

TRENDI TEMPERATUR ZRAKA V MARIBORU KOT POSLEDICA RAZVOJA MESTNEGA TOPLOTNEGA OTOKA

Igor Žiberna

Dr., profesor geografije in zgodovine, docent
Oddelek za geografijo
Filozofska fakulteta
Univerza v Mariboru
Koroška cesta 160, SI – 2000 Maribor, Slovenija
e-mail: igor.ziberna@uni-mb.si

UDK: 551.583/584(497.4 Maribor)

COBISS: 1.01

Izvelek

Trendi temperatur zraka v Mariboru kot posledica razvoja mestnega toplotnega otoka

Človekovi vplivi, predvsem širjenje pozidanih površin, ogrevanje, promet, onesnaževanje zraka, so prispevali k nastajanju specifičnega mestnega ekosistema. Med njegove pomembne značilnosti sodi nastanek značilnega mestnega podnebja, ki se najbolj manifestira s pojavom mestnega toplotnega otoka. V prispevku so prikazane časovne spremembe intenzivnosti mestnega toplotnega otoka na primeru Maribora, kot posledica človekovih vplivov, predvsem širjenja pozidanih površin. Izračunani so večletni trendi glavnih temperaturnih kazalcev in nekaterih izpeljanih klimatskih parametrov. Prikazani so tudi vplivi mestnega toplotnega otoka na izbrane bioklimatske kazalce.

Ključne besede

fizična geografija, mestna klima, Maribor

Abstract

Air temperature trends in Maribor as a consequence of the development of the urban heat islands

Human influences, above all spreading of constructed areas, heating, air pollution, have contributed to the formation of a specific urban ecosystem. To its important characteristics belongs the appearance of a distinctive urban climate, which has been manifested through the construction of the urban heating and in the case of Maribor, as a consequence of human influences, above all spreading of constructed areas. Trends of the principal temperature indicators and of some other realized climate parameters are calculated. Influences of the urban heat island on selected bioclimatic indicators are represented as well.

Key words

physical geography, city climate, Maribor

Uredništvo je članek prejelo 11.4.2006

1. Uvod

Demografske ocene govorijo, da danes več kot polovico svetovnega prebivalstva že prebiva v mestnem okolju. Po projekcijah bi naj prišlo do prebivalstvene eksplozije velemest. Leta 2015 bi tako naj v Tokiju prebivalo 30 milj., v Mexico Cityju pa 20 milj. prebivalcev. Mesta z nad 10 milj. prebivalcev naj ne bi bila več redkost (Sukopp in Wittig 1993, str.58). Velika gostota prebivalstva v gosto pozidanih območjih, umetno proizvedena energija in spremenjena vodna bilanca bodo v prihodnosti krojile velik del človekovega okolja. Gotovo je eden od najbolj obsežnih, pa tudi najbolj vidnih in zaznavnih učinkov nastajanje specifične, t.i. "mestne klime", za katero so značilne višje temperature od tistih v okolici mesta.

Specifična raba tal v mestu (večji delež betonskih in asfaltnih površin na račun z vegetacijo poraslih tal) bistveno modificira energijsko bilanco mesta. Beton ima v primerjavi z vlažnimi tlemi tudi do šestkrat večjo konduktivnost¹ in skoraj dvakrat večjo toplotno kapaciteto² (Oke 1990, str.259), zato se podnevi počasi segreva, ponoči pa počasi ohlaja. Prav ta lastnost močno vpliva na dnevni režim razlik v temperaturi zraka med mestom in okolico. Mesto s svojimi pozidanimi površinami deluje kot termoakumulacijska peč, ki čez dan absorbira kratkovalovno sevanje Sonca, nato pa v nočnem in jutranjem času sama oddaja dolgovalovno sevanje v ohlajeno okolico. Temperaturne razlike med mestom in okolico so zato najvišje v času nastopa minimalnih temperatur. Fezer (1994, str. 53-54) govori tudi o letnem režimu intenzivnosti nastajanja mestnega toplotnega otoka. Medtem ko mesta v subpolarnih območjih beležijo najintenzivnejši razvoj mestnega toplotnega otoka v zimskih mesecih, je v submediteranskih mestih ta najbolj razvit v poletnih mesecih. Kontinentalni del Evrope, še zlasti Panonska nižina z obrobjem kaže, da je mestni toplotni otok običajno najbolj razvit pozimi.

Manj z vegetacijo poraslih površin pomeni tudi manjšo evapotranspiracijo s tem pa tudi manj porabljene latentne energije, kar dviga temperaturo zraka podnevi in blaži pretirano ohlajanje ponoči. Končni rezultat omenjenega je večji prebitek v energijski bilanci mesta v primerjavi s tisto v okolici. Ena najbolj vidnih posledic tega je nastanek "mestnega toplotnega otoka". Energijsko bilanco spreminja tudi človek, ki s svojo aktivnostjo v mestu (ogrevanje, industrija, promet) vnaša energijo v ozračje. V ozračje vnaša tudi materijo, predvsem v obliki onesnaževal in vodne pare. Prašni delci tudi modificirajo energijsko bilanco, saj manjšajo delež direktnega, večjajo pa delež difuznega sončnega obsevanja. Regionalna klima z vremenskimi tipi, relief ter antropogeni dejavniki so torej vzrok za lokalne spremembe v energijski bilanci, spremembe v vodni bilanci, spremembe v sestavi zraka, spremembe v kroženju zraka in končno spremembe v vrednostih klimatskih elementov, kar

¹ Toplotna konduktivnost neke snovi je merilo sposobnosti toplotnega prevajanja te snovi. Predstavlja količino toplote, ki preteče skozi enoto površine v enoti časa (Kladnik 1988, str.200).

² Toplotna kapaciteta snovi nam pove množino toplote, ki je potrebna, da se snov segreje za 1 K, oziroma, koliko toplote mora snov oddati, da se ohladi za 1 K (Kladnik 1988, str.197).

vodi v oblikovanje specifičnih klimatskih razmer v mestu, t.j. do "mestne klime" (Žiberna 1996, str.5).

Energijsko bilanco v mestu lahko zapišemo kot :

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

pri čemer pomenijo:

- Q^* - neto sevanje
 - Q_F - antropogeni vnos energije v ozračje
 - Q_H - energijski tok zaznavne toplote
 - Q_E - energijski tok latentne toplote
 - ΔQ_S - akumulacija energije
 - ΔQ_A - advekcija energije
- (Oke 1990, str.274).

Neto sevanje oblikujejo kratkovalovno sevanje Sonca in dolgovalovno sevanje zemeljskega površja :

$$Q^* = Q_{kd} + Q_{kr} - a(Q_{kd} + Q_{kr}) + Q_{da} + Q_{dg}$$

pri tem pomenijo :

- Q_{kd} - direktno sončno sevanje (kratkovalovno)
 - Q_{kr} - difuzno sevanje neba (kratkovalovno)
 - a - albedo
 - Q_{da} - protisevanje atmosfere (dolgovalovno)
 - Q_{dg} - sevanje zemeljske površine (dolgovalovno)
- (Hočevar in Petkovšek 1988, str.95).

Zaradi onesnažene atmosfere so členi kratkovalovnega sevanja v mestu modificirani. Povečana količina prašnih delcev lahko oslabi direktno sončno sevanje tudi za 20 %, po drugi strani pa poveča delež difuznega kratkovalovnega sevanja. Spremenjena je tudi zastopanost posameznih valovnih dolžin. Oslabljen je zlasti ultraviolečni del spektra (do 40 %), kar lahko rahlo zmanjša intenzivnost fotosinteze, zmanjša možnost nastajanje kožnega raka in omili produkcijo vitamina D (Oke 1990, str.304-310). Zaradi enakomernega sipanja vseh valovnih dolžin, je nebo v mestih vidno kot blede modro ali sivo. Povprečni albedo mesta je v primerjavi s tistim v okolici zmanjšan³. Temu je tako zaradi manjšega albeda asfaltnih in betonskih površin, ter večje hrapavosti mestnega površja. Manjši albedo pomeni tudi manjši del od tal odbitega kratkovalovnega sevanja. Po splošnih ocenah naj bi povprečni albedo mesta znašal okoli 0,15, kar je nekaj manj od albeda ruralne okolice (Monteith in Unsworth, 1990, str.80-82; Oke 1990, str.281). Seveda so to le okvirne vrednosti, ki se, v odvisnosti od barve pozidanih površin, lahko tudi bistveno spremenijo. Manjše kratkovalovno direktno sevanje v mestih se izravna z manjšim, od tal odbitim kratkovalovnim sevanjem.

³ Albedo golih tal znaša med 0.05 in 0.40, travnikov med 0.16 in 0.26, njivskih površin med 0.18 in 0.25, sadovnjakov med 0.15 in 0.20 ter gozda med 0.15 in 0.20. Planet Zemlja naj bi imel albedo 0.34 (Monteith in Unsworth, 1990, str.80-82).

Razlike v kratkovalovnem sevanju med mestom in okolico niso velike. Nekaj večje so razlike v dolgovalovnem sevanju zemeljske površine. Te izhajajo predvsem iz razlik v fizikalnih lastnosti podlage med mestom in okolico in so največje ponoči ter pozimi. Tudi dolgovalovno protisevanje atmosfere je zaradi večjih količin prašnih delcev v mestu nekaj večje. Oboje prispeva zlasti k zmanjšani stopnji ohlajanja mesta ponoči (Oke 1990, str.282). Tudi člena za energijske tokove zaznavne in latentne toplote se med mestom in okolico vidno razlikujeta. Asfaltne in betonske površine v mestu podnevi akumulirajo od Sonca sprejeto kratkovalovno sevanje. Ponoči, ko ni več kratkovalovnega sevanja Sonca, postane gonilna spremenljivka neto sevanja dolgovalovno sevanje površja, ki pa je v mestu povišano zaradi večje akumulacije kratkovalovnega sevanja. Po drugi strani pa je zaradi manj zelenih površin v mestu manjša evapotranspiracija. Posledica tega so tudi manjši pretoki latentne toplote v mestu, kar pomeni tudi manjše energijske izgube. Prebitek toka latentne toplote se čez dan akumulira, sprošča pa se ponoči in zjutraj. Po ocenah je tok zaznavne toplote v mestu za 60% višji, tok latentne toplote pa za 52% nižji od tistega na podeželju. Akumulacija toplote je v mestih višja za okoli 400 % (Oke 1990, str.284). Vse to dodatno vodi k formiranju toplotnega otoka in manjše relativne vlage v mestih. Velikostni razredi obeh členov so postali znani šele v zadnjem času, predvsem zaradi izpopolnjene metodologije meritev.

Spremembe v vodni bilanci so posledica spremenjenih lastnosti površja v mestu. Zaradi hitrega odtekanja meteorne vode po kanalizacijskih ceveh in zaradi manj vegetacije v mestih, je tudi evapotranspiracija zmanjšana, kar se med drugim kaže tudi v manjši absolutni in relativni vlagi ter manjšemu parnemu pritisku. Zmanjšana evapotranspiracija pomeni tudi bistveno zmanjšane izgube latentne energije, kar zopet modificira energijsko bilanco mesta (Landsberg 1981, str.179-182).

Namen članka je analizirati trende temperatur zraka v Mariboru in okolici in ugotoviti, ali vpliv mestnega toplotnega otoka v Mariboru vpliva na razlike v trendih temperatur zraka. Analizirati želimo tudi trende parametrov, ki so odvisni od temperatur in so pomembni za človeka (trajanje kurilne sezone, stopinjski dnevi in trajanje vegetacijske dobe).

2. Spreminjanje rabe tal na območju meteoroloških postaj Maribor-Tabor in Starše od začetka 60. let 20. stoletja naprej

Če želimo izločiti vpliv globalnih podnebnih sprememb, moramo trende klimatskih parametrov mestne meteorološke postaje primerjati s tistimi iz meteorološke postaje v okolici mesta. Ob predpostavki, da se je raba tal s širjenjem pozidanih površin v mestu spreminjala intenzivneje kot v njeni okolici, bi se morala zaradi tega v dolgoletnem obdobju spreminjati tudi mestna klima, t.j. tista mikroklima, ki jo je človek spreminjal predvsem s spremenjeno rabo tal in umetnim vnosom energije v ozračje.

Za obravnavo spreminjanja razlik v klimatskih parametrih med mestom in okolico smo kot primerjalne podatke uporabili tiste z meteorološke postaje Starše, ki je locirana v naselju Starše, tik ob magistralni cesti Maribor - Ptuj. Mikrolokacija te meteorološke postaje, kot primerjalne postaje ni najbolj

ugodna. Meteorološka hišica se nahaja na manjši njivi, ki pa je obdana s stanovanjskimi hišami, zgrajenimi v sedemdesetih letih. Nekaj metrov JZ od meteorološke postaje se nahaja plitva ježa. Glede na to, da obstajajo urejeni in preverjeni podatki za postajo v Staršah od leta 1961 naprej, smo obravnavali trende klimatskih parametrov v obdobju 1961 - 2004 (44 let). Čeprav se zdi, da je omenjeno obdobje kratko za tovrstno analizo, pa je potrebno dodati, da se je intenzivno spreminjanje rabe tal v mestu začelo prav v tem obdobju.

Letalski posnetki območja, kjer se je nahajala meteorološka postaja Maribor - Tabor za leta 1963 in 2003 nazorno prikazujejo spreminjanje rabe tal (Sliki 1 in 2). Mariborska meteorološka postaja se je do leta 1963 nahajala na območju med Tržaško cesto in železniško tovorno postajo na Teznem, ob nekdanjem mariborskem športnem letališču, okoli 600 m jugovzhodno od današnje lokacije. Staro lokacijo meteorološke postaje so na severnem delu obdajale posamezne nizke stavbe industrijskih obratov, v okolici pa so se širile travniške površine, zahodno od postaje se je nahajal Betnavski gozd. Pred letom 1963, ko se je meteorološka postaja preselila na novo lokacijo, so se tu nahajale njivske površine, okoli 200 m vzhodnejše od opazovalnega prostora pa vrstna pritlična stanovanjska stavba. Intenzivno priseljevanje prebivalstva iz širšega mestnega zaledja je povzročilo nove potrebe po stanovanjskih površinah. Te so se začele naglo širiti na južnem robu tedanjega območja sklenjene pozidave ob današnji Radvanjski in Ljubljanski ulici. Zlasti po letu 1965 so se v širši okolici meteorološke postaje Maribor - Tabor začele širiti stanovanjske soseske blokovne gradnje (severozahodno od tod, ob Regentovi in Rapočevi ulici), ter kompleksi s proizvodno in storitveno dejavnostjo (severno, zahodno in južno od tod). Leta 1980 so severovzhodno od meteorološke postaje odprli večje križišče cest z odcepi proti Ptujju, Ljubljani in soseski Maribor - jug, zahodno od tod pa bistveno razširili Jadransko cesto, kar je delež okoliških asfaltnih površin še povečalo. Pomebno se je spremenila raba tal južno od meteorološke postaje, med Tržaško in Jadransko cesto. Tu se je razvilo območje z avtomobilskimi trgovinami in servisi, s čemer se je povečal delež asfaltnih površin. Trend širjenja pozidanih površin v okolici še ni zaključen. Južno od meteorološke postaje so v zadnjih letih bližnje stavbe nadzidali, medtem ko na vrtičkarskih površinah zahodno od opazovalnega prostora med Jadransko in Ljubljansko cesto nastajajo novi stanovanjski in poslovni objekt. Še najmanjšo transformacijo - če odštejemo magistralno cesto proti Hočam in večje cestno križišče - je doživela vzhodna okolica opazovalnega prostora postaje. Okolica meteorološke postaje je torej prav v desetletjih, ki jih obravnavamo v analizi trendov klimatskih parametrov, doživela intenzivno preobrazbo rabe tal od nekdanjih njivskih površin v gosto pozidano območje.

3. Trendi temperatur zraka v Mariboru v med leti 1961 in 2004

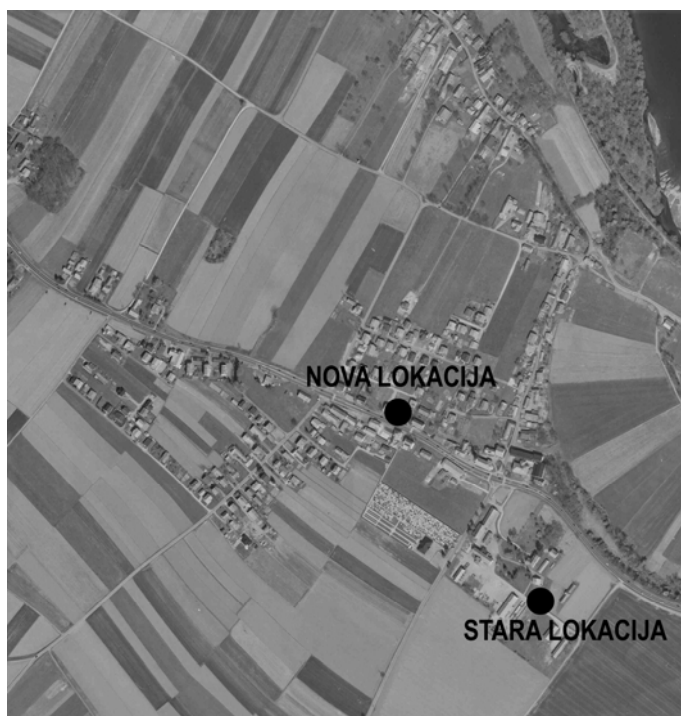
V analizo trendov temperatur smo vključili standardne temperaturne kazalce (povprečne, povprečne maksimalne, povprečne minimalne temperature ter povprečne mesečne temperature ob 7., 14. in 21. uri). Tem kazalcem smo dodali še trende števila dni z minimalno temperaturo pod 0,0°C (t.i. hladni dnevi), trende vsot aktivnih temperatur nad 10,0°C in trend letnega števila dni s snežnimi padavinami.



Slika 1: Lokacija meteorološke postaje Maribor-Tabor po preselitvi leta 1963
Vir: Arhiv GURS, 2005.



Slika 2: Lokacija meteorološke postaje Maribor Tabor leta 2003
Vir: Arhiv GURS, 2005.



Slika 3. Stara (med 1961 in 1982) in nova (med 1982 in 2004) lokacija meteorološke postaje Starše
Vir: Arhiv GURS, 2005.

Tako meteorološka postaja Maribor-Tabor kot Starše v omenjenem obdobju kažeta pozitivne trende v vseh temeparturnih parametrih. Če poznamo mehanizem nastajanja mestne klime ni presenetljivo, da najvišjo stopnjo pozitivnega trenda v Mariboru opazimo pri povprečnih mesečnih minimalnih temperaturah. Temperaturne razlike v času nastopa minimalnih temperatur med mestom in okolico so tako najvišje. V Mariboru so se minimalne temperature v tem obdobju dvigale za $0,0523^{\circ}\text{C}$ letno, v Staršah pa za $0,0430^{\circ}\text{C}$ letno. Vrednosti trendov se spreminjajo tudi med letom. Najvišjo rast povprečnih mesečnih temperatur na obeh meteoroloških postajah beležimo poleti (avgust) in pozimi (januar). Parametri za mesec avgust v Mariboru nakazujejo najvišjo rast, saj se pri vseh parametrih v tem mesecu temperature dvigajo za slabo desetinko letno, kar je tudi v svetovnem merilu zelo visok trend (Landsberg 1981, str.91).

Bolj kot vrednosti posamčnih trendov na obeh meteoroloških postajah so v luči trendov, ki so posledica pojava mestne klime zanimive analize razlik trendov med Mariborom in Staršami. S tem smo vplive globalnih klimatskih sprememb izničili.

Razlike v trendih srednjih mesečnih temperatur ob 7.uri so največje v jesenskem in zimskem času. V obdobju 1961-2004 se je razlika v jutranjih temperaturah med Mariborom in Staršami jeseni letno povečevala za

0,0053°C, pozimi pa za 0,0171°C v prid mesta (Preglednica 1). Meseci, v katerih so se razlike v srednjih mesečnih temperaturah ob 7. uri najbolj povečale, so februar (za 0,0309°C/leto) in avgust (0,0151°C letno), najbolj pa so se razlike zmanjšale v oktobru, a le za 0,0019°C letno. Razlike v trendih srednjih mesečnih temperatur ob 14. uri niso tako visoke kot tiste zjutraj. Toplotni otok v Mariboru je namreč podnevi manj intenziven (Žiberna 1996 str. 67). Razlike v trendih v zimskem času so največje in kažejo, da so temperature v mestu na vsakih desetih letih višje od tistih v okolici za 0,225°C. Pomladi in poleti ni tako izrazitega porasta razlik temperatur ob 14. uri. Največji porast razlik v temperaturah beležimo v decembru (za 0,0298°C letno) in januarju 0,0233°C letno). Razlike se zmanjšujejo le v marcu, pa še takrat za zanemarljivih 0,0007°C letno. Precej večji pa je trend razlik srednjih mesečnih temperatur ob 21. uri, ko največje razlike nastopajo poleti (za 0,0312°C letno) in jeseni (0,268°C letno). Spomladi in pozimi so trendi razlik le nekaj manjši. Vse razlike trendov temperatur ob 21. uri so statistično pomembne s stopnjo zaupanja 0,95. Srednje mesečne temperature v mestu torej najhitreje rastejo pozimi (za 0,0283°C letno) in jeseni (za 0,0244°C letno), nekaj počasneje pa poleti (0,0186°C letno) in spomladi (0,0169°C letno). V poletnih mesecih je mestni toplotni otok v Mariboru slabše razvit, spomladanske razlike pa duši siceršnja večja prevetrenost atmosfere.

Zanimivi so tudi trendi srednjih mesečnih ekstremnih temperatur. Srednje maksimalne mesečne temperature v Mariboru v primerjavi z okolico najhitreje rastejo pozimi (za 0,0207°C letno) in jeseni (za 0,0168°C letno), medtem ko poleti rastejo le za 0,0050°C letno, spomladi pa so večje v Staršah, vendar le za 0,0013°C letno. Precej višje so razlike v trendih srednjih minimalnih temperatur. Zimske minimalne temperature v mestu letno porastejo za 0,0339°C letno, jesenske pa za 0,328°C letno, medtem ko poletne in spomladanske minimalne temperature letno porastejo za 0,0285°C oz. 0,0274°C. Februarske in marčevske minimalne temperature so letno v mestu višje od okolice za kar 0,0530°C oz. 0,0451°C, kar so najvišje razlike v vseh trendih srednjih mesečnih temperatur. Kot zanimivost naj omenimo, da so razlike trendov srednjih sezonskih temperatur med Mariborom in okolico enakega velikostnega reda kot so bile razlike trendov med nekaterimi ameriškimi mesti in njihovo okolico v času od konca 19. do srede 20. stol. Landsberg (1981 str.91) npr. omenja za Cleveland in njegovo okolico za obdobje 1895 - 1941 naslednje razlike sezonskih trendov srednjih mesečnih temperatur: pomlad 0,021°C letno, poletje 0,028, jesen 0,015 in zima 0,010. Za Maribor so v obdobju 1961 - 2004 bili izračunane naslednje razlike trendov srednjih sezonskih temperatur: pomlad 0,0169°C letno, poletje 0,0186, jesen 0,0244 in zima 0,0283 (Preglednica 1), pri čemer so vsi trendi statistično pomembni s stopnjo zaupanja 0,95.

Pregled razlik v trendih srednjih mesečnih temperatur med mestom in okolico prinaša več spoznanj. Srednje mesečne temperature v mestu najhitreje rastejo ob 21. uri, sledijo pa temperature ob 7. in temperature ob 14. uri. Razlike v trendih srednjih mesečnih temperatur kažejo, da se razlike med mestom in okolico najbolj povečujejo pozimi in jeseni, le ob 21. uri pa tudi poleti. Razlike v trendih ekstremnih temperatur kažejo, da se razlike med mestom in okolico hitreje večajo pri minimalnih kot maksimalnih temperaturah.

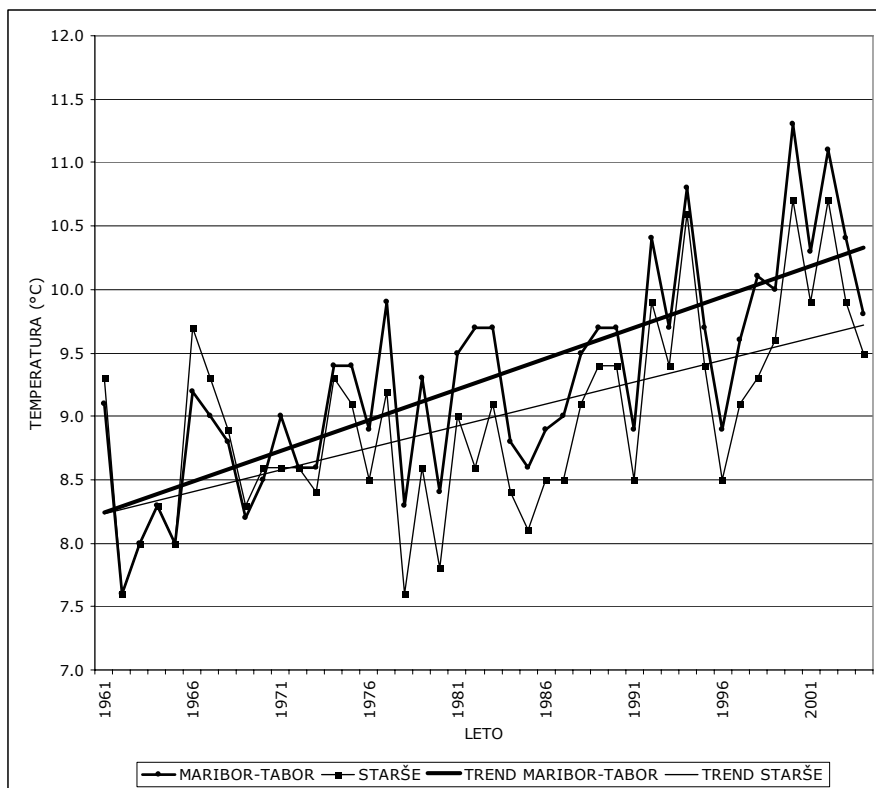
Preglednica 1: Razlike trendov med meteorološkima postajama Maribor-Tabor in Starše (1961-2004).

PARAMETER	JAN	FEB	MAR	APR
POVPREČNE TEMPERATURE ZRAKA	0.0108	0.0240	0.0064	0.0069
POVPREČNE MAKSIMALNE TEMPERATURE ZRAKA	0.0238	0.0164	-0.0002	-0.0008
POVPREČNE MINIMALNE TEMPERATURE ZRAKA	-0.0073	0.0186	-0.0052	0.0098
POVPREČNE TEMPERATURE ZRAKA OB 7.URI	0.0117	0.0309	0.0130	0.0093
POVPREČNE TEMPERATURE ZRAKA OB 14.URI	0.0195	0.0096	-0.0098	-0.0057
POVPREČNE TEMPERATURE ZRAKA OB 21.URI	0.0062	0.0293	0.0114	0.0105

PARAMETER	MAJ	JUN	JUL	AVG
POVPREČNE TEMPERATURE ZRAKA	0.0077	0.0061	0.0077	0.0140
POVPREČNE MAKSIMALNE TEMPERATURE ZRAKA	-0.0034	-0.0072	0.0024	0.0050
POVPREČNE MINIMALNE TEMPERATURE ZRAKA	0.0122	0.0057	0.0108	0.0204
POVPREČNE TEMPERATURE ZRAKA OB 7.URI	0.0127	0.0033	0.0090	0.0151
POVPREČNE TEMPERATURE ZRAKA OB 14.URI	-0.0068	-0.0095	-0.0074	-0.0028
POVPREČNE TEMPERATURE ZRAKA OB 21.URI	0.0115	0.0151	0.0150	0.0217

PARAMETER	SEP	OKT	NOV	DEC
POVPREČNE TEMPERATURE ZRAKA	0.0111	0.0023	0.0122	0.0106
POVPREČNE MAKSIMALNE TEMPERATURE ZRAKA	0.0005	0.0030	0.0131	0.0211
POVPREČNE MINIMALNE TEMPERATURE ZRAKA	0.0116	0.0006	0.0108	0.0075
POVPREČNE TEMPERATURE ZRAKA OB 7.URI	0.0084	-0.0019	0.0094	0.0088
POVPREČNE TEMPERATURE ZRAKA OB 14.URI	0.0000	0.0005	0.0105	0.0175
POVPREČNE TEMPERATURE ZRAKA OB 21.URI	0.0163	0.0082	0.0141	0.0082

PARAMETER	POVPR.	POMLAD	POLETJE	JESEN	ZIMA
POVPREČNE TEMPERATURE ZRAKA	0.0102	0.0066	0.0092	0.0085	0.0151
POVPREČNE MAKSIMALNE TEMPERATURE ZRAKA	0.0055	-0.0005	0.0001	0.0055	0.0204
POVPREČNE MINIMALNE TEMPERATURE ZRAKA	0.0093	0.0023	0.0123	0.0076	0.0063
POVPREČNE TEMPERATURE ZRAKA OB 7.URI	0.0106	0.0112	0.0091	0.0053	0.0171
POVPREČNE TEMPERATURE ZRAKA OB 14.URI	-0.0006	-0.0078	-0.0065	0.0037	0.0155
POVPREČNE TEMPERATURE ZRAKA OB 21.URI	0.0142	0.0109	0.0173	0.0129	0.0145
LETNO ŠTEVILO DNI Z MIN. TEMP. POD 0,0 °C	-0.0147				
VSOTE AKTIVNIH TEMPERATUR NAD 10,0 °C	0.02889				
ŠTEVILO DNI S SNEŽNIMI PADAVINAMI	-0.0436				



Slika 4: Trendi povprečnih temperatur zraka ob 21. uri na meteorološki postaji Maribor-Tabor in Starše (1961-2004)

Vir: Arhiv Urada za meteorologijo, ARSO, 2005.

Vse omenjeno kaže, da so čedalje višje temperature v Mariboru posledica predvsem spremenjene rabe tal, deloma pa tudi človekovega vnosa energije v ozračje; kot pomemben modifikator klimatskih razlik se pojavlja še vremenski tip. Vprašanje pa je, v koliki meri so razlike v trendih v jesenskih in zimskih mesecih posledica kurilne sezone, v koliki meri pa posledica anticiklonalnega vremenskega tipa, za katerega smo že ugotovili, da večja razlike v temperaturah med mestom in okolico. Vse višje temperature v Mariboru, glede na okolico, so torej posledica manj intenzivnega ohlajevanja ponoči in zjutraj, na kar še posebej vplivajo toplotne lastnosti zazidanih površin. Pozimi višje temperature v mestu povzročajo tudi antropogeni viri toplote.

Zanimive so tudi razlike trendov števila ledenih, mrzlih, hladnih toplih in vročih dni med Mariborom in okolico. Število ledenih dni (dni z minimalno temperaturo pod $-10,0^{\circ}\text{C}$) se v Mariboru, v primerjavi s Staršami manjša predvsem pozimi (za $0,0359$ dni letno) in jeseni (za $0,0133$ dni letno), medtem ko se spomladi število takih dni v primerjavi z okolico zmanjšuje (za $0,0024$ dni letno). V mestu se - v primerjavi z okolico - zmanjšuje tudi število mrzlih dni (dni z maksimalno temperaturo pod $0,0^{\circ}\text{C}$). Največje razlike

nastopajo pozimi: januarja se je število takih dni zmanjšalo za 0,0225 letno, decembra pa za 0,0156 letno. Še največje razlike v trendih nastopajo v številu hladnih dni (dni z minimalno temperaturo pod 0,0°C). Novemberskih hladnih dni je v Mariboru v primerjavi z okolico vsako leto manj za 0,2472 dni, marčevskih za 0.1395 dni, januarskih pa za 0,1027 dni. Najvišje razlike nastopajo jeseni, ko je takih dni v Mariboru vsako leto manj za 0,0908 dni. V primerjavi s Staršami se povečuje tudi število toplih dni (dni z maksimalno temperaturo nad 25,0°C), saj je vsako jesen v mestu v povprečju za 0,0144 dni več, vsako poletje pa za 0,0127 dni več. Spomladanski trend kaže povečanje takih dni na leta le za 0,0097. Vendar pa se v splošnem zmanjšujejo razlike v številu toplih dni (z maksimalno temperaturo nad 30,0°C), zlasti spomladi, ko se vsako leto razlika v številu takih dni zmanjša za 0,0149. Število vročih dni se zmanjšuje tudi poleti, hkrati pa povečuje jeseni, vendar ti trendi niso tako izraziti.

Mestni toplotni otok v Mariboru očitno še ni tako izrazit, da bi se podobni trendi tako zelo močno pojavljali tudi pri številu dni z minimalno temperaturo pod -10,0°C. Nekaj podobnega se uveljavlja pri višjih temperaturah, saj kaže mesto, v primerjavi z okolico, najizrazitejši porast števila toplih dni (z maksimalno temperaturo nad 25,0°C), medtem ko se razlike v številu vročih dni v poletju (razen v juniju) celo neznatno zmanjšujejo. Glede na dejstvo, da v zadnjem desetletju priseljevanje v Maribor ni več tako intenzivno, se tudi zazidane površine ne povečujejo tako intenzivno. Prav zato lahko pričakujemo v naslednjih letih počasnejše spreminjanje razlik v trendih temperatur zraka. Pričakujemo lahko spreminjanje oblike mestnega toplotnega otoka, zlasti na nekaterih območjih na skrajnem južnem in jugozahodnem delu območja sklenjene pozidave in tam, kjer bodo morebitne novogradnje zapolnile današnje nepozidane površine.

4. Trendi stopinjskih dnevov in trajanja kurilne sezone v Mariboru in Staršah med leti 1961 in 2004

Antropogeni vplivi spreminjajo energijsko bilanco v mestih. Viri umetnih vnosov energije v ozračje so industrija, promet, v zimski sezoni slabo izolirane stavbe, nenazadnje pa tudi prebivalci sami. Po oceni (Oke 1992, str.195) mirujoč odrasli človek v povprečju odda v svojo okolico 100 W. Pri podatku, da živi v mestu živi in dela okoli 100 000 odraslih prebivalcev, pomeni da mesto že zaradi prebivalcev producira za velikostni razred 10 MW energije, kar je primerljivo z instalirano močjo manjše elektrarne (moč HE Dravograd je 20 MW). Akumulirana energija v mestih vpliva na krajšanje kurilne sezone in manjšo potrebo po ogrevanju. Oboje običajno prikazujemo s podatki o začetku, koncu in trajanju kurilne sezone ter s stopinjskimi dnevi.

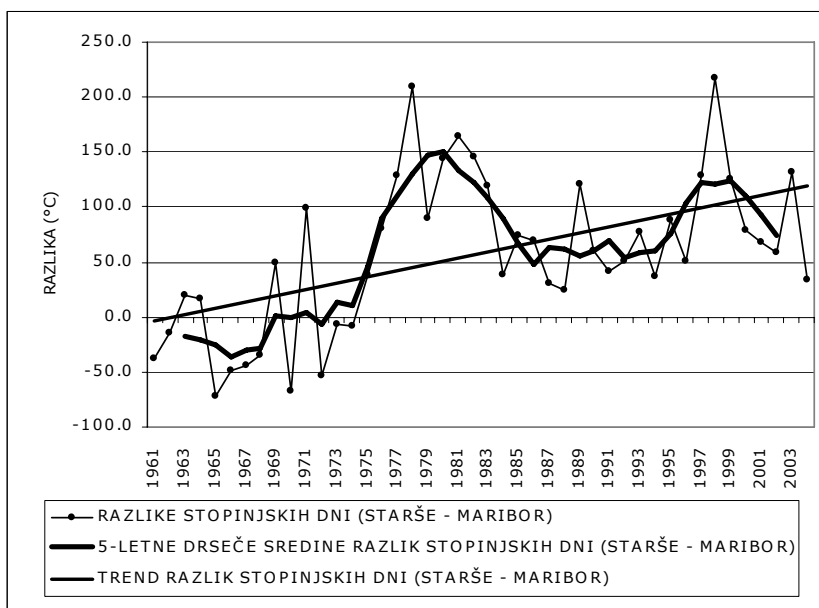
Začetek kurilne sezone označuje datum, ko je bila zunanja temperatura zraka ob 21. uri prvič v obravnavanem hladnem delu leta tri dni zapored nižja ali enaka 12°C ali manj. Naslednji dan, to je četrti dan, je prvi dan kurilne sezone. Kurilna sezona se konča takrat, ko je zunanja temperatura zraka tri dni zapored višja od 12°C in po tem datumu v obravnavanem letu ni več treh zaporednih dni, ko bi se temperatura ponovno znižala na 12°C ali manj. Tretji dan označuje zadnji dan kurilne sezone, naslednji, to je četrti dan je že prvi

dan izven kurilne sezone. Trajanje kurilne sezone je število dni med začetkom in koncem kurilne sezone (Mekinda-Majaron 1998).

Stopinjski dan pomeni razliko med željeno temperaturo v ogrevanem prostoru in povprečno zunanjo dnevno temperaturo zraka. Za željeno (notranjo) temperaturo običajno uporabimo vrednost 20°C, stopinjske dneve pa računamo le za dneve, ko je bila povprečna zunanja temperatura zraka nižja od 12°C (Mekinda-Majaron 1998). Nižje vrednosti vsot stopinjskih dni pomenijo manjše razlike med zunanjo in željeno (notranjo) temperaturo, torej ugodnejše temperaturne razmere in obratno.

Kurilna sezona v Mariboru se je v obravnavanem obdobju v povprečju začela 1.10., v Staršah pa 29.9., torej dva dni prej. Konec kurilne sezone v Mariboru je v povprečju sovpadal s 15.5., v Staršah pa z 20.5. Skupno trajanje kurilne sezone je torej v Staršah daljše za teden dni. Podatek o trajanju kurilne sezone pa je manj reprezentativen od podatka o stopinjskih dnevih. Prvi podatek nam namreč govori o tem, koliko dni je pod danim temperaturnim pragom, ne govori pa o tem, koliko so temperature pod pragom. Zato ne preseneča dejstvo, da se število dni s kurilno sezono hitreje krajša v Staršah kot v Mariboru. Stopnja pozidanosti je v Mariboru že dosegla prag nad katerim trendi širjenja pozidanih površin ne bodo več tako izraziti kot v sedemdesetih in osemdesetih letih 20. stoletja. V Staršah pa se pozidane površine glede na osnovno stanje hitro širijo. Nastanek nove manjše stanovanjske soseske v Staršah pomeni večjo relativno spremembo kot v Mariboru, kar se seveda odraža tudi na razlikah v trendih. Hitrost skrajševanja trajanja kurilne sezone v Mariboru znaša 1,37 dneva na deset let, v Staršah pa 3,05 dni na deset let. 5 letne drseče sredine razlik v trajanju kurilne sezone med Mariborom in Staršami kažejo, da so se te do prve polovice osemdesetih let povečevale, nato pa zmanjševale in dosegle celo negativno vrednost v obdobju intenzivne pozidave z enodružinskimi hišami v neposredni bližini meteorološke postaje v Staršah. V zadnjih letih se trend ponovno obrača v prid Maribora.

Bolj realni so podatki o trendu stopinjskih dni. Ti namreč povedo, kakšna je kumulativa razlik med željeno sobno temperaturo (20,0°C) in dejansko zunanjo temperaturo. Manjša razlika pomeni višje temperature zunanjega zraka in s tem nekaj manjše stroške ogrevanja. Vsota teh razlik je v Mariboru v obdobju 1961-2004 v povprečju znašala 3235,7°C, v Staršah pa 3293,1°C. Povprečne razlike v stopinjskih dnevih seveda niso velike (57,4°C), pokažejo pa še na drugo plat vpliva mestnega toplotnega otoka. Trend stopinjskih dni v Mariboru znaša - 110,3°C na deset let, v Staršah pa -81,6°C na deset let. V Mariboru torej kumulativa razlik med idealno in dejansko zunanjo temperaturo na vsakih deset let poraste za 28,8°C hitreje kot v Staršah. Z ekonomskega vidika te razlike sicer še ne pomenijo opazno manjših stroškov za kurjenje, so pa že tako velike, da so merljive in zaznavne.



Slika 5: Trend razlik stopinjskih dni med Staršami in Mariborom

5. Trendi izbranih bioklimatskih kazalcev v Mariboru in Staršah med leti 1961 in 2004

Za vegetacijo, nenazadnje pa tudi za človeka so pomembni tudi trendi bioklimatskih kazalcev. V prikaz smo uvrstili analizo trendov splošnih bioklimatskih kazalcev: začetek in konec vegetacijske dobe, trajanje vegetacijske dobe in vsote aktivnih temperatur.

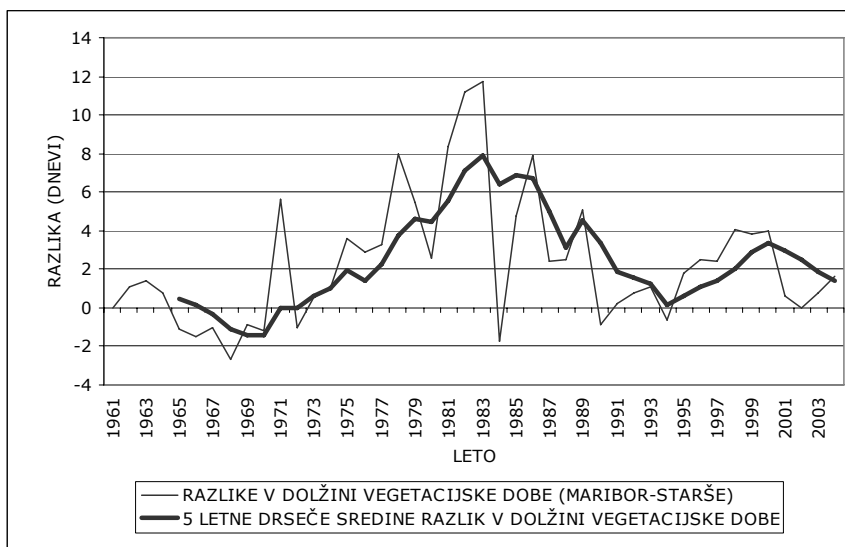
S povečano intenzivnostjo mestnega toplotnega otoka se kažejo celo vplivi na bioklimatske razmere v mestih. White in ostali (2002) so za nekatera mesta na vzhodu ZDA ugotavljali vpliv toplotnega otoka na dolžino vegetacijske dobe. Ta je v mestih za dober teden daljša kot v ruralni okolici. Roetzer in ostali (2000) so analizirali vpliv mestnega toplotnega otoka na pojave fenofaz nekaterih kulturnih rastlin v izbranih srednjeevropskih mestih. Rezultati so pokazali, da fenofaze v mestih nastopajo za 6 do 10 dni pred tistimi v okolici mest. Da vegetacijska odeja v mestih tudi sama oblikuje specifične klimatske razmere v mestih so ugotavljali Emmanuel (2003), Jonsson (2004) ter Thorsson in ostali (2004). Zelene površine v mestih zaradi transpiracije predstavljajo dodaten vnos energije v obliki toka latentne toplote, zaradi česar so zelene površine hladnejše od pozidane okolice.

Najsplošnejši kriterij, ki določa začetek in konec vegetacijske dobe, je srednja dnevna temperatura 10,0°C, čeprav nekatere kulture z zgodnjimi fenofazami pričnejo že pri nižjih temperaturah. Dan začetka vegetacijske dobe imenujemo spomladanski temperaturni prag, dan ko se ta konča pa jesenski temperaturni prag. Zaradi globalnih klimatskih sprememb tako Maribor kot Starše kažeta negativne trende nastopa spomladanskega temperaturnega praga – ta

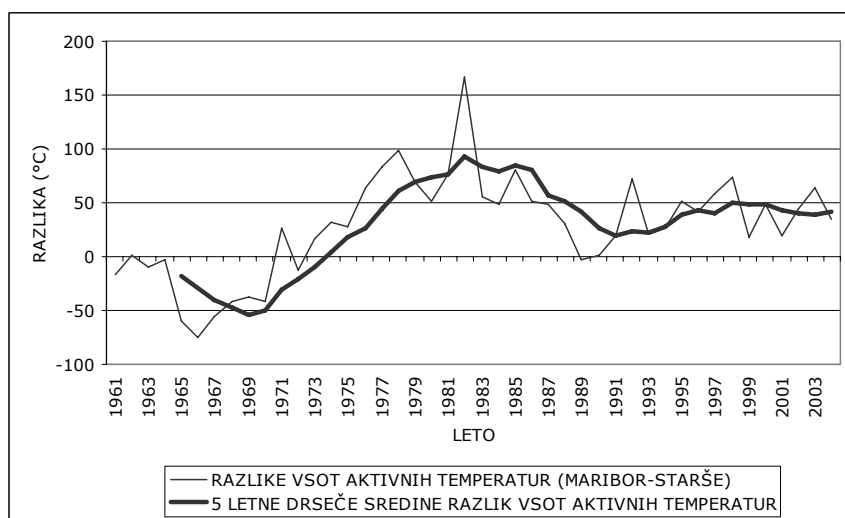
nastopa čedalje bolj zgodaj. V Mariboru znaša ta trend $-0,1231$ dni / leto, v Staršah pa $-0,0907$ dni / leto. Razlika trendov je sicer majhna, pove pa, da se v Mariboru zaradi vpliva toplotnega otoka mesta spomladanski temperaturni prag vsakih 10 let pojavi 0,3 dni prej kot v okolici. Jesenski temperaturni pragovi kažejo pozitiven trend, kar je zaradi splošnega trenda zviševanja temperatur zraka razumljivo – vegetacijska doba se konča čedalje bolj pozno. V Mariboru jesenski temperaturni prag kaže spremembo $0,1392$ dni / leto, v Staršah pa $0,1281$ dni / leto. Razlika znaša torej $0,0111$ dni / leto in jo lahko ocenimo kot majhno. Zanimivo je analizirati tudi spreminjanje razlik začetka in konca vegetacijske dobe v Mariboru in Staršah. Kot posledica večjih posegov v okolici opazovalnega prostora meteorološke postaje v osemdesetih letih, so se razlike v trendih med Mariborom in Staršami vidno povečale. Razlike so se do začetka devetdesetih let 20. stoletja, zaradi preselitve meteorološke postaje Starše v bolj pozidan del naselja in tamkajšnjih novogradenj občutno zmanjšale, ponovno pa povečale od začetka 90. let naprej. V tem obdobju so v bližini opazovalnega prostora meteorološke postaje Maribor-Tabor nastale nove stavbe in asfaltne površine. Vendar pa je siceršnje razlike zmanjševalo dejstvo, da so tudi v Staršah v istem obdobju nastale nove pozidane površine v severnem delu naselja.

Če trendi začetka in konca vegetacijske dobe niso bili očitni, pa je nekoliko drugače pri trendih dolžine vegetacijske dobe. Obe postaji kažeta pozitivne trende dolžine vegetacijske dobe, in sicer Maribor za $0,2623$ dni / leto, Starše pa $0,2189$ dni / leto. Razlika v dolžini vegetacijske dobe med Mariborom in Staršami se letno povečuje za $0,0434$ dni. Vendar pa so omenjeni podatki le povprečje za celotno obravnavano obdobje. Zaradi različne dinamike gradnje v Mariboru in Staršah so razlike v dolžini vegetacijske dobe v zadnjih 44 letih nihale. Do sredine 70. let 20. stoletja ni bilo vidnih razlik, te pa so se po izgradnji stanovanjskih blokov v Rapočevi in Regentovi ulici severozahodno od opazovalnega prostora začele povečevati. Zaradi prej omenjenih vzrokov so razlike dosegle najvišje vrednosti v začetku osemdesetih let. Takrat je bila dolžina vegetacijske dobe v Mariboru v primerjavi s Staršami bila daljša za 8 dni, kar je primerljivo tudi z nekaterimi večjimi srednjeevropskimi mesti (Roetzer in ostali 2000). Do sredine 90. let so se te razlike zmanjšale, vendar so ponovno narasle v začetku 21. stoletja. Ob tem je potrebno pripomniti, da so nadpovprečno topla poletja razlike med Mariborom in Staršami dodatno dušile.

Tako datumi temperaturnih pragov kot dolžine vegetacijske dobe kažejo začetke in konce obdobja oziroma trajanje, manj pa o tem, kakšne so kumulativne kvantitativne razlike v temperaturah. V ta namen so za analizo pripravni podatki o vsotah aktivnih temperatur nad $10,0^{\circ}\text{C}$. Le-te predstavljajo kumulativne vsote vseh temperatur nad $10,0^{\circ}\text{C}$. Povprečne vsote aktivnih temperatur v Mariboru so v obdobju 1961-2004 znašale $1302,2^{\circ}\text{C}$, v Staršah pa $1273,4^{\circ}\text{C}$, razlika je torej znašala $28,8^{\circ}\text{C}$. 23% razlik si lahko razložimo z vplivom mestnega toplotnega otoka.



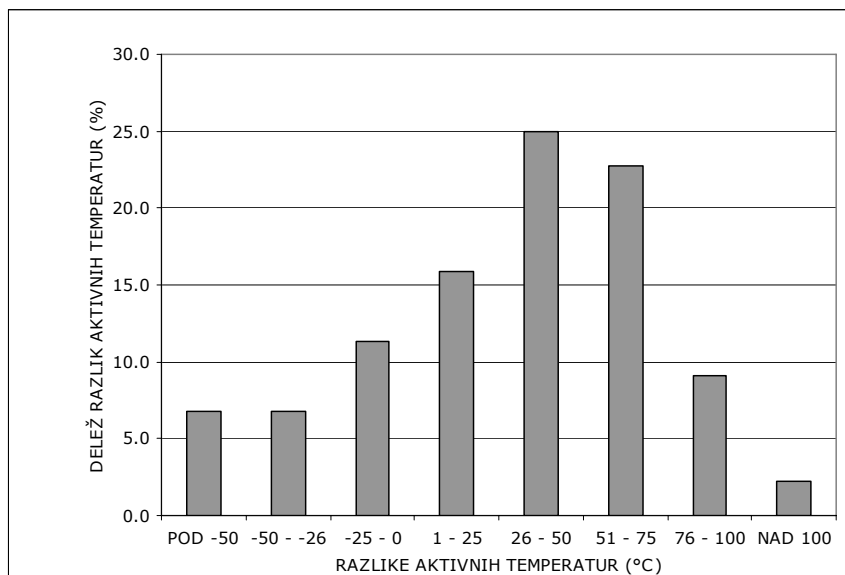
Slika 6: Pojav mestnega toplotnega otoka vpliva tudi na razlike v bioklimatskih značilnostih mesta. Dolžina vegetacijske dobe se v Mariboru v primerjavi z okolico daljša.



Slika 7: Razlike vsot aktivnih temperatur nad temperaturnim pragom 10 °C naraščajo v prid mesta

Tudi frekvenčna distribucija letnih razlik vsot aktivnih temperatur kaže izrazito asimetrijo, saj je le v 25 % primerov ta višja v Staršah ali pa sta ti razliki enaki. V 75 % primerov so razlike vsot aktivnih temperatur višje v Mariboru. Trendi vsot aktivnih temperatur kažejo najprej inetnzivno povečevanje razlik

med Mariborom in Staršami. Najvišje razlike (skoraj 100°C, kar znaša 8% vrednosti celoletnih vsot aktivnih temperatur !), so se pojavljale v prvi polovici 80. let, zatem pa so se začele zmanjševati do začetka 90. let, ko so ponovno porasle do danes, ko Maribor kaže za okoli 50°C višje vrednosti vsot aktivnih temperatur nad 10,0°C.



Slika 8: Frekvenčna distribucija razlik aktivnih temperatur je izrazito v prid mesta. Kar v 75 % vseh primerov so vsote aktivnih temperatur višje v Mariboru.

6. Zaključek

Širjenje pozidanih površin in antropogeni viri energije kažejo vpliv na trende temperatur zraka in nekaterih drugih izpeljanih klimatskih kazalcev, kot so trajanje kurilne sezone, stopinjski dnevi, dolžina vegetacijske dobe in vsote aktivnih temperatur. Razlike v temperaturnih trendih med Mariborom in Staršami dokazujejo intenziviranje mestnega toplotnega otoka v Mariboru. Spremembe pa niso potekale linearno, pač pa v fazah, ki so odraz sprememb v pozidanosti in gostoti prometa. Za bližino meteorološke postaje sta imeli merljiv vpliv predvsem dve fazi:

1. faza, ki obsega čas sedemdesetih let 20. stoletja vse do leta 1981 zaznamuje preobrazba območja med Tržaško in Ljubljansko cesto. V tem obdobju so bili zgrajeni stanovanjski bloki ob Regentovi in Rapočevi ulici, stavba Mariborskega tiska, prenovljene in razširjene so bile mestne vpadnice (Ptujška, Tržaška, Cesta Proletarskih brigad, Jadranska cesta), na območje južno od opazovalnega prostora pa so se intenzivneje začele širiti servise dejavnosti.
2. faza obsega obdobje ob koncu 90.let 20.stoletja vse do leta 2004, ko je severno od opazovalnega prostora na območju tiskarne Mariborskega tiska

nastal nov trgovski center. Podobno trgovsko središče je nastalo tudi severovzhodno od opazovalnega prostora. Zelene površine so bile intenzivno pozidane s pripadajočimi asfaltiranimi parkirišči. V tem obdobju se je pozidava intenzivirala tudi na območju južno od opazovalnega prostora meteorološke postaje.

Tudi v Staršah se oblikuje toplotni otok, ki sicer ni tako intenziven in obsežen kot v Mariboru, je pa dovolj velik, da je tudi tukaj mogoče zaznati vpliv posameznih faz širjenja naselja. Predvsem kaže izpostaviti obdobje širjenja individualnih stanovanjskih hiš severno od meteorološke postaje v Staršah, ki je potekal od konca osemdesetih let do prve polovice devetdesetih let 20. stoletja. Prav v tem času se pri večini obravnavanih parametrov kaže trend upadanja razlik v intenzivnosti toplotnih otokov v obeh naseljih. V študiju trenda temperaturnih razlik med mestom in okolico je torej mogoče zaznati celo posamezne razvojne faze v mestu in v okolici.

Viri in literatura:

- Aerofotoposnetki Maribora in Starš, CAS 1963 in 2003.
- Emmanuel, R. 2003: Assessment of impact of land cover changes on urban bioclimate: the case of Colombo, Sri Lanka. *Architectural Science Review*, 46, 151-158.
- Fezer F. 1994: *Das Klima der Städte*. Justus Perthes Verlag, Gotha.
- Jonsson, P. 2004: Vegetation as an urban climate control in the subtropical city of Gaborone, Botswana. *International Journal of Climatology*, 24, 1307-1322.
- Kladnik R. 1988: *Termodinamika*. Tehniška založba Slovenije, Ljubljana.
- Landsberg H. 1981: *The City Climate*, Academic Press, New York.
- Mekinda-Majaron, Tajda (ur.), 1998, *Klimatografija Slovenije*. Stopinjski dnevi in trajanje kurilne sezone 1961-1997. HMZ RS, Ljubljana.
- Monteith J.L., Unsworth M.H., 1990, *Principles Of Environmental Physics*, Edward Arnold, New York.
- Oke T.R. 1992: *Boundary Layer Climates*. Routledge, London.
- Petkovšek Z., Hočevar Z. 1995: *Meteorologija*. Osnove in nekatere aplikacije. Biotehnična fakulteta, Ljubljana.
- Roetzer, T., Wittenzeller, M., Haeckel, H. and Nekovar, J. 2000: Phenology in central Europe - differences and trends of spring phenophases in urban and rural areas. *International Journal of Biometeorology*, 44, 60-66.
- Sukopp H., Wittig R. ur, 1993. *Stadtökologie*, Gustav Fischer, Stuttgart, 1993.
- Thorsson, S., Lindqvist, M. and Lindqvist, S. 2004: Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Goteborg Sweden. *International Journal of Biometeorology*, 48, 149-156.
- Žiberna I., *Mestna klima Maribora*, Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, Ljubljana.

AIR TEMPERATURE TRENDS IN MARIBOR AS A CONSEQUENCE OF THE DEVELOPMENT OF THE URBAN HEAT ISLANDS

Summary

Spreading of constructed areas and anthropological sources are showing a noticeable influence on the air temperature trends and on some other realized climate indicators, such as duration of heating season, degree days, duration of vegetation period and the sum of active temperatures. The differences in trends between Maribor and Starše prove the intensiveness of the urban heat island in Maribor. Changes were not represented linearly, but in waveform, which are the reflection of changes in construction and traffic density. Primarily we can speak of two phases, which had a measurable influence on the nearness of meteorological station:

- Phase 1 includes the period of the 70's of the 20th century up to the year 1981 when we had to do with the renovation and modernization of the region between Tržaška and Ljubljanska cesta. In this period blocks and flats along Regentova and Rapočeva ulica and the building of Mariborski tisk (printing works of Maribor) were constructed, urban inroads (Ptujška, Tržaška, Cesta Proletarskih brigad, Jadranska cesta) were renovated and widely spread, whereas car service activities began to spread more intensively to the region, located south of the place of observation.

- Phase 2 includes the period at the end of the 90's of the 20th century up to the year 2004, when south of the place of observation in the region of the printing works Mariborski tisk a new wholesale trade centre was built. A similar trade centre was constructed northeast of the place of observation, too. Green surfaces were intensively built with the appropriate asphalt paved parking places. In this period the construction was intensified also in the region south of the place of observation of the meteorological station.

In the village Starše they are also forming their own heat island, which is not so intensive and extensive as the one in Maribor, nevertheless, it is big enough, that there is also the possibility to recognize the influence of particular phases of settlement spreading. Primarily exposed should be the period of spreading the individual dwelling houses north of the meteorological station in Starše, which was carried out from the end of the 80's up to the first half of the 90's of the 20th century. Just during this period there is a trend of a decrease of differences, which is reflected in the intensiveness of heat islands in both settlements. In studying the trend of differences between the town and its surroundings we could recognize not only general trends of spreading of constructed areas, but even some particular phases of development in town and in its surroundings.