UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA MATEMATIKO IN FIZIKO
ODDELEK ZA FIZIKO
GEOFIZIKA, METEOROLOGIJA

Neža Ključevšek

Detekcija in vpliv vročinskih valov v Sloveniji

Magistrsko delo

Mentorica: izr. prof. dr. Nedjeljka Žagar
Somentor: Andrej Hrabar, univ.dipl. meteorol., ARSO

Izlake, 2016

Izjava o avtorstvu in objavi elektronske oblike magistrskega dela:

Podpisana Neža Ključevšek izjavljam:
- da je magistrsko delo z naslovom Detekcija in vpliv vročinskih valov v Sloveniji rezultat mojega samostojnega dela pod mentorstvom izr. prof. dr. Nedjeljka Žagar in somentorstvom Andreja Hrabarja, univ. dipl. meteorol.
- da je tiskani izvod dela identičen z elektronskim izvodom in
- da Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani dovoljujem objavo elektronske oblike svojega dela na spletnih straneh Repozitorija Univerze v Ljubljani.

Ljubljana, 15.12.2016 Podpis:

Zahvala

Naloga je bila pripravljena v sodelovanju z NIJZ in ARSO. Rada bi se zahvalila NIJZ, še posebej ge. Ani Hojs, za pripravo podatkov o smrtnosti. Zahvala gre tudi kolegici Katji Kozjek, ki mi je priskočila na pomoč pri izrisu zemljevidov. Pri razlagi rezultatov o smrtnosti v Sloveniji mi je pomagala dr. Andreja Kukec.

Posebna zahvala gre mentorju Andreju Hrabarju, ki je predlagal temo in smer v katero naj bi se razvijala magistrska naloga, da bi bili rezultati čim bolj uporabni. Za strokovnost, izoblikovanje končne vsebine, za svoje predloge in potrpežljivost gre zahvala mentorici izr. prof. dr. Nedjeljki Žagar. K končnemu delu so s svojimi predlogi vplivale tudi Mojca Dolinar in prof. dr. Lučka K. Bogataj s svojimi sodelavkami, za kar sem zelo hvaležna.

Zahvalila bi se tudi svoji družini, ki me je finančno in moralno podpirala tekom celotnega študija, in fantu Juretu, ki me je v zadnjem letu sprejel pod svojo streho in prenašal vse moje slabe dni. Zelo sem hvaležna za pomoč pri odpravi slovničnih napak v magistrskem delu sestri Gaji in očetu Jožetu.

Povzetek

Operativne meteorološke službe vedno bolj uporabljajo t.i. vročinske indekse za detekcijo vročinskih valov in izdajanje opozoril. Tovrstnih izračunov v Sloveniji do sedaj ni bilo. Glede na spremembe splošne cirkulacije in posledice za regionalne in lokalne vremenske ekstreme, posebej trend naraščanja števila vročinsko napornih dni, navzoče delo analizira vročinske indekse, ki bi bili primerni za uporabo pri nas. Izbrani indeksi so se izkazali kot koristni drugje v zmernih geografskih širinah severne poloble in v Avstraliji. Indeksi so uporabljeni na večletnih nizih meritev na 10-ih meteoroloških postajah v Sloveniji. S tem so določene biometeorološke značilnosti različnih krajev in je preverjena hipoteza, da Slovenijo lahko razdelimo na 3 značilne regije: primorsko, celinski del in gorski svet. Pridobljeni rezultati, čeprav odvisni od izbire indeksa, niso potrdili hipoteze. Tradicionalni indeksi, ki upoštevajo vpliv temperature, relativne vlage in vetra, ponujajo razdelitev Slovenije na celinski del z obalo in visoke gore. Podatki kažejo, da obstaja trend naraščanja števila vročinsko napornih dni od leta 1980. Od takrat se je število vročinsko napornih dni povečalo za okoli štirikrat.

Učinek vročinskega vala se pogosto opisuje s pomočjo povečanega števila smrti v vročinsko napornem obdobju. Delo analizira podatke o smrtnosti v obdobju 2003-2011 in njihovo korelacijo z vročinskimi indeksi. Statistično značilna korelacija med vročinskimi indeksi in smrtnostjo v posameznih statističnih regijah Slovenije ni najdena. Morebitni razlog je majhno število umrlih (okoli 55 na dan v državi). Tudi korelacija izračunana na krajšem obdobju, v vročinsko najbolj napornem avgustu 2003, ni pokazala statistično značilne povezave med številom umrlih in visokimi vrednostmi katerega koli izmed obravnavanih vročinskih indeksov.

Ključne besede: biometeorologija, napovedovanje, vročinski indeksi, vročinski val, smrtnost, trendi

PACS 92.60.Ry

Abstract

Operative meteorological services frequently use heat indices for heat wave detection, which has not been a habit in Slovenia so far. In relation to the global climate change and general circulation and its consequences on local weather extremes – especially the increase in the number of heat exhausting days - this thesis analyses heat indices that may be potentially useful in Slovenia. Selected indices have been shown useful in other parts of the northern hemisphere and in Australia. The analysis is based on multiyear measurements from 10 meteorological stations in the country which are representative of various sub regional climate conditions. I wanted to assure whether Slovenia can be divided into 3 parts: primorska, (continental) inland and mountains. Bio-meteorological variability described by various indices somewhat depends on the choice of the index but the overall results do not support the hypothesis of the three bio-meteorological regions. Traditional indices, which consider temperature, relative humidity and wind, offer a division of Slovenia into continental part with coast and high mountains. There is a clear trend in a number of heat exhausting days which increase by a factor of four since 1980.

The effect of heat wave is often described with the number of increased deaths in the heat exhausting period. This correlation was checked for Slovenia, using the daily number of deaths between 2003 and 2011 and computing its correlation with various heat indices. The correlation between heat indices and mortality has not been found in any of Slovenian statistic regions. The reason could be a relatively small number of deaths (around 55 per day in the whole country). Furthermore, no correlation was found for August 2003 which is considered the most heat exhausting period in recent time in Europe and Slovenia.

Key words: biometeorology, forecasting, heat index, heat wave, mortality, trends

Vsebina

1 Uvod **13**

2 Indeksi za opis vpliva vremena na počutje **17**

2.1 Osnovni biometeorološki indeksi 17

2.1.1 Indeks vročine (ang. Heat index) 17

2.1.2 Indeks vlažnosti (ang. humidity index oz. humidex) 18

2.1.3 Skupna efektivna temperatura (ang. Net effective temperature) 19

2.1.4 Navidezna temperatura (ang. Apparent temperature) 20

2.1.5 Indeks toplotnega presežka (ang. Excess heat index) 20

2.1.6 Psevdo ekvivalentna temperatura 21

2.2 Modeli za izračun toplotne bilance človeka 22

2.3 Sinoptično - klimatološka klasifikacija 23

2.3.1 Indeks toplotnega presežka z upoštevanjem aklimatizacije (ang. Excess heat indeks-acclimatization) 23

2.3.2 Faktor toplotnega presežka (ang. Excess heat factor) 23

3 Podatki in metode dela **25**

3.1 Meteorološki podatki 25

3.2 Podatki o umrljivosti 26

3.3 Statistične metode obdelave podatkov 28

3.3.1 Določanje parametrov porazdelitve 29

3.3.2 Metoda intervala zaupanja 30

3.3.3 Preizkušanje hipotez 30

a) Test HI-kvadrat 30

c) T - test 31

3.3.4 Povratne dobe 32

4 Določanje vročinskih indeksov v Sloveniji 33

4.1 Izračun indeksov iz podatkov na postajah ... 33

4.2 Prostorska porazdelitev vročinskih indeksov ... 35

4.3 Časovna analiza vročinskih indeksov na postajah ... 39

4.3.1 Dinamika vročinskih indeksov ... 39

4.3.2 Trend števila vročinsko napornih dni ... 41

4.3.3 Dinamika izbranega indeksa na različnih postajah ... 42

4.3.4 Primerjava velikega mesta z bližnjim okoljem ... 43

4.3.5 Primerjava temperature in števila vročinsko napornih dni ... 46

4.4 Izračun povratnih dob ... 48

5 Prilagajanje podatkov o smrtnosti in povezava z vročinskimi indeksi 51

5.1 Detekcija vročinskih valov v Sloveniji s pomočjo korelacije smrtnosti in vročinskih indeksov ... 55

5.1.1 Primerjava z dosedanjimi študijami v Sloveniji ... 55

5.1.2 Korelacija vročinskih indeksov in smrtnosti v različnih pokrajinah po Sloveniji ... 56

6 Zaključek 63

Literatura 65

1 Uvod

Čedalje pogosteje lahko v medijih zasledimo takšne in drugačne napovedi o prihodnjih ekstremnih vremenskih dogodkih. Npr. v časopisu Delo, smo, 25.7.2011, lahko prebrali, da bosta
»… po črnem scenariju huda suša in vročina postali nekaj običajnega« [1], v spletnih novicah javne in komercialnih televizij lahko beremo članke z naslovi kot so:
» Ekstremne vremenske razmere po svetu ubile že več tisoč ljudi « [2], ali
»V prihodnosti nas čakajo ekstremi: pozimi manj snega, a več dežja, poleti suše in izrazita vročina « [3].
Istočasno javnost pričakuje vedno bolj natančne napovedi ekstremnih dogodkov, in to za čedalje dlje vnaprej. Državne meteorološke službe in centri za modeliranje atmosferskih procesov in napovedovanje vremena na dolgoročni skali, so tako pod stalnim drobnogledom javnosti.

Primer ekstremnih vremenskih razmer, posebnega pomena na počutje in delovno uspešnost ljudi, so visoke temperature in z njimi povezani vročinski valovi. Z vprašanjem, kako so že, in kako še bodo, te vplivale na ljudi, se ukvarja veja meteorologije, biometeorologija. To je interdisciplinarna znanost, ki upošteva interakcije med atmosferskimi pojavi in živimi organizmi (rastline, živali in ljudje). Glavno vprašanje je, kako vreme in klima vplivata na blaginjo živečih organizmov [4].

Različne države uporabljajo različne indekse in modele za opis vpliva vročine na človeka. Mednarodno usklajene definicije vročinskega vala ni, nekje ta nastopi po enem dnevu nad določeno zelo visoko mejo, oz. šele po šestih dneh, ko se dnevne temperature dvignejo nad kritično, vnaprej določeno mejo. Drugje so kombinacije dni in določenih mejnih vrednosti drugačne [5]. Vročinske valove nekateri [6] opisujejo kot eno izmed najbolj smrtonosnih naravnih nesreč, saj vsako leto za sabo pusti veliko število smrtnih žrtev, še posebno v velikih mestih. Prav zato ima veliko držav izoblikovane sisteme za opozarjanje glede visokih temperatur in morebitni prihod vročinskega vala. Poenotenega sistema in meje za izdajo opozorila na prihajajočo vročino prebivalstvu po svetu ni. To se zdi logično, saj se prebivalcem npr. Grčije, 28°C v poletnem času ne zdi nič kaj nevsakdanjega, medtem ko, prebivalci npr. Londona take temperature ne občutijo tako pogosto. Različne države se tako poslužujejo različnih indeksov, kateri napovedujejo zaznavno temperaturo, ki jo človek dejansko občuti. Nekateri od najpogosteje uporabljenih indeksov bodo podrobneje opisani v poglavju 2. V Sloveniji se v okviru nalog državne meteorološke službe, ki se izvaja na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO), trenutno ne poslužujejo nobenega vročinskega indeksa. Odločitev o izdaji opozorila je vezana na napoved maksimalnih in povprečnih dnevnih temperatur, in sicer za pet regij definiranih v sistemu opozarjanja na ekstremne vremenske dogodke.

Lahko se vprašamo, kako uporabni so različni indeksi za opis vročinskega vala v Sloveniji? Ali lahko indeks, ki funkcionira npr. v Franciji, deluje v Sloveniji? Trenutno meteorološka stroka v Sloveniji ne uporablja enotne definicije, kaj je vročinski val in kdaj nastopi. Delo, ki je pred vami, se ukvarja z detekcijo vročinskih valov v Sloveniji, povezavo vročine in smrtnosti in raziskuje, kako uporabni so različni indeksi za opis biometeoroloških pogojev na različnih koncih Slovenije.

Na temo ekstremne vročine in s tem povezane izredne toplotne obremenitve na človeka je bilo v Sloveniji narejeno relativno malo. Nekaj študij je bilo narejenih, za dve vročinsko najbolj ekstremni poletji, 2003 in 2013 [7,8,9]. Na spletni strani ARSO so pod rubriko "Kazalci okolja" objavljene neke splošne ugotovitve iz študije povezave vročine in smrtnosti v poletnih mesecih med letoma 2008 in 2013 [9]. V teh analizah je uporabljena psevdo ekvivalentna temperatura, ki je drugače ne najdemo v uporabi pri izračunih biometeorološkega indeksa drugje. Analiza predstavljena na spletu (http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=685), vključuje časovni potek psevdo ekvivalentne temperature in števila umrlih na dan, ne glede na vzrok smrti, za tri vročinske valove, ki naj bi se pojavljali v letu 2013. Pri tem je vročinski val definiran kot obdobje 2 ali več dni, ko psevdo ekvivalenta temperatura preseže določeno vrednost. Publikacija ugotavlja, da obstaja pozitivna in statistično značilna povezava med uporabljenim indeksom in številom umrlih, vendar podrobnosti niso predstavljene.

Najbolj raziskan primer vročinskega vala v Sloveniji je poletje 2003 [8]. Avtorji omenjene študije [8] v tem primeru niso uporabili posebnih vročinskih indeksov, ampak podatke o maksimalni in minimalni dnevni temperaturi. Vročinski val je bil definiran kot obdobje najmanj 5 zaporednih dni, ko je bila najvišja povprečna temperatura zraka višja od 30°C. V analizi so uporabljeni temperaturni podatki iz petih postaj po Sloveniji, ki pokrivajo različne lokalne značilnosti podnebja, in sicer Portorož, Ljubljana, Novo mesto, Murska Sobota in Rateče. Z uporabo zgoraj omenjene definicije, so za leto 2003 določili dva vročinska vala in se bolj osredotočili na avgustovskega, saj je bil ta najmočnejši in najbolj smrtonosen v velikih Evropskih mestih [5, 10]. Osnovna ugotovitev je bila, da so med obdobjem 2-15.8.2003 ljudje, starejši do 75 let z boleznimi, ki so pogosto omenjene tudi v tuji literaturi, umirali pogosteje, glede na povprečje v istem obdobju med leti 1997 in 2002. Poleg tega je ugotovljeno, da je število umrlih začelo naraščati s pet dnevnim zamikom po dvigu temperatur nad 30°C.

V tujini je bilo narejeno veliko raziskav, kako vročina vpliva na smrtnost in na zdravstvene težave, ki se pojavijo zaradi prevelike toplotne obremenitve [11]. Še posebej je ta tema postala zanimiva po letu 2003, saj je zaradi zelo dolgo trajajoče vročine umrlo nadpovprečno veliko ljudi [5, 10]. Opaziti je, da je ob pojavu več dni trajajoče vročine obisk urgenc večji kot navadno [5]. Porast se navadno pojavi šele po parih dneh hujše vročine. Pogosto slišimo opozorila, da ob zelo vročih dneh pazimo na zadostno rehidracijo, na naše najmlajše, starejše in živali. Med žrtvami posledic ekstremne vročine, se velikokrat znajdejo tudi aktivni prebivalci, saj se jim zdi, da vročina res ni nekaj, česar bi se bilo potrebno bati oz. se pred njo zavarovati. V resnici vpliva na vse izpostavljene, še posebno na nekatere najbolj ranljive skupine prebivalcev. Dejavniki, ki njihovo ogroženost povečujejo so predstavljeni kot dejavniki tveganja. Dejavniki tveganja za bolezni in povečano število umrlih zaradi izpostavljenosti vročini so starost (bolj ogroženi so starejši in otroci), zdravstveno stanje (bolj ogroženi so bolniki z obolenji, ki vplivajo na uravnavanje toplote v

telesu, mobilnost, sposobnost presojanja), socialno-ekonomski_status (npr. nizek socialno-ekonomski status, brezdomstvo, socialna izoliranost, slabši dostop do zdravstvenih ustanov) ter dejavniki iz okolja, kot so onesnaženost zraka in slabši bivalni pogoji, delo na prostem in bivanje v mestih [9].

Najpogostejše bolezni, ki se pojavljajo v času ekstremne vročine so vročinski izpuščaj in oteklina, izguba zavesti zaradi vročine in vročinski krči. Najbolj resni dve bolezni, pri katerih je čim hitrejši obisk zdravstvene ustanove ključnega pomena, saj lahko privedeta do smrti, sta vročinska izčrpanost in vročinska kap [5].

V magistrski nalogi želim preizkusiti nekatere najpogosteje uporabljene vročinske indekse v svetu na podatkih iz Slovenskih postaj. Z njihovo pomočjo želim določiti biometeorološko regionalizacijo Slovenije. Hipoteza, ki jo želim potrditi oz. ovreči je, da Slovenijo lahko razdelimo na 3 biometeorološka območja: primorsko, celinski del in pa visoke hribe. S pomočjo analize števila umrlih na dan v različnih slovenskih regijah, želim preveriti, kateri od indeksov, če sploh, daje statistično značilno korelacijo med povečano umrljivostjo in visokimi vrednostmi indeksov. S pomočjo najboljše korelacije bom poskušala ugotoviti, kateri izmed indeksov je najbolj primeren za uporabo v Sloveniji. S pomočjo podatkov o umrljivosti in izračunanih vrednostih indeksov bom poskusila postaviti definicijo vročinskega vala pri nas.

Magistrsko delo je razdeljeno v 6 poglavij. V drugem poglavju bom najprej opisala najpogosteje uporabljene indekse za opis vpliva vremena na počutje ljudi. V tretjem poglavju bodo opisani pridobljeni podatki in metode dela. Glavni del naloge sta poglavji 4 in 5, v katerih so zbrani vsi rezultati. Na koncu bodo ti rezultati obrazloženi in povezani v zaključke v poglavju 6.

2 Indeksi za opis vpliva vremena na počutje

Opis vremena na počutje človeka se izraža v t.i. toplotnem naporu. Obstajajo trije osnovni načini ocenjevanja toplotnega napora [12]. Najenostavnejši način je uporaba biometeoroloških indeksiov, t.i. indeksov udobja. Najbolj kompleksen pristop je s pomočjo indeksov, ki poskušajo opisati človeško energijsko bilanco. Najnovejši pristop pri opisu toplotnega napora ja sinoptično-klimatološka analiza.

Različnih indeksov je kar nekaj, vendar se bom v delu skoncentrirala zgolj na tiste, ki so namenjeni ocenjevanju vročine, ali pa so primerni tako za mraz kot za vročino. Kar nekaj jih bom izpustila, zaradi njihove odvisnosti od podatkov, ki se v Sloveniji ne merijo (npr. oblačnost).

2.1 Osnovni biometeorološki indeksi

2.1.1 Indeks vročine (ang. Heat index)

Indeks vročine, ki ga bom označevala *HI*, iz angleške verzije, združuje vpliv relativne vlažnosti in temperature zraka. Indeks določa navidezno temperaturo oz. temperaturo, ki jo dejansko občutimo. Spremenljivke potrebne za izračun indeksa vročine je prvi združil R.G. Steadman leta 1979. Sedanja oblika enačbe sledi predlogu L.P. Rothfusza [4]:

$$HI = -24.379 + 2.04901523\,T + 10.14333127\,RH - 0.22475541\,T \cdot RH - (6.83783 \times 10^{-3})\mathrm{T}^2 - (5.481717 \times 10^{-2})\mathrm{RH}^2 + (1.22874 \times 10^{-3})\mathrm{T}^2\mathrm{RH} + (8.5282 \times 10^{-4})\mathrm{T\,RH}^2 - (1.99 \times 10^{-6})\mathrm{T}^2\mathrm{RH}^2, \quad (2.1)$$

kjer sta T temperatura zraka v (°C) in *RH* relativna vlažnost.

Pri visoki relativni vlažnosti se zmanjša zmožnost izhlapevanja vode, kar pomeni, da toplota zapušča telo počasneje, kot v suhem vremenu. Posledično nam je seveda bolj vroče. Indeks vročine HI se uporablja v ZDA za izdajanje vročinskih alarmov. Tam je za temperaturo v uporabi enota Fahrenheit (F). Enačba 2.1 je primerna tako za F, kot za °C, saj je končna vrednost ocena tega, kakšno temperaturo občutimo, odvisna od tega, v kakšnih enotah vstavljamo podatke o temperaturah. Slaba stran indeksa je v tem, da ni uporaben tako za vročino kot mraz, saj je uporaben šele pri temperaturah višjih od 26 °C in vsaj 40 % relativni vlažnosti [5].

Slika 2.1 prikazuje vrednost indeksa vročine pri različnih temperaturah in vlažnostih, ter kakšna stopnja nevarnosti sledi iz te vrednosti indeksa.

temperatura [°C]

relativna vlažnost [%]

	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
40	27	28	29	30	31	32	34	35	37	39	41	43	46	48	51	54	57
45	27	28	29	30	32	33	35	37	39	41	43	46	49	51	54	57	
50	27	28	30	31	33	34	36	38	41	43	46	49	52	55	58		
55	28	29	30	32	34	36	38	40	43	46	48	52	55	59			
60	28	29	31	33	35	37	40	42	45	48	51	55	59				
65	28	30	32	34	36	39	41	44	48	51	55	59					
70	29	31	33	35	38	40	43	47	50	54	58						
75	29	31	34	36	39	42	46	49	53	58							
80	30	32	35	38	41	44	48	52	57								
85	30	33	36	39	43	47	51	55									
90	31	34	37	41	45	49	54										
95	31	35	38	42	47	51	57										
100	32	36	40	44	49	54											

previdnost
povečana previdnost
nevarnost
povečana nevarnost

Slika 2.1: Tabela izračunov toplotnega indeksa HI in pripadajoča stopnja nevarnosti. Vir: [13, 14].

2.1.2 Indeks vlažnosti (ang. humidity index oz. humidex)

Indeks vlažnosti, znan pod imenom *humidex*, se uporablja za izračun navidezne temperature v Kanadi. Za razliko od nekaterih drugih indeksov, za izračun uporablja temperaturo rosišča namesto temperature. Izoblikovala sta ga J.M. Masterson in F.A. Richardson leta 1979 [4], Kanada ga je prvič operativno uporabila leta 1965. Indeks *humidex* opisuje, kako vlažno vreme čuti človek. Enačba indeksa vlažnosti se glasi:

$$humidex = T + \frac{5}{9}\left(6.11 \times \mathrm{e}^{5417.7530\left(\frac{1}{273.16}-\frac{1}{\mathrm{T_d}}\right)} - 10\right), \tag{2.2}$$

kjer je T_d temperatura rosišča v Kelvinih (K). T ima enak pomen in enoto kot v enačbi 2.1.

Temperatura rosišča T_d se izračuna s pomočjo Clausius – Clapeironove enačbe, ki opisuje spremembe nasičenega tlaka vodne pare v odvisnosti od temperature [15]:

$$T_d = \left(\frac{1}{273.16} - \frac{461}{2.5\times10^6}\ln\left(\frac{e}{6.11}\right)\right)^{-1}, \tag{2.3}$$

kjer je

$$e = RH \cdot e_s \tag{2.4}$$

in

$$e_s = 6.11 \times \mathrm{e}^{5417.7530\left(\frac{1}{273.16}-\frac{1}{\mathrm{T}}\right)}, \tag{2.5}$$

kjer je T tokrat v K. Parametra e in e_s po vrsti označujeta parni tlak vodne pare (hPa) in nasičen parni tlak vodne pare (hPa).
Vednosti indeksa vlažnosti in pripadajoča stanja udobja so zbrani v tabeli 2.1.

Tabela 2.1: Vrednosti indeksa vlažnosti s pripadajočimi občutji udobja. Povzeto po [5].

Vrednost indeksa vlažnosti	**Udobje**
maj kot 29	udobno
30 - 39	Manjše neudobje
40 - 45	Zelo neudobno, izogibajmo se naporu
nad 45	nevarno
nad 54	Grozi vročinska kap

Za ekstremno visok indeks vlažnosti se štejejo vrednosti, ki so večje od 40. V takšnih razmerah naj bi se vse nepotrebne aktivnosti preložile na kasnejši čas. Vrednosti indeksa nad 35 pomenijo, da bi se morale nekatere zunanje aktivnosti upočasniti oz. spremeniti, odvisno od starosti osebe, njene fizične pripravljenosti, zdravja in vrste obleke, ki jo nosi [5].

Omembe vredno je, da je enačba za izračun indeksa matematično popolnoma nekorektna. Seštevanje temperature, ki je v °C in tlaka, ki je v hPa je popolnoma napačno matematično početje, enako velja za odštevanje skalarja 10, ki je brez enote [16].

Pravzaprav, če pozorno pogledamo, je taka večina indeksov, saj so to empirične formule, ki poskušajo širši javnosti približati, kakšno občutje bodo ustvarile različne vrednosti vremenskih spremenljivk.

2.1.3 Skupna efektivna temperatura (ang. Net effective temperature)

Efektivna temperatura je že nekaj let v uporabi na Kitajskem in na Portugalskem, ker je zelo primerna za operativne namene [5]. Prvič jo je predstavil A. Missenard že leta 1937, da bi vključil efekt relativne vlažnosti poleg temperature. Njegova oblika efektivne temperature je bila namenjena samo vročim dnem, zato jo je M. Gregorczuk nekoliko spremenil, in jo naredil primerno za vse vremenske razmere [12]. Formula, ki je še danes v uporabi na Kitajskem ima naslednjo obliko:

$$NET = 37 - \frac{37-T}{0.68-0.0014RH+\frac{1}{(1.76+1.4v^{0.75})}} - 0.29T(1-0.01RH), \tag{2.6}$$

kjer je v hitrost vetra v (m/s) in RH v (%).

Prednosti uporabe indeksa NET so povzete po [12]:

a) Relativno lahko ga je izračunati in interpretirati, kajti velika vrednost efektivne temperature pomeni veliko toplotno obremenitev.
b) Lahko ga uporabljamo tako za vroče dneve, kot tudi pozimi med hudim mrazom.
c) Njegova občutljivost je zelo podobna "wind-chill"-u in navidezni temperaturi, ki sta najpogosteje uporabljena indeksa za hladne in vroče dni.
d) Njegova vrednost se da napovedati, saj so meteorološke spremenljivke, ki se uporabljajo za izračun, napovedljive.
e) Efektivna temperatura je konsistentna z človeškim dojemanjem. V vročem vremenu se vrednost indeksa NET poveča, če se temperatura in/ali relativna vlaga poveča, zniža pa, če piha močnejši veter. V hladnem vremenu se vrednost NET manjša z nižanjem temperature in povečevanjem relativne vlažnosti in vetra.

2.1.4 Navidezna temperatura (ang. Apparent temperature)

Navidezna temperatura je splošen izraz za več biometeoroloških indeksov, ki poskušajo opisati zaznavno temperaturo, na podlagi izmerjene temperature in vlage, nekateri tudi hitrosti vetra. Primeri indeksov, ki spadajo v to skupino so: indeks vročine, indeks toplotne obremenitve, indeks vlažnosti, univerzalni toplotni klimatski indeks in indeks navidezne temperature [4]. V tem poglavju se bom ukvarjala z zadnjim. Tudi tega je prvi predstavil R.G. Steadman [4]. Navidezna temperatura (AT) je definirana kot temperatura pri referenčni vlažnosti, ki predstavlja isto mero neugodja, kot temperatura in vlažnost izmerjena v trenutku opazovanja. Navidezna temperatura predstavlja prilagoditev temperaturi zraka glede na vlažnost. Za referenčno stanje je izbrana absolutna vlažnost pri temperaturi rosišča 14°C, ker se pri tej vrednosti temperatura zraka le malo razlikuje od navidezne temperature. Če je vlaga višja od referenčne, potem bo AT višja od temperature zraka, ravno obratno se zgodi pri nižji vlažnosti. Dobra stran tega indeksa je v tem, da je uporaben na velikem temperaturnem intervalu in je tako uporaben tudi za zimske mesece, saj z njim dobimo tudi efekt navideznega mraza zaradi vetra pri nižjih temperaturah. Prvo verzijo navidezne temperature smo spoznali že pri indeksu vročine (2.6). Druga oblika, ki vsebuje veter ima obliko:

$$AT = T + 0.33e - 0.7v - 4. \tag{2.7}$$

V enačbi 2.7 imajo parametri T, e in v enak pomen in enote kot pri enačbah (2.1) in (2.6).

2.1.5 Indeks toplotnega presežka (ang. Excess heat index)

Toplotni presežek se pojavi ob dnevih, ko je vroče tako čez dan, kot tudi nadpovprečno toplo ponoči. Presežek se določi iz primerjave treh zaporednih povprečnih dnevnih temperatur z referenčno vrednostjo. Vrednost, ki je 95. percentil opazovanih dnevnih temperatur, velja za dan z velikim toplotnim presežkom oz. za vročinski val. Indeks toplotnega presežka je tako izražen kot dolgotrajna temperaturna anomalija. Povprečje treh dni je izbrano z razlogom, ker je

ugotovljeno, da ranljiva populacija postane občutljiva na vročino po treh dneh izpostavitve [17].

Kot že rečeno, klimatska referenčna vrednost za nastop toplotnega presežka, je 95. percentil opazovanih dnevnih temperatur, ki so opazovane v daljšem časovnem obdobju (več deset let). Sledeča pozitivna odstopanja od referenčne vrednosti pomenijo precejšen toplotni presežek oz. vročinski val.

Za izračun indeksa najprej izračunamo povprečne dnevne vrednosti temperature (PDT) v celotnem opazovanem večletnem časovnem obdobju (upoštevajoč vse dneve v letu) kot:

$$PDT = (T_{maks} + T_{min})/2 \tag{2.8}$$

Naredimo povprečje po treh zaporednih dnevih:

$$EHI_{sig} = (T_i + T_{i+1} + T_{i+2})/3 - T_{95}\,, \tag{2.9}$$

kjer je T_i - povprečna dnevna temperatura (PDT) i-tega dneva v °C. Vrednost T_{95} predstavlja 95. percentil povprečnih dnevnih temperatur v izbranem večletnem časovnem obdobju, prav tako v enotah °C.

V primerjavi z drugimi indeksi je indeks toplotnega presežka relativno nov, ker je bil izoblikovan v Avstralskem uradu za meteorologijo leta 2013 [17].

V skupino poenostavljenih biometeoroloških indeksov spada tudi tako imenovani indeks "windchill", ki se uporablja v hladni polovici leta in nam pove, kako hladno dejansko občutimo okolico zaradi prisotnosti vetra. Prav tako sem spada tudi indeks temperature mokrega termometra v sferi (ang. Wet-bulb globe temperature), ki ga ne bom omenjala zaradi manjkajočih podatkov za njegov izračun v Sloveniji. Indeks namreč za izračun potrebuje temperaturo, ki se meri v črni sferi. To je steklena bučka, ki je prebarvana z mat črno barvo, v kateri je termometer, ki meri temperaturo v bučki. Ta temperatura predstavlja seštevek vseh vrst sevanja in vetra. Takšne merite se v Sloveniji ne izvajajo, prav tako tudi v veliko drugih državah ne, zato so se v Avstraliji odločili, da bodo predstavili nekakšno oceno za izračun tega indeksa. Ta približek pa vsaj približno drži le v zelo specifičnih razmerah, zmerno sončno vreme z rahlim vetrom [5].

2.1.6 Psevdo ekvivalentna temperatura

Indeks psevdo ekvivalentna temperatura se pojavlja v učbeniku za medicinsko meteorologijo [18]. Je tudi izbrani indeks pri študiji vročega poletja 2013 na spletni strani ARSO, najverjetneje, ker ga pozna medicinska stroka. Psevdo ekvivalentna temperatura povezuje vpliv temperature in absolutne vlažnosti. Definirana je kot [9]

$$PET = T + 1.5e \tag{2.10}$$

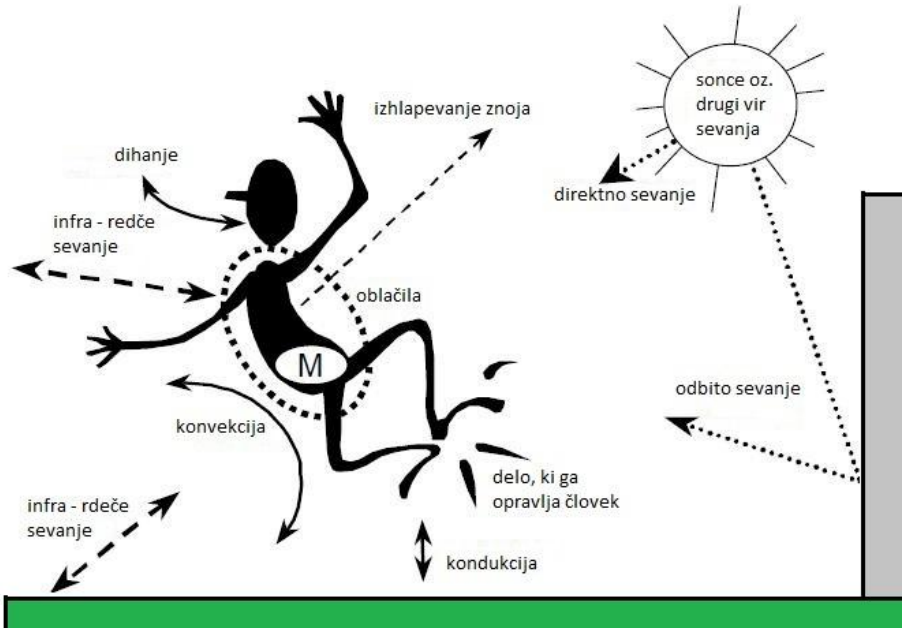
V enačbi 2.10 imata parametra T in e enak pomen in enote kot pri enačbah (2.1) in (2.6). Sama omenjenega indeksa ne bom preverjala, kot že rečeno, ker ni omenjen v nobeni literaturi, kot indeks, ki bi se uspešno uporabljal pri izdajanju opozoril na vročino. Tudi psevdo ekvivalentna temperatura fizikalno gledano nima enote, se pa tudi tu končna vrednost interpretira v °C.

2.2 Modeli za izračun toplotne bilance človeka

V to skupino spadajo modeli, ki skušajo čim bolj natančno opisati toplote tokove med človekom in okolico. Zaradi tega so najbolj obsežni in po večini najbolj vprašljivi, saj vključujejo veliko predpostavk o npr. obleki, velikosti in teži človeka, metabolični vrednosti. Edina država, ki dejansko vsak dan računa celotni toplotni model človeka je Nemčija, ki uporablja model Klima-Michel [19]. To je že relativno star model, ki predpostavlja lastnosti povprečnega človeka Michela. Michel moški, star 35 let, velik 1,75 m in težak 75 kg. Predpostavljene ima tudi nekatere druge dejavnosti (delo, ki ga opravlja, hitrost hoje…). Torej je to popolnoma ne-reprezentativen model za otroke in starejše, ki so navadno ob vročini najbolj obremenjeni.

Toplotno bilanco med človekom in okolico zapišemo s pomočjo energijske bilance, ki ni nič drugega, kot prvi zakon termodinamike. Za razumevanje enačbe ravnovesja si lahko pomagamo s sliko 2.2.

$$M - W - \left[Q_T(T,v) + Q^*\left(T_{pst},v\right)\right] - \left[Q_L(e,v) + Q_z(e,v)\right] - Q_d(T,e) \pm S = 0, \tag{2.11}$$



Slika 2.2: Toplotna bilanca človeka. Vir: [5].

kjer so: M – metabolična stopnja (aktivnost), W – mehanična moč (neke vrste aktivnost), S – skladiščenje (spreminjanje vsebnosti toplote v telesu), Q_T - turbulentni tok zaznavne toplote, Q^* - sevalni prispevek, Q_L - turbulentni tok latentne toplote (vodna para), Q_z - turbulentni tok latentne toplote (izhlapevanje znoja), Q_d - toplotni tok dihanja (zaznavna in latentna). Vse te količine imajo enoto W/m^2.

Meteorološke spremenljivke potrebne za izračun sevalne bilance so temperatura zraka, tlak vodne pare, hitrost vetra in T_{pst} - povprečna sevalna temperatura, ki vključuje kratko in dolgo valovno sevanje.

Prav poznavanje T_{pst} predstavlja problem večine modelov sevalne bilance. Za oceno te temperature se namreč potrebuje količino oblačnosti in količino srednjih, nizkih in visokih oblakov.

Pet najpogosteje uporabljenih indeksov sevalne bilance, ki jih podrobno ne bom opisovala, ker jih tudi ne bom preverjala so: Standardna efektivna temperatura (ang. Standard effective temperature), Predvidena povprečna vrednost (ang. Predicted mean vote), Zaznavna temperatura (ang. Percived temperature), Fiziološka ekvivalentna temperatura (ang. Physiological equivalent temperature), Univerzalni toplotni klimatski indeks (ang. Univrsal termal climate index – UTCI) [5].

2.3 Sinoptično - klimatološka klasifikacija

2.3.1 Indeks toplotnega presežka z upoštevanjem aklimatizacije (ang. Excess heat indeks-acclimatization)

Indeks toplotnega presežka z upoštevanjem aklimatizacije lahko v literaturi najdemo tudi pod imenom toplotna obremenitev (ang. Heat stress). Izvira iz opažanj, da se pojavljajo dnevi, ki so toplejši od nedavne preteklosti. Podobno kot pri indeksu toplotnega presežka, tudi tukaj pogledamo povprečne dnevne temperature treh zaporednih dni in jih primerjamo z povprečno dnevno temperaturo predhodnih 30 dni. Indeks tako izraža kratko časovno anomalijo temperature. Ker primerja vrednosti z poprečno vrednostjo tridesetih predhodnih dni, upošteva morebitno kratko-časovno aklimatizacijo. Človek se na višje temperature aklimatizira nekje med dvema in šestimi tedni. Oblika opisanega indeksa je sledeča:

$$EHI_{akl} = (T_i + T_{i+1} + T_{i+2})/3 - (T_{i-1} + \cdots + T_{i-30})/30, \qquad (2.12)$$

Vrednost EHI_{akl} nam pove stopnjo toplotnega napora, ki je predstavljena kot temperaturna anomalija, v primerjavi z povprečjem predhodnih trideset dni. Enota indeksa je °C. Tako kot indeks toplotnega presežka je tudi to relativno nov indeks iz leta 2013 in izvira iz Avstralije [17].

2.3.2 Faktor toplotnega presežka (ang. Excess heat factor)

Še zadnji najnovejši indeks, prav tako iz Avstralije je faktor toplotnega presežka [17]. Pravzaprav ta faktor združuje oba prejšnja nova indeksa, ki so jih predstavili v Avstraliji, z namenom definicije vročinskega vala pri njih. Faktor toplotnega presežka združuje intenziteto, trajanje in obremenitev v času vročinskega vala. V Avstraliji vročinski val obstaja, ko je količina EHF pozitivna. Definicija faktorja toplotnega presežka je sledeča:

$$EHF = EHI_{sig} \times \max(1, EHI_{akl}). \qquad (2.13)$$

Enota indeksa EHF je $°C^2$, saj imata oba indeksa, ki se uporabljata pri izračunu, enoto °C. Število 1 v členu $\max(1, EHI_{akl})$, pomeni 1°C. Vročinski vali, ki so šibki, povzročijo malo amplitudo dogodkov EHF. Ko se EHI_{sig} in EHI_{akl} povečujeta, se njun produkt odziva kvadratično na povečevanje vročinskega napora.

Glede na to, ali nas zanimajo pretekli ali prihodnji dogodki v enačbah (2.10) in (2.12) lahko uporabimo pretekle oz. prihajajoče tri dneve.

Če povzamem, faktor toplotnega presežka je pozitiven, če je EHI_{sig} pozitiven (opazovana tridnevna perioda je vroča glede na absolutno vrednost, torej je nad 95. percentilom dnevne povprečne temperature), poleg tega je EHF velik, ko je povprečna tridnevna perioda toplejša kot predhodnih trideset dni. EHF se po enačbah (2.9), (2.11) in (2.12) izračuna za prvi dan, od opazovanih treh. Če vročinski val traja dlje od ene tridnevne periode, se toplotna obremenitev dogodka definira kot vsoto sledečih si pozitivnih vrednosti EHF [17].

Za konec sem v tabeli združila vse podrobneje opisane indekse, vhodne meteorološke spremenljivke potrebne za izračun posameznega indeksa in pripadajočo enoto. Štirje indeksi so fizikalno brez enote, se pa njihove vrednosti interpretirajo kot vrednosti temperature v °C v danih vremenskih razmerah.

Tabela 2.2: Seznam vseh vročinskih indeksov, njihovih vhodnih podatkov in enot.

INDEKS	VHODNI PODATKI	ENOTA
HI	T, RH	/
$humidex$	T, RH	/
NET	T, RH, v	/
AT	T, RH, v	/
EHI_{sig}	T	$°C$
EHI_{accl}	T	$°C$
EHF	T	$°C^2$

3 Podatki in metode dela

3.1 Meteorološki podatki

Pri delu so uporabljeni meteorološki podatki iz arhiva ARSO. Za različne dele Slovenije sem vzela po eno postajo z najdaljšim nizom podatkov. Izbrane glavne postaje so Murska Sobota, Maribor, Celje, Novo mesto, Ljubljana, Rateče, Bilje in Letališče Portorož. Za primerjavo vročine v velikih mestih in bližnjem, bolj zelenem okolju, sem izbranim postajam dodala še dve postaji, ki se nahajata na letališčih. To sta letališče Jožeta Pučnika in letališče Edvarda Rusjana (primerjava Ljubljane z okolico in Maribora z okolico).

Za večino postaj sem imela na razpolago podatke od januarja 1950 do decembra 2015. V tabeli 3.1 so zbrane vse postaje in točni datumi začetka in konca niza uporabljenih meteoroloških podatkov.

Tabela 3.1: Uporabljena časovna obdobja podatkov na posameznih meteoroloških postajah

Postaja	Obdobje
Bilje	2.4.**1962** – 30.11.2015
Celje	1.1.1950 – 30.11.2015
Letališče Jožeta Pučnika Ljubljana	21.1.**1963** – 30.11.2015
Letališče Edvarda Rusjana Maribor	1.1.**1977** – 30.11.2015
Letališče Portorož	1.1.**1987** – 30.11.2015
Ljubljana	1.1.1950 – 30.11.2015
Maribor	1.1.1950 – 31.10.2015
Murska Sobota	1.1.1950 – 30.11.2015
Novo mesto	1.1.**1951** – 30.11.2015
Rateče	1.1.1950 – 30.11.2015

V poglavju 2 sem med opisovanjem indeksov omenila, da bom uporabljala samo indekse, ki jih je s podatki, ki se merijo v Sloveniji možno izračunati. Za izračun vseh indeksov sem potrebovala temperaturo zraka, za nekatere tudi relativno vlažnost in veter. Oba sta bila pri vseh indeksih povprečni dnevni vrednosti. Dnevna povprečja se izračunajo kot povprečje izmerjenih vrednosti ob 7., 14. in 21. uri po sončnem (približno zimskem) času. Pri povprečni dnevni temperaturi večerno meritev uporabimo dvakrat:

$$\bar{T} = \frac{T(7)+T(14)+2\cdot T(21)}{4}, \tag{3.1}$$

kar je zelo stara, vendar zelo pogosto uporabljena metoda. Pri indeksih, ki so potrebovali dnevno povprečno temperaturo, sem tako uporabljala povprečno vrednost, ki se standardno že od nekdaj uporablja in računa, ne pa vrednosti po enačbi (2.9). Sicer so vrednosti izračunane po formulah (2.9) in (3.1) zelo podobne.

Za primerjavo, kako vroči so bili dnevi, povprečna dnevna temperatura ni dober približek, saj nas najbolj zanima, kako zelo vroče in naporno je bilo v najbolj vročem delu dneva. Zato sem pri izračunih indeksov uporabljala maksimalno dnevno temperaturo. S tem sem ocenila, kako visoke vrednosti so dosegli različni indeksi v najbolj vročem delu dneva.

Problem manjkajočih podatkov za katerokoli spremenljivko, za katerikoli dan, so na ARSO rešili tako, da so tisti dan v celoti izbrisali iz določenega merilnega mesta.

Vročinski valovi se pojavljajo v poletnem času, in so še posebej nevarni v začetku sezone, ko človeško telo še ni pripravljeno na hudo vročino. Indekse sem zato računala od začetka meseca maja, pa do konca meseca septembra. Nekateri indeksi so primerni za napoved in analizo izjemnega mraza in bi jih lahko računala za celo leto, vendar me to v magistrski nalogi ni zanimalo, zato sem indekse računala samo za omenjenih pet mesecev.

3.2 Podatki o umrljivosti

Da bi preverila, ali se je tudi v Sloveniji med izjemno visokimi temperaturami povečalo število smrti, sem pridobila podatke o številu umrlih na dan. Za Slovenijo, ki je izredno mala država, v kateri dnevno umre v povprečju 55 ljudi, bi bili mogoče bolj primerni podatki o obisku urgence. Vendar ti podatki obstajajo samo v pisni obliki v arhivu, tako da sem uporabila podatke, ki so na razpolago. Dobila sem jih na Nacionalnem inštitutu za javno zdravje (NIJZ). Časovno obdobje teh podatkov je precej krajše, kot meteorološko, ker so podatki digitalizirani in lepo urejeni samo od leta 1995 naprej. V dogovoru med ARSO in NIJZ, je slednji pripravil podatke, od leta 2003 do vključno leta 2011, saj so vročinski valovi v zadnjem času precej pogostejši in močnejši. Na inštitutu imajo smrtnosti sicer ločene glede na diagnoze, starost, spol in po pokrajinah.

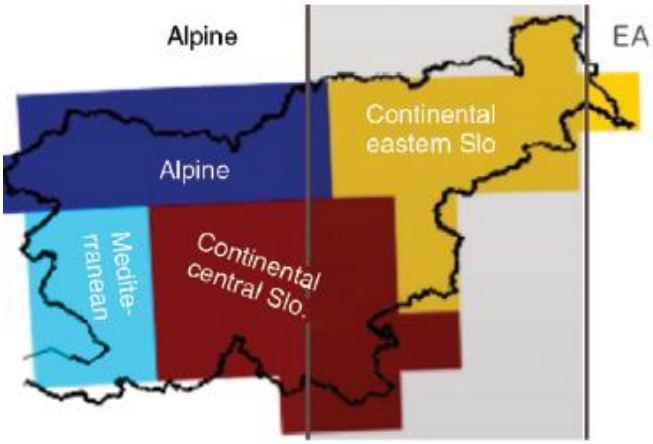
Glede na to, da je število vseh smrtnih žrtev v Sloveniji okoli 55 na dan, smo kmalu ugotovili, da bom imela premalo podatkov, če bom smrti razdelila po vzrokih. Pričakovala sem tudi probleme zaradi razvrščanja po pokrajinah. Tudi če bi količina podatkov zadoščala za statistično obdelavo v osrednji Sloveniji, težko pričakujemo zadostno število podatkov za npr. goriško.

Podatki o številu umrlih so razdeljeni v 12 statističnih regij, ki so standardne v zdravstvu: pomurska, podravska, koroška, savinjska, zasavska, spodnje-posavska, jugovzhodna Slovenija, osrednjeslovenska regija, gorenjska, notranjsko-kraška, goriška, obalno-kraška. Posamezne regije sem povezala z meteorološkimi postajami na sledeči način:

Tabela 3.2: Povezava meteoroloških postaj z statističnimi regijami v zdravstvu

Meteorološka postaja	**Statistična regija**
Ljubljana	osrednjeslovenska
Maribor	podravska
Novo mesto	jugovzhodna Slovenija
Murska Sobota	pomurska
Bilje	goriška
Rateče	gorenjska
Celje	savinjska
Letališče Portorož	obalno-kraška

Število meteoroloških postaj je manjše, kot statističnih regij, zato so nekatere regije (koroška, zasavska, spodnje-posavska, notranjsko-kraška) ostale brez reprezentativnih meteoroloških postaj. Sicer klimatološke študije delijo Slovenijo na štiri dele [20], tako da lahko pričakujemo, da so izbrane meteorološke postaje zadostne za opis regionalnih značilnosti.



Slika 3.1: Klimatološka regionalizacija Slovenije po [20]: Delimo jo na primorsko, alpski svet, osrednji kontinentalni del in vzhodni kontinentalni del.

3.3 Statistične metode obdelave podatkov

Za podatke sem določila nekaj osnovnih statističnih lastnosti. Povprečno vrednost oz. pričakovano vrednost (tudi srednja vrednost, aritmetična sredina) izračunamo kot:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_i^n x_i \ , \tag{3.2}$$

kjer je x_i posamezni podatek v našem setu, n pa število vseh podatkov. Slabost povprečne vrednosti je v tem, da se ta značilno spreminja, če imamo veliko podatkov, ki močno odstopajo od povprečja (ang. outliers) oz. če je niz podatkov prekratek. Zato je nekoliko boljša ocena mediana. To vrednost dobimo, če podatke razvrstimo po vrstnem redu. Vrednost točno sredinskega podatka je naša mediana. Če je dolžina našega seta podatkov ravno sodo število, je mediana povprečje sredinskih dveh členov. Vrednost, ki se v naših podatkih pojavlja najpogosteje, imenujemo mod.

Standardni odklon nam pove, kako so razpršene meritve okoli povprečne vrednosti. Ta se izračuna kot:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2} \tag{3.3}$$

Ali obstaja povezava med dvema količinama, najlažje ugotovimo, če izračunamo njun korelacijski koeficient. Ta nam pove, ali sta dve količini med seboj povezani linearno. Korelacijski koeficient zavzema vrednosti med -1 in 1, kjer pomeni -1 negativno linearno povezanost, torej, če se ena spremenljivka poveča, se druga zmanjša. Vrednosti blizu 1 nam povejo, da če se prva količina poveča, se bo tudi druga. Vrednosti koeficienta korelacije blizu 0 pomenijo, da ni linearne povezanosti med dvema opazovanima spremenljivkama. Kar pa ne pomeni, da nista povezani, le povezava ni linearna.

Koeficient korelacije med spremenljivkama X in Y izračunamo s pomočjo sledeče formule:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n\ \sigma_x \sigma_y} \tag{3.4}$$

Ali koeficient korelacije podaja statistično značilno linearno povezavo med dvema količinama ugotovimo tako, da preizkusimo ničelno hipotezo, ki je, da linearna povezava obstaja. Alternativna hipoteza je, da te povezave ni. Uporabimo T statistiko:

$$T = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}, \tag{3.5}$$

Ta statistika ima $\upsilon = n - 2$ prostostne stopnje. Izberemo si še interval zaupanja (v navadi je 95%), in če se T vrednost nahaja v intervalu, potem ničelne hipoteze ne moremo zavrniti. Vedno pa obstaja neko malo tveganje, da linearna povezava med spremenljivkama ne obstaja. Če spremenljivki nista v linearni povezavi, poskušamo nelinearnost nekako preoblikovati v linearno enačbo. Če preoblikovanje ni možno, potem po opisanem postopku ne moremo ugotavljati ali povezava med dvema spremenljivkama obstaja [21].

Če nas zanimajo samo določene npr. zelo visoke vrednosti, se pogosto poslužujemo računanja percentilov. Pri njih so naši podatki, ki so razporejeni po

velikosti razdeljeni na 100 enakih delov. Izbrana vrednost percentila nam pove, kje se nahajam, oz. kolikšen delež podatkov je manjši oz. večji od izbrane vrednosti. Če me zanima samo največjih 10% podatkov, potem izračunam 90. percentil. Poznamo več metod izračuna percentila, opisala bom le eno, tisto, ki jo pri izračunih uporablja programski paket Matlab, saj sem si z njim pomagala pri vseh statističnih obdelavah in vizualizaciji rezultatov.
X je vektor podatkov dolžine $n+2$. Izbrani percentil se izračuna sledeče:
- vrednoti razporejene po vrsti v vektorju X so $100(0.5/n)$, $100(1.5/n)$, ..., $100((n-0.5)/n)$ percentili.
- za izračun percentilov med $100(0.5/n)$ in $100((n-0.5)/n)$ se uporabi linearna interpolacija. Najlažje jo je razložiti kar na primeru. Če $100(1.5/n)$-ti percentil označim kot $y_{1.5/n}$ in $100(2.5/n)$-ti kot $y_{2.5/n}$, potem linearna interpolacija poišče npr. $100(2.4/n)$-ti percentil kot:

$$y_{2.4/n} = y_{1.5/n} + \frac{\left(\frac{2.4}{n}-\frac{1.5}{n}\right)}{\left(\frac{2.5}{n}-\frac{1.5}{n}\right)}(y_{2.5/n} - y_{1.5/n}) \tag{3.6}$$

- minimalna in maksimalna vrednost v našem vektorju podatkov se pripišeta percentilu izven omenjenega obsega [22].

Pri grafičnem prikazu velike količine npr. časovnih podatkov, se pogosto poslužujemo metod, s katerimi poskušamo nekako zgladiti močno razgibane meritve. Zelo pogosto se uporablja *i*-dnevno drseče povprečje, kjer je *i* izbrano število podatkov npr. dni. Drseče povprečje izberemo glede na to, katera časovna ali prostorska slaka nas zanima. Lahko so to več dnevne, par minutne, nekaj sekundne variacije. Če si izberemo npr. 3-dnevno drseče povprečje, bodo naši podatki zglajeni tako, da bo naš *j*-ti podatek povprečje vrednosti na mestih *j-2, j-1* in *j*. Variabilnost opisano s prvimi tremi podatki tako izgubimo.

Raztros podatkov okoli povprečne vrednosti najlepše prikažejo okvirji z ročaji. V vsakem okvirju sredinska rdeča črta označuje mediano, kar je 50 odstotna vrednost, zgornji in spodnji del modrega kvadratka sta 75 in 25 odstotni vrednosti. Z navpičnimi črtami, oz. ročaji, so označeni najbolj ekstremni podatki, ki se ne obravnavajo kot osamelci, le ti so označeni posamično z rdečimi križci [23].

3.3.1 Določanje parametrov porazdelitve

Posamezne porazdelitve so določene s svojimi parametri, ki jih iz vzorca lahko ocenimo na dva načina. Točkovno, kjer ima naš parameter eno vrednost, in intervalno, kjer z neko stopnjo zaupanja $(1-\alpha)$ določimo interval v katerem se pojavlja naša ocena parametra. α označuje stopnjo tveganja. Navadno si izberemo 95% interval zaupanja. Če se odločimo, da bomo ocenjevali točkovno, se je za zelo primerno metodo izkazala metoda največjega verjetja, pri kateri ocenimo parameter tako, da je verjetnost posameznega vzorca iz populacije največja. Zelo pogosto se uporablja tudi metoda intervala zaupanja, saj nam ta poda točnost same ocene [21].

Pri iskanju primerne porazdelitve je poleg izbire primerne metode za oceno parametrov pomembna tudi sama predpostavka o družini porazdelitve, kamor naj bi spadal naš vzorec podatkov. Po oceni parametrov moramo vedno oceniti tudi kakovost ujemanja med teoretično in empirično porazdelitvijo. Na koncu moramo

izvesti statistični test, ki nam pomaga testirati hipotezo, ali naš vzorec res izhaja iz predpostavljene porazdelitve [24].

3.3.2 Metoda intervala zaupanja

Pri velikem vzorcu podatkov, lahko z veliko verjetnostjo trdimo, da je povprečje porazdeljeno normalno [21]. Če nas zanima standardni 95% interval zaupanja, potem se bo povprečna vrednost z 0.95 verjetnostjo nahajala v intervalu širine:

$$\left(\bar{x} - 1{,}96\frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}\,,\ \ \bar{x} + 1{,}96\frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}\right) \tag{3.7}$$

Tudi za oceno standardnega odklona, lahko zapišemo interval, v katerem bo naša ocena, s stopnjo tveganja 0.05. Zapiše se sledeče

$$\left(\sigma_x - 1{,}96\frac{\sigma_x}{\sqrt{2n}}\,,\ \ \sigma_x + 1{,}96\frac{\sigma_x}{\sqrt{2n}}\right). \tag{3.8}$$

3.3.3 Preizkušanje hipotez

S pomočjo statističnih testov ugotavljamo, ali je naša hipoteza o npr. porazdelitvi podatkov, pravilna. Preverjamo lahko tudi predpostavke o parametrih porazdelitve, o tem, ali so naši vzorci podatkov med sabo povezani in kako so povezani itd.

Navadno moramo najprej določiti ničelno hipotezo ali domnevo H_0, in pa njeno alternativo H_1, ki je navadno negacija ničelne. Če ugotovimo statistično značilnost prve hipoteze, potem jo sprejmemo, če pa ugotovimo, da z neko dovolj veliko gotovostjo lahko zavrnemo ničelno hipotezo, potem je sprejeta alternativna. Pred preverjanjem si izberemo tudi gotovost oz. stopnjo tveganja α, s katero želimo analizirati.

Pogosto se poslužujemo prilagajanja matematične ali porazdelitvene funkcije podatkom. To prilagajanje pa ni nujno, da je statistično dovolj dobro, pa tudi če se po subjektivni oceni zdi, da funkcija dovolj dobro sledi podatkom. Da se prepričamo, ali je naša funkcija res statistično zadovoljivo prilagojena podatkom, si lahko pomagamo z testom HI-kvadrat, ki je zelo široko uporaben. Za nekoliko manjše vzorce je primernejši test Kolmogorov-Smirnov, ki pa je primeren le za testiranje zveznih porazdelitev [21].

a) Test HI-kvadrat

Test HI-kvadrat bom uporabljala pri testiranju ujemanja teoretične porazdelitve s podatki. Za uporabo testa je pomembno podatke najprej razdeliti v razrede. In prav od izbire števila in širine razredov je odvisna testna statistika, ki ima obliko

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{K} \frac{(x_i - f_{ti})^2}{f_{ti}}, \tag{3.9}$$

kjer je K število razredov, x_i so podatki, f_{ti} pa vrednosti porazdelitvene funkcije. Porazdelitev *HI*-kvadrat ima parameter υ, ki predstavlja prostostne stopnje $\upsilon = K - \rho - 1$. Vidimo, da je število prostostnih stopenj odvisno od števila razredov in od

števila parametrov ρ, naše porazdelitve. Za pravilno delovanje testa moramo podatke razdeliti v najmanj 5 razredov [21].

Poleg testa HI-kvadrat lahko izračunamo nekaj osnovnih ocen, katere so nam v pomoč pri oceni kvalitete prilagajanja. To so:

sse (ang. The sum of squares due to error) – vsota kvadratov napak. Če je to število blizu 0, potem to pomeni, da ima model majhno naključno napako in da bo model, v našem primeru kvadratna krivulja zelo primerna za napovedovanje, v našem primeru, povprečnega števila smrti na dan v posameznem mesecu.

rsquare – R^2, to je razmerje med varianco regresije in skupno varianco (vsoto variance napake in variance napovednih meritev). Vrednost bližje 1 pomeni, da je bil pri modelu upoštevan velik delež varianc okoli povprečja. Primer: vrednost 0.80, pomeni, da prilagajanje razloži 80% vseh varianc podatkov okoli povprečja.

adjrsquare (ang. Adjusted R-square) – prirejeni R^2. Ta vrednost najbolje pokaže kako dobro je prilagajanje podatkom, saj vrednosti blizu 1 pomenijo boljše prilagajanje. Če se pojavi negativna vrednost, potem to pomeni, da so v modelu vrednosti, ki ne pomagajo k napovedi odziva.

rmse (ang. Root mean square error) – koren kvadrata napak. Vrednosti bližje 0 pomenijo, da je prilagojeni model primernejši za napovedovanje.

b) Test Kolmogorov-Smirnov

Test Kolmogorov-Smirnov uporabljamo, kadar želimo preveriti ujemanje med teoretično in empirično funkcijo (enosmerni test). Zelo pogost se uporablja dvosmerni test, ki med sabo primerja empirični porazdelitveni funkciji dveh različnih vzorcev. S testom lahko sprejmemo ali ovržemo ničto hipotezo, da dva vzorca prihajata iz iste porazdelitve [23]. Slaba stran testa je v tem, da je primeren le za zvene porazdelitve, prednost pa predstavlja dejstvo, da je uporaben tudi pri majhnih vzorcih. Test analizira samo maksimalno odstopanje med empiričnima ($F_{1,n}(x)$ in $F_{2,n'}(x)$) oz. med empirično in teoretično funkcijo vzorca [21].

$$D_{n,n'} = \max_x |F_{1,n}(x) - F_{2,n'}(x)| \tag{3.10}$$

Empirično porazdelitveno funkcijo določimo na sledeč način

$$F_{1,n}(x) = i/n. \tag{3.11}$$

Ničta hipoteza se zavrne z 5% tveganjem, ko velja

$$D_{n,n'} > 1.36\sqrt{\frac{n+n'}{nn'}}, \tag{3.12}$$

kjer sta n in n' velikosti prvega in drugega vzorca.

c) T - test

Test T je uporaben za testiranje parov podatkov, za katere nas zanima, ali prihajajo iz iste populacije. Za razlike med enim in drugim vzorcem podatkov $D_i = x_i - y_i$, je predpostavljeno, da sledijo normalni porazdelitvi. Domneva, ki jo preverjamo je, da vzorca prihajata iz iste populacije in da je mediana njunih razlik D_i enaka nič. Pred uporabo statistike testa moramo najprej poračunati vse

razlike med n pari podatkov. Iz vseh razlik izračunamo povprečje $\overline{D}$ in pa disperzijo

$$S^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(D_i - \overline{D})^2}{n-1}. \tag{3.13}$$

Ko imamo vse to izračunano se lahko lotimo t- statistike:

$$t = \frac{\overline{D}}{\sqrt{S^2/n}} \tag{3.14}$$

Našo domnevo lahko zavržemo v primeru, če $|t| > t_{1-\alpha/2,\ n-1}$, kjer je α stopnja tveganja. To vrednost poiščemo v tabeli Studentove T- porazdelitve [21].

3.3.4 Povratne dobe

Časovni interval v katerem pričakujemo, da se bo nek pojav z določeno intenziteto zgodil imenujemo povratna doba. Pojav s 5 letno povratno dobo bo imel 20% verjetnost, da se bo zgodil v tekočem letu. Izračun povratnih dob ekstremnih dogodkov se zelo pogosto uporablja pri oceni pogostosti pojavljanja izjemnih količin padavin in z njim v povezavi z velikimi poplavami. Za oceno ekstremnih vrednosti, v finančnem svetu, pri zavarovanju in pri mnogih okoljskih znanostih, se je razvila cela teorija ekstremnih vrednosti. Tudi ekstremne temperature niso nikakršna izjema, čeprav se njihove povratne dobe v literaturi pojavljajo nekoliko redkeje [21].

Pogostost pojavljanja nekega dogodka najpogosteje ocenimo na enoto enega leta, zato so tudi podatki s katerimi izračunamo dobe, navadno maksimalne letne vrednosti te količine. Načinov kako izračunamo povratne dobe je več. V delu so ocenjene s pomočjo poenostavljene porazdelitve ekstremnih vrednosti (ang. Generalized extreme value (GEV) distribution). Ta porazdelitev sicer združuje starejše tri pogosto uporabljene porazdelitve, katere so dobro opisale porazdelitve ekstremnih vrednosti. To so Gumbelova, Frechetova in Weibullova porazdelitev, ki se pogosto imenujejo tudi porazdelitve ekstremnih vrednosti tipa I, II in III. Porazdelitev GEV je popolnoma določena s svojimi tremi parametri. To so parameter oblike (k), lokacije (μ) in merila (σ). Kumulativna porazdelitvena funkcija za porazdelitev GEV je oblike

$$F(x;\mu,\sigma,k) = \exp\left\{-\left[1 + k\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-1/k}\right\}, \tag{3.15}$$

pri kateri mora biti $\sigma > 0$ in $1 + k(x-\mu)/\sigma > 0$ [23].

Letnim maksimalnim vrednostim prilagodimo porazdelitev GEV, od koder dobimo ocene, s pomočjo metode največjega verjetja, za vse tri parametre, ki določajo porazdelitev GEV. Iz ocen parametrov, lahko vrednost izbrane povrtane dobe dogodka, ocenimo po spodnji enačbi

$$r_m = \mu + \frac{\sigma}{k}([-\ln(1-m)]^{-k} - 1), \tag{3.16}$$

kjer m označuje m-letno povratno dobo, za izbran dogodek.

4 Določanje vročinskih indeksov v Sloveniji

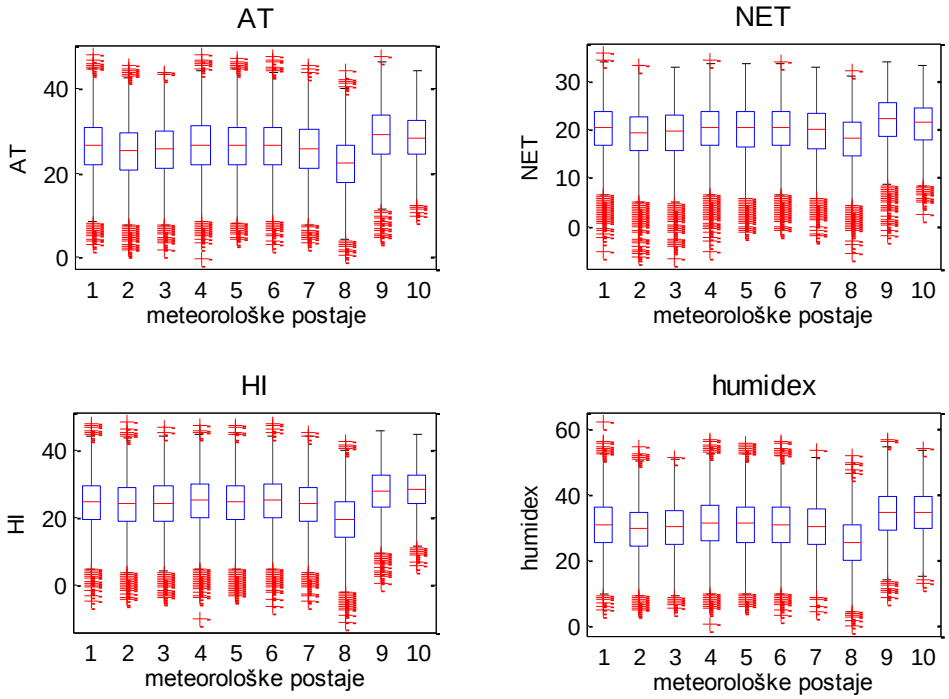
4.1 Izračun indeksov iz podatkov na postajah

Iz pridobljenih podatkov za deset različnih meteoroloških postaj po Sloveniji, sem izračunala vrednosti sedmih podrobneje opisanih indeksov vročinskega napora iz poglavja 2 za mesece maj, junij, julij, avgust in september. V spodnji tabeli so zbrane povprečne vrednosti in standardni odkloni za vse postaje in vse indekse.

Tabela 4.1: Povprečne vrednosti in standardne deviacije vseh indeksov na vseh postajah

		INDEKSI						
POSTAJA		AT	EHF	HI	NET	humidex	EHI_{accl}	EHI_{sig}
Murska Sobota	povp.	26,251	-7,435	24,413	20,057	30,839	1,884	-4,639
	STD	6,567	9,254	7,411	5,172	7,705	3,623	3,627
Maribor	povp.	25,072	-7,449	23,810	18,831	29,665	1,867	-4,747
	STD	6,398	9,949	7,413	5,271	7,375	3,702	3,704
Let. E. Rusjana	povp.	25,430	-10,829	24,077	19,048	30,101	3,420	-4,778
	STD	6,470	12,511	7,441	5,389	7,442	3,687	3,691
Celje	povp.	26,433	-6,743	24,612	20,045	31,068	1,378	-4,642
	STD	6,560	7,958	7,435	5,097	7,774	3,601	3,605
Novo mesto	povp.	26,309	-9,987	24,503	19,835	31,019	3,074	-4,763
	STD	6,532	11,587	7,411	5,214	7,653	3,689	3,693
Ljubljana	povp.	26,293	-6,918	24,681	19,979	30,767	1,391	-4,862
	STD	6,381	8,688	7,394	4,979	7,481	3,710	3,712
Let. J. Pučnika	povp.	25,695	-12,639	23,715	19,492	30,130	4,204	-4,687
	STD	6,432	12,980	7,368	5,061	7,542	3,593	3,594
Rateče	povp.	22,095	-6,904	19,137	17,814	25,400	1,601	-4,609
	STD	6,363	7,933	7,696	4,961	7,412	3,585	3,586
Bilje	povp.	28,937	-19,752	27,871	21,791	34,371	4,638	-5,924
	STD	6,348	11,766	6,727	4,910	7,346	3,493	3,498
Portorož	povp.	28,331	-24,142	28,373	21,115	34,365	5,731	-5,800
	STD	5,595	12,976	6,202	4,545	6,678	3,377	3,401

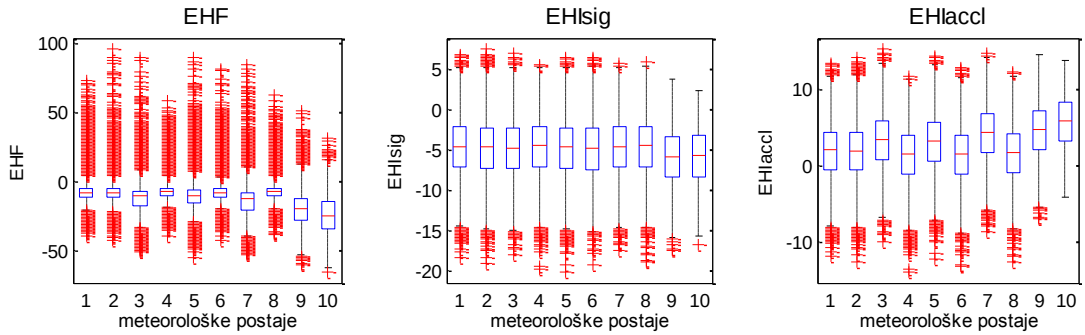
Izrisala sem okvirje z ročaji, ki pokažejo, kako se kvantili posameznega indeksa razlikujejo na različnih postajah.



Slika 4.1: Grafični prikaz kvantilov za indekse *AT, NET, HI* in *humidex* na izbranih meteoroloških postajah po Sloveniji. Postaje so označene s številkami 1 – Murska Sobota, 2 – Maribor, 3 – Letališče E. Rusjana Maribor, 4 – Celje, 5 – Novo mesto, 6 – Ljubljana, 7 – Letališče J. Pučnika Ljubljana, 8 – Rateče, 9 – Bilje, 10 – Letališče Portorož.

Pri indeksih *AT, NET, HI* in *humidex* vidimo, da povsod odstopa postaja Rateče. Nekoliko nižje vrednosti za to postajo so pričakovane, saj se postaja nahaja na nadmorski višini 864 m, v dolini na Gorenjskem. Nekoliko višje vrednosti indeksov so na postajah, ki se nahajata na Primorskem, kar je tudi pričakovano. Zanimivo je, da imata te dve postaji najmanj oz. nič osamelcev. Pri indeksu *NET* so poleg primorskih dveh postaj brez osamelcev tudi vse ostale postaje s krajšim časovnim nizom. Opazi se, da je povsod več osamelcev proti minimumom, kot proti ekstremno visokim vrednostim, kar je pričakovano, saj je velikokrat maja in septembra še oz. že precej hladno.

Ločeno sem grafično prikazala kvantile za indekse, ki so v uporabi v Avstraliji. Pri teh treh indeksih, ki so relativno novi, postaja Rateče več ne odstopa vidno (slika 4.2). Indeks *EHF* nam sicer postreže z velikim številom osamelcev, kar ni čudno, saj je sam indeks narejen z namenom, da čim bolje izloči vse ekstremne vrednosti vročine. Večina postaj ima pri indeksu *EHF*, zelo majhen okvir, z večjim delom pod rdečo črto. K nizkim vrednostim mediane za indeks *EHF* najbolj odstopata postaji Bilje in letališče Portorož. Slednja ima tudi najmanj osamelcev. Zanimivo je, da samo *humidex* in *EHF* dajeta osamelce k ekstremno visokim vrednostim na postaji v Portorožu. Vsi ostali indeksi namreč kažejo, da na tej postaji osamelcev ni. Podobno je tudi za postajo v Biljah, le da tu indeks *AT* kaže na ene osamelec.



Slika 4.2: Grafični prikaz kvantilov za indekse EHF, EHI_sig in EHI_accl na vseh izbranih meteoroloških postajah po Sloveniji. Postaje so označene s številkami 1 – Murska Sobota, 2 – Maribor, 3 – Letališče E.Rusjana Maribor, 4 – Celje, 5 – Novo mesto, 6 – Ljubljana, 7 – Letališče J. Pučnika Ljubljana, 8 – Rateče, 9 – Bilje, 10 – Letališče Portorož.

Če si podrobneje pogledamo okvirje z ročaji za indeks EHI_{sig} vidimo, da imamo vse vrednosti v okvirjih negativne vrednosti. To velja tudi za indeks EHF. So pa pri indeksu EHI_{sig} bolj ali manj vse postaje poravnane. K nižjim vrednostim odstopata obe primorski postaji, ki prav tako nimata osamelcev pri ekstremno visokih vrednostih.

Pri indeksu EHI_{accl} imajo nekoliko višje vrednosti postaje s krajšim časovnim nizom. Krajši je niz, večje je odstopanje k višjim vrednostim. Tudi pri tem indeksu je več osamelcev proti nižjim vrednostim, kar pripisujem istemu razlogu kot v prejšnjem primeru najenostavnejših štirih indeksov. Če pravilno domnevam, da osamelci predstavljajo res najbolj ekstremne primere, ki se pojavljajo med vročinskim valom, potem lahko iz rezultatov pri indeksih EHI_{accl} in EHI_{sig} zaključim, da na Primorskem koncu ekstremnih vročinskih valov še nismo imeli.

4.2 Prostorska porazdelitev vročinskih indeksov

V literaturi sem pogosto zasledila, da različne države uporabljajo različne percentile za definicijo vročinskih valov [9, 10]. Izbrane mejne vrednosti 90., 95. in 99. percentila na posameznih postajah za vse indekse sem zbrala v tabeli 4.2. Posamezne mejne vrednosti percentilov mi bodo predstavljale stopnje udobja, kjer vrednosti pod 90. percentilom predstavljajo udobne razmere. Vrednosti med 90. in 95. percentilom predstavljajo manjše neudobje. Neudobno počutje predstavljajo vrednosti med 95. in 99. percentilom. Vse višje vrednosti pa že predstavljajo najbolj ekstremne razmere in posledično nevarnost.

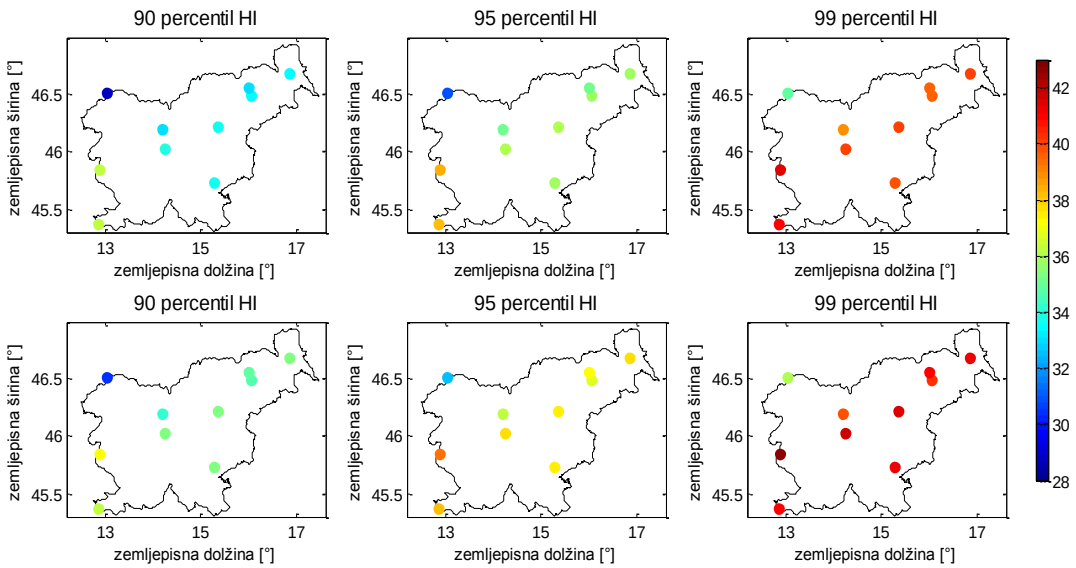
Vse vrednosti percentilov sem izrisala na zemljevid Slovenije. Tako sem preverila, kako se te meje razlikujejo med posameznimi postajami glede na geografsko lego postaje. Imela sem različno dolge časovne nize. Vrednosti percentilov so na postajah s krajšim časovnim nizom večje. Prav zaradi tega sem dodala še bioregionalizacijo s krajšim nizom podatkov, ki je na vseh postajah enak, in sicer od leta 1990 naprej. Tudi tu sem uporabljala samo podatke iz toplejše polovice leta.

Tabela 4.2: Vrednosti 90., 95. in 99. percentilov na obravnavanih postajah za vse indekse.

	Murska Sobota			Maribor			Let. E. Rusjan			Celje		
percentil	**90**	**95**	**99**	**90**	**95**	**99**	**90**	**95**	**99**	**90**	**95**	**99**
Indeks												
HI	33,6	35,8	40,1	33,0	35,3	39,7	33,5	35,8	39,5	33,0	35,0	38,9
AT	34,6	36,8	40,7	33,2	35,3	39,2	33,7	35,9	39,5	34,0	36,1	39,4
humidex	40,8	43,2	48,0	39,2	41,6	46,0	39,7	42,3	46,4	40,0	42,4	46,3
NET	26,3	27,7	30,1	25,2	26,7	29,3	25,7	27,0	29,4	25,8	27,2	29,3
EHI	-0,2	7,3	29,3	0,1	8,0	34,5	0,1	10,9	35,3	0,1	10,5	32,3
$\boldsymbol{EHI_{sig}}$	0,0	1,2	3,4	0,0	1,3	3,8	0,0	1,4	3,4	0,0	1,1	3,1
$\boldsymbol{EHI_{accl}}$	6,5	7,8	9,9	6,6	7,9	10,4	8,2	9,6	11,6	8,9	10,0	12,0

	Novo mesto			Ljubljana			Let. J. Pučnik			Rateče		
percentil	**90**	**95**	**99**	**90**	**95**	**99**	**90**	**95**	**99**	**90**	**95**	**99**
Indeks												
HI	33,7	35,9	39,8	34,0	36,1	40,0	33,0	35,0	38,9	28,8	30,9	34,8
AT	34,7	36,8	40,3	34,5	36,6	40,3	34,0	36,1	39,4	30,3	32,2	35,9
humidex	41,0	43,5	47,7	40,5	42,9	47,2	40,0	42,4	46,3	35,0	37,3	42,0
NET	26,3	27,6	29,9	26,2	27,6	29,9	25,8	27,2	29,3	23,9	25,2	27,3
EHI	-0,4	9,8	33,8	-0,1	7,7	29,3	0,1	10,5	32,3	-0,2	6,7	24,1
$\boldsymbol{EHI_{sig}}$	-0,1	1,3	3,5	0,0	1,3	3,4	0,0	1,1	3,1	0,0	1,1	3,1
$\boldsymbol{EHI_{accl}}$	7,8	9,1	11,3	6,2	7,5	9,7	8,9	10,0	12,0	6,2	7,3	9,3

	Bilje			Let. Portorož		
percentil	**90**	**95**	**99**	**90**	**95**	**99**
Indeks						
HI	36,4	38,4	41,5	36,3	38,1	41,0
AT	37,1	39,1	42,4	35,5	37,5	40,1
humidex	43,8	46,4	50,4	43,0	45,1	48,5
NET	27,8	29,1	31,2	26,9	28,2	30,1
EHI	-8,0	-2,6	14,2	-9,0	-3,9	10,1
$\boldsymbol{EHI_{sig}}$	-1,4	-0,3	1,3	-1,3	-0,4	0,9
$\boldsymbol{EHI_{accl}}$	9,2	10,3	11,9	10,2	11,1	12,3

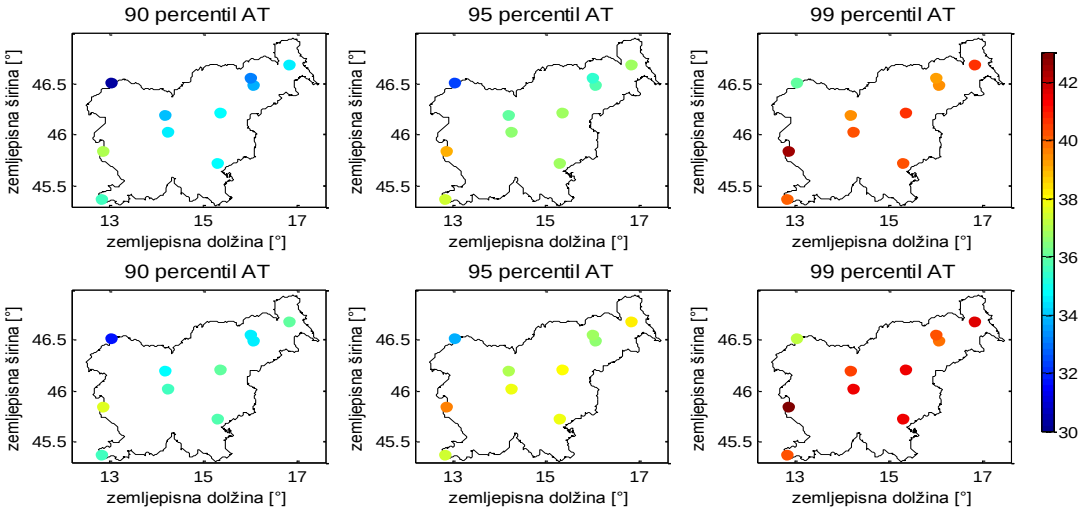


Slika 4.3: 90., 95. in 99. percentil za indeks vročine (*HI*), na različnih postajah po Sloveniji. Zgoraj so percentili izračunani s pomočjo vseh podatkov v toplejši polovici leta, spodaj samo na skrajšanem in enako dolgem časovnem nizu na vseh postajah (1990-2015).

Slika 4.3. nakazuje na to, da se s skrajšanim nizom spremenijo vrednosti percentilov, to pomeni, da imamo npr. v primeru vseh podatkov že območje manjšega neugodja, medtem ko nam krajši niz kaže na to, da smo sedaj pri istih vrednostih v območju udobja (primerjava rezultatov iz zgornje srednje slike in spodnje leve slike). Se pa sama bioregionalizacija ne spremeni bistveno. Glede na rezultate na sliki 4.3, bi Slovenijo primerih 90. in 95. percentila lahko razdelila na tri najbolj intuitivne dele. Osrednji del, primorsko in gore. V primeru 99. percentila se osrednji del in primorska združita v eno območje. Tako imamo v tem primeru delitev samo na 2 dela, gore in ostali del. Primernost zgoraj opisane razdelitve sem ocenila s pomočjo testa Kolmogorov-Smirnov, ki primerja, ali dva vzorca podatkov prihajata iz iste zvezne porazdelitve. Rezultati so pokazali, da med postajami Murska Sobota, Celje, Novo mesto in Ljubljana ni statistično signifikantne razlike med porazdelitvami. Vrednosti na postaji Maribor in Letališče E. Rusjana Maribor prav tako prihajajo iz enake porazdelitve, vendar se ta razlikuje od porazdelitve na ostalih postajah. Porazdelitve vrednosti na vseh ostalih postajah se statistično značilno razlikujejo med sabo.

Za primerjavo sem poizkusila primerjati vrednosti še s t-testom, ki preverja ničto hipotezo, da so vrednosti iz dveh vzorcev neodvisne in porazdeljene normalno. Oba vzorca podatkov imata enako povprečje in varianco. Alternativna hipoteza je, da povprečje ni enako.

S tem testom sem dobila rezultate, da sta povprečje in varianca pri vrednostih indeksa HI na postajah Murska Sobota, Celje, Novo mesto, in Ljubljana enaki. Ločeno sta enaki tudi na letališčih v Mariboru in Ljubljani ter na Primorskih dveh postajah.

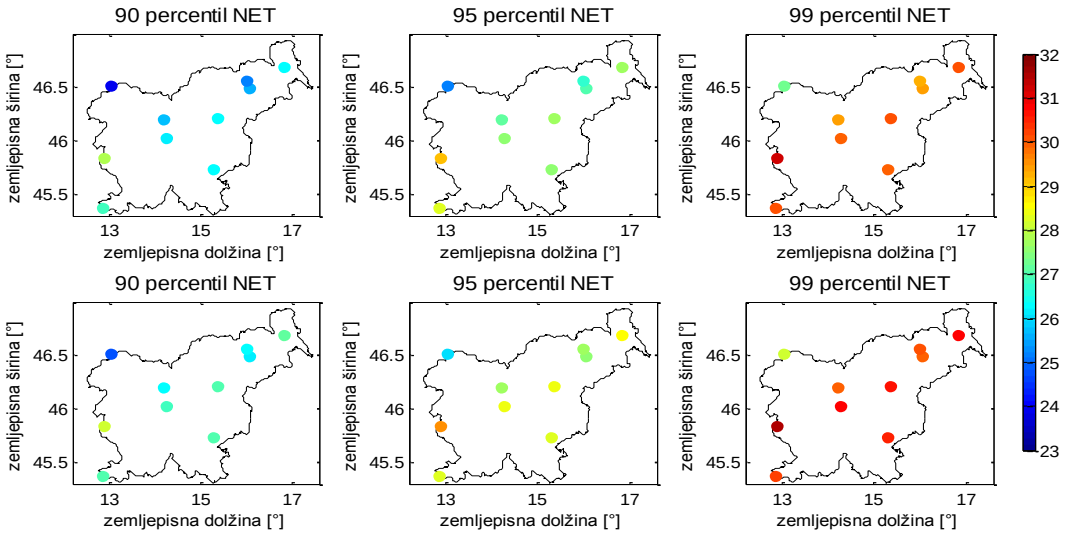


Slika 4.4: Enako kot 4.3, le za indeks AT.

Vrednosti percentilov za indeks *AT* so predstavljeni na zemljevidih Slovenije, ki jih prikazuje slika 4.4.

Tudi tu rezultati nakazujejo, da se s krajšim nizom bioregionalizacija ni bistveno spremenila. Pri rezultatih na slikah 4.3 in 4.4 se rahlo opazijo razlike med podeželskimi in mestnimi postajami. Indeks *AT* Slovenijo razdeli nekoliko drugače kot indeks *HI*. Razdeli jo na osrednji del z obalo, alpski svet in posebno območje goriško. Ponovno sem preverila, če to res drži s pomočjo testa Kolmogorov-Smirnov. Rezultati se ujemajo z rezultati za indeks *HI*. Maribor in bližnje letališče prihajata iz enake porazdelitve, medtem ko med Ljubljano in bližnjim letališčem obstajajo signifikantne razlike v porazdelitvi.

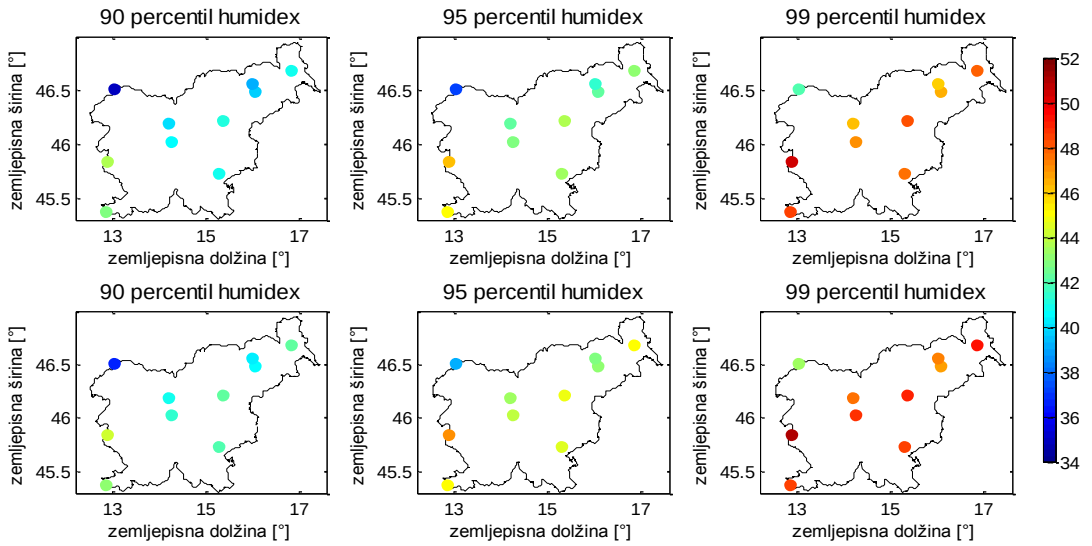
T- test je tudi tu pokazal, da sta povprečje in varianca pri vrednostih indeksa *AT* na postajah Murska Sobota, Celje, Novo mesto in Ljubljana enaki. Vse ostale postaje imajo v primeru tega indeksa različne povprečne vrednosti in variance. Enaki zaključki veljajo tudi za indeks *NET* rezultati katerega so prikazani na sliki 4.5.



Slika 4.5: Enako kot 4.3, le za indeks *NET*.

Rezultati na sliki 4.5 in 4.6 ponovno nakazujejo, da bi območje Slovenije lahko razdelila na tri območja. Alpski svet, goriško in celinski del. Test Kolmogorov-Smirnov je bil narejen na podatkih za indeks humidex. Izkaže se, da so rezultati popolnoma enaki za indekse *HI, AT, NET* in *humidex*.

T-test je v primeru indeksa *humidex* pokazal, da imajo postaje Murska Sobota, Celje, Novo mesto in Ljubljana ista povprečja in variance. Glede na enake vrednosti povprečja in varianc lahko v tem primeru govorim tudi o statistično značilni podobnosti med vrednostmi na postajah Bilje in letališče Portorož. Vsi testi so bili izvedeni s 5% stopnjo tveganja.



Slika 4.6: Enako kot 4.2, le za indeks *humidex*.

Iz vseh rezultatov lahko sklepam, da so starejši in najpogosteje uporabljeni indeksi $HI, AT, NET, humidex$ pripeljali do pričakovanih rezultatov, ki kažejo odstopanje hribov in Primorske oz. vsaj goriške od celinskega dela države. To vsaj delno potrdita tudi statistična testa.

Glede na to, kako dolg niz podatkov sem upoštevala, so se vrednosti percentilov po večini dvignile za kakšno do par vrednosti, medtem ko je bila sprememba največja, za okoli 10 vrednosti, pri indeksu EHF. Se pa s spremembo dolžine niza bioregionalizacija ni bistveno spremenila pri nobenem indeksu.

4.3 Časovna analiza vročinskih indeksov na postajah

V tem poglavju bom predstavila časovne nize podatkov vročinskih indeksov na različnih postajah.

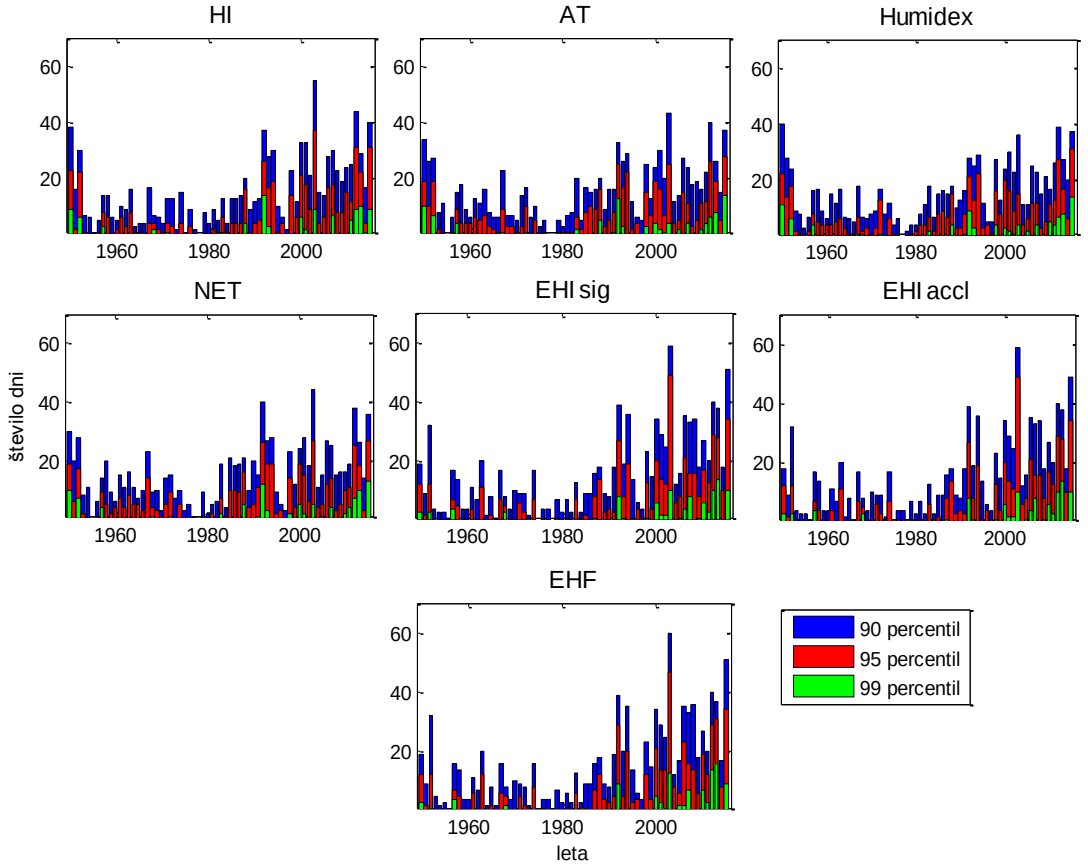
4.3.1 Dinamika vročinskih indeksov

Vročinski napor sem analizirala na osnovi števila dni med majem in oktobrom, ko je bila dosežena in presežena meja 90., 95. in 99. percentilov glede na

poletne mesece. Zaradi preglednosti sem se odločila prikazati rezultate za postajo Murska Sobota, pri ostalih postajah pa posebnosti samo opisati, saj rezultati kažejo na podobne lastnosti na večini postaj.

Iz slike 4.10 je razvidno, da je bilo leto 2003 ekstremno pri večini indeksov na postaji Murska Sobota. Prav vsi indeksi leto 2003 izločijo kot ekstremno na postajah Maribor, Letališče E. Rusjana Maribor, Bilje in letališče Portorož (slike niso prikazane). V Murski Soboti indeks *humidex* posebno ne izloči leta 2003. Enako pokaže isti indeks na postaji v Celju. V Ratečah to leto indeks *NET* uvrsti celo na tretje mesto. To leto veliko indeksov uteži približno enako kot leti 2013 in 2015. Na postaji v Murski Soboti in Celju to naredi indeks *AT*. V Novem mestu so taki kar trije indeksi *AT, NET* in *humidex*. Na letališču J. Pučnika to pokažeta indeksa *NET* in *humidex*. V Ratečah to drži za vse najnovejše tri indekse. V Ljubljani je bilo leto 2003 uvrščeno na drugo mesto kar pri treh indeksih *NET, AT* in *humidex* (slike niso prikazane).

Poletje 2003 je bilo vročinsko ekstremno, takoj za njim sta leti 2013 in 2015. Večina indeksov ta leta izločijo, vendar glede na zgornje ugotovitve lahko zaključim, da se je indeks *humidex* izkazal najslabše, zato lahko zaključim, da je nekoliko manj primeren za uporabo v Sloveniji.



Slika 4.7: Število dni v posameznem letu, ko so bili doseženi in preseženi 90., 95. in 99. percentili na postaji v Murski Soboti

Opazi se tudi, da je bilo kar nekaj dni nad tremi izbranimi mejnimi vrednostmi med letoma 1950 in 1955. Poleg postaje v Murski Soboti to kažejo

praktično vse postaje z najdaljšimi nizi, to so Ljubljana, Maribor, Novo mesto, Celje in Rateče (slike niso prikazane).

Na vseh postajah je viden trend, da od leta 1980 naprej beležimo čedalje več ekstremno vročih dni in da obstaja lokalni minimum med leti 1970 in 1980.

4.3.2 Trend števila vročinsko napornih dni

Rezultati v predhodnem poglavju nakazujejo na linearni trend števila vročih dni od leta 1980 naprej. Odločila sem se ga preveriti na 3 postajah za indeks EHI_{accl}. Izbrala sem si postaje Murska Sobota, Ljubljana in Bilje. Izračunala sem trend za tri mejne vrednosti prercentilov od leta 1980. Koeficienti premic so zbrani v tabeli 4.6.

Tabela 4.3: Linearni trend na treh izbranih postajah za indeks EHI_{accl}.

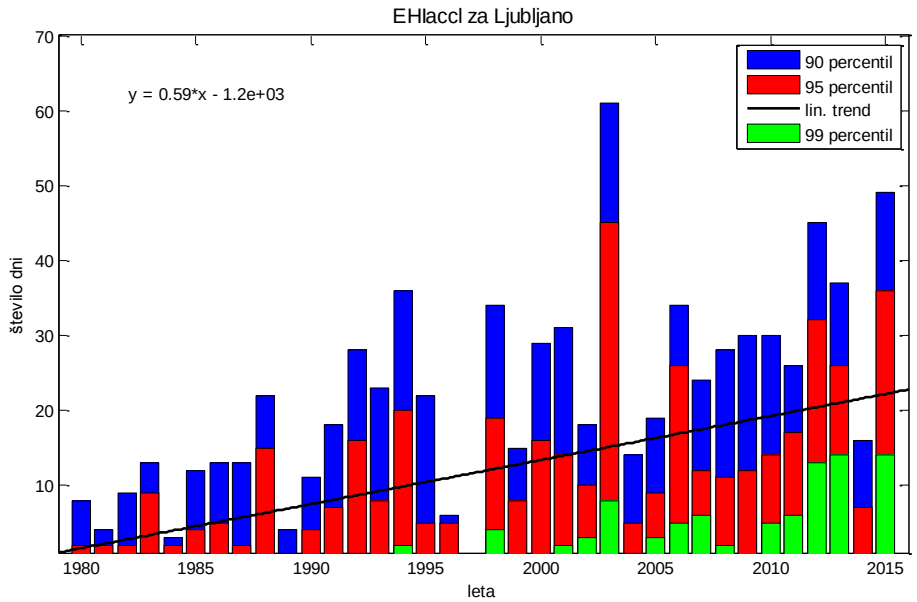
	Murska Sobota		
percentil	90	95	99
koeficient lin. premice	k = 0,83	k = 0,62	k = 0,21

	Ljubljana		
percentil	90	95	99
koeficient lin. premice	k = 0,82	k = 0,59	k = 0,25

	Bilje		
percentil	90	95	99
koeficient lin. premice	k = 0,82	k = 0,69	k = 0,20

Koeficienti so na vseh treh postajah zelo podobni, še najbolj se razlikujejo za 95. percentil. Glede na koeficiente nam najhitreje narašča število dni s preseženim 90. percentilom na postaji v Murski Soboti. Presežek 95. percentila se najhitreje povečuje na postaji Bilje, najbolj ekstremna vročina pa najmočneje, po letu 1980 narašča v Ljubljani.

Trend na postaji Ljubljana za primer, ko vrednosti indeksa EHI_{accl} presežejo 95. percentil, je prikazan na sliki 4.11. Slika nam pove, da je število izredno vročih dni naraslo z okoli 5 v letu 1980, na okoli 20 v letu 2015. V nekaterih primerih ekstremnih let je to število lahko tudi do trikrat večje.

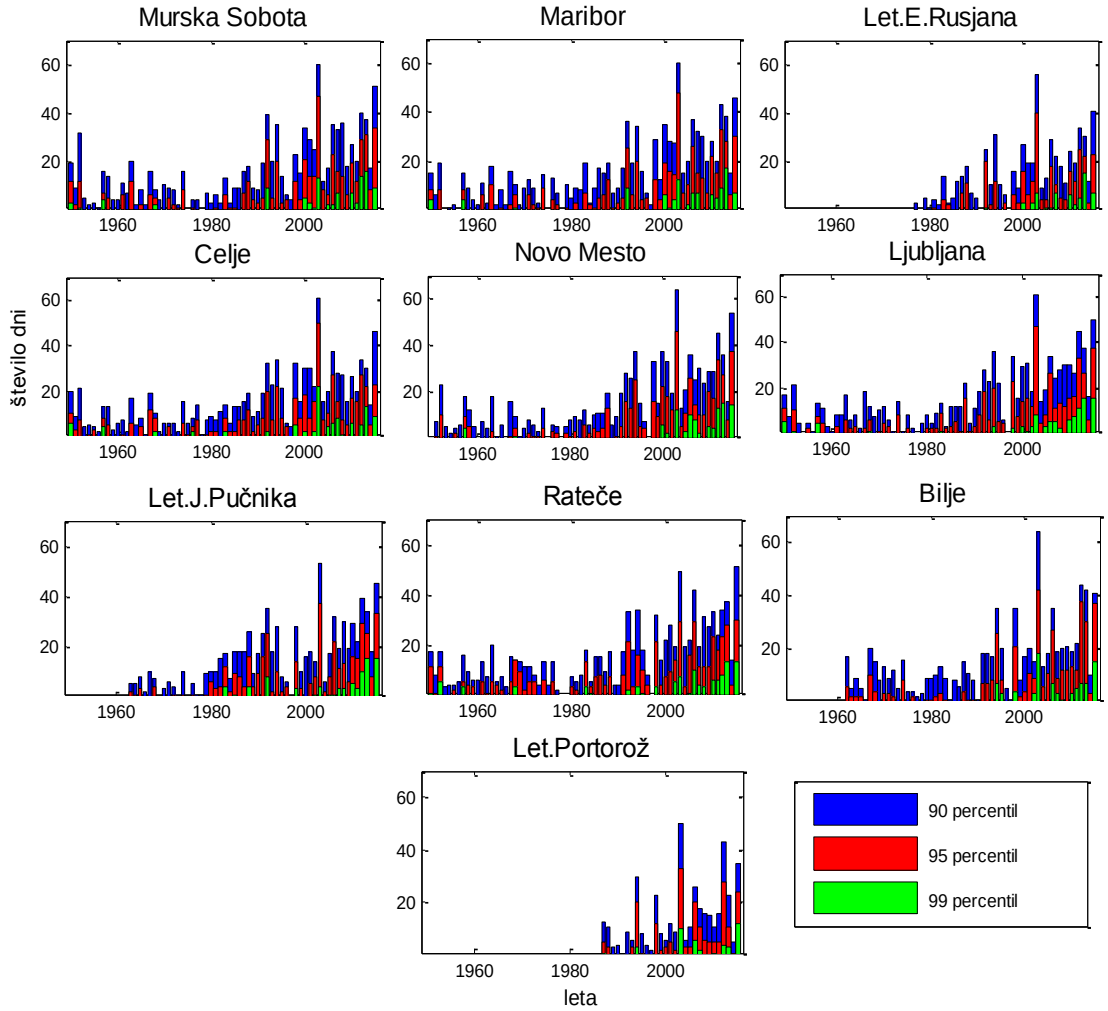


Slika 4.8: Linearni trend od leta 1980 naprej na postaji Ljubljana za indeks EHI_{accl}. S črno črto je izrisan trend za 95. percentil.

4.3.3 Dinamika izbranega indeksa na različnih postajah

Rezultati percentilov za Avstralske indekse so pokazali, da so vrednosti mejnih treh percentilov višje v vzhodni polovici Slovenije. Zato sem za indeks EHF analizirala število dni preseženih mejnih vrednosti percentilov od vzhoda proti zahodu Slovenije.

Rezultati so predstavljeni na sliki 4.12. Iz slike lahko zaključim, da se od vzhoda do zahoda število dni rahlo niža. Med vsemi postajami, se najslabše vidi odstopanje vročinsko ekstremnega poletja 2003 na postaji v Ratečah in na letališču Portorož. 99. percentil je bil v letu 2003 največkrat presežen v Celju in Biljah, drugje je bila ta meja najpogosteje presežena v letu 2013, zahodneje od Novega mesta tudi v letu 2015.



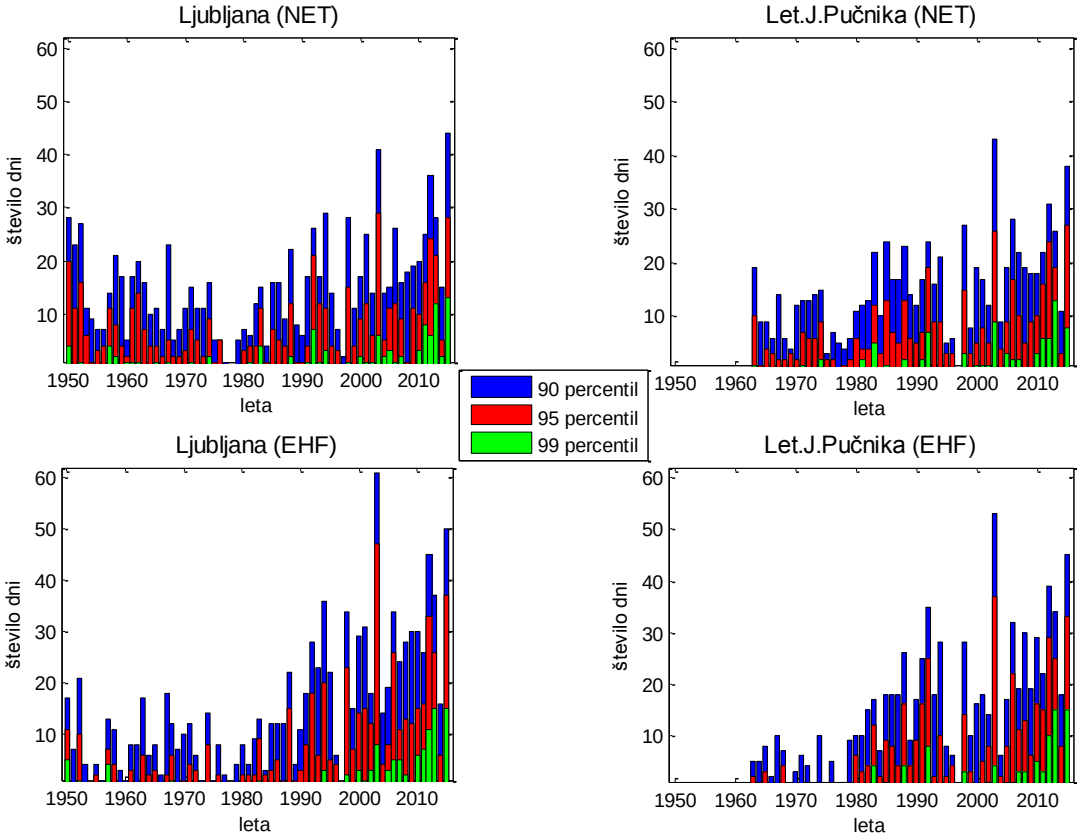
Slika 4.9: Število dni nad izbranimi mejami vrednosti percentilov za indeks *EHF*.

4.3.4 Primerjava velikega mesta z bližnjim okoljem

Za primerjavo med velikimi mesti, t.i. toplotnimi otoki, in bolj zelenim podeželjem sem ponovno izrisala število dni na leto, ko so bile presežene meje 90, 95. in 99. percentila (slika 4.13). Za primerjavo sem si izbrala indeksa *NET* in *EHF* ki ju primerjam v Ljubljani in Mariboru z njunimi bližnjimi letališči. Za lažjo primerjavo sem ponovno izračunala linearni trend naraščanja števila dni nad mejo 95. percentila od leta 1980 naprej.

Število dni, ko je bil presežen 90. percentil za indeks *NET*, je na postaji v Ljubljani v letu 2003 manjše kot na bližnjem letališču. Pri istem indeksu smo v letu 2015 beležili več dni nad 90. percentilom, kot na letališču J. Pučnika. Že na prvi pogled se vidi, da je v primeru indeksa *NET* trend naraščanja števila dni na letališču manjši kot v mestu.

V primeru indeksa *EHF* je število dni leta 2003 v mestu višje kot na bližnjem letališču. Zanimivo v Ljubljani pri indeksu *EHF* med leti 1980 in 1990 nimamo dni, ki bi presegali 99. percentil. So pa prisotni na letališču J. Pučnika. Tudi pri tem indeksu se opazi manjši trend naraščanja vročih dni na letališču.



Slika 4.10: Primerjava Ljubljane (levo) z Letališčem J. Pučnika Ljubljana (desno) za indeks *NET* in indeks *EHF.*

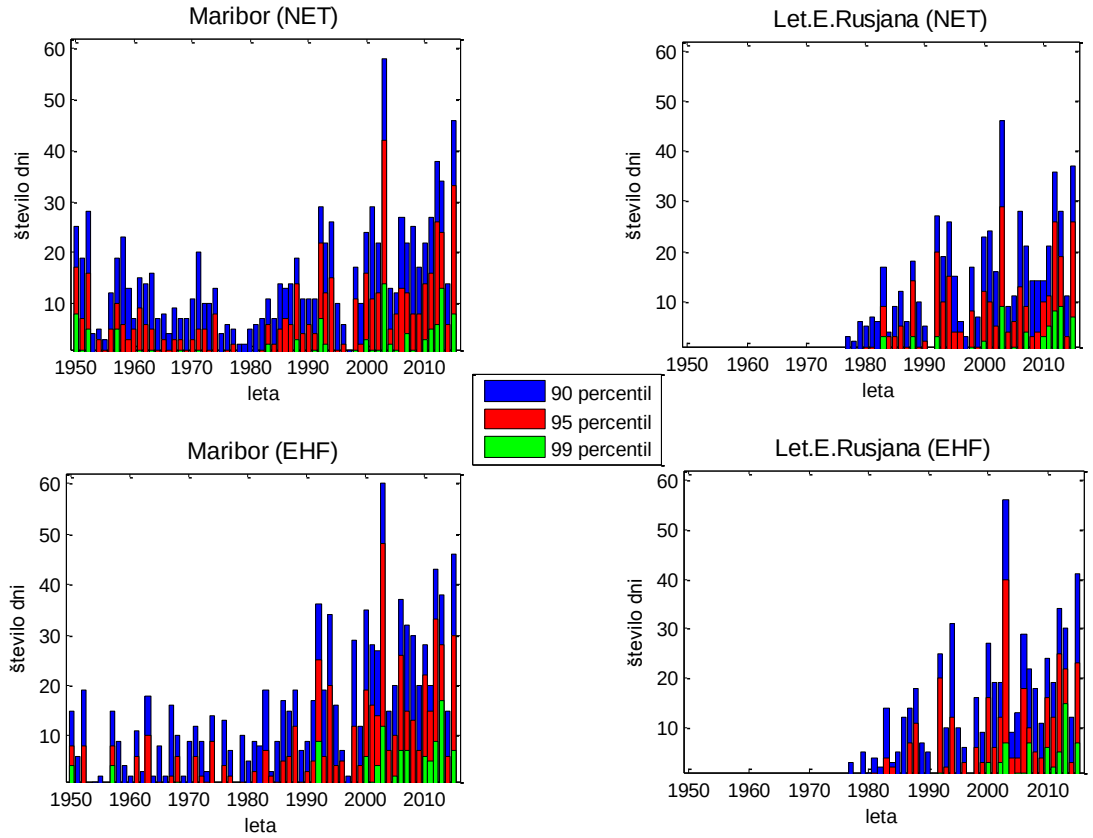
V tabeli 4.7 so zbrani trendi naraščanja števila dni na obeh postajah za oba indeksa. S pomočjo koeficientov premic lahko potrdim razliko v trendu naraščanja vročinsko napornih dni med mestom in podeželjem.

Iz rezultatov iz tabele 4.7 lahko zaključim, da je trend naraščanja vročih dni v mestih za izbrana vročinska indeksa večji od trenda naraščanja na bližnjem letališču. Enako sem preverila še za primer mesta Maribor in letališča E. Rusjana. Rezultati so zbrani na sliki 4.14 in tabeli 4.8.

Tabela 4.4: Primerjava trendov naraščanja števila vročih dni na postaji v Ljubljani in na letališču J. Pučnika.

		percentil		
		90	95	99
Ljubljana	NET	k = 0,52	k = 0,35	k = 0,16
	EHF	k = 0,83	k = 0,60	k = 0,26

		percentil		
		90	95	99
Let. J. Pučnika Ljubljana	NET	k = 0,29	k = 0,26	k = 0,12
	EHF	k = 0.50	k = 0,40	k = 0,18



Slika 4.11: Enako kot 4.13, le za Maribor in Letališče E. Rusjana Maribor.

Tudi v primeru Maribora in bližnjega letališča veljajo enake ugotovitve. Število dni je v splošnem na letališču nižje. Oba indeksa na obeh postajah kažeta na ista rekordna leta 2015, 2013, 2012 in 2003. Tudi tu nam koeficienti premic naraščanja števila dni nad določeno mejno vrednostjo pokažejo, da je razlika med podeželjem in mestom res prisotna. Pri obeh primerih toplotnega otoka in podeželja se razlike med koeficienti premic od 90. do 99. percentila manjšajo.

Tabela 4.5: Enako kot 4.6, le za mesto Maribor in okolico.

		percentil		
		90	95	99
Maribor	NET	k = 0,67	k = 0,48	k = 0,15
	EHF	k = 0,76	k = 0,62	k = 0,22

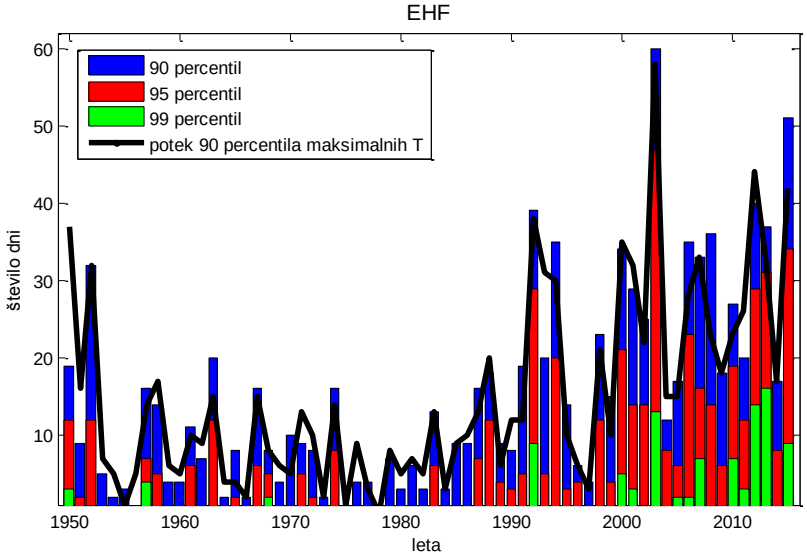
		percentil		
		90	95	99
Let. E. Rusjana Maribor	NET	k = 0,52	k = 0,35	k = 0,13
	EHF	k = 0,67	k = 0,47	k = 0,17

Če primerjam tabeli 4.7 in 4.8 ugotovim, da indeks *EHF* kaže na to, da se število vročih dni na podeželju v vzhodnem koncu Slovenije hitreje povečuje. Isti

indeks kaže, da v primeru mesta večje naraščanje za primera 90. in 99. percentila beleži Ljubljana. Indeks *NET* pove, da na podeželju hitreje naraščajo vroči dnevi na Štajerskem. Mesto Ljubljana ima glede na omenjeni indeks najhitrejši trend le za najbolj vroče dni.

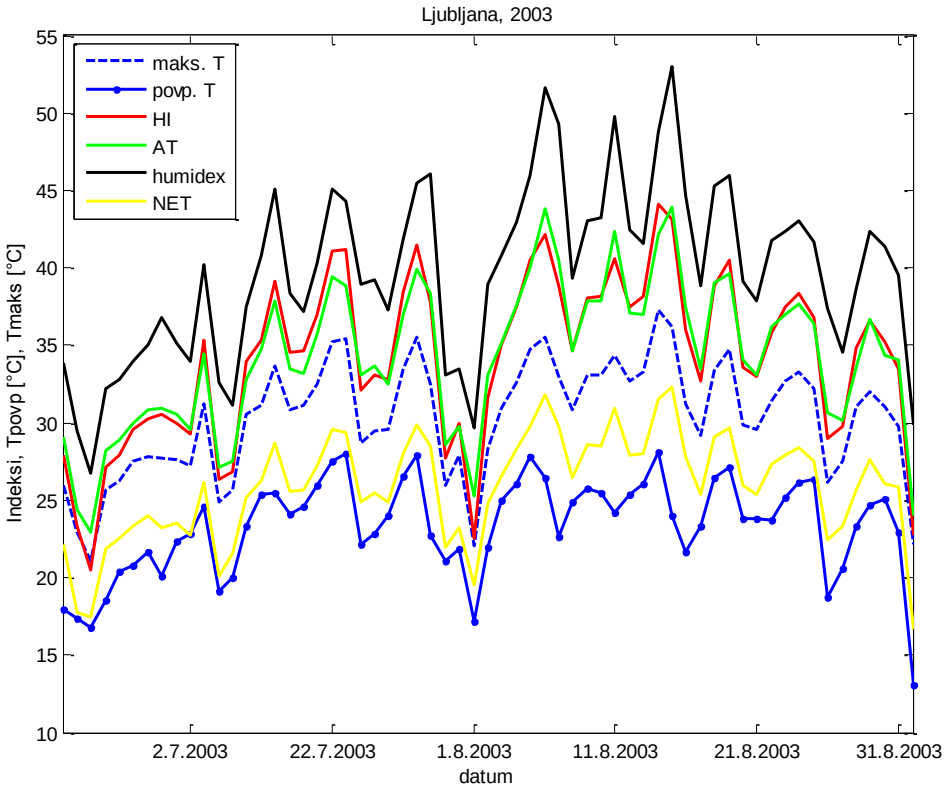
4.3.5 Primerjava temperature in števila vročinsko napornih dni

Dosedanji rezultati kažejo na lokalni minimum, števila dni med leti 1970 in 1980, ko so presežene različne tri mejne vrednosti, zato sem preverila, če enako velja za 90. percentil maksimalne temperature v toplejši polovici leta. To sem preverila samo za eno postajo in samo za izbrani indeks.



Slika 4.12: Potek povprečne maksimalne temperature v toplejšem delu leta in števila dni, ko so presežene različne vrednosti percentilov. Slika predstavlja postajo v Murski Soboti in indeks *EHF*.

Potek povprečne maksimalne dnevne temperature v toplejšem delu leta kaže na to, da imamo tudi pri številu dni, ko je presežen 90. percentil maksimalnih temperatur, podoben minimum. Izračunala sem trend 90. percentila maksimalne temperature in števila dni nad to mejo, za indeks *EHF*. Tokrat sem trend izračunala na celotnem obdobju, torej od leta 1950 naprej. Trend števila dni nad 90. percentilom za indeks *EHF* je večji in znaša 0.40, medtem ko trend maksimalne temperature nad 90. percentilom znaša 0.32. Razlike je, vendar ne zelo velika. Zato se lahko vprašamo, ali so indeksi zares potrebni. Navadno nam že sam trend temperature pove, da je pred nami vroče obdobje, oz. vročinsko naporni dnevi. V ta namen sem primerjala trend povprečne temperature leta 2003 na postaji v Ljubljani s trendi različnih indeksov. Vzela sem obdobje, 2. 7. 2003 – 31. 8. 2003, v katerem je zajeto tudi t.i. najbolj smrtonosno obdobje v Evropi [8, 9]. Najprej sem na istem grafu prikazala samo indekse, ki so izračunani na podlagi trenutnih temperatur in vlage (*HI, humidex*), nekateri tudi vetra (*AT, NET*).

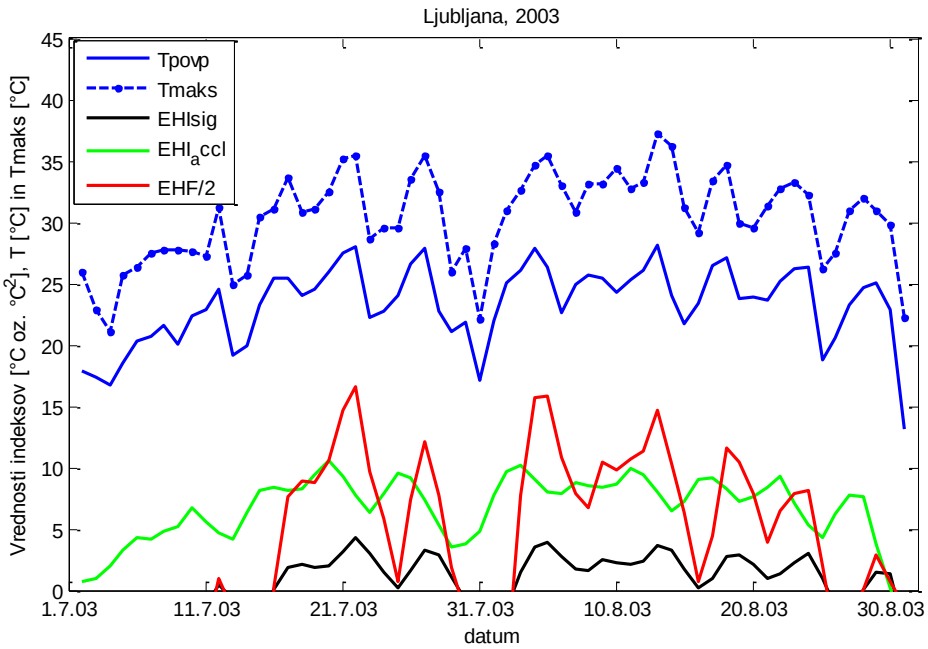


Slika 4.13: Potek povprečne in maksimalne dnevne temperature, ter indeksov *HI, AT, NET* in *humidex* v Ljubljani med 2.7.2003 in 31.8.2003

Iz slike 4.16 je razvidno, da vsi indeksi sledijo maksimalnim in povprečnim temperaturam kot je pričakovano, ker so odvisni predvsem od le-teh. Osnovna razlika med vročinskimi indeksi in povprečno ter maksimalno dnevno temperature je v tem, da imajo indeksi večjo variabilnost. Vrednosti nekaterih indeksov narastejo v povezavi z vlago, predvsem v začetku avgusta, do zelo visokih vrednosti. *Humidex* preseže mejo 45, kar pomeni, da smo v območju nevarnosti (tabela 2.1). Glede na izračune precentilov in definirane stopnje udobja iz poglavja 4.1, smo v tem primeru v območju neugodja. Tudi *HI* se v tem istem obdobju dvigne nad 40, kar tudi pri tem indeksu predstavlja nevarnost (slika 2.1). Glede na izračunane vrednosti percentilov smo v tem primeru že v območju nevarnosti. Maksimalna temperatura je bila v tem času po večini med 30 in 35°C, kar je veliko več od povprečja izračunanega na podatkih iz obdobja 1981-2010. Povprečje za avgust v Ljubljani znaša 26.7 °C (splet: http://www.meteo.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by_location/ljubljana/climate-normals_81-10_Ljubljana.pdf).

Časovni potek treh najnovejših indeksov, ki upoštevajo aklimatizacijo na vročino (EHF, EHI_{sig}, EHI_{accl}), je predstavljen na sliki 4.17.

Indeks *EHF* je izoblikovan tako, da čim bolj poudari, kdaj je bil vročinski val (vse pozitivne vrednosti). Vrednosti tega indeksa so visoke, saj se zmnožita oba ostala avstralska indeksa. Na sliki sem zato predstavila njegove polovične vrednosti, da je slika bolj pregledna. Vidi se, da indeks EHF skoraj čez cel avgust kaže na vročinski val. Čeprav bi zaradi padca temperatur okoli, 17. 8. 2003, lahko sklepali, da se je vročinski val prekinil, *EHF* kaže, da je bil ta padec premajhen, oz. prekratek, da bi do tega res prišlo. Enako kažeta tudi ostala dva indeksa.

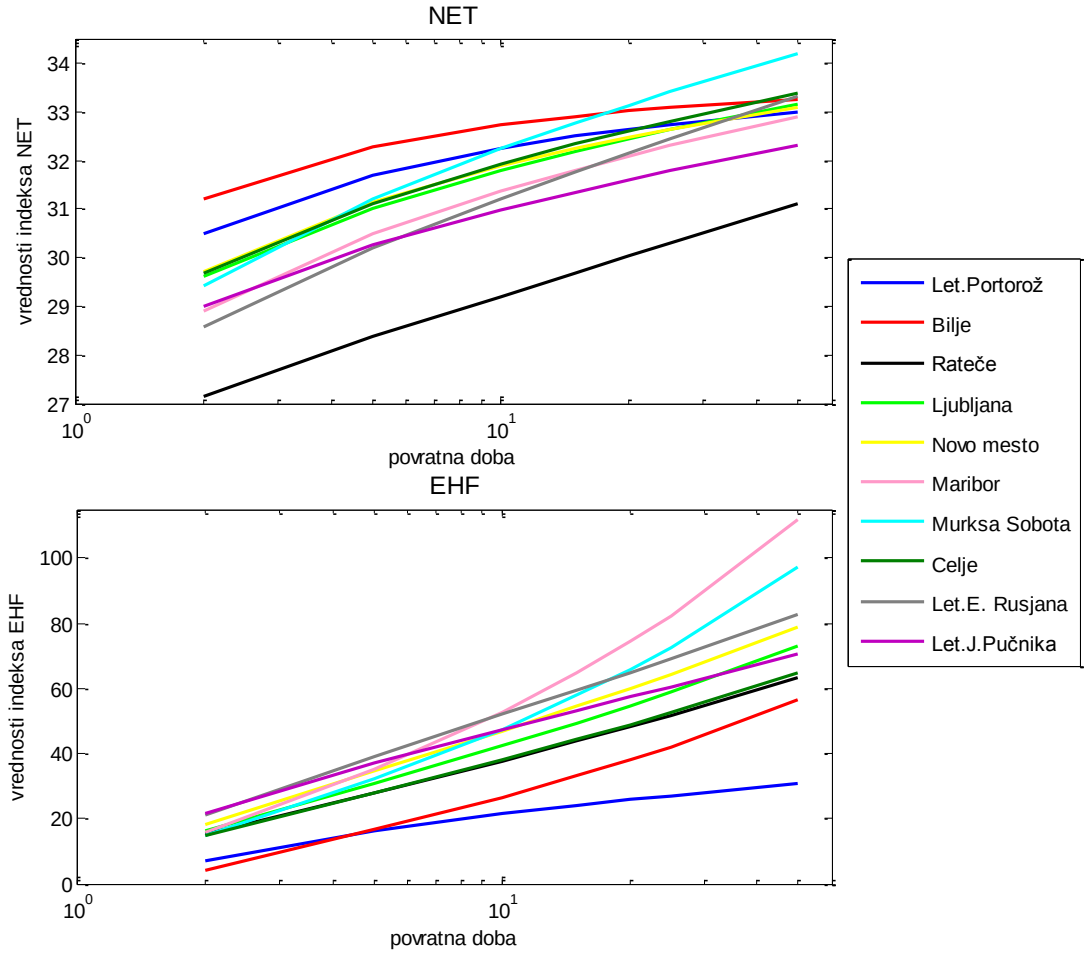


Slika 4.14: Potek povprečne in maksimalne temperature ter indeksov EHF, EHI_{sig} in EHI_{accl} v Ljubljani med 2. 7. 2003 in 31. 8. 2003.

4.4 Izračun povratnih dob

V poglavju 3.3.4 je opisan izračun povratnih dob s pomočjo poenostavljene porazdelitve ekstremnih vrednosti. Povratne dobe opisujejo kako pogosto lahko pričakujemo določene ekstremne vrednosti. Primer povratnih dob izračunanih po opisani metodi za indeks NET in EHF na vseh postajah, je predstavljen na sliki 4.18.

Na sliki 4.18 zgoraj, kjer so predstavljene povratne dobe za indeks NET dobimo pričakovano najnižji potek povratne dobe za primer Rateč. Rdeča krivulja označuje povratno dobo za postajo Bilje in je ponovno pričakovano najvišje - vsaj za dogodke do okoli 20-letne povratne dobe. Nekateri poteki povratnih dob so zelo podobni oz. se celo prekrivajo (Ljubljana, Novo mesto in Celje). Zanimivo je, da so vrednosti redkih dogodkov, npr. 50-letna povratna doba, na postaji v Murski Soboti najvišje. Poleg tega odstopajo poteki povratnih dob na postajah Murska Sobota, Rateče in Letališče E. Rusjana Maribor kot zelo linearno rastoči. Ostali poteki so rahlo konveksne oblike.

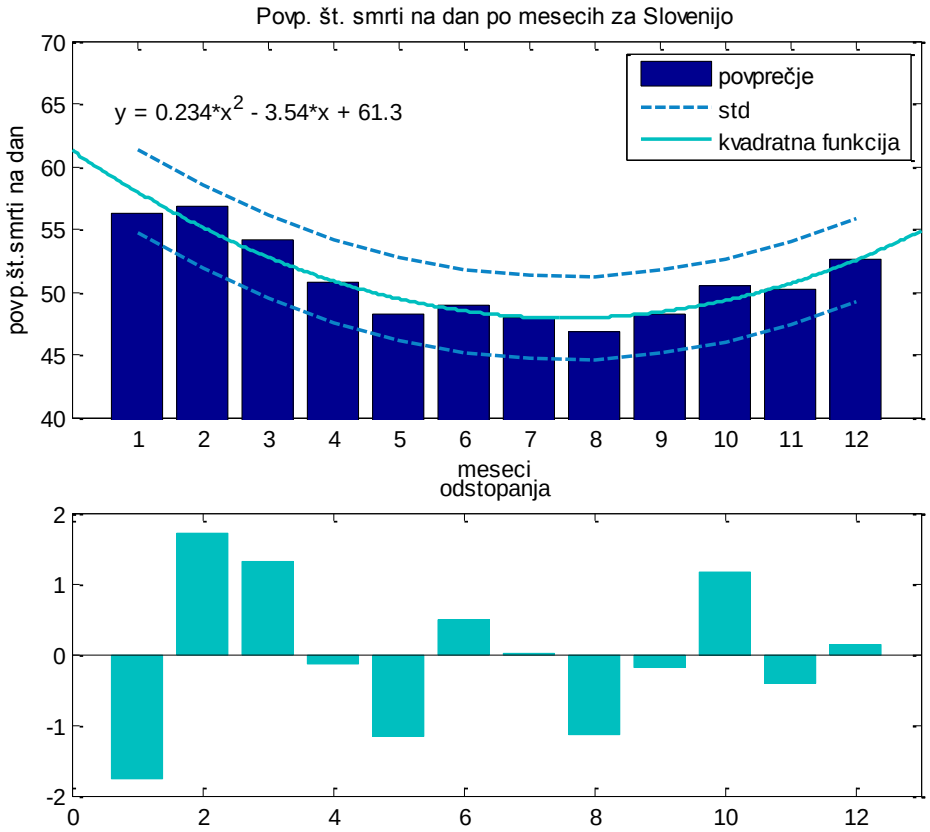


Slika 4.15: Povratne dobe izračunane na vseh postajah po Sloveniji za indeksa *NET* in *EHF.*

Poteki povratnih dob pri indeksu *EHF* kažejo na to, da imamo na postaji Letališče Portorož zelo redke dogodke (50-letna povratna doba) že pri vrednostih indeksa, ki ostalim postajam predstavljajo skoraj vsakoletne dogodke. Tudi v tem primeru imamo nekaj prekrivanje potekov povratnih dob, vendar se tu prekrivata poteka Rateč in Celja. Najvišje vrednosti ekstremnih dogodkov v primeru indeksa *EHF* lahko pričakujemo na postajah severovzhodne Slovenije, to so Murska Sobota, Maribor in Letališče E. Rusjana Maribor.

5 Prilagajanje podatkov o smrtnosti in povezava z vročinskimi indeksi

Biometeorološko analizo Slovenije bom v tem poglavju dopolnila s podatki o dnevnem številu umrlih od leta 2003 do vključno 2011. Najprej me je zanimalo, koliko ljudi na dan v povprečju umre v posameznih mesecih, da bi preverila, ali je poletje res najbolj obremenjujoče. Spodnja slika prikazuje povprečno število smrti na dan v posameznem mesecu. Na sliki 5.1 je vključena tudi podatkom prilagojena kvadratna funkcija ter pripadajoča standardna odstopanja.



Slika 5.1: Povprečno število smrti na dan v Sloveniji po mesecih (modri stolpci) in prilagojena kvadratna funkcija (zgoraj). Spodaj so prikazana odstopanja podatkov od kvadratne funkcije.

Slika 5.1 kaže da, največ ljudi v Sloveniji umre pozimi. Med poletnimi meseci je smrtnost nekoliko višja junija v primerjavi z julijem in avgustom. Ne vemo, ali je to povezano z vročino ali ne.

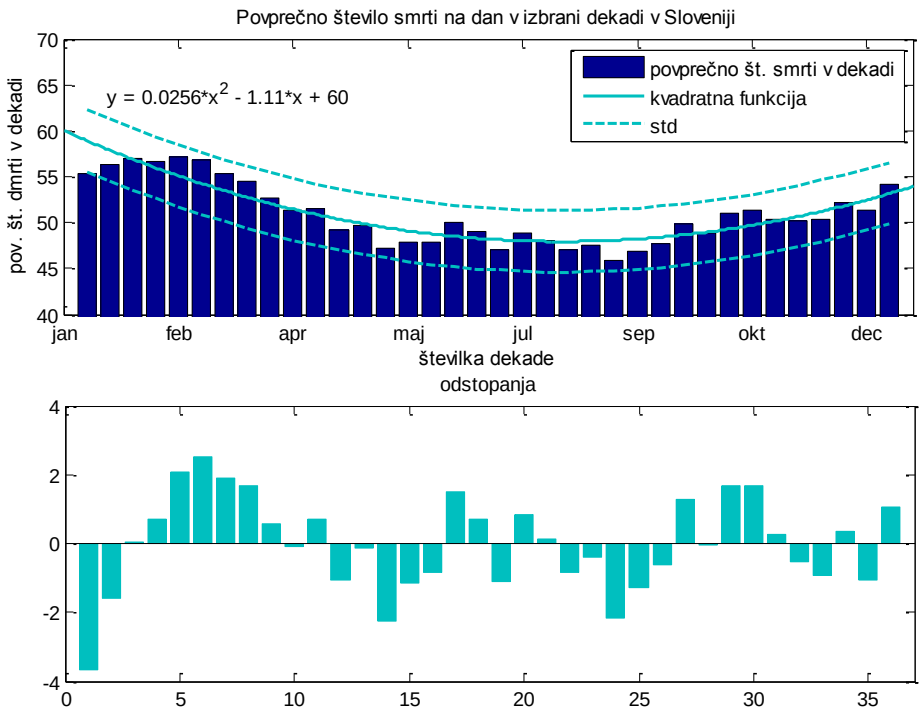
Podatkom sem prilagodila parabolo z enačbo $y(x) = p_1x^2 + p_2x + p_3$. Vrednosti koeficientov z 95 intervalom zaupanja so zbrane v tabeli 5.1.

Osnovni model gibanja števila umrlih na dan po mesecih je v Sloveniji opisan z sledečo funkcijo:

$$y(x) = 0.234\,x^2 - 3.54\,x + 61.3\,, \tag{5.1}$$

kjer je x zaporedna številka meseca, y pa povprečno število umrlih na dan v izbranem mesecu.

Mesec dni je lahko predolgo obdobje za primerjavo z vremenskimi sistemi, ki prinašajo vročinske obremenitve. Zato sem mesec dodatno razdelila na dekade z namenom bolj natančnega opisa variacij smrtnosti v poletnih mesecih. Tri mesečne dekade so opisovale prvih, drugih in tretjih 10 dni. Glede na število dni v mesecu se spreminja dolžina zadnje dekade v mesecu. To naj ne bi smelo vplivati na rezultate, če imamo dovolj velik niz podatkov.



Slika 5.2: Enako kot slika 5.1, le da so podatki predstavljeni po dekadah.

Tudi v primeru delitve podatkov na dekade, se največje odstopanje od povprečja pojavlja pozimi (januar-marec). Osnovni statistični parametri in koeficienti prilagojene kvadratne funkcije s pripadajočim 95 intervalom zaupanja so zbrani v tabeli 5.1 za oba primera, ko imam povprečno število smrti na dan ločeno po mesecih in po dekadah. Dodane so ocene, kako dobro je prilagajanje izbrane funkcije podatkom. Osnovni model gibanja števila umrlih v posamezni dekadi za Slovenijo predstavlja enačba 5.2:

$$y(x) = 0.0256\,x^2 - 1.11\,x + 60\,, \tag{5.2}$$

kjer je x tokrat številka dekade y pa povprečno število umrlih na dan znotraj izbrane dekade.

Tabela 5.1: Osnovni statistični parametri in koeficienti kvadratnega modela s 95 intervalom zaupanja za oba zgoraj opisana modela. Povsem spodaj so pripisane vrednosti s katerimi ocenjujemo kvaliteto prilagajanja.

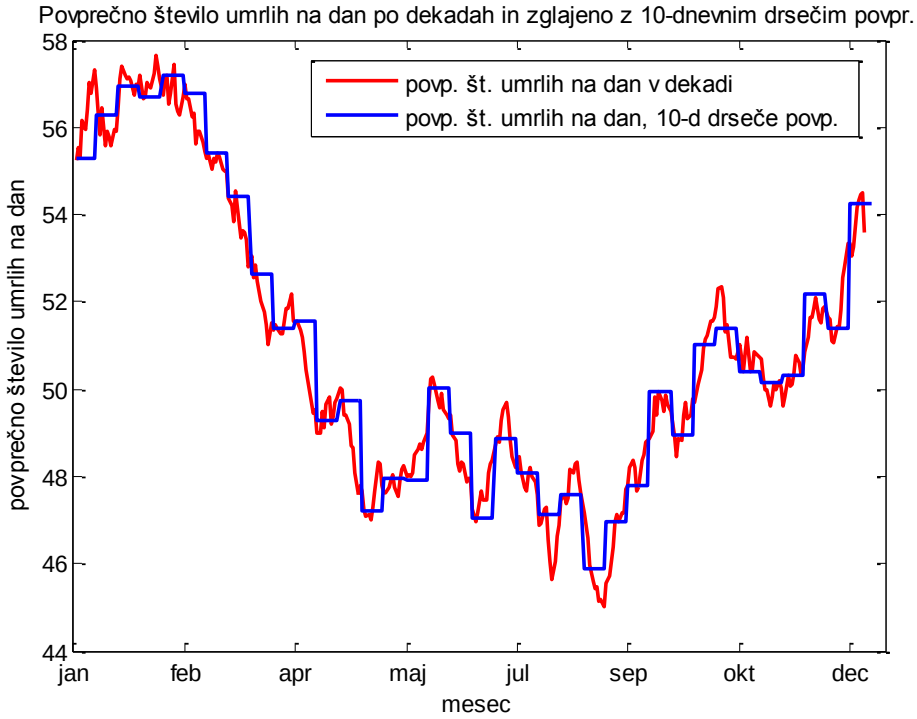
	mesečne vrednosti	interval zaupanja	**dekadne vrednosti**	interval zaupanja
povprečje	50,97	48,87 -53,01	50,97	49,84 - 52,10
mediana	50,37	48,27 - 52,48	50,22	49,09 - 51,35
mode	46,83	44,72 - 48,94	45,89	44,76 - 47,02
standardni odklon	3,31	1,21 - 5,41	3,34	2,21 - 4,47
kvadratni model				
p1	0,234	0.16, 0.31	0,026	0.02, 0.03
p2	-3,537	-4.50, -2.57	-1,113	-1.30, -0.92
p3	61,30	58.56, 64.03	60,03	58.50, 61.55
kvaliteta prilagajanja				
sse	12,316		65,968	
rsquere	0,898		0,831	
adjrsquere	0,875		0,821	
rmse	1,170		1,414	

Vsi parametri kažejo, da je uporabljena kvadratna funkcija dober model letnega gibanja števila umrlih v Sloveniji. V primeru leta razdeljenega na dekade je to prilagajanje nekoliko slabše.

Da bi preverila ali je ta razdelitev na dekade primerna ali ne, sem povprečno dnevno število smrti zgladila s pomočjo 10-dnevnega drsečega povprečja. Rezultat je prikazan na sliki 5.3, skupaj z osnovnimi vrednostmi povprečnega števila umrlih v dekadah.

Slika 5.3 pove, da je uporaba 10-dnevnega drsečega povprečja povsem ustrezna in da zagotavlja opis osnovnih variabilnosti števila umrlih. S 5 % stopnjo tveganja lahko trdim, da sta oba vzorca podatkov neodvisna in naključna ter da izhajata in normalne porazdelitve z enako povprečno vrednostjo.

Poleg tega pove slika 5.3 tudi, da ima število smrti med poletjem kompleksno obliko z dvema maksimumoma in tremi minimumi. To pove, da je funkcija, ki takšno obnašanje lahko opiše, polinom višje stopnje kot uporabljeno.



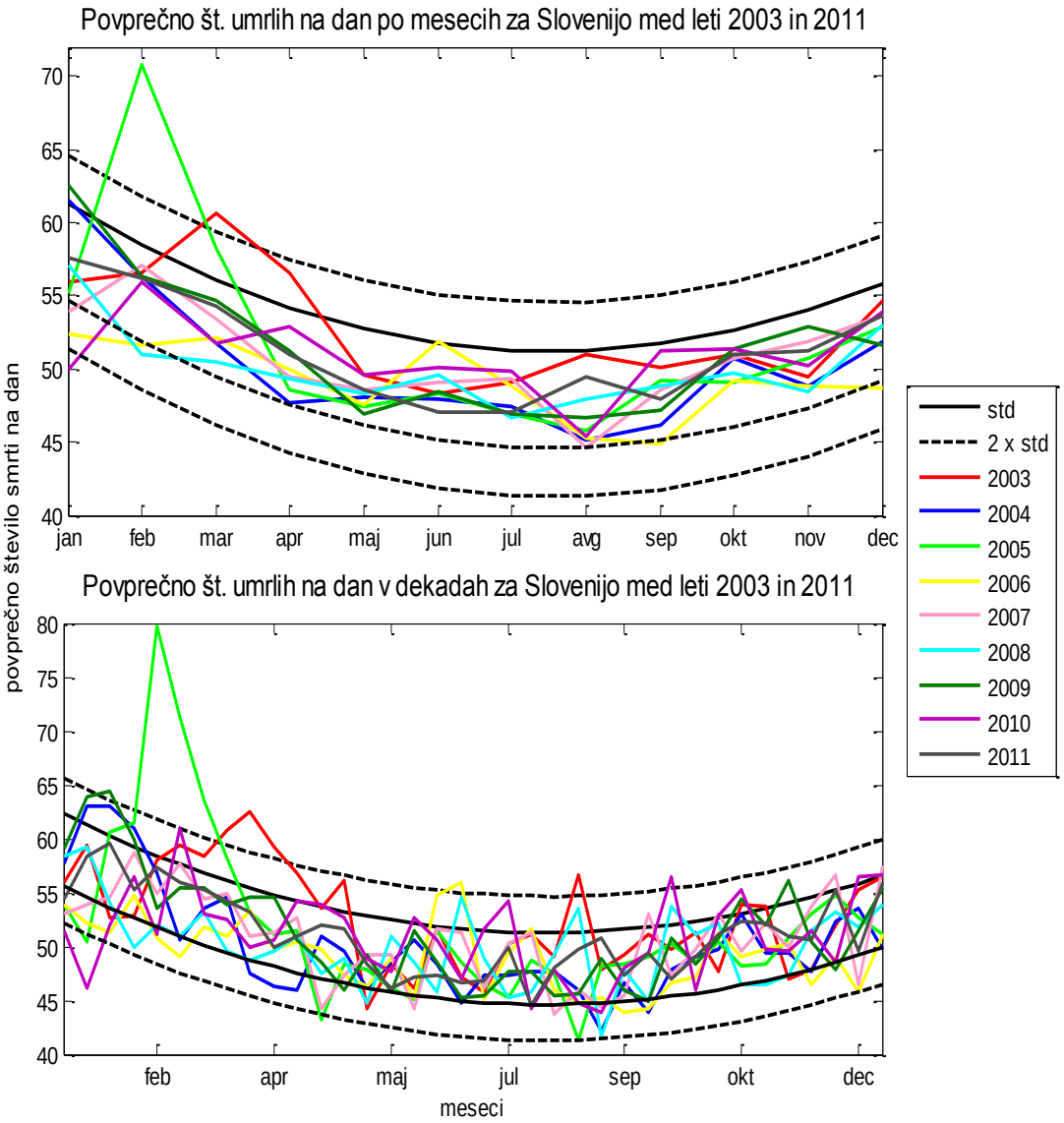
Slika 5.3: Primerjava 10-dnevnega drsečega povprečja povprečnega števila umrlih na dan in povprečno število umrlih na dan po dekadah.

Zanima me čim boljši opis variabilnosti v poletnih mesecih, zato sem preverila prilagajanje podatkov s polinomom četrte stopnje. Z novo, bolj kompleksno funkcijo, sem dobila boljše prilagajanje podatkov, vendar je rezultat ostal najslabši prav v poletnih mesecih, ki me najbolj zanimajo. Še več, v teh mesecih je odstopanje večje kot pa pri prilagajanju polinoma druge stopnje (ni predstavljeno grafično).

Da bi dobila dobro prilagajanje enostavne funkcije tudi med poletnimi meseci, sem izrisala samo dekade v toplejši polovici leta. Točneje, med zadnjo dekado maja in drugo dekado septembra. Ujemanje s kvadratnim polinomom je bilo v tem primeru slabše kot na letnem nivoju, kar je pričakovano (rezultati niso prikazani).

Za posamezna leta sem preverila pojave ekstremno velikega števila smrtnih žrtev z osnovnima paraboličnima modeloma (5.1) in (5.2). Ekstrem definiramo, ko je število umrlih večje od dvakratnega standardnega odklona od povprečja. Rezultati so predstavljeni na sliki 5.6

Izrazit ekstrem na sliki 5.4 se pojavlja v letu 2005 v zimskih mesecih. Razlog bi lahko bila nekoliko povečano število prijav nalezljivih bolezni [25] in nekoliko kasnejši vrh sezone gripe. V februarju 2005 je bila razglašena epidemija gripe, o kateri smo lahko brali v medijih [26]. V hladni polovici leta najdemo tudi ekstremni leti 2003 in 2009. Ekstremno velika števila umrlih v poletnih mesecih so se pojavila v letih 2003, 2006 in 2010. Slika 5.4 pove tudi, da je bilo neobičajno malo smrti pozimi 2010. Če primerjamo podatke na mesečni ravni odstopata le leti 2005 in 2003 v zimskih mesecih. Izredno malo število umrlih je tudi v tem primeru januarja 2010.



Slika 5.4: Potek povprečnega števila umrlih na dan po mesecih (zgoraj) in po dekadah (spodaj) za različna leta. Parabola, ki najbolje opiše potek smrti po mesecih je označena s črnimi črtami, in sicer s sklenjeno črto, interval enkratne standardne deviacije, in s črtkano črto, parabola, ki je za dvakratno vrednost standardne deviacije odmaknjena od povprečnega kvadratnega prilagajanja.

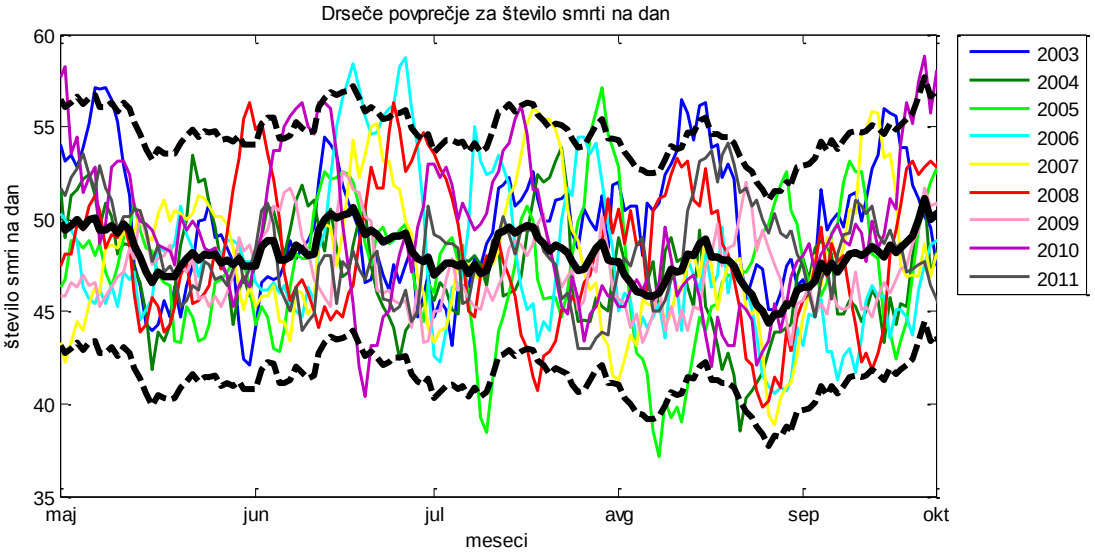
5.1 Detekcija vročinskih valov v Sloveniji s pomočjo korelacije smrtnosti in vročinskih indeksov

5.1.1 Primerjava z dosedanjimi študijami v Sloveniji

Za primerjavo s [8] sem uporabila sedemdnevno drseče povprečje na podatkih iz poletnih mesecev. Izračunala sem povprečno število umrlih za posameznem dan v letu. Te vrednosti sem zgladila s pomočjo sedemdnevnega drsečega povprečja in izračunala standardno deviacijo. Poleg dobljenih krivulj sem

na isti graf izrisala še sedemdnevno drseče povprečje števila smrti na dan za posamezna leta.

Slika 5.5 kaže, da sedaj, poleg že omenjenih let 2003, 2006, 2008 in 2010, dobimo še dodatno velika odstopanja v poletnih mesecih v letih 2005, 2007, 2009 in 2010. Torej je bilo vsako leto vsaj v nekem tednu poletja nadpovprečno veliko smrti. Izjema sta le leti 2004 in 2011. Enake zaključke sem dobila, če sem za poletni čas uporabila kvadrati model, ki sem ga poskušala prilagoditi samo poletnim mesecem in se je izkazal za slabo prilagajanje (slika ni prikazana).



Slika 5.5: Sedemdnevno drseče povprečje števila umrlih na dan v Sloveniji med majem in oktobrom. Prikazane so povprečne vrednosti in dejanske vrednosti v posameznih letih. S krepko črtkano črto je označena dvakratna standardna deviacija. Najdebelejši potek števila umrlih označuje povprečje.

Variabilnost števila umrlih bi lahko bila povezana z variabilnostjo temperatur. Da bi preverila, ali obstaja korelacija med zglajenimi vročinskimi indeksi na postaji Ljubljana in zglajenim številom umrlih, sem izračunala korelacijske koeficiente. Izkazalo se je, da linearne korelacije ni (-0.1049). Korelacija ni najdena niti v primeru 3- ali 5-dnevnega zamika (0.041 oz. 0.060).

5.1.2 Korelacija vročinskih indeksov in smrtnosti v različnih pokrajinah po Sloveniji

Linearno povezavo med dvema spremenljivkama najlažje preverimo s pomočjo izračuna korelacijskih koeficientov. Da bi preverila, če je število smrtnosti po različnih slovenskih regijah povezano z poletno vročino, sem izračunala korelacijske koeficiente med različnimi indeksi in številom umrlih v posamezni regiji. Pri obeh skupinah podatkov sem upoštevala samo mesece: maj, junij, julij, avgust in september.

V Pomurju v povprečju na dan umre 3.5 ljudi (v omenjenih mesecih). Standardni odklon je 1.8 smrti, kar pomeni, če imamo na dan 6 smrti, je to že ekstremno veliko. Izračunani korelacijski koeficienti za posamezne indekse na meteorološki postaji Murska Sobota in število smrti v pomurski regiji so zbrani v tabeli 5.2:

Tabela 5.2: Korelacijski koeficienti med različnimi indeksi in smrtnostjo v pomurski regiji

	smrti	**HI**	**AT**	**humidex**	EHI_{sig}	EHI_{accl}	**EHF**	**NET**
smrti	1,000	0,040	0,032	0,029	0,041	0,041	0,063	0,032
HI	0,040	1,000	0,990	0,985	0,842	0,842	0,817	0,983
AT	0,032	0,990	1,000	0,995	0,826	0,826	0,801	0,991
humidex	0,029	0,985	0,995	1,000	0,833	0,833	0,807	0,978
EHI_{sig}	0,041	0,842	0,826	0,833	1,000	1,000	0,973	0,801
EHI_{accl}	0,041	0,842	0,826	0,833	1,000	1,000	0,973	0,801
EHF	0,063	0,817	0,801	0,807	0,973	0,973	1,000	0,773
NET	0,032	0,983	0,991	0,978	0,801	0,801	0,773	1,000

Izračunani korelacijski koeficienti za posamezne indekse na meteorološki postaji Maribor in številom smrti v podravski regiji so zbrani v spodnji tabeli:

Tabela 5.3: Enako kot tabela 4.2, le za podravsko regijo.

	smrti	**HI**	**AT**	**humidex**	EHI_{sig}	EHI_{accl}	**EHF**	**NET**
smrti	1,000	0,221	0,231	0,229	0,093	0,257	0,105	0,197
HI	0,221	1,000	0,991	0,986	0,781	0,872	0,755	0,772
AT	0,231	0,991	1,000	0,997	0,748	0,884	0,726	0,782
humidex	0,229	0,986	0,997	1,000	0,749	0,885	0,727	0,776
EHI_{sig}	0,093	0,781	0,748	0,749	1,000	0,789	0,969	0,568
EHI_{accl}	0,257	0,872	0,884	0,885	0,789	1,000	0,766	0,722
EHF	0,105	0,755	0,726	0,727	0,969	0,766	1,000	0,543
NET	0,197	0,772	0,782	0,776	0,568	0,722	0,543	1,000

Povprečno število smrti na dan v tej regiji je 8.2, standardni odklon pa 3.0 smrti. Korelacijski koeficienti za izbrane vrednosti indeksov na meteorološki postaji Celje in številom smrti v savinjski regiji:

Tabela 5.4: Enako kot 4.2, le za Savinjsko regijo.

	smrti	**HI**	**AT**	**humidex**	EHI_{sig}	EHI_{accl}	**EHF**	**NET**
smrti	1,000	0,073	0,072	0,072	0,041	0,041	0,067	0,044
HI	0,073	1,000	0,990	0,987	0,831	0,831	0,805	0,772
AT	0,072	0,990	1,000	0,997	0,820	0,820	0,795	0,778
humidex	0,072	0,987	0,997	1,000	0,826	0,826	0,799	0,766
EHI_{sig}	0,041	0,831	0,820	0,826	1,000	1,000	0,967	0,652
EHI_{accl}	0,041	0,831	0,820	0,826	1,000	1,000	0,967	0,652
EHF	0,067	0,805	0,795	0,799	0,967	0,967	1,000	0,628
NET	0,044	0,772	0,778	0,766	0,652	0,652	0,628	1,000

V savinski regiji v povprečju umre nekaj več kot 6 ljudi na dan (6.3), standardni odklon je 2.5 smrti. V osrednjeslovenski regiji je ta številka najvišja, in

sicer povprečno na dan umre 10.6 ljudi, standardni odklon pa je 3.2. Za to regijo in meteorološko postajo Ljubljana so zbrani korelacijski koeficienti med indeksi in številom smrti v tabeli 5.5.

Tabela 5.5: Enako kot 4.2, le za osrednjeslovensko regijo.

	smrti	**HI**	**AT**	**humidex**	EHI_{sig}	EHI_{accl}	**EHF**	**NET**
smrti	1,000	0,101	0,096	0,096	0,074	0,074	0,092	0,097
HI	0,101	1,000	0,991	0,985	0,879	0,879	0,851	0,988
AT	0,096	0,991	1,000	0,997	0,880	0,880	0,856	0,994
humidex	0,096	0,985	0,997	1,000	0,884	0,884	0,859	0,984
EHI_{sig}	0,074	0,879	0,880	0,884	1,000	1,000	0,968	0,860
EHI_{accl}	0,074	0,879	0,880	0,884	1,000	1,000	0,968	0,860
EHF	0,092	0,851	0,856	0,859	0,968	0,968	1,000	0,832
NET	0,097	0,988	0,994	0,984	0,860	0,860	0,832	1,000

Na Gorenjskem sem kot reprezentativno postajo vzela Rateče. Tu v povprečju umre 4.3 ljudi dnevno, standardni odklon je enak 2 smrtim. Tabela 5.6 ponovno prikazuje korelacijske koeficiente za to regijo:

Tabela 5.6: Enako kot 4.2, le za gorenjsko regijo.

	smrti	**HI**	**AT**	**humidex**	EHI_{sig}	EHI_{accl}	**EHF**	**NET**
smrti	1,000	0,079	0,093	0,093	0,011	0,095	0,024	0,087
HI	0,079	1,000	0,992	0,987	0,797	0,837	0,775	0,978
AT	0,093	0,992	1,000	0,998	0,775	0,850	0,759	0,987
humidex	0,093	0,987	0,998	1,000	0,783	0,855	0,766	0,977
EHI_{sig}	0,011	0,797	0,775	0,783	1,000	0,874	0,963	0,745
EHI_{accl}	0,095	0,837	0,850	0,855	0,874	1,000	0,840	0,823
EHF	0,024	0,775	0,759	0,766	0,963	0,840	1,000	0,724
NET	0,087	0,978	0,987	0,977	0,745	0,823	0,724	1,000

Tabela 5.7: Enako kot 4.2, le za jugovzhodno regijo.

	smrti	**HI**	**AT**	**humidex**	EHI_{sig}	EHI_{accl}	**EHF**	**NET**
smrti	1,000	0,044	0,041	0,045	0,044	0,044	0,043	0,037
HI	0,044	1,000	0,991	0,986	0,862	0,862	0,799	0,987
AT	0,041	0,991	1,000	0,997	0,857	0,857	0,797	0,993
humidex	0,045	0,986	0,997	1,000	0,862	0,862	0,800	0,983
EHI_{sig}	0,044	0,862	0,857	0,862	1,000	1,000	0,931	0,837
EHI_{accl}	0,044	0,862	0,857	0,862	1,000	1,000	0,931	0,837
EHF	0,043	0,799	0,797	0,800	0,931	0,931	1,000	0,771
NET	0,037	0,987	0,993	0,983	0,837	0,837	0,771	1,000

V jugovzhodni Sloveniji beležimo v povprečju 3.4 smrti na dan, standardni odklon je 1.9. Tudi tu sem izračunala korelacijske koeficiente in jih zbrala v tabeli 5.7.

Primorska je ločena na dve regiji, obalno-kraško in pa goriško regijo. Na goriškem povprečno na dan umrejo trije ljudje, standardi odklon je 1.8. Korelacijski koeficienti med indeksi in smrtnostjo v tej regiji so predstavljeni v tabeli 5.8.

Tabela 5.8: Enako kot 4.2, le za goriško regijo.

	smrti	**HI**	**AT**	**humidex**	EHI_{sig}	EHI_{accl}	**EHF**	**NET**
smrti	1,000	0,038	0,040	0,042	0,025	0,025	0,038	0,013
HI	0,038	1,000	0,982	0,976	0,868	0,868	0,695	0,464
AT	0,040	0,982	1,000	0,995	0,824	0,824	0,662	0,451
humidex	0,042	0,976	0,995	1,000	0,833	0,833	0,666	0,441
EHI_{sig}	0,025	0,868	0,824	0,833	1,000	1,000	0,777	0,480
EHI_{accl}	0,025	0,868	0,824	0,833	1,000	1,000	0,777	0,480
EHF	0,038	0,695	0,662	0,666	0,777	0,777	1,000	0,377
NET	0,013	0,464	0,451	0,441	0,480	0,480	0,377	1,000

Obalno – kraška regija ima povprečno število umrlih na dan 2.5, standardno deviacijo 1.6. Tabela korelacijskih koeficientov med indeksi in smrtnostjo je tabela 5.9.

Tabela 5.9: Enako kot 4.2, le za obalno - kraško regijo.

	smrti	**HI**	**AT**	**humidex**	EHI_{sig}	EHI_{accl}	**EHF**	**NET**
smrti	1,000	0,115	0,111	0,111	0,104	0,104	0,118	0,112
HI	0,115	1,000	0,983	0,979	0,890	0,890	0,856	0,992
AT	0,111	0,983	1,000	0,993	0,861	0,861	0,828	0,995
humidex	0,111	0,979	0,993	1,000	0,860	0,860	0,825	0,985
EHI_{sig}	0,104	0,890	0,861	0,860	1,000	1,000	0,959	0,875
EHI_{accl}	0,104	0,890	0,861	0,860	1,000	1,000	0,959	0,875
EHF	0,118	0,856	0,828	0,825	0,959	0,959	1,000	0,838
NET	0,112	0,992	0,995	0,985	0,875	0,875	0,838	1,000

V tabeli 5.10 sem zbrala deleže, standardnih odklonov glede na povprečno vrednost števila umrlih na dan v posameznih regijah.

Tabela 5.10: Povprečje, standardni odklon in pripadajoči delež glede na povprečje za posamezne regije

	povprečje	std	delež [%]
pomurska regija	3,5	1,8	51,43
podravska regija	8,2	3,0	36,59
savinjska regija	6,3	2,5	39,68
osrednje-Slovenska regija	10,6	3,2	30,19
jugovzhodna Slovenija	4,3	2,0	46,51
gorenjska	3,4	1,9	55,88
goriška	3,0	1,8	60,00
obalno-Kraška	2,5	1,6	64,00

Vsi korelacijski koeficienti med vsemi indeksi in smrtnostjo na vseh postajah povejo, da linearne povezave med številom smrti in izbranim indeksom ni. Ker je velikokrat omenjen najdaljši vročinski val v avgustu leta 2003, sem ločeno preverila korelacijo na krajšem obdobju za mesec avgust in res dobila nekoliko večje korelacije, vsaj za nekatere indekse (tabela 5.11). Le-te izstopajo korelacije v Ljubljani za avstralske indekse, ki so precej večji. Na nekaterih postajah (Maribor, Bilje, Celje, Novo mesto) so korelacije postale negativne. Korelacije so se izboljšale poleg postaje Ljubljana, tudi v Ratečah in Murski Soboti, za indekse EHF, EHI_{accl} in EHI_{sig}.

Tabela 5.11: Korelacijski koeficienti za mesec avgust 2003 med številom umrlih in vrednosti indeksov

	Murska Sobota	**Maribor**	**Celje**	**Novo mesto**	**Ljubljana**	**Rateče**	**Bilje**	**Portorož**
HI	0,029	-0,295	-0,177	-0,002	0,281	0,222	-0,010	0,032
AT	0,039	-0,233	-0,173	0,038	0,311	0,191	-0,049	0,029
humidex	0,037	-0,236	-0,170	0,067	0,337	0,176	-0,096	-0,009
$\boldsymbol{EHI_{sig}}$	0,214	-0,069	0,007	-0,005	**0,404**	0,247	-0,106	0,176
$\boldsymbol{EHI_{accl}}$	0,214	-0,069	0,007	-0,005	**0,404**	0,247	-0,106	0,176
EHF	0,210	-0,070	-0,011	-0,020	**0,393**	0,251	-0,106	0,181
NET	0,026	-0,273	-0,172	-0,007	0,291	0,210	0,004	0,045

Na koncu sem tudi sama izračunala povprečje indeksov iz postaj Murska Sobota, Maribor, Celje, Novo mesto, Ljubljana, Rateče, Bilje ter letališče Portorož in s pomočjo teh vrednosti v mesecu avgustu 2003 izračunala korelacije s celotnim številom smrti na dan v Sloveniji.

Ponovno najboljšo korelacijo kažejo vsi trije avstralski indeksi, je pa ta še vseeno zelo šibka. Ničto hipotezo, da korelacije med smrtnostjo in indeksi v mesecu avgustu 2003 ni, sem preverila, in ugotovila, da s stopnjo tveganja 5% lahko trdim, da ničte hipoteze ne moremo ovreči. To nam potrdi tabela p-vrednosti. Če je vrednost *p* majhna, recimo pod 0.05, potem lahko rečemo, da je korelacija signifikantna.

Tabela 5.12: Korelacija s povprečno vrednostjo indeksov v celi Sloveniji in številom smrti na dan v celi Sloveniji za mesec avgust 2003

	HI	**AT**	**humidex**	EHI_{sig}	EHI_{accl}	**EHF**	**NET**	**smrti**
HI	1,000	0,987	0,968	0,691	0,691	0,693	0,998	0,087
AT	0,987	1,000	0,991	0,683	0,683	0,687	0,986	0,119
humidex	0,968	0,991	1,000	0,676	0,676	0,684	0,959	0,122
EHI_{sig}	0,691	0,683	0,676	1,000	1,000	0,997	0,686	**0,352**
EHI_{accl}	0,691	0,683	0,676	1,000	1,000	0,997	0,686	**0,352**
EHF	0,693	0,687	0,684	0,997	0,997	1,000	0,686	**0,339**
NET	0,998	0,986	0,959	0,686	0,686	0,686	1,000	0,092
smrti	0,087	0,119	0,122	0,352	0,352	0,339	0,092	1,000

Tabela 5.13: p-vrednosti za preverjanje ničte hipoteze, da korelacije med številom umrlih in indeksi v mesecu avgustu 2003 ni.

	HI	**AT**	**humidex**	EHI_{sig}	EHI_{accl}	**EHF**	**NET**	**smrti**
HI	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,640
AT	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,525
humidex	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,513
EHI_{sig}	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,052
EHI_{accl}	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,052
EHF	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,062
NET	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,622
smrti	0,640	0,525	0,513	0,052	0,052	0,062	0,622	1,000

Iz tabele 5.13 lahko zaključim, da obstajajo signifikantne korelacije med vsemi indeksi med sabo, medtem ko je korelacija med indeksi in smrtnostjo v vsakem primeru prešibka, da bi sploh lahko govorila o korelaciji.

6 Zaključek

V delu sem uporabila najbolj pogoste indekse za opis vpliva vremena na počutje ljudi na podatkih iz Slovenije. S tem sem želela določiti, kateri indeks je najbolj primeren za opis vročinskih valov v Sloveniji. Za oceno primernosti indeksa sem uporabila dnevno število umrlih, ki so ga avtorji različnih člankov izpostavljali kot kazalec občutljivosti na vročinske pogoje. Korelacijski koeficient med številom smrti in posameznimi indeksi je izračunan na različnih postajah, ki predstavljajo klimatske značilnosti različnih slovenskih regij.

Izbrala sem indekse, ki se najpogosteje uporabljajo za oceno vročinskega napora po svetu in se glede na dostopne podatke lahko računajo tudi v Sloveniji. Večina je za svoj izračun potrebovala dnevne vrednosti vlage in maksimalnih temperatur, nekateri tudi vetra. Z njihovo pomočjo si veliko držav pomaga pri izdajanju opozoril v zvezi z vročinskim naporom.

Eden izmed glavnih rezultatov magistrskega dela je, da ni statistično značilne korelacije med številom smrti v Sloveniji in vrednostmi vročinskih indeksov. Korelacija ni najdena niti za rekordno vroč avgust 2003. V tem primeru je korelacijski koeficient največji na postaji v Ljubljani za tri avstralske indekse, ki poleg trenutnih vremenskih razmer upoštevajo tudi pretekle klimatološke značilnosti merilnega mesta oz. vremenske razmere v preteklih 30 dneh. Slaba korelacija najbrž ni posledica slabega oz. neuporabnega indeksa za naše kraje, temveč majhnega števila smrti, posebej v posameznih regijah.

Vročinske indekse lahko uporabimo za biometerološko regionalizacijo Slovenije. Na osnovi primerjave 10-ih postaj lahko zaključim, da Slovenije ne moremo enostavno razdeliti na tri ločene regije; celinski del, primorsko in visoke gore. Najstarejši štirje indeksi namreč nakazujejo, da se v celinskem delu države in ob morju vročinsko naporni dnevi pojavljajo ob približno enakih vrednostih indeksov. Najvišje vrednosti za nastop najbolj vročinsko napornih razmer imamo na območju Goriške, najnižje pa pričakovano v alpskih dolinah.

V Sloveniji lahko letni hod povprečnega števila smrti na dan v posameznem mesecu dobro opišemo s pomočjo kvadratne funkcije, ki ima minimum med poletnimi meseci. Če leto razdelimo na krajša obdobja, ki so dolga okoli 10 dni, ugotovimo, da imamo med toplejšim delom leta dva maksimuma in tri minimume smrtnosti, ki ga kvadratni model ne opiše več zadovoljivo.

Iz predstavljenih rezultatov lahko sklepamo, da vročina pri nas gotovo ni najbolj smrtonosna, saj imamo v poletnih mesecih minimum smrti. Če število smrti med letoma 2003 in 2011 obravnavamo v 10-dnevnih intervalih opazimo določeno variabilnost tudi v poletnih mesecih, za katero trenutno še ni razlage. Podatki o

smrtnosti v različnih letih povedo, da imamo skoraj vsako poletje v nekem tednu nadpovprečno veliko število umrlih, za kar pa niso nujno krive visoke temperature.

Scenariji podnebnih sprememb napovedujejo, da nas v prihodnosti čaka čedalje več vročinsko napornih dni [27]. Pokazala sem, da število dni, ko vrednosti vročinskih indeksov presežejo 90., 95. in 99. percentile, od leta 1980 naprej narašča. Število dni, ko je bila meja 95. percentila presežena, je v 35 letih naraslo za okoli štirikrat.

Navzoče delo je lahko osnova za izboljšanje operativne napovedi vročinskih valov in vročinskega napora v Sloveniji. Na osnovi rezultatov predlagam sklopitev dveh indeksov v enega, ki bi najbolje opisal dejanski občutek vročine pri nas. Osnovna bi bil indeks *EHF*. Ta indeks uporablja samo podatke o temperaturah. Glavni namen starejših indeksov je predstaviti dejanski občutek vročine glede na vrednosti ostalih meteoroloških spremenljivk. Zato bi bilo smiselno računati indeks *EHF*, vendar na vrednostih, ki bi jih dobili s pomočjo računanja starejših vročinskih indeksov. Glede na to, da je indeks *HI* uporaben samo med poletnimi meseci, ta odpade. Indeks *humidex* večkrat ne kaže na izrazito vroče leto 2003, zato bi lahko bil nepravilna izbira. Kot najprimernejša bi tako bila indeksa *AT* in *NET*. Glede na rezultate korelacijskih koeficientov med avgustom 2003 se je malenkost bolje odrezal indeks *AT*. Izdajanje opozoril o prihajajočem vročinskem valu bi tako združila v nov indeks.

Ob pravilno napovedanem obdobju vročine ljudi lahko pravočasno in primerno opozorimo na prihajajoče razmere in jim odsvetujemo nepotrebne in prehude napore. Priporoča se, da se vse zunanje aktivnosti ob takih razmerah preložijo na kasnejše oz. bolj zgodnje ure. Tovrstna opozorila bi lahko pomagala tudi npr. vodilnim v zdravstvenih domovih, da bi primerno povečali število zaposlenih v takšnih dneh, vodjam gradbišč, da bi ob največji vročini prekinili delo na prostem in za delavce priskrbeli primerno mesto za ohladitev. Ob takšnih dneh bi morali delodajalci svojim delavcem dopuščati večje število odmorov, še posebno v velikih proizvodnih halah.

Literatura

[1] Spletni vir: http://www.delo.si/novice/slovenija/delova-tema-po-crnem-scenariju-bosta-huda-susa-in-vrocina-postali-nekaj-obicajnega.html (25.11.2016)

[2] Spletni vir: http://www.rtvslo.si/okolje/novice/ekstremne-vremenske-razmere-po-svetu-ubile-ze-vec-tisoc-ljudi/368545 (25.11.2016)

[3] Spletni vir: http://www.24ur.com/novice/slovenija/v-prihodnosti-nas-cakajo-ekstremi-pozimi-manj-snega-a-vec-dezja-poleti-suse-in-izrazita-vrocina.html?bl=1 (25.11.2016)

[4] N. Simon, A. Gosling, E. K. Bryce, P. G. Dixon, K. M. A. Gabriel, E. Y. Gosling, J. M. Hanes, D. M. Hondula, L. Liang, P. A. B. M. Lean, S. Muthers , S. T. Nascimento, M. Petralli, J. K. Vanos in E. R. Wanka, A glossary for biometeorology, Int J Biometeorol, 2013

[5] G. R. McGregor, P. Bessemoulin, K. Ebi in B. Menne, Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development. World Meteorological Organization and World Health Organization, 2015, (Dostopno na http://www.who.int/globalchange/publications/WMO_WHO_Heat_Health_Guidance_2015.pdf?ua=1)

[6] J. Berko in D. D. Ingram, Deaths Attributed to Heat, Cold, and Other Weather Events in the United States, 2006–2010, U.S. department of helth and human services, 2014.

[7] S. Tomšič, J. Š. Šemerl in M. Omerz, Vpliv vročinskih valov na umrljivost ljudi. V: Svetovni dan zdravja 2008. Podnebne spremembe vplivajo na zdravje: moje, tvoje, naše. Ljubljana: Inštitut za varovanje zdravja Republike Slovenije, 22-24, 2008

[8] J. Š. Šemerl, S. Tomšič, Vpliv vročinskih valov na umrljivost. Vročinski val avgusta 2003 v Sloveniji. Ljubljana: Inštitut za varovanje zdravja Republike Slovenije, 2008.

[9] Spletni vir: http://kazalci.arso.gov.si/print?ind_id=685&lang_id=302 (20.11.2016)

[10] J. Robine, S. L. Cheug, S. Le Roy, H. Van Oyen in sod., Death toll Exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. ScienceDirect, 2007

[11] Improving Public Health Responses to Extreme Weather/ Heat-Waves – EuroHEAT, Meeting Report Bonn, Germany, 22-23 marec 2007.

[12] P. W. Li in S.T. Chan, Application of a weather stress index for alerting the public to stressful weather in Hong Kong. Meteor. Appl., 7: 369–375, 2000

[13] Spletni vir: http://www.nws.noaa.gov/om/heat/heat_index.shtml (25.11.2016)

[14] Spletni vir: https://pwlinfo.wordpress.com/tag/heat-index/ (25.11.2016)
[15] Spletni vir: http://www.fmf.uni-lj.si/~zagarn/downloads/M2015/StabilnostVlazenZrak_2015.pdf (25.11.2016)
[16] Spletni vir: http://ptaff.ca/humidex/?lang=en_CA (25.11.2016)
[17] J. R. Nairn in R. Fawcett, 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 060 Kent Town, South Australia, 2013
[18] M. Vida, Medicinska meteorologija, Ljubljana: Medicinska fakulteta, 1990.
[19] G. Jendritzky, H. Staiger, K. Bucher, A. Graetz, G. Laschewski, The Perceived Temperature: The Method of the Deutscher Wetterdienst for the Assessment of Cold Stress and Heat Load for the Human Body, Deutscher Wetterdienst, Germany,
[20] D. Ogrin, Modern climate change in Slovenia. In Slovenia: A Geographical Overview, Orožen-Adamic M (ed). Association of the Geographical Societies of Slovenia, Ljubljana, 45–50, 2004.
[21] M. Brilly, M. Šraj, Osnove Hidrologije, Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 2005
[22] Spletni vir: https://www.mathworks.com/help/stats/prctile.html (25.11.2016)
[23] H. von Stoch in F.W. Zwiers, Statistical analysis in climate research, Cambridge, University Press, UK, 1999.
[24] Spletni vir: http://web.bf.uni-lj.si/agromet/Klimatologija%20-%20vaja%202.ppt
[25] Spletni vir: http://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/uploaded/cnb_feb_2005.pdf
[26] Spletni vir: http://www.rtvslo.si/slovenija/epidemija-ze-tisoci-bolnih/31444
[27] A. J. McMichael, R. E. Woodruff, S. Hales, Climate change and human health: present and future risks, National Centre for Epidemiology and Population Health, The Australian National University, 2006.