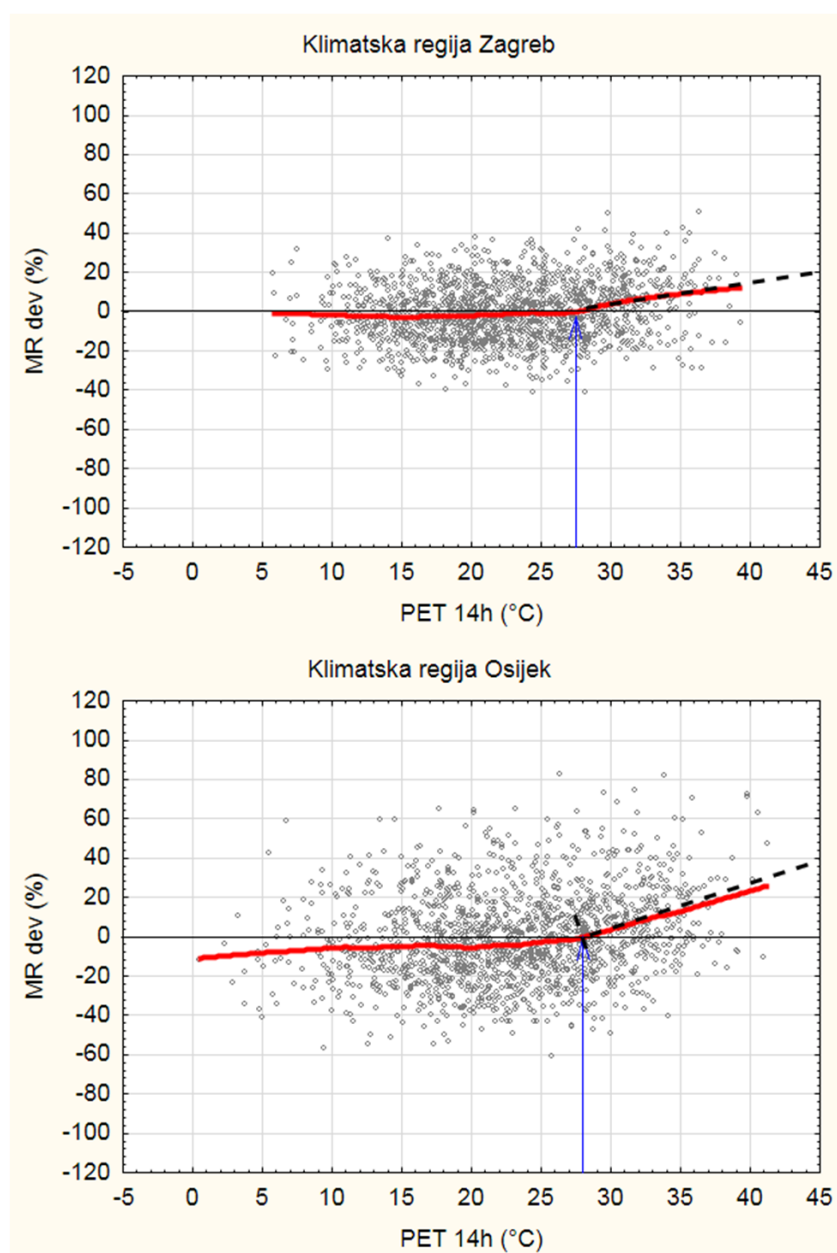
Dijagramu raspršenosti pridodana je lokalno otežana linija gladenja (*locally weighted scatter plot smoothing - lowess*). Lokalno otežana linija gladenja snažna je statistička metoda koja se prilagođava dijelovima niza prilikom koje se postiže jasnija slika cjelokupnog odnosa parova x-y podataka (Cleveland, 1974), odnosno u ovom slučaju parova podatka relativne devijacije mortaliteta i PET-a. Upravo granična temperatura povećane smrtnosti predstavlja točku gdje lokalno otežana regresijska linija prelazi ili sječe liniju vrijednost 0 na osi y, odnosno linije iznadprosječne stope smrtnosti (slika 4. i 5.). Kako bi se *lowess* regresijska linija eventualno ispravila i bila manje ovisna o smanjenom uzorku visokih vrijednosti PET-a ($PET > 30^{\circ}C$) dodana je i druga linearna regresijska linija kao što je to izvedeno i u radu od Gaćeša-Zaninović (2011). Analizom dobivenih rezultata se uspostavilo kako lokalno otežana i linearna regresijska krivulja prikazuju sličan odnos varijabli (slika 4. i 5.). Cijela navedena metoda određivanja praga kritične temperature povećane smrtnosti korištena je i u radu od Gaćeša-Zaninović (2011).

Navedenim postupkom određeni su pragovi kritične temperature povišene smrtnosti za potrebe ovog istraživanja. Ovi temperaturni pragovi jedinstveni su jer su dobiveni na promatrano razdoblje od 2006. do 2015. godine s ukupnim tada zabilježenim podacima mortaliteta i bilježenim meteorološkim podacima.

Rezultati određivanja kritične temperature povišene smrtnosti vidljivi su na tablici 10. kao i na slici 10. i 11. Broj uparenih uzoraka je 1540 i on predstavlja broj analiziranih dana, međutim frekvencija smrtnih slučajeva po klimatološkoj regiji varira, tako da je ona najveća u klimatološkim regijama Zagreb, Split, Rijeka i Osijek. Zbog malog uzorka ukupne dnevne smrtnosti iz ove analize izostavljene su klimatološke regije; Karlovac, Knin, Gospić i Dubrovnik.

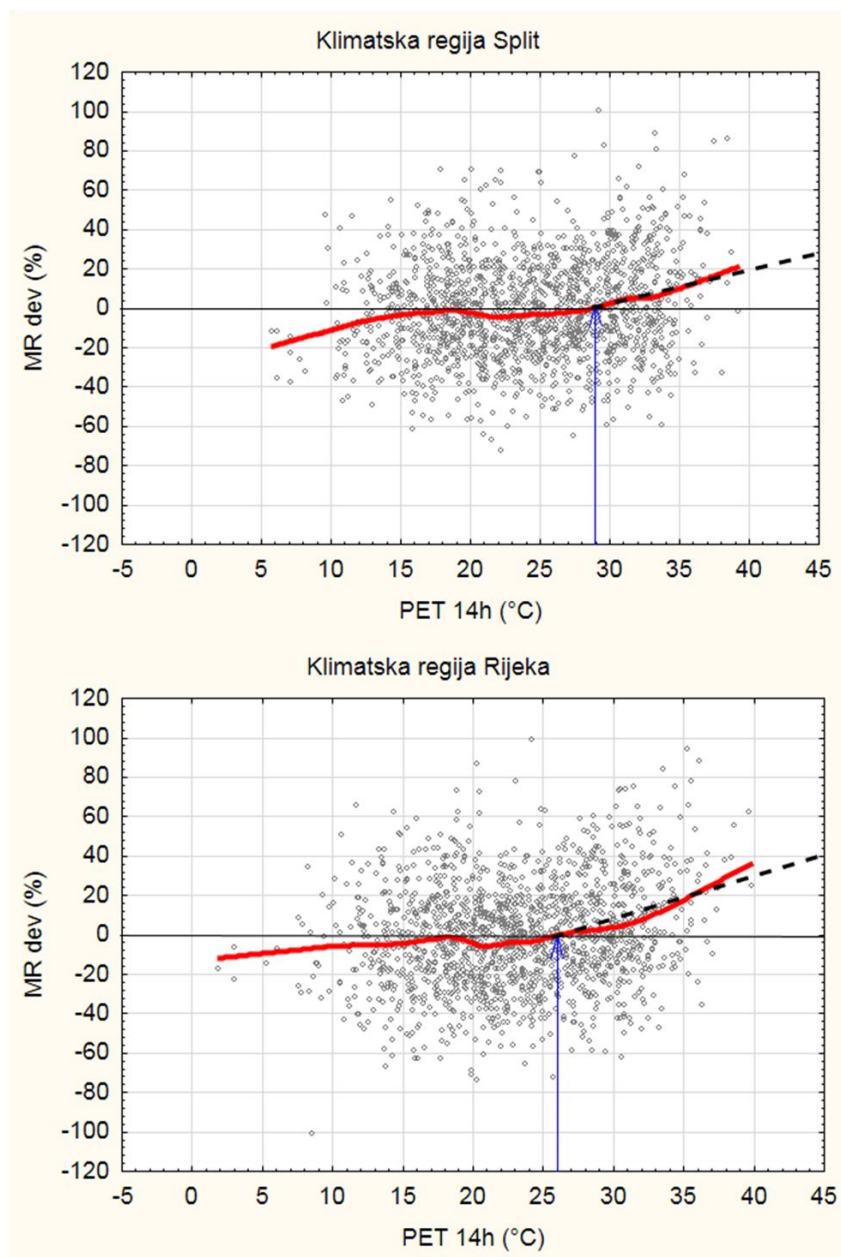
Tablica 10. Definirana vrijednost kritične temperature povišene smrtnosti, temperaturni optimum te povećanje smrtnosti s povećanje PET-a za jedan stupanj (MR dev %/°C).

Klimatološka regija	Kritična temperatura (°C PET)	MR dev %/°C PET	Temperaturni optimum (°C PET)
Zagreb	27,5	2,0	13,0 - 20,0
Split	29,0	1,8	21,0 - 24,0
Rijeka	26,0	2,0	20,0 - 22,0
Osijek	28,0	2,2	15,0 - 22,0



Slika 10. Dijagrami raspršenosti odstupanja od prosjeka smrtnosti (MR dev u %) i fiziološke ekvivalentne temperature u 14h (PET 14h u °C) za klimatološke regije Zagreb i Osijek.

Crvena linija - *lowess* regresijska krivulja. Crna isprekidana linija - linearna regresija. Plava strelica predstavlja marker kritične temperature povišene smrtnosti.



Slika 11. Dijagrami raspršenosti odstupanja od prosjeka smrtnosti (MR dev u %) i fiziološke ekvivalentne temperature u 14h (PET 14h u °C) za klimatološke regije Split i Rijeka. Crvena linija - *lowess* regresijska krivulja. Crna isprekidana linija - linearna regresija. Plava strelica predstavlja marker kritične temperature povišene smrtnosti.

Analiza podataka prikazana na dijagramima raspršenosti rezultati potvrđuju kako postoji geografska raznolikost između klimatoloških regija, odnosno kako su izražene prilagodbe stanovništva na različite klimatske uvjete (slika 12.). Krivulja je poprimila karakterističan oblik slava J, odnosno zakrivljenje linije je vidljivo nakon povišenja određene PET

vrijednosti. Kritična temperatura povišene smrtnosti pojavljuje se u klimatološkoj regiji Rijeka već u trenu kada temperatura zraka iznosi 26°C, dok je ona u klimatološkoj regiji Split puno viša i iznosi 29°C (slika 11.). Kontinentalne klimatološke regije Zagreb i Osijek bilježe kritičnu temperaturu povišene smrtnosti 27,5°C odnosno 28°C (slika 10.). Potrebno je istaknuti veliku razliku između klimatološke regije Rijeka i Split koja iznosi 3°C. Mogućnost ovakve velike razlike vjerojatno leži na temelju ukupno manjeg broja dnevne smrtnosti u klimatološkoj regiji Rijeka, odnosno većoj varijabilnosti dnevne smrtnosti što rezultira manjoj vjerodostojnosti podataka u odnosu na klimatološku regiju Split. Međutim krivulja u klimatološkoj regiji Rijeka značajnije "skreće" kod 29 °C PET što se poklapa s kritičnom temperaturom Splitske klimatološke regije.

Prilagodba stanovništva lokalnim klimatskim uvjetima vidljiva je i prema temperaturnom optimumu odnosno kada je bilježena najmanja smrtnost. Potrebno je napomenuti kako početak krajnje lijevog dijela regresijske linije nije mjerodavan, zbog malog broja dana s pojavom PET-a ispod 10°C, jer je naravno analiziran samo topliji dio godine. Za klimatološku regiju Zagreb, temperaturni optimum je relativno konstantan i proteže se između 13°C i 20°C gdje se bilježi od 3 do 5 % manja dnevna smrtnost od prosjeka. Za klimatološku regiju Osijek temperaturni optimum kreće se između 15°C i 22°C s 5 do 8 % manjom dnevnom smrtnosti. Za klimatološku regiju Split temperaturni optimum je od 21°C do 24°C, s 4 do 7% manjom dnevnom smrtnošću, dok je za Riječku klimatološku regiju temperaturni optimum između 20°C i 22 °C PET s 5% manjom stopom dnevne smrtnosti.

Generalno se može zaključiti kako je stanovništvo u sredozemnim klimatološkim regijama zdravstveno prilagođenije na visoke temperature jer im je temperaturni optimum od 21°C do 24°C dok je u klimatološkim regijama s kontinentalnom klimom temperaturni optimum između 13°C i 22°C. U donosu na sredozemne klimatološke regije niži ali u znatno širem temperaturnom rasponu.

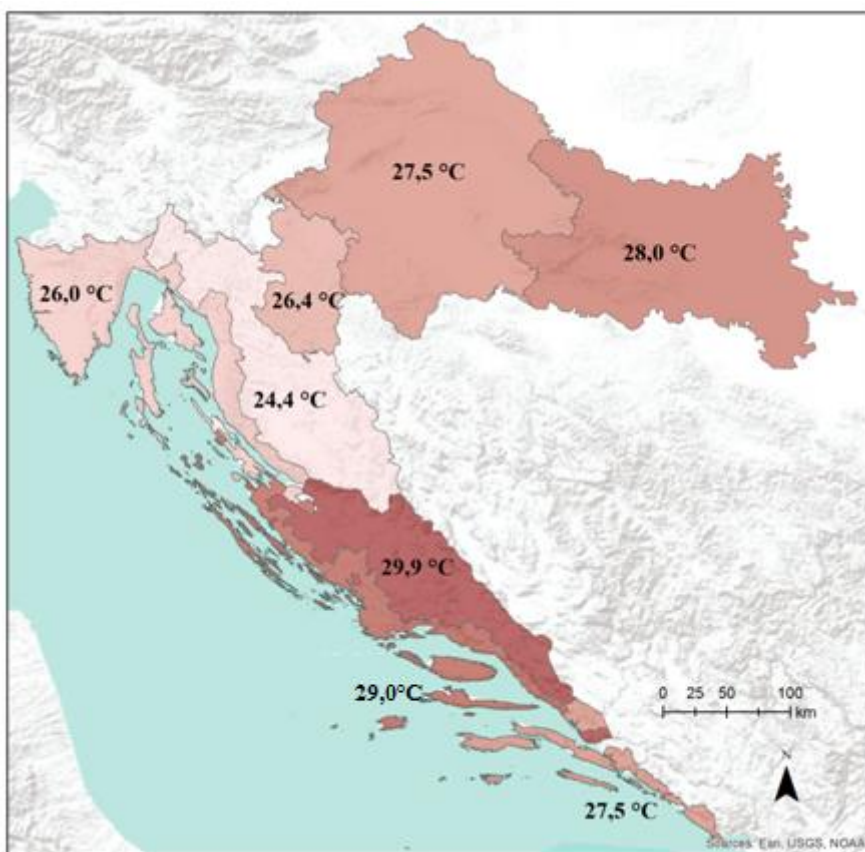
Vrlo bitan podatak je također i povećavanje smrtnosti nakon kritične temperature (Gaćeša-Zaninović, 2011). Za klimatološku regiju Osijek očitao je najviši porast smrtnosti od 2,2 % s povećanjem temperature za jedan stupanj. Naime, u Osječkoj klimatološkoj regiji kontinentalna klimatološka obilježja su najizraženija, tome u prilog ide i što je u ovoj klimatološkoj regiji zabilježena i najviša maksimalna PET vrijednost, u odnosu na druge klimatološke regije, koja iznosi 41,2 °C. S druge strane klimatološka regija Split bilježi najniži porast smrtnosti rastom PET-a za jedan stupanj. Razlog tomu se može također tumačiti

kroz prilagođenost lokalnog stanovništva višim temperaturama kao i maritimnom položaju regije, odnosno utjecaju Jadranskog mora koje ublažava visoke temperature.

Za klimatološke regije Karlovac, Knin, Gospić i Dubrovnik može se okvirno odrediti prag kritične temperatura na temelju percentila (Gaćeša-Zaninović, 2011). Izračunati su percentili za definirane kritične temperature za pojedine klimatološke regije. Za klimatsku regiju Zagreb ona iznosi 76,1, Osijek 74,4, Split 72,9 i Rijeku 66,9. Izračunom srednje vrijednosti dobiva se prosječna vrijednost (P72,5) koja predstavlja percentil za definiranje kritične temperature ostalih klimatoloških regija (tablica 11.). Na navedeni način utvrđene su razlike između svih regija s obzirom na pragove vrijednosti kritične temperature povišene smrtnosti (slika 12.).

Tablica 11. Definirana vrijednost kritične temperature za klimatološke regije Karlovac, Gospić, Knin i Dubrovnik na temelju percentila 72,5.

Klimatološka regija	Kritična temperatura u °C PET
Karlovac	26,4
Gospić	24,4
Knin	29,9
Dubrovnik	27,5



Slika 12. Geografske razlike između klimatoloških regija s prikazom pragova vrijednosti kritične temperature povećane smrtnosti.

Niže vrijednosti kritične temperature za klimatološku regiju Karlovac (26,1°C PET) a osobito Gospić (24,4 °C PET) mogu se objasniti na temelju osvježavajućeg gorskog i planinskog utjecaja i temperature inverzije, (Gaćeša-Zaninović, 2011) što je rezultiralo bilježenjem općenito nižih temperatura u odnosu na okolne klimatološke regije. Najviša vrijednost kritične temperature u odnosu na druge klimatološke regije u Hrvatskoj definirana je za klimatološku regiju Knin (29,9 °C PET) gdje se bilježi 141 dan iznad 35°C PET te deset dana s PET-om iznad 40°C. Ističe se podatak kako je u klimatološkoj regiji Dubrovnik prag definiran na 27,5 stupnjeva, nižom od Splitske klimatološke regije. Mogući razlog tomu jest što se u ovoj klimatološkoj regiji temperature amplitude najmanje izražene u odnosu na druge klimatološke regije (5 dana s PET> 35°C), što je odraz vrlo malog udjela kopna i u navedenoj regiji odnosno maritimni utjecaj je najizraženiji.

5.5.1. Kritična temperatura povišenog mortaliteta po mjesecima

Uzimajući u obzir aklimatizaciju stanovništva od početka do kraja tople sezone kroz godinu, razumljivo je kako se termoregulacijski sustav tijela ljudi prilagođava novim termičkim uvjetima već nakon nekoliko dana izloženosti istim (Koppe, Jednritzky, 2014). Zbog toga se i kritična temperatura povišene smrtnosti mijenja u različitom dijelu godine. Navedeno ukazuje na potrebu detaljnije analize kritične temperature povišene smrtnosti za kraća razdoblja. Kako bi se isto izvelo, analiziran je svaki mjesec toplijeg djela godine zasebno, za sve godine, za klimatološke regije Zagreb, Split, Rijeka i Osijek (tablica 12.). Dijagrami raspršenosti grupirani su po regijama i prikazani su na slikama 13., 14., 15. i 16..

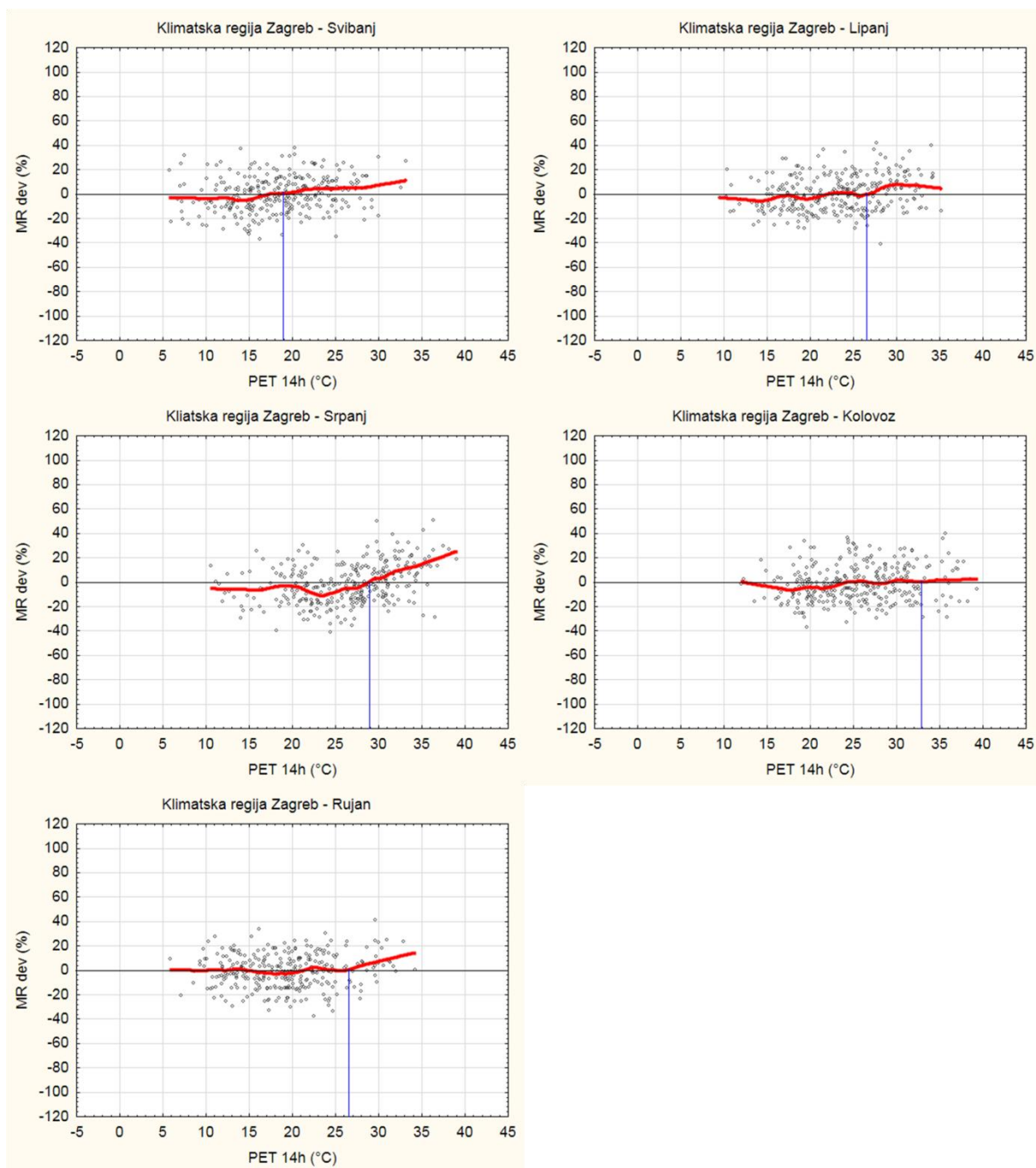
Tablica 12. Kritična temperatura povišene smrtnosti za klimatološke regije Zagreb, Split, Rijeka i Osijek po mjesecima

Klimatološka regija	Kritična temperatura (°C PET)				
	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan
Zagreb	19,0	26,5	29,0	33,0	26,5
Split	23,5	27,0	30,0	33,5	27,0
Rijeka	22,0	27,0	30,0	33,5	27,0
Osijek	21,0	23,0	30,5	27,5	29,0

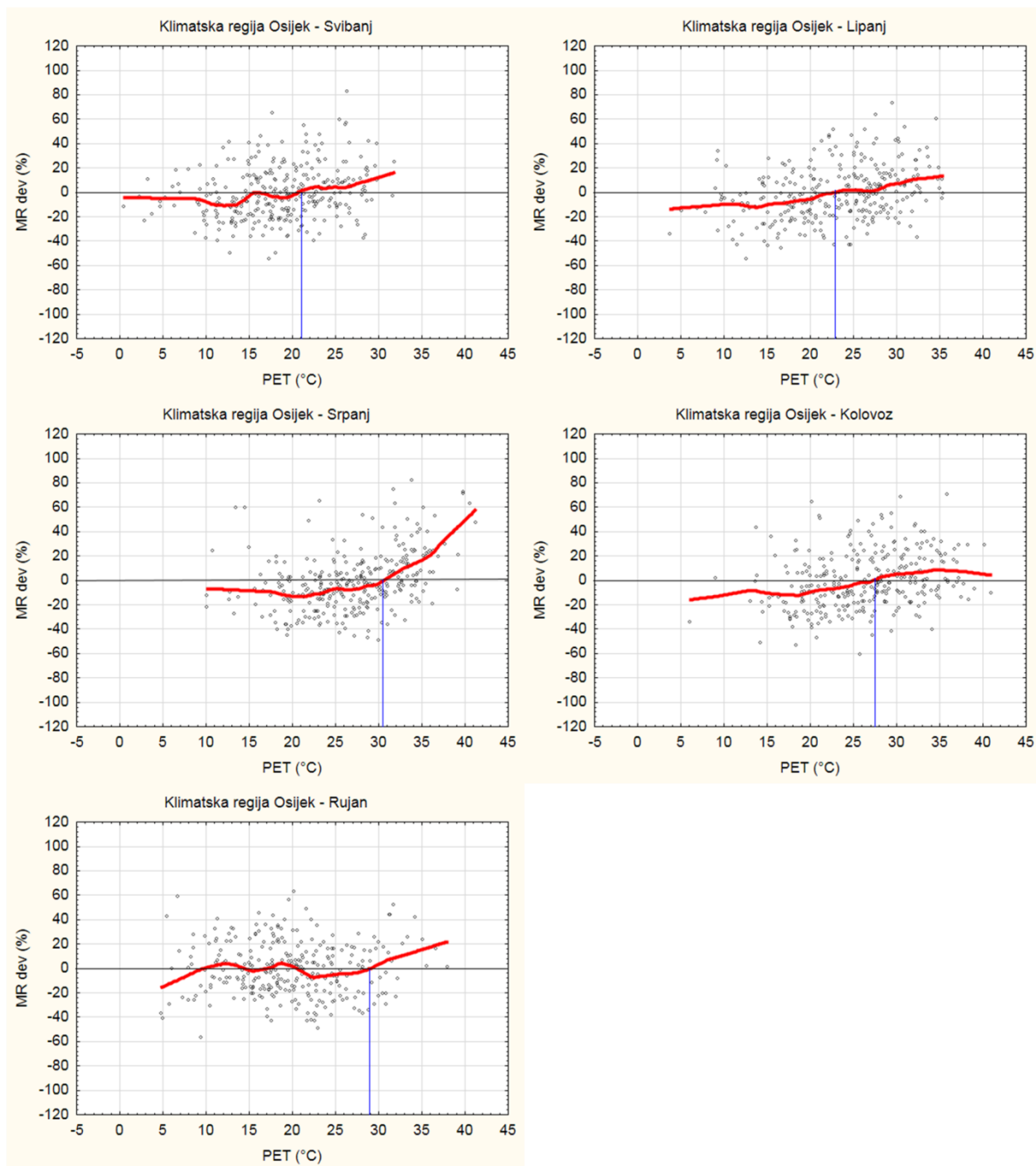
Ukupan uzorak po dijagramu raspršenosti je time smanjen i iznosi 300 ili 310 ovisno o broju dana u mjesecu, dok ukupan broj analiziranih slučajeva smrtnosti uvelike varira. Zbog manjeg uzorka regresijska linija nerijetko prelazi nultu vrijednost nulte devijacije smrtnosti više puta, te je zbog toga otežano određivanje kritične temperature povećane smrtnosti. Određeno je kako kritična temperatura predstavlja vrijednost na mjestu gdje lokalno otežana regresijska linija posljednji puta prelazi liniju nulte devijacije ($MR_{dev}(\%) = 0$) kao i u radu od Gaćeša-Zaninović (2011). Međutim, definirane kritične temperature za svaki mjesec zasebno, ne mogu se uspoređivati s vrijednostima onom cijelog analiziranog razdoblja, te se stoga moraju uzeti sa zadrškom, kao okvirne vrijednosti (Gaćeša-Zaninović, 2011). Iz tog razloga, mjesečne vrijednosti kritične temperature ne primjenjuju se u daljnjoj analizi određivanja toplinskog vala, međutim nedvojbeno ukazuju na adaptaciju stanovništva lokalnim klimatskim čimbenicima s vidljivim razlikama između pojedinih regija Hrvatske.

Analizom mjesečnih dijagrama raspršenosti (slika 13., 14., 15. i 16.) može se utvrditi da je kritična temperatura povećane smrtnosti u svibnju očekivano najniža. Tijekom lipnja, srpnja i

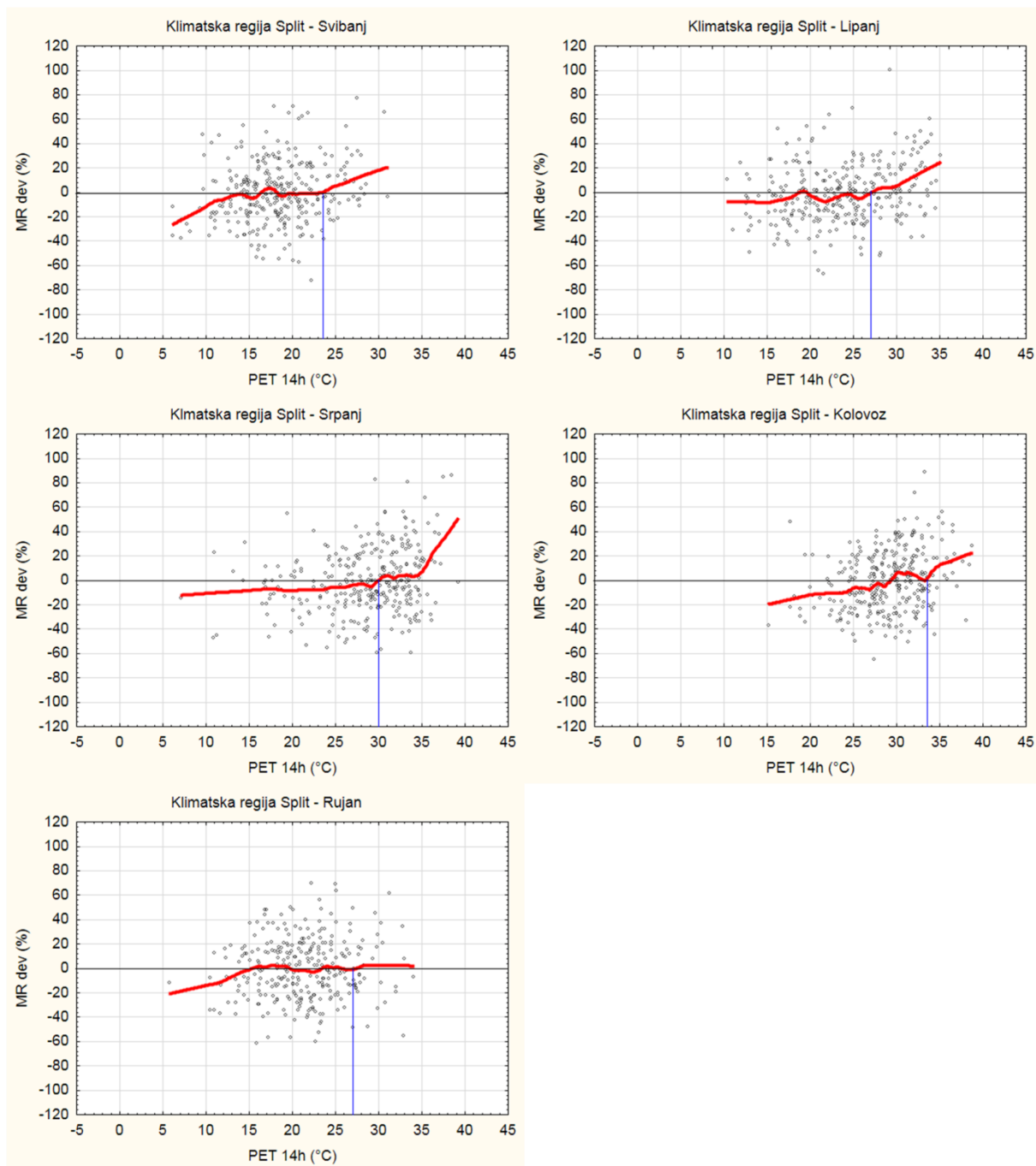
kolovoza, prag kritične temperature konstantno raste, te u rujnu opada na razinu približnu one iz lipnja. Ti su rezultati u skladu s dosadašnjim istraživanjima koja su utvrdila da se stanovništvo prilagođava sezonskim temperaturnim događajima. Naime, tijekom svibnja se pojavljuju prve vrućine koje remete termoregulacijski sustav tijela naviknuto na niže temperature prethodnih mjeseci (Koppe, Jendritzky, 2005), pogoršavajući i uzrokujući povećanu smrtnost koja se u klimatološkoj regiji Zagreb javlja već na 19 °C PET. Pomak kritične temperature u Hrvatskoj značajno je izražen u lipnju, međutim s velikim regionalnim razlikama. Regresijska krivulja pokazuje najveću povezanost visoke temperature i smrtnosti tijekom srpnja te se srpanjski prag kritične temperature kreće oko 30°C PET. Nakon prekoračenja te vrijednosti naglo se povećava smrtnost, koje je izražena u svim analiziranim regijama. Razlog tomu jest pojava prvih ekstremnih temperatura u godini te česti toplinski valovi dužih od tri dana. Tijekom kolovoza, smrtnost je relativno konstantna i tijekom visokih temperatura. Unatoč tomu što se u kolovozu bilježe vrlo visoke temperature, termoregulacijski sustav ljudskog tijela tada je već priviknut na visoke temperature čime je poguban utjecaj na zdravlje smanjen. Naravno, za vrijeme kolovoza se najčešće mjere najviše godišnje temperature u cijeloj godini kao i vremenski duži toplinski valovi uzrokujući također određen rast smrtnosti u tim razdobljima. Kritična temperature tijekom rujna opada, a Koppe, Jendritzky (2005) tvrde kako se kratkoročna prilagodba stanovništva na visoke temperature gubi već nakon dva tjedna. Stoga se u slučaju umjerenijeg kolovoza, značajniji rast smrtnosti odnosno snažnija regresija smrtnosti i visoke temperature, može očekivati i tijekom rujna.



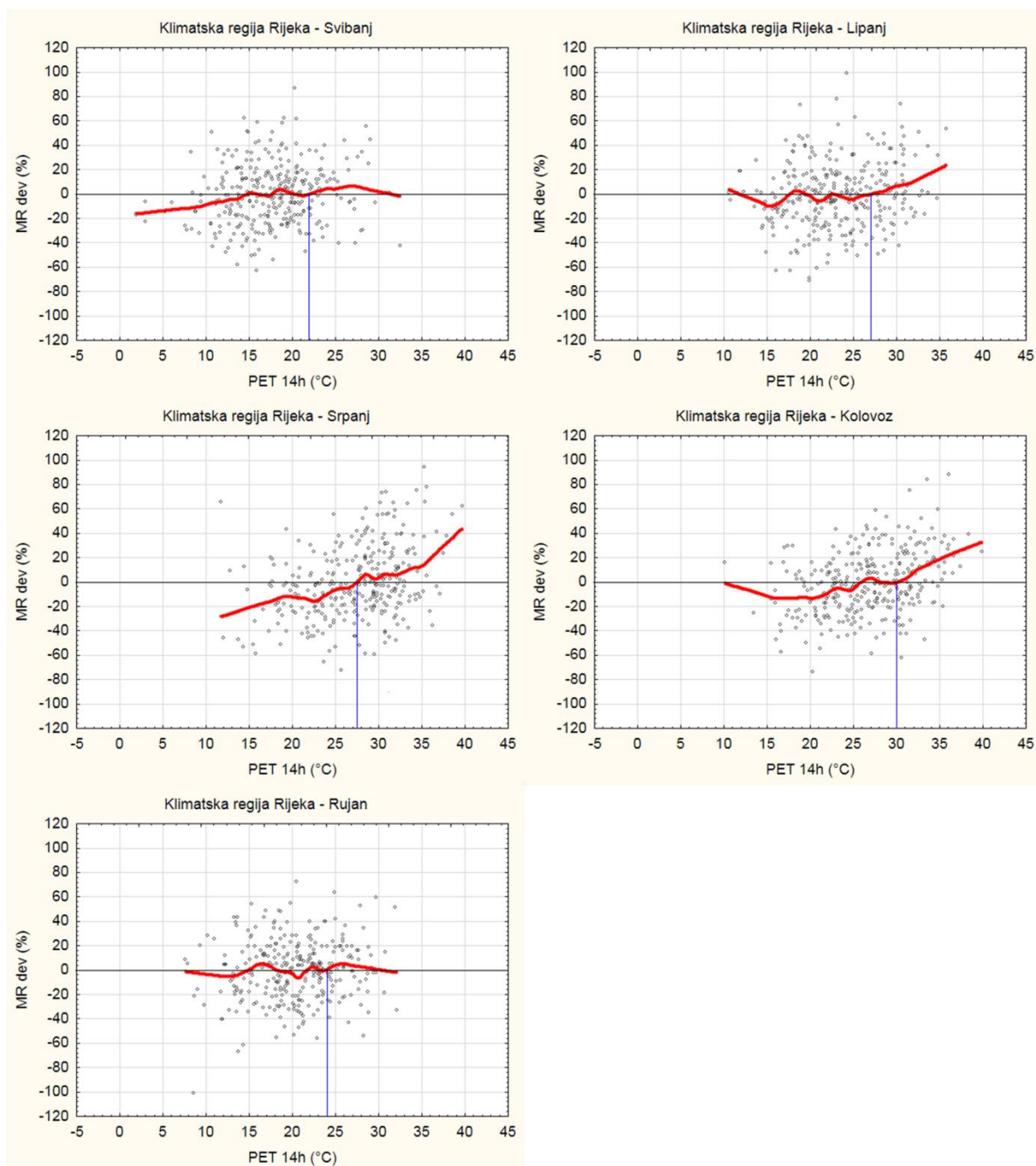
Slika 13. Dijagrami raspršenosti odstupanja od prosjeka mjesečne smrtnosti (MR dev u %) i mjesečne fiziološke ekvivalentne temperature u 14h (PET 14h u °C) za klimatološku regiju Zagreb. Izrađeno za mjesec: svibanj, lipanj, srpanj, kolovoz i rujna. Crvena linija predstavlja *lowess* regresijsku krivulju. Plava strelica predstavlja marker kritične temperature povišene smrtnosti.



Slika 14. Dijagrami raspršenosti odstupanja od prosjeka mjesečne smrtnosti (MR dev u %) i mjesečne fiziološke ekvivalentne temperature u 14h (PET 14h u °C) za klimatološku regiju Osijek. Izrađeno za mjesec: svibanj, lipanj, srpanj, kolovoz i rujna. Crvena linija predstavlja *lowess* regresijsku krivulju. Plava strelica predstavlja marker kritične temperature povišene smrtnosti.



Slika 15. Dijagrami raspršenosti odstupanja od prosjeka mjesečne smrtnosti (MR dev u %) i mjesečne fiziološke ekvivalentne temperature u 14h (PET 14h u °C) za klimatološku regiju Split. Izrađeno za mjesec: svibanj, lipanj, srpanj, kolovoz i rujan. Crvena linija predstavlja *lowess* regresijsku krivulju. Plava strelica predstavlja marker kritične temperature povišene smrtnosti.



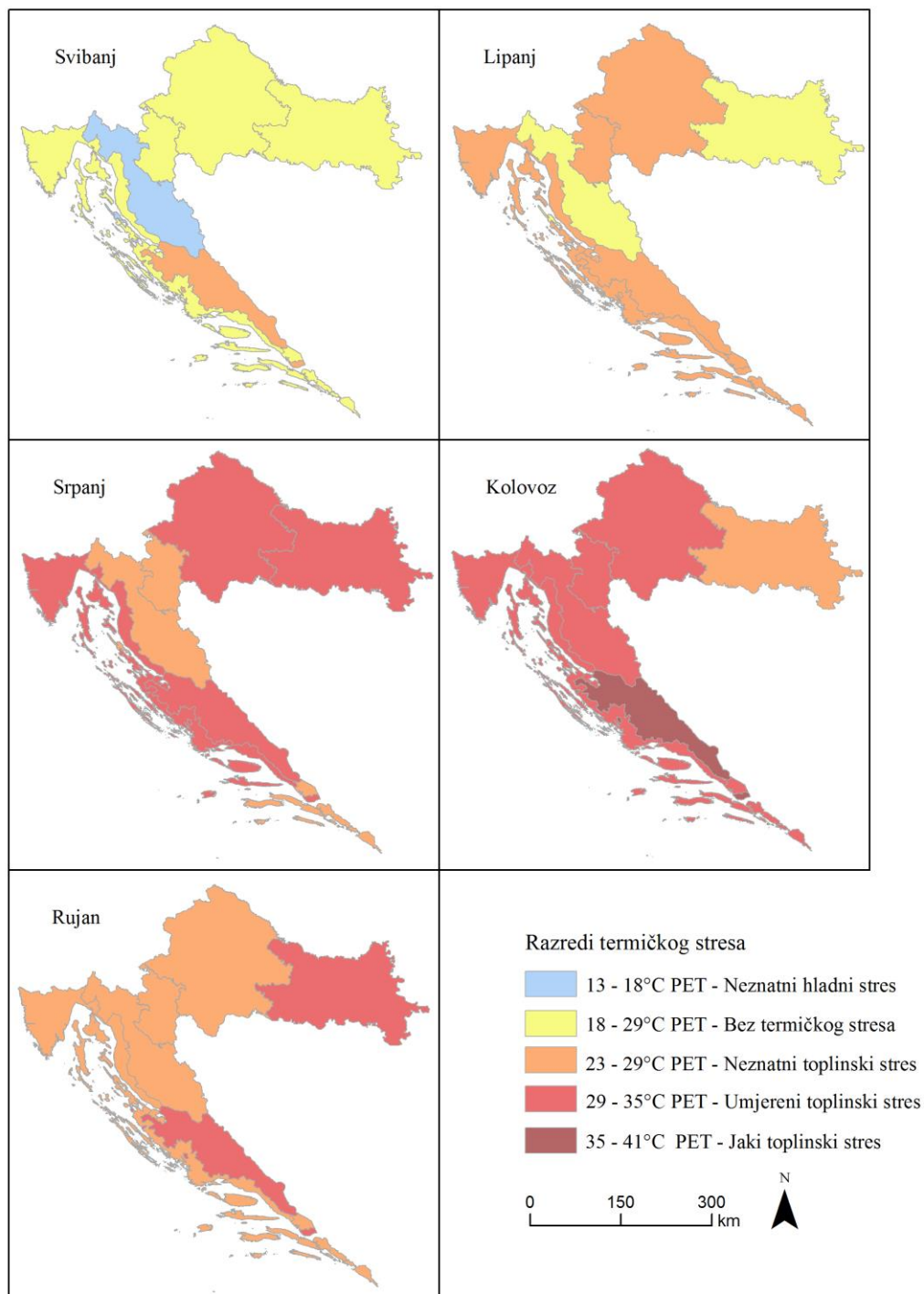
Slika 16. Dijagrami raspršenosti odstupanja od prosjeka mjesečne smrtnosti (MR dev u %) i mjesečne fiziološke ekvivalentne temperature u 14h (PET 14h u °C) za klimatološku regiju Rijeka. Izrađeno za mjeseci: svibanj, lipanj, srpanj, kolovoz i rujna. Crvena linija predstavlja *lowess* regresijsku krivulju. Plava strelica predstavlja marker kritične temperature povišene smrtnosti.

Kao što je određen prag povišene smrtnosti na temelju percentila za klimatološke regije Dubrovnik, Gospić, Karlovac i Knin, istom metodologijom određene su i vrijednosti pragova navedenih regija na mjesečnoj razini. Na temelju percentila poznatog praga mjesečne kritične temperature (tablica 12.) izračunate su srednje vrijednosti percentila kako bi se izračun mogao primijeniti ina druge regije. Upravo na temelju percentila vidljivo je koliki je zapravo "pomak" praga smrtnost kroz mjesece. Naime porast smrtnosti u svibnju je na vrijednosti od 38,9 percentila dok je on u kolovozu na visokih 94,8 (tablica 13.)

Tablica 13. Mjesečne vrijednosti pragova kritične temperature povišene smrtnosti za klimatološke regije Knin, Karlovac, Gospić i Dubrovnik

Mjesec	Prag povišene smrtnosti po klimatološkim regijama				Percentil
	Knin	Karlovac	Gospić	Dubrovnik	
Svibanj	21,8	20,0	17,8	21,5	38,9
Lipanj	27,7	24,7	22,4	26,1	63,9
Srpanj	32,5	28,7	26,8	28,9	82,4
Kolovoz	36,7	32,8	30,7	31,3	94,8
Rujan	29,6	26,1	24,1	27,2	71,2

Dobivene vrijednosti pragova kritične temperature prikazane su kartografski za sve regije kako bi se olakšala usporedba između istih (slika 17). Vrijednosti pragova prikazani su prema razredima termičkog stresa prema Matzarakisu i Mayeru (1996). Naime razredi termičkog stresa određuju predviđeni osjećaj hladnog ili toplog stresa pri određenoj temperaturi PET. Zanimljivo je utvrditi kako se prag kritične smrtnosti kod regije Gospić u svibnju pojavljuje oko 17,8 °C PET što prema razredima toplinskog stresa spada u neznatno hladni stres (slika 17.).



Slika 8. Prikaz mjesečnih vrijednosti pragova kritične temperature povišene smrtnosti. Vrijednosti pragova grupirani su po razredima termičkog stresa definiranih od Matzarakis i Mayer (1996).

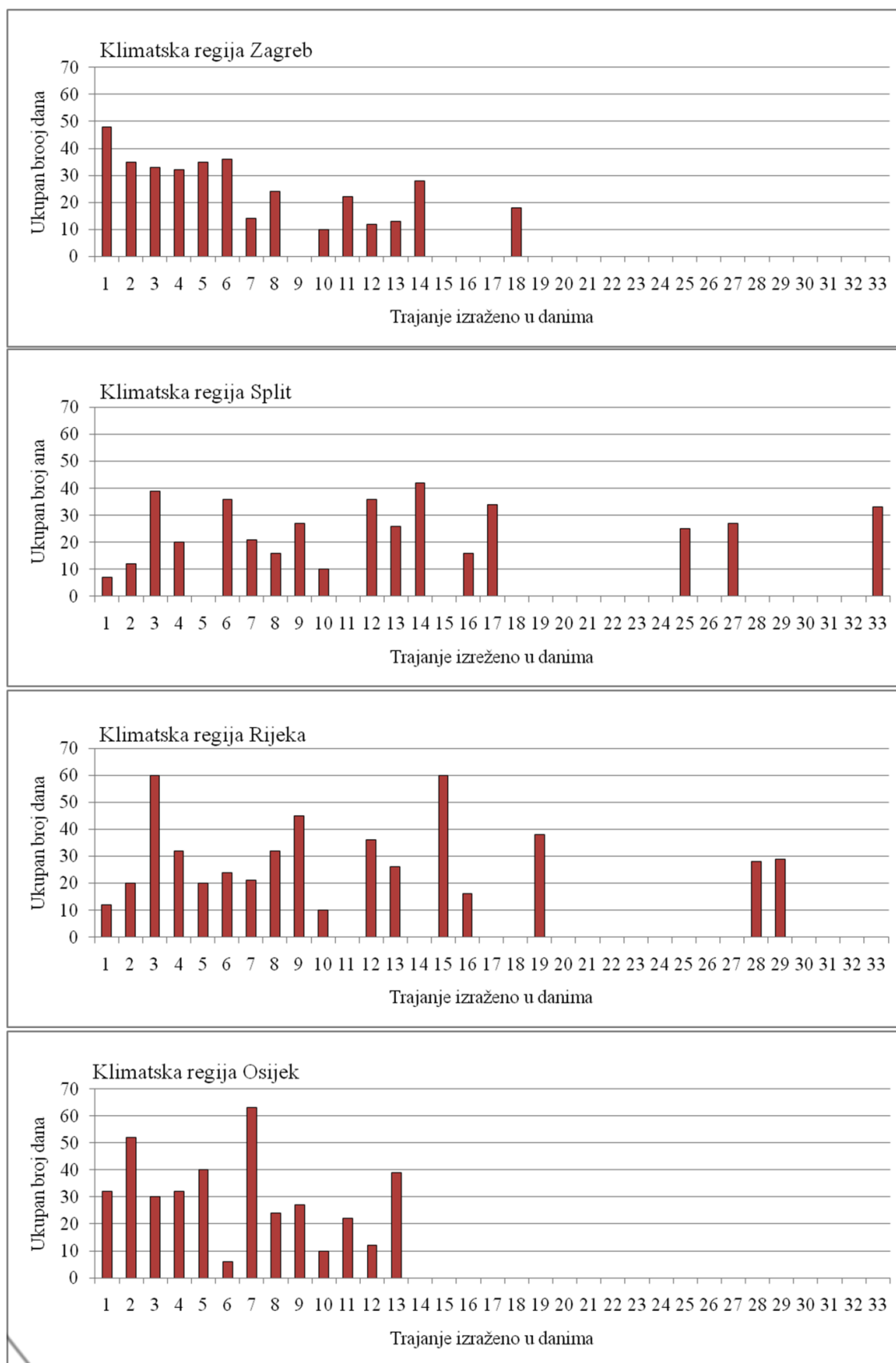
5.6. Definirani periodi toplinskih valova

Definirana kritična temperatura povišene smrtnosti polazišna je vrijednost PET-a za određivanjem nastanka toplinskog vala, odnosno toplinskim valom su klasificirani oni dani koji bilježe veće vrijednost od praga kritične temperature (Gabriel, 2009; Scherber i dr., 2013). Nejednaki definirani pragovi za različite klimatološke regije uvažiti će se i u ovom dijelu analize. Periodi s jednim danom iznad kritične temperature obično su u ovakvim biometeorološkim analizama ignoriraju (Matzarkis, Nestos, 2011). Kako se u prethodnim istraživanjima toplinski valovi definiraju već nakon dva dana (Robinson, 2000, Karl i Knight, 1997) ili tek nakon pet dana u Nizozemskom kraljevskom meteorološkom institutu (Hajat i dr., 2002) većina autora ipak definira toplinski val kao razdoblje od minimalno tri dana (WMO WHO, 2015). Odlučeno je stoga kako će se toplinski valovi definirati kao razdoblja visoke temperature iznad kritične temperature povećane smrtnosti u trajanju od najmanje tri povezana dana.

Deskriptivni rezultati definiranih toplinskih valova (tablica 14. i slika 18.), na prvi pogled ukazuju na vrlo velike razlike između klimatoloških regija. Riječka klimatološka regija bilježi najveći broj toplinskih valova i dana tijekom toplinskog vala. Razlog tomu može se temeljiti na niže definiranoj vrijednosti kritične temperature za neuvedenu regiju. Najduži toplinski valovi zabilježeni su u sredozemnim klimatološkim regijama (najduži toplinski val u Splitskoj regiji s 33 dana). U radu Feudalea i Shuklae (2011) navodi se kako iznadprosječno zagrijana morska površina značajno usporava opadanje temperature zračne mase što utječe na kontinuitet trajanja toplinskog vala.

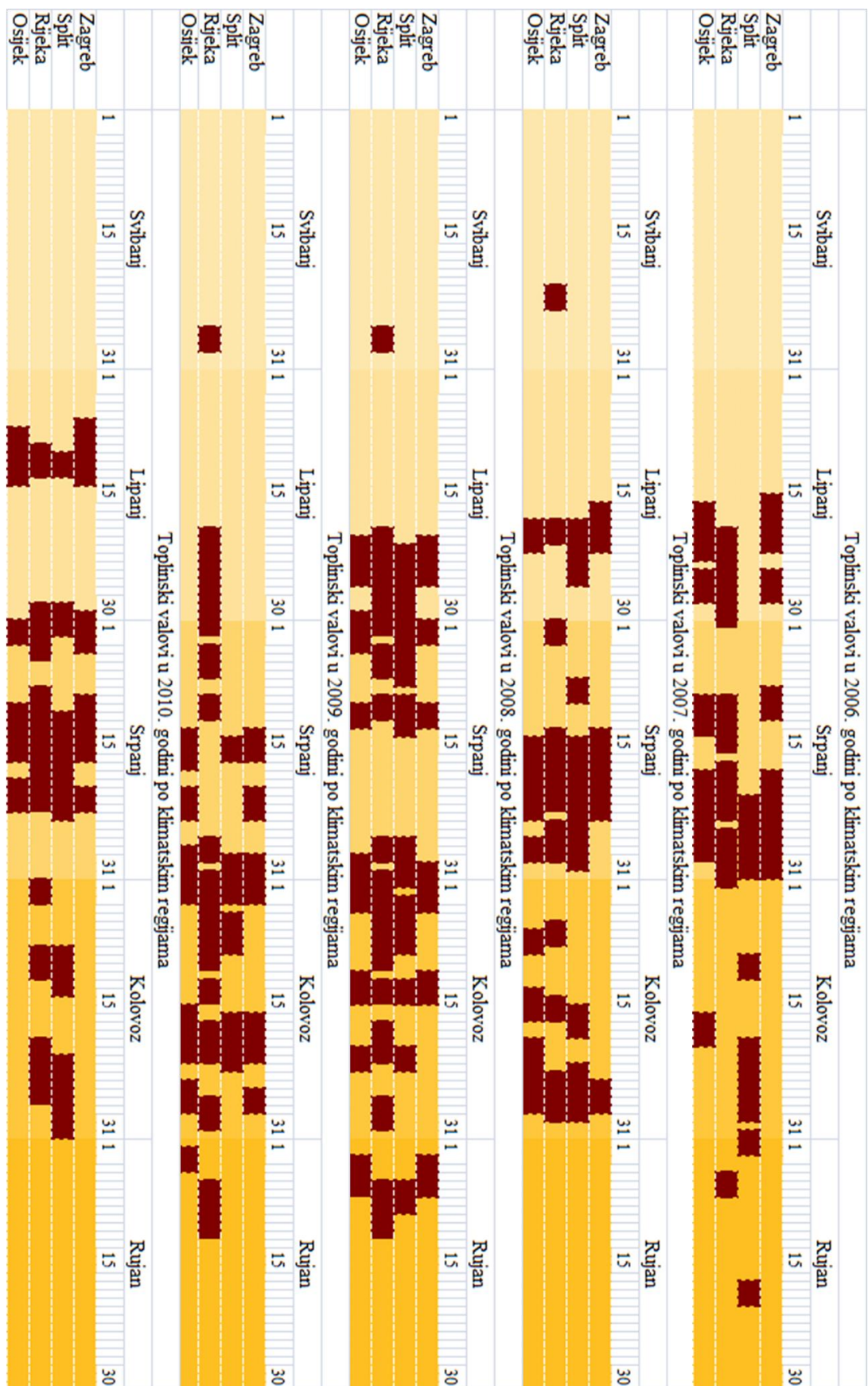
Tablica 14. Deskriptivni podaci toplinskih valova za cjelokupno analizirano razdoblje za klimatološke regije Zagreb, Split Rijeka i Osijek

Klimatološka regija	Broj dana pod toplinskim valom	Broj toplinskih valova	Najduže trajanje (u danima i godina)
Zagreb	263	45	18 (2013.)
Split	400	45	33 (2015.)
Rijeka	477	63	29 (2012.)
Osijek	283	47	13 (2012.) 13 (2015.) 13 (2011.)

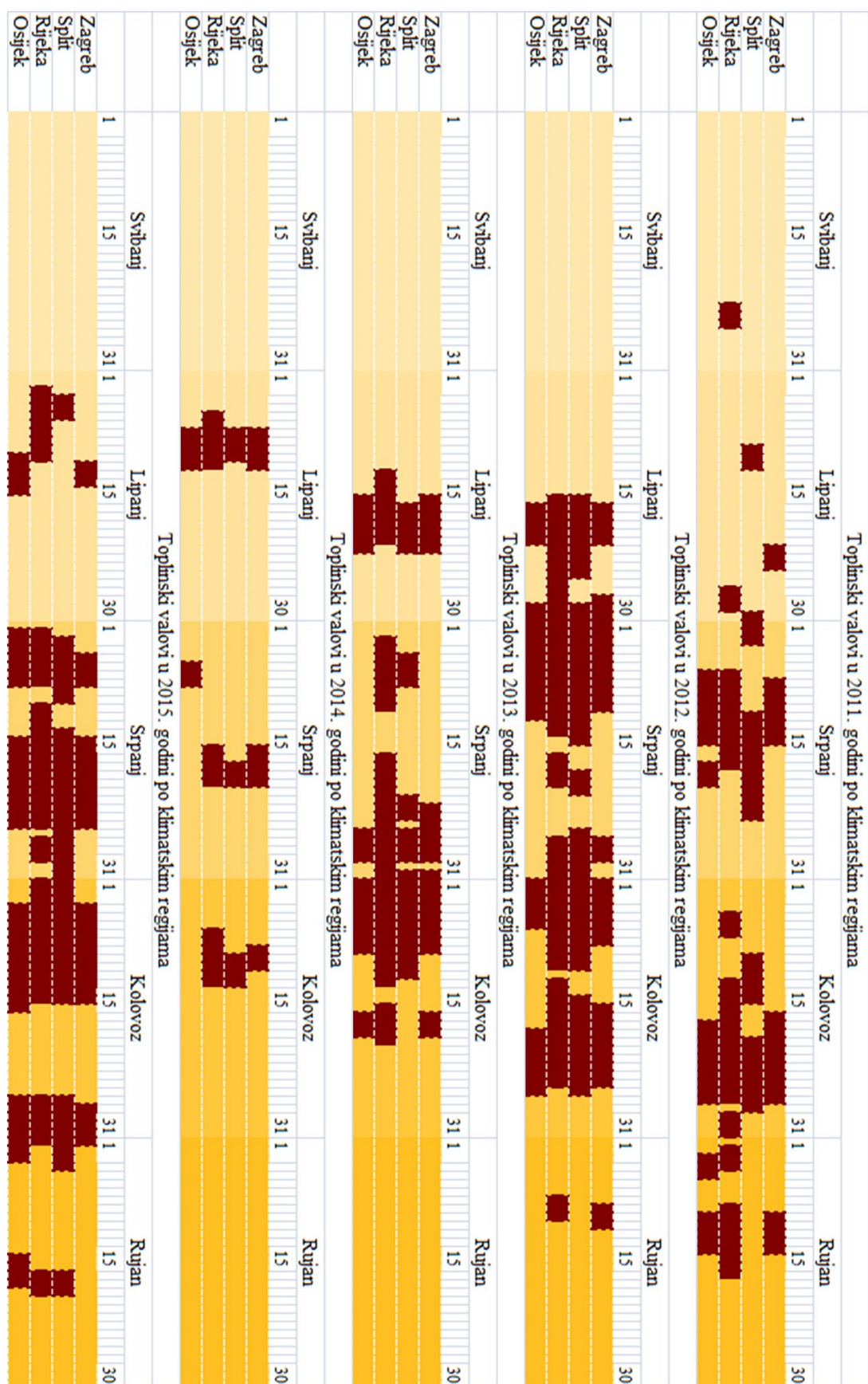


Slika 18. Ukupan broj dana i trajanje toplinskih valova po klimatološkim regijama. U definiranju toplinskih valova izostavljeni su periodi od jedan odnosno dva dana (prva dva stupca).

Označavanjem toplinskih valova na grafičkom prikazu lente olakšana je percepcija pojavnosti toplinskih valova po mjesecima kao i odnos između regija (slika 19. i 20.). Na lentama je vidljiva kako intenzivniji i duži toplinski valovi najčešće zahvaćaju sve regije u okviru istom periodu ali s različitom ukupnom dužinom trajanja u danima. Kraći toplinski valovi pojavljuju se u manje pravilnim razmacima, najčešće ne zahvaćajući sve klimatološke regije odjednom. Općenito, temeljem dobivenih rezultata, pojavnost toplinskih valova u Hrvatskoj je u pravilnom razmaku i iznosi 5 do 7 serija ili "valova" godišnje. Iznimku predstavlja 2014. godina, u kojoj je zabilježen najmanji broj toplinskih valova s ukupno 3 serije valova. Godine 2012. i 2015. bilježe najveći broj toplinskih valova s trajanjem dužim od 10 dana. Tijekom svibnja se toplinski valovi pojavljuju samo u Riječkoj klimatološkoj regiji, a razlog tomu je vjerojatno niža definirana kritična temperatura u odnosu na druge regije.



Slika 19. Lente s markiranim periodima toplinskog vala od 2006 do 2010. godine po regijama.



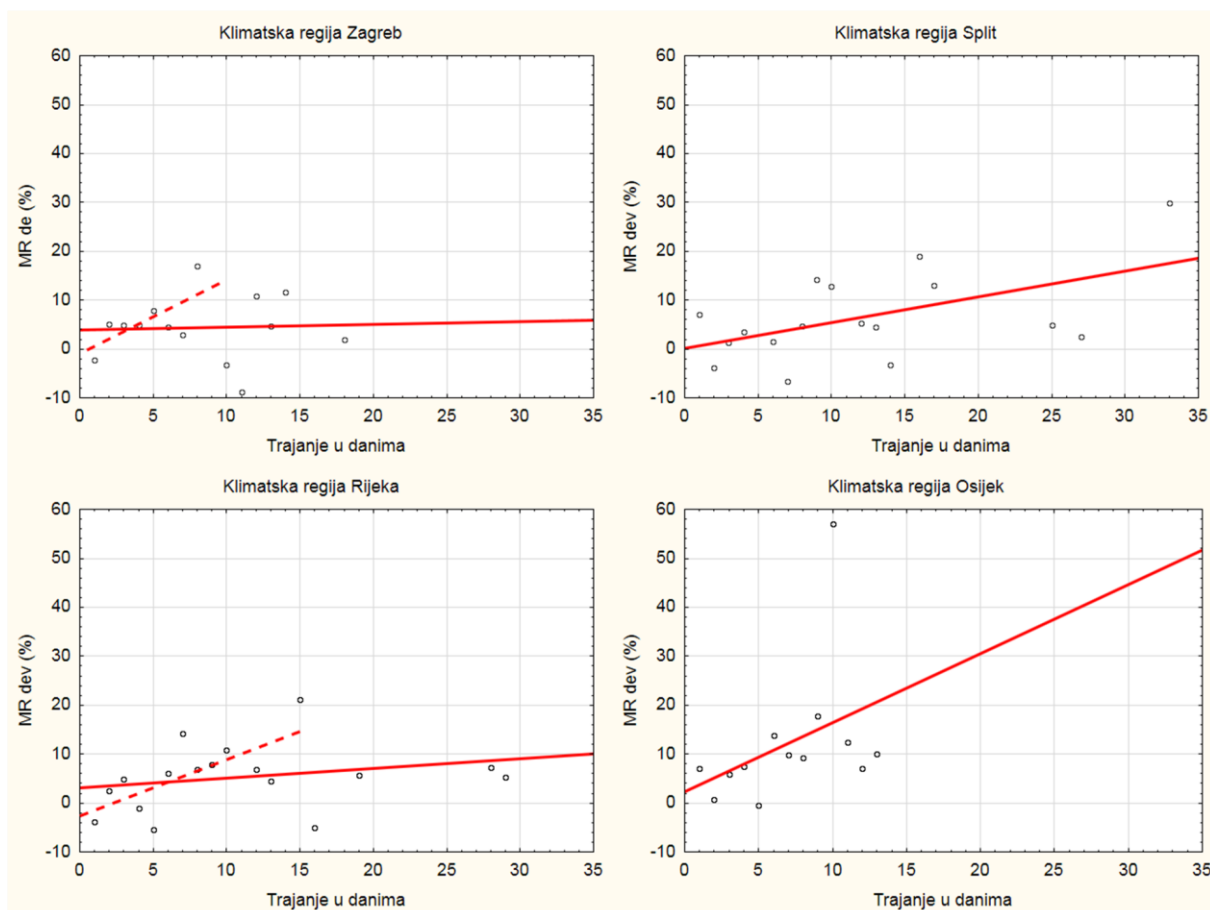
Slika 20. Lente s markiranim periodima toplinskog vala od 2011. do 2015. godine po regijama.

5.7. Povezanost duljine toplinskog vala i mortaliteta

Toplinski valovi često se definiraju na temelju dužine termičkog opterećenja razlikujući duže ili kraće periode (Gabriel, 2008). Pretpostavlja se kako duže djelovanje toplinskog vala utječe i na povećanu smrtnost, pogotovo kod ranjivih skupina stanovništva (Hajat i dr., 2006; Gaćeša-Zaninović, 2011; Nairn i Fawcett, 2013). Istraživanjem povezanosti duljine toplinskog vala i mortaliteta provedeno u više europskih gadova (D'Ipollit i dr., 2010) zaključeno je da je za vrijeme dužih toplinskih valova od 1,5 do 3 uputa veća dnevna smrtnost u odnosu na vremenski kraće toplinske valove.

Prethodnom analizom podataka temperature zraka u RH (po regijama) koje prelaze prag kritične temperature PET-a (tablica 10.). prikazanim na dijagramima raspršenosti (slika 4. i 5.) utvrđeno je kako regresijska linija prati povećanje smrtnosti s obzirom na povećanje PET-a. Međutim vrijednosti mortaliteta i PET-a nisu kronološki iskazane, nego su uparene vrijednosti poredane prema veličini vrijednosti.

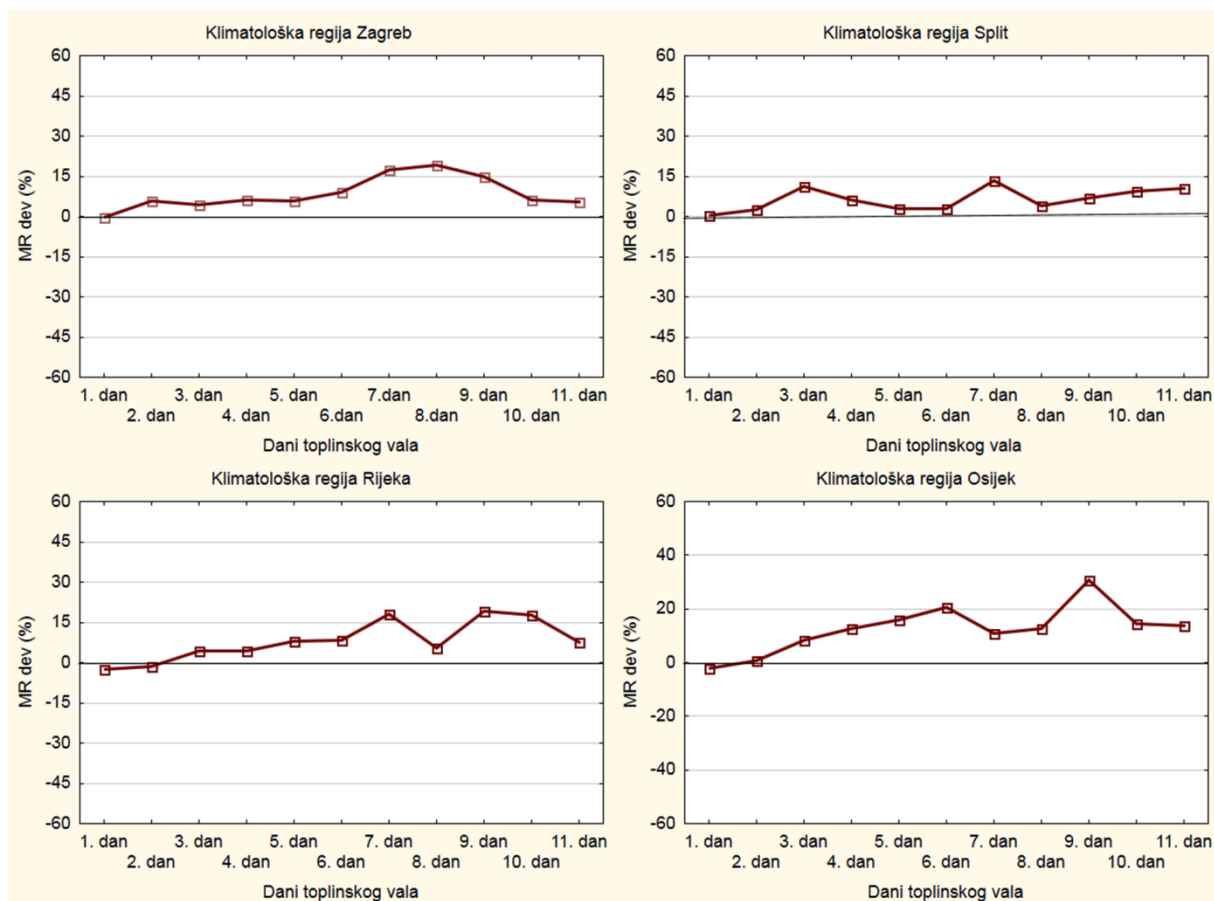
U ovom poglavlju se stoga analizira kronološki aspekt toplinskog vala, odnosno ispituje se postoji li povezanost dužine trajanja toplinskog vala i devijacije smrtnosti. Prethodno izdvojenim periodima toplinskih valova (slika 19. i 20.) izračunata je prosječna smrtnost dnevne devijacije za svaki toplinski val zasebno ovisno o njegovom trajanju u danima po klimatološkim regijama (slika 21.). Analizom rezultata uočena je povezanost dužine trajanja toplinskog vala i devijacije smrtnosti. Ova povezanost je najizraženija za klimatološke regije Split i Osijek. Zanimljivo je ustanoviti kako su kod klimatoloških regija Zagreb i Rijeka bilježeni najduži toplinski valovi međutim i, neočekivano, najmanja povezanost s devijacijom smrtnosti. Pretpostavlja se kako je razlog tomu što smrtnost tijekom dužeg toplinskog vala raste do prvih 10 do 15 dana, a nakon toga opada zbog kratkoročne aklimatizacije stanovništva (kako je ustanovljeno u radovima od Koppea i Jendritzskog, 2005; 2015), stvarajući prosječno manju smrtnost u odnosu na one srednje duge toplinske valove. Zbog navedenog su za klimatološke regije Zagreb i Rijeka izrađene dodatne linearne regresijske linije koje ne uključuju najduže kontinuirane toplinske valove (crvena isprekidana linija, slika 21.). S obzirom na isprekidanu regresijsku liniju utvrđeno je kako je povezanost za klimatološke regije Zagreb i Rijeka ipak snažnija izuzimanjem najdužih toplinskih valova.



Slika 21. Odnos dužine trajanja toplinskog vala i relativne dnevne devijacije mortaliteta po klimatološkim regijama Zagreb, Split, Rijeka i Osijek za desetogodišnje analizirano razdoblje. Crvena puna linija - pravac linearne regresije za sve toplinske valove s obzirom na dužinu trajanja. Crvena isprekidana linija - pravac regresije za toplinske bez najdužih zabilježenih toplinskih valova.

5.7.1. Individualna analiza dana termičkog opterećenja

Kako bi se analizirala individualna razina prosječne devijacije termalnog opterećenja izračunate su aritmetičke sredine devijacije od dnevne smrtnosti za svaki dan toplinskog vala zasebno i to po klimatološkim regijama Zagreb, Split Rijeka i Osijek (slika 22.). Uočava se razlika između analiziranih individualnih dana kao i razlika između klimatoloških regija. Primjerice, u klimatološkoj regiji Zagreb vidljiv je rast relativne devijacije smrtnosti s obzirom na redoslijed dana termičkog opterećenje te se nakon 8 dana prosječna relativna devijacija smrtnosti smanjuje (slika 22.). S druge strane, klimatološke regije Split, Rijeka i Osijek bilježe veću varijabilnost, s uočljivom tendencijom konstantnog rasta smrtnosti s povećavanjem broja dana termičkog opterećenja.



Slika 22. Prosječne vrijednosti relativnog odstupanje od smrtnosti s obzirom na dan termalnog opterećenja u analizirano po individualnim danima. Kvadratići prikazuju aritmetičku sredinu analiziranih individualnih dana. Crvena linija povezuje vrijednosti aritmetičke sredine

Za utvrđivanje značajnosti razlike između dana termičkog opterećenja po regijama korišten je jednostruki test varijance ANOVA. Izveden je test normalnosti distribucije gdje je ustanovljeno kako se analizirane varijable u normalnoj distribuciji što je preduvjet za korištenje testa varijabilnosti odnosno ANOVA-e. Analizom varijabilnosti utvrđeno je kako su izražene značajne razlike ($F > F_{crit}$) između dana termičkog opterećenja za klimatološke regije Rijeka i Osijek, odnosno razlike u smrtnosti između pojedinih dana povišenog termičkog opterećenja i mortaliteta su statistički značajne. Takve varijabilnosti nisu potvrđene za klimatološke regije Zagreb i Split (tablica 16.).

Tablica 16. Rezultati analize jednostruke ANOVA-e za klimatološke regije Zagreb, Split, Rijeka i Osijek.

Varijanca	Zagreb					
	<i>SS</i>	<i>Df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-vrijednost</i>	<i>F crit</i>
Između grupa	1271,32	5	254,264	0,8477	0,51913	2,30349
Unutar grupa	30594,5	102	299,946			
Total	31865,8	107				
Varijanca	Split					
	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-vrijednost</i>	<i>F crit</i>
Između grupa	2093,99	5	418,798	0,71675	0,61168	2,26794
Unutar grupa	98162,1	168	584,298			
Total	100256	173				
Varijanca	Rijeka					
	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-vrijednost</i>	<i>F crit</i>
Između grupa	10233,7	5	2046,73	2,71133	0,02212	2,26996
Unutar grupa	122291	162	754,88			
Total	132524	167				
Varijanca	Osijek					
	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-vrijednost</i>	<i>F crit</i>
Između grupa	10079,7	5	2015,94	4,09011	0,00171	2,27982
Unutar grupa	68017,7	138	492,882			
Total	78097,4	143				

5.8. Analiza mortaliteta ranjivih skupina stanovništva tijekom toplinskih valova

Za analizu mortaliteta ranjivih skupina stanovništva tijekom toplinskih valova, provedena je usporedba smrtnost tijekom trajanja svih dana toplinskih valova sa smrtnošću izvan termičkog opterećenja s težištem na ranjive skupine stanovništva. U ovoj analizi ranjive skupine stanovništva uspoređene su i međusobno tijekom trajanja termičkog opterećenja s ciljem otkrivanja razlika između skupina gdje je ona moguća. Glavna vrijednost uvida u razlike jest prosječna vrijednosti dnevne frekvencije tijekom i bez termičkog opterećenja. U

slučaju dobivene približne prosječne vrijednosti korišten je i z-test kako bi se pokrijepila hipoteza statističke značajnosti odstupanja. Z-test često je korištena statistička metoda prilikom usporedbe dviju prosječnih vrijednosti dobivenih iz većeg utorka ($n > 70$) normalne distribucije (Armitage i dr., 2002). U simulacijama kod Lumley, i dr., (2002) se dokazuje kako u analizama gdje je uzorak veći od 100, kvaliteta testova temeljenih na aritmetičkim sredinama zapravo više i ne ovisi o normalnosti distribucije. Na temelju navedenog, odlučeno je kako je z-test analiza valjana, jer je uzorak analiziranih podataka znatno veći od 100. zbog čega nije dodatno provjeravana distribucija analiziranih podataka

Podaci o mortalitetu analizirani su prema spolu, dobnim skupinama, grupama bolesti, stupnju obrazovanja i bračnom stanju, odnosno prema navedenim ranjivim skupinama detaljnije opisnim u poglavlju 4.1. Ranjive skupine stanovništva. Zbog najvećeg uzorka i dnevne frekvencije smrtnosti analiza je izrađena samo za klimatološku regiju Zagreb.

5.8.1. Analiza mortaliteta s obzirom na ranjive skupine tijekom toplinskog vala

Ranije je već analizirana korelacija između vrijednosti PET-a i smrtnosti žena i muškaraca po godinama, međutim prethodna usporedba koja je izrađena u poglavljima 5.3. i 5.4 izrađena je za razdoblje od 153 dana, odnosno za svaku godinu zasebno. U ovom slučaju analiziraju se samo dani tijekom trajanja toplinskog vala svih analiziranih godina u odnosu na razdoblje izvan termičkog opterećenja. Porast smrtnosti tijekom trajanja toplinskog vala u odnosu na razdoblje izvan termičkog opterećenja kod žena iznosi 11,65 % dok je kod muškaraca porast smrtnost nešto niža na 10,13%. Razlika u smrtnosti tijekom djelovanja toplinskog vala je vidljiva, međutim kako bi se mogla potvrditi hipoteza 4, analizirana je statistička značajnost na temelju z-testa (tablica 16.). Ustanovljeno je kako je z vrijednost veća od kritične z dvostrane vrijednosti što potkrepljuje hipotezu da se smrtnost žena značajno razlikuje od smrtnosti muškaraca tijekom djelovanja toplinskog vala. P vrijednost ukazuje kako je nulta hipoteza odbačena (H_0 = razlika između analiziranih varijabli nije značajna) jer je vrijednost ispod $p < 0,05$. Na temelju testa se može zaključiti kako žene u odnosu na muškarce u većoj mjeri umiru tijekom trajanja toplinskog vala.

Tablica 16. Rezultati z-testa.

Z-Test	<i>Muškarci</i>	<i>Žene</i>
Srednja vrijednost	32,661	33,974
Poznata varijanca	39,745	45,224
Uzorak	268	268
Predviđena hipoteza	0	
Z vrijednost	2,333	
$P(Z \leq z)$ jednostrani	0,01	
Kritični z jednostrani	1,644	
$P(Z \leq z)$ dvostrani	0,02	
Kritični z dvostrani	1,960	

Pored spola analizirana je korelacija dobi umrlih osoba s PET-om iznad praga kritične temperature. Uzorak u ovom slučaju iznosi 268 jer je analiziran broj dana zabilježenih kao toplinski vala za klimatološku regiju Zagreb Ustanovljena je neznatna korelacija, vjerojatno stoga što su analizirane sve dobne skupine. Stoga se nastavila analiza odnosa samo starog stanovništva (osoba umrlih s 65 i više godina) kao što je to rađeno i u radovima Contija i suradnika (2005); Hajata i Kosatskog (2010) te Scherbera i suradnika (2013). Ovom analizom ustanovljena je jača korelacija u odnosu na cjelokupnu dob međutim ona je i dalje relativno slabog karaktera (tablica 17).

Napravljena je i analiza korelacije umrlih osoba s obzirom na dijagnozu, točnije rečeno za kardiovaskularne, respiratorne i skupinu dijagnoza bolest novotvorina. Ranije je navedeno kako su kardiovaskularne i respiratorne skupine bolesnika posebno osjetljive na visoke temperature, njima je u analizi pridodana i skupina umrlih osoba od novotvorina. Razlog tomu jest uvid u bolesti izvan okvira definiranih ranjivih skupina kao i činjenica kako je ukupan broj smrtnih slučajeva s novotvorinama zabilježen u većem broju tijekom trajanja toplinskog vala. Za kardiovaskularnu skupinu je nadalje ustanovljeno relativno slaba korelacija s PET-om iznad praga kritične temperature dok je za skupinu novotvorina i respiratornih ona manja, odnosno neznatna (tablica 17.). Zanimljivo je kako skupina umrlih osoba s dijagnozom respiratornih bolesnika vrlo slabo vezana uz visoke temperature što se kosi s istraživanjima D'Ipplita i suradnika (2010) gdje je navedeno kako je najveća osjetljivost na visoke temperature upravo kod bolesnika respiratorne skupine bolesti.

Tablica 17. Povezanost između PET i dnevnog mortaliteta prema ranjivim skupina tijekom trajanja toplinskog vala

Analizirana ranjiva skupina s PET > HCP	Upareni uzorci (N)	Spearman - R	p-vrijednost
Umrle osobe ženskog spola	268	0,241046**	0,000067
Umrle osobe muškog spola	268	0,113991	0,062396
Umrle osobe iznad 65 godina	268	0,265255**	0,000011
Umrle osobe s dijagnozom kardiovaskularnih bolesti	268	0,232592**	0,000122
Umrle osobe s dijagnozom respiratornih bolesti	268	0,023840	0,697635
Umrle osobe s dijagnozom bolesti novotvorina	268	0,026088	0,670724

6. Zaključak

Klimatološke procijene potvrđuju kako će se intenzitet toplinskih valova povećati da je tendencija jačeg intenziteta i trajanja toplinskih valova u budućnosti što je i potvrđeno od Svjetske zdravstvene organizacije (WHO). Prostor Republike Hrvatske nije izuzeto od navedenih trendove te se također očekuje konstanto povećavanje intenziteta i učestalosti generalno ekstremnih temperatura i toplinskih valova. Toplinski valovi u Republici Hrvatskoj relativno su neistražena pojava poglavito u odnosu na njihov utjecaj na ljudsko zdravlje, stoga je potrebno daljnje istraživanje ove problematike za prostor Replike Hrvatske što je i svrha ovoga rada. Navedeno je istraženo zaključnom statistikom usporedbom srednje vrijednosti, varijance te korelacije medicinskih podataka o smrtnosti i obolijevanju s biometeoroloških indeksom fiziološke ekvivalentne temperature (PET). Također cilj istraživanja bio je i određivanje novih vrijednosti kritične temperature povišene smrtnosti (Heat cut point) definirane za osam klimatoloških regija Hrvatske. Rezultati ukazuju kako postoje statistički razlike između klimatoloških regija Hrvatske gdje su izražene značajne razlike u smrtnosti tijekom toplinskog vala s obzirom na dužinu trajanja termičkog opterećenja, spol i dijagnosticirane skupine bolesti.

Prva hipoteza prema kojoj je odnos mortaliteta i toplinskih valova različit s obzirom na geografske regije u Republici Hrvatskoj je potvrđena. To potkrepljuje rezultat o različitim pragovima kritične temperature povišene smrtnosti. Kritična temperatura povišene smrtnosti pojavljuje se u klimatološkoj regiji Rijeka već s 26°C, dok je ona u klimatološkoj regiji Split puno viša i iznosi 29°C. Kontinentalne klimatološke regije Zagreb i Osijek bilježe kritičnu temperaturu povišene smrtnosti 27,5°C odnosno 28°C. Zanimljivo je istaknuti veliku razliku između klimatološke regije Rijeka i Split koja iznosi 3°C. Percentilom 72,5 određene su razlike za klimatološke regije gdje se bilježi manji broj smrtnih slučajeva vidljive su također velike geografske razlike. Za klimatološku regiju Karlovac kritična temperatura iznosi 26,1°C PET-a dok je za klimatološku regiju Gospić 24,4 °C PET što se može objasniti lokalnim klimatološkim čimbenicima. Najviša vrijednost kritične temperature u odnosu na druge klimatološke regije u Hrvatskoj definirana je za klimatološku regiju Knin gdje je kritična temperatura za promatrano razdoblje iznosi 29,9 °C PET. Zanimljivo je kako je u klimatološkoj regiji Dubrovnik prag definiran na 27,5 stupnjeva, nižom od Splitske klimatološke regije.

Druga hipoteza vezana uz povećanje mortaliteta s obzirom na duljinu trajanja toplinskog vala je djelomično potvrđena. Naime, povećanje smrtnosti s povećanjem trajanja toplinskog vala najizraženija je za klimatološke regije Split i Osijek, dok se kod klimatoloških regija Zagreb i Rijeka utvrđuje najmanja povezanost, unatoč tomu što su u Zagrebačkoj i Riječkoj klimatološkoj regiji zabilježeni najduži toplinski valovi. Također analizom individualnih dana unutar toplinskog vala ustanovljeno je kako je izražena povećana smrtnost do desetog dana termičkog opterećenja u Zagrebačkoj klimatološkoj regiji nakon koje stopa mortaliteta postupno opada. Za klimatološke regije Split, Rijeka i Osijek u individualnoj analizi termičkog opterećenja uočena je veća varijabilnost no s tendencijom povećanja stope smrtnosti s povećanjem broja dana termičkog opterećenja.

Kratkoročna adaptacija stanovništva (treća hipoteza) potvrđena je unutar dvije analize. Prva uspoređivanjem kritične temperature povećane smrtnosti na mjesečnoj razini, dok se druga analiza temeljila na uvidu dužine trajanja toplinskih valova. U prvoj analizi razabire se podatak kako je kritična temperatura povećane smrtnosti u svibnju najniža. Tijekom lipnja, srpnja i kolovoza, prag kritične temperature konstantno raste, te u rujnu opada na razinu približnu one iz lipnja. Ovime su potkrepljenja prethodna istraživanja kako se stanovništvo prilagođava sezonskim temperaturni događajima. Također kratkoročna adaptacija stanovništva analizirana je i na temelju analize odnosa dužine toplinskog vala i stope mortaliteta. Naime, u klimatološkoj regiji Zagreb i Rijeka bilježeni su najduži toplinski valovi, međutim povezanost je najmanja s devijacijom smrtnosti. Pretpostavlja se kako je razlog tomu što se smrtnost tijekom dužeg toplinskog vala povećava do prvih 10 do 15 dana termičkog opterećenja nakon čega opada zbog, već navedene kratkoročne prilagodbe stanovništva.

Hipotezu kako su žene podložnije mortalitetu uzrokovanim toplinskim valovima se potkrepljuje usporedbom smrtnih slučajeva ženskog i muškog spola s fiziološkom ekvivalentnom temperaturom. Utvrđeno je pet statistički relevantnih korelacija mortaliteta žena u odnosu na njih tri statistički relevantne korelacije kod mortaliteta muškaraca na analizi godišnjih razina. Također porast smrtnost tijekom trajanja toplinskog vala u odnosu na razdoblje izvan termičkog opterećenja kod žena iznosi 11,65 % dok je kod muškaraca porast smrtnosti nešto niži na 10,13%. Navedeno je i statistički potvrđeno kao značajno na temelju z-testa.

Pored analize hipoteza potrebno je istaknuti i sljedeće rezultate: S obzirom na statistički značaj ističu se 2015. i 2013. godina. U 2015. godini bilježi se najveća smrtnost u

promatranom periodu od 2006. do 2016. godine. Nadalje, u ovoj godini se uočava i najsnažnija korelacija između mortaliteta i PET-a promatranoga u Zagrebačkoj, Riječkoj i Splitskoj klimatološkoj regiji. U Osječkoj klimatološkoj regiji 2015. godina iskazuje najsnažniju korelaciju između PET-a i mortaliteta odmah nakon 2006. Godine. Kod bolesnika koji boluju od kardiovaskularnih bolesti također se u 2015. godini bilježi najsnažnija korelacija između PET-a i mortaliteta, isto kao i kod umrlih osoba koje su starije od 65 godina.

Godina 2013. je značajna jer je u njoj zabilježen najmanji broj umrlih osoba u periodu od 2006. do 2015. godine. U 2013. godini se često, statistički relevantno gledano, javlja najslabija korelacija. Navedeno se može uočiti i kod osoba ženskog spola, bolesnika koji boluju od kardiovaskularnih bolesnika i kod osoba koje su starije od 65 godina. S obzirom na regionalne razlike, najviše statistički značajnih korelacija između PET-a i mortaliteta utvrđeno je u Splitskoj klimatološkoj regiji kada samo 2011. godine nije zabilježena statistički signifikantna razlika.

Rezultati istraživanja usporedivi su s radom od Gaćeša-Zaninović (2010), gdje su pomoću dijagrama raspršenosti također vidljive razlike između klimatoloških regija Republike Hrvatske. Također se potvrđuje kako su kritične temperature u kontinentalni regijama na nižim temperaturnim vrijednostima u odnosu na maritimne klimatološke regije kao. Potrebno je napomenuti i kako je navedeni rad od Gaćeša-Zaninović (2011.) kao i ovaj diplomski rad (2018.) jedini obrađuju toplinske valove za cijeli prostor Republike Hrvatske kroz utjecaj na ljudsko zdravlje s time da je u ovom radu naglašena i statistička analiza zdravstvenih podataka kao i analiza ranjivih skupina na visoke temperature..

Izvori

URL 1: <http://klima.hr/razno.php?id=meteoalarm> , 25.3.2018.

Literatura

Alexander, M., Zaman, S. Q., Pfeiffer, K. P., Göbel, G. i Ulmer, H. (2007.): *Statistical errors in medical research - a review of common pitfalls*, Swiss med wkly, 137:47-49.

Armitage, P., Berry, B. i Matthews, J. N. S. (2002.): *Statistical methods of Medical Research, fourth edition*, Blackwell Science, Bodmin.

Baccini, M., Bigger, A., Accetta, G., Kosatsky, T., Katsouyanni K., Analitis, A., Anderson, H. R., Bisanti, L., D'Ippoliti, D., Danova J., Forsberg, B., Medina, S., Paldy, A., Rabaczko, D., Schindler, C. i Michelozzi, P. (2008.): *Heat Effect on Mortality in 15 European Cities*, *Epidemiology*, 15, 711-719.

Barišin, A., Brkić, M. i Zaninović K. (2016.): *Sustav upozorenja na toplinske valove*, Državni zavod za javno zdravstvo.

Basu, R., Dominici, F. i Samet J. M. (2005.): *Temperature and Mortality Among the Elderly in the United States: A Comparison of Epidemiologic Methods*, *Epidemiology*;16, 58-66.

Cleveland W. S. (1979.): *Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots*, *Journal of the American Statistical Association*, 74: 829-836.

Conti, S., Melia, P., Minellia, G., Soliminia, R., Toccacelia, V., Vichia, M., Beltranob, C. i Perini, L. (2005.): *Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heatwave in Italy*, *Environmental Research* 98, 390–399.

Das, S., Smith, S. (2012.): *Awareness as an Adaptation Strategy for Reducing Mortality from Heat Waves*, *Climate Change Economics*, 3(2), 1-39.

D'Ippolit, D., Michelozzi, P., Marino, C., de'Donato, F., Menne, B., Katsouyanni, K., Kirchmayer, U., Analitis, A., Medina-Ramón, M., Paldy, A., Atkinson, A., Kovats, S., Bisanti, L., Schneider, A., Lefranc, A., Iñiguez, C. i Perucci C. A. (2010.): *The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project*, *Environmental health*, 37, 1-9.

Državna uprava za zaštitu i spašavanje (2015.): *Procjena rizika od katastrofa za Republiku Hrvatsku*, Zagreb

- Fanger, P.O. (1970.): *Thermal Comfort*. Danish Technical Press, Copenhagen.
- Feudale L. i Shukla F. (2011.): *Influence of sea surface temperature on the European heat wave of 2003 summer. Part I: an observational study*, *Clim Dyn*, 36, 1691-1703.
- Gabriel K. (2009): *Gesundheitsrisiken durch Wärmebelastung in Ballungsräumen: Eine Analyse von Hitzewelle-Ereignissen hinsichtlich der Mortalität im Raum Berlin-Brandenburg*, doktorska disertacija, Humboldt-Universität Berlin.
- Gaćeša-Zaninović K. (2011): Utjecaj ekstremnih termičkih prilika na smrtnost u hrvatskoj, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek, doktorska disertacija.
- Hajat, S., Armstrong, B., Baccini, M., Biggeri, A., Bisanti, L., Russo, A. Paldy, A., Menne, B. i Kosatsky T. (2006.): *Impact of high temperatures on mortality, Is there an added Heat Wave Effect?*, *Epidemiology* 17. 632-638.
- Hajat, S., Kosatsky, T. (2010.): *Heat-related mortality: a review and exploration of heterogeneity*, *J Epidemiol Community Health*, 64,753-760.
- Hajat, S. Kovats, R. S., Atkinson R. W. i Haines, A. (2002.): Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach, *Journal of Epidemiology*
- Höppe, P. (1999.): The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment, *Int J Biometeorol*, 42, 71-75.
- Karl T. R., Knight R.W. (1997): *The 1995 Chicago Heat Wave: How Likely Is a Recurrence?*, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 6, 1107-1119.
- Keatinge, W. R., Donaldson, G. C., Cordioli, E., Martineli, M., Kunst, A. E., Mackebback, J. P., Nayna, S. i Vuori, I. (2000.): *Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: observational study*, *BMJ*, 321, 670-673.
- Koppe, C., Jendritzky, G. (2014.): *Die Auswirkungen von thermischen Belastungen auf die Mortalität, u: Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen*. Lozán, ur: J. L., Grassl, H., Karbe, L. i G. Jendritzky, (http://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de/wp-content/uploads/2014/03/koppe_jendritzky.pdf, 18.03.2018.).
- Koppe, C., Jendritzky, G (2005.): *Inclusion of short-term adaptation to thermal stresses in a heat load warning procedure*, *Meteorologische Zeitschrift*, 14, 271-278.
- Koppe, C., Jendritzky, G. i Pfaff G. (2003.): *Die Auswirkungen der Hitzewelle 2003 auf die Gesundheit*, DWD Klimastatusbericht, www.researchgate.net, (https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimastatusbericht/publikationen/ksb2003_pdf/09_2003.pdf?__blob=publicationFile&v=1 , 17.03.2018.)

Lumley, T., Diehr, P., Emerson, S., i Chen, L. (2002.): *The Importance of the Normality Assumption in Large Public Health Data Sets*, Annu. Rev. Public Health, 23, 151-169.

Matzarakis, A, i Endler, C. (2001.): *Physiologically Equivalent Temperature and Climate Change in Freiburg*, Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany 2-8, (<https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/142231.pdf>, 17.03.2018.)

Matzarakis, A. i Mayer, H. (1996.): *Another kind of environmental stress: thermal stress*, WHO Newsletter 18, 7-10.

Matzarkis, A. i Nastos P. T, (2011.): *Human-biometeoroloical assessment of heat waves in Athens*, Theor appl Climatol, 105, 99-106.

Memišević, H. (2015.): *Normalna distribucija i kako do nje doći*, Sveučilište Hercegovina, Mostar, BiH, (https://www.researchgate.net/publication/275894104_Statisticki_putokazi_Normalna_distribucija_i_kako_do_nje_doci_Statistical_guidelines_normal_distribution_and_how_to_get_it, 18.03.2018.).

Ministarstvo zdravlja (2015.): *Protokol o postupanju i preporuke za zaštitu od vrućine*, Zagreb, [https://zdravlje.hr/vijesti/protokol-o-postupanju-i-preporuke-za-zastitu- od-vrucine/386?big=1](https://zdravlje.hr/vijesti/protokol-o-postupanju-i-preporuke-za-zastitu-od-vrucine/386?big=1) , 25.3.2018)

Moshhammer H., Gerersdorfer, T., Hutter, H., Formayer, H., Kromp-Kolb, H. i Schwarzl, I. (2009.): *Abschätzung der Auswirkungen von Hitze auf die Sterblichkeit in Oberösterreich*, Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur, Beč.

Nairn, J. R., Fawcett, R. (2013): *Defining heatwaves: heatwave defined as a heat-impact event servicing all community and business sectors in Australia*. Centre for Australian Weather and Climate Research (CAWCR), Technical Report, Kent Town South Australia.

Petz, B (1997.): *Statistika za nematematičare*, Sveučilište u Zgrebu, Slap, Zagreb.

Robert Koch Institut (2004.): *Bericht zu einer Stellungnahme der Kommission "Hitzetote" der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaft (AWMF)*, Epidemiologisches Bulletin, 24, 189-196, (https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Krankenhaushygiene/Erreger_ausgewaehlt/Legionella/Legionellose_11_04.pdf?__blob=publicationFile, 18.03.2018.).

Robinson P. J. (2000.): *On the Definition of a Heat wave*, Journal of Applied Meteorology, 40, 762-775.

Schneider, A. Breitner, B., Wolf, K., Hampel, R., Peters, A., Prof. i Wichmann, E. (2009.): *Ursachenspezifische Mortalität Herzinfarkt und das Auftreten von Beschwerden bei*

Herzinfarktüberleben in Abhängigkeit von der Lufttemperatur in Bayern (MOHIT), Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, München.

Sherber, K., Endlicher, W. i Langner, M. (2013.): Klimawandel und Gesundheit in Berlin-Brandenburg, u: *Klimawandel und Gesundheit Internationale, nationale und regionale Herausforderungen und Antworten*, ur.: Jahn, H. J., Krämer, A. i Wörmann, T., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 25-34.

Tamrazin, A., La Duchi, S., Willis, J. i Patzert W. C. (2008.): *Heat Waves in Southern California: Are They Becoming More Frequent and Longer Lasting?*, Association of Pacific Coast Geographers, 70,59-69.

Udovčić, M., Ksenija, B., Bilić-Zulle, L., i Petrovečki, M. (2007.): *Što treba znati kada izračunavao koeficijent korelacije?*, Biochemia Medica, 17:10-15.

World Health Organisation, World Meteorological Organisation (2015.): *Heatwaves and health: Guidance on Warning-System Development*, Chair, Publications Board World Meteorological Organization, Ženeva.

Zacharias, S., Koppe, C. i Mücke, H. (2015): *Climate Change Effects on Heat Waves and Future Heat Wave-Associated IHD Mortality in Germany*, Climate, 3, 100-117

Zaninović K. i Matzarakis A. (2013); *Impact of heat waves on mortality in Croatia*, Biometeorol, Springer, 58:11-35

Summary

The Impact of Heat Waves on Morbidity and Mortality in the Republic of Croatia 2006 – 2016

Zvonimir Perić

The object of this paper is the analysis of the effects of heat waves on mortality. The main objective of the research is to determine the influence of heat waves on mortality and morbidity for eight climatic regions of Croatia in a ten-year period between 2006 and 2015. The meteorological parameter PET (physiological equivalent temperature) was obtained as the main thermal variation of the study while the absolute data on mortality were modified to a relative deviation of mean mortality (MR dev %). The observed heat wave period ranged from May 1 to September 30, 2006, and 2015, while the spatial analysis was conducted based on eight climatic regions that are also used for weather warning Meteoalarm.

It was concluded that it is necessary to determine the general correlation between PET and mortality and morbidity in the analyzed period. Following this step was the determination of the critical temperature of increased mortality based on the regression relationship of the relative deviation of mortality from the average and PET. The defined heat cut thresholds were the starting point for the determination of the period when the average higher mortality associated with the temperature is generated. The heat waves are defined as a period of at least three consecutive days that exceed the heat cut point. Previously mentioned definition of heat waves is based on the correlation between mortality and the thermal index, which is the fundamental problem of this scientific object. After determining the heat waves definition, the thermal wavelengths for the analyzed ten-year period are defined. Days classified as heat wave are separated and in the later phase of work through; dependence of heat waves duration on mortality, mortality correlation of vulnerable population groups, and population acclimatization through heat cut point "shifting" through the months.

The conclusion is the existence of a positive correlation between thermal indices and mortality as well as morbidity. Population adaptation to current climatic factors is highly visible and varied in the analyzed months and climatological regions. It is estimated that women are at a greater high-temperature risk as well as patients with cardiovascular disease.