

ČLANCI - ARTICLES

PODNEBNE SPREMEMBE V SLOVENIJI

KLIMATSKE PROMJENE U SLOVENIJI – NA PRIMJERU LJUBLJANE I MARIBORA

CLIMATE CHANGE IN SLOVENIA – USING THE EXAMPLES OF LJUBLJANA AND MARIBOR

Igor ŽIBERNA

Oddelek za geografijo
Filozofska fakulteta
Koroška cesta 160
Maribor 2000
Slovenija

Primljeno: 12. 2. 2011.

Prihvaćeno: 30. 9. 2011.

Rad ima dvije pozitivne recezije

Pregledni rad

Original scientific paper

UDK / UDC 630.93-497.5(Slovenija)

IZVLEČEK

V članku so prikazani trendi temperatur, padavin, evapotranspiracije in vodne bilance za meteorološki postaji Ljubljana (1865-2010) in Maribor (1876-2010). Analizirane so spremembe mesečnih, sezonskih in letnih povprečij v opazovalnih nizih. Obravnavana je tudi dinamika sprememb trendov v opazovalnem obdobju, tudi v povezavi z aktivnostjo Sonca.

SAŽETAK

U članku su prikazani trendovi kretanja temperatura, padalina, evapotranspiracije i vodne bilance, u meteorološkim postajama Ljubljana (od 1876. do 2010.) i Maribor (od 1876. do 2010.). Analizirane su promjene mjesečnih, sezonskih i ljetnih prosjeka u promatranom nizu. Također je objašnjena i dinamika tih promjena, a u skladu s promjenama u aktivnosti Sunca.

Ključne besede: trendi temperatur, trendi višine padavin, trendi vodne bilance, podnebnne spremembe, Slovenija

Ključne riječi: kretanje temperatura, kretanje količine padalina, kretanje vodne bilance, klimatske promjene, Slovenija

Key words: temperature changes, precipitation changes, water balance changes, climate changes, Slovenia

1. UVOD

Spremembe podnebja na lokalni in globalni ravni so splošno priznano dejstvo. Vzroki za podnebne spremembe so lahko različni. Lahko bi jih razdelili v tri večje skupine:

- astronomski vzroki: Osnovni astronomski vzrok za spreminjanje podnebja na Zemlji izvira iz treh Milankovičevih ciklusov: spreminjanja sploščenosti Zemljine orbite (perioda reda velikosti 100 000 let), precesije pomladišča (perioda reda velikosti 22 000 let) in spreminjanja nagnjenosti Zemljine osi (perioda reda velikosti (42 000 let) (Houghton 2009, 86). Med astronomske vzroke sodi tudi spreminjanje aktivnosti Sonca (praviloma z 11 letnim ciklom). Manj redni vzroki izvirajo predvsem iz padcev večjih teles na Zemljo, ki vplivajo na prosojnost Zemljine atmosfere, s tem pa tudi na spremenjeno energijsko bilanco našega planeta.

- atmosferski vzroki: Sestava Zemljine atmosfere se ves čas spreminja. V preteklosti so bili vzrok za spremembe naravni (spremenjeni biogeokemični krogi na Zemlji, nihanja vulkanske aktivnosti). Posledice so spremenjena kemijska zgradba atmosfere, ki vpliva na koeficiente absorptivnosti in transmitivnosti in s tem na spreminjanje energijske bilance.

- terestrični vzroki: med te sodijo spreminjanje razmerja med kopnim in morjem, spremembe v rabi tal, spremembe v albedu, spremembe morskih tokov in orogeneza.

V zadnjem času govorimo o čedalje intenzivnejšem posegu človeka v biogeokemične kroge na Zemlji, predvsem v kroženje CO₂ (Plut, 2010, 178). Kot posledica povečanih vnosov toplogrednih plinov v ozračje, se njihove koncentracije višajo, kar modificira energijsko bilanco našega planeta. Zaradi povečane absorpcije dolgovalovnega sevanja v atmosferi je namreč komponenta dolgovalovnega protisevanja čedalje večja, kar vpliva na zmanjševanje energijskih izgub atmosfere, posledično pa vodi segrevanju. Naravnim vzrokom se torej pridružujejo umetni, antropogeni (Houghton 2009).

2. METODOLOGIJA

O spremembah posameznih podnebnih parametrov lahko najbolj zanesljivo govorimo v t.i. instrumentalnem obdobju, to je v času, ko meteorološke elemente merimo. V Sloveniji potekajo meritve v okviru meteorološke službe od sredine 19. stoletja naprej. Najstarejša meteorološka postaja je bila locirana v Ljubljani. Lokacija meteorološke postaje se je v celotnem obdobju spreminjala (Tabela 1).

Tabela 1: Lokacije meteorološke postaje Ljubljana med leti 1853 in 2010.

Lokacija	Nadmorska višina (m)	Obdobje delovanja
Prečna ulica	287	1.1.1853-1.1.1891
Prečna ulica	290	1.1.1891-1.7.1895
Vegova ulica	306	1.7.1895-16.1.1919
Vegova ulica	304	16.1.1919-1.1.1925
Geografski inštitut	309	1.1.1925-1.1.1926
Ljubljana-Dvorec	306	1.1.1926-1.1.1948
Ljubljana-Bežigrad	299	1.1.1948-

Vir: Arhiv Urada za meteorologijo, 2011.

Nadmorska višina postaje se je v omenjenem obdobju premikala v razponu relativne višine 22 m. Bolj kot sprememba višine pa je pomembna sprememba rabe tal v okolici opazovalnega prostora. To je mogoče opaziti predvsem v zadnjih desetletjih, ko je postaja locirana na območju

Bežigrada. Prvotna oblika rabe tal v okolici opazovalnega prostora so bile njive in vrtovi, danes pa je okolica pozidana, zaradi česar se vplivu mestnega toplotnega otoka ni mogoče izogniti. Zgodnji podatki v arhivu niso popolni, zato smo v našo analizo vključili obdobje po letu 1865. Tudi v tem obdobju podatki niso povsem homogeni. Za manjkajoča obdobja smo podatke interpolirali s pomočjo podatkov meteorološke postaje Trst.

Sorazmerno dolgo merilno obdobje ima tudi meteorološka postaja Maribor, kjer so začeli z meritvami že leta 1864 (Povše 1984), vendar zgodnji podatki žal niso dostopni. Urejeni niz podatkov za meteorološko postajo Maribor zato obstaja od leta 1876 naprej. Tudi podatki za Maribor zaradi spreminjanja lokacij žal niso povsem homogeni (Tabela 2).

Tabela 2: Lokacije meteorološke postaje Maribor med leti 1876 in 2010.

Lokacija	Nadmorska višina (m)	Obdobje delovanja
Zavod za pospeševanje sadjarstva	269	1.1.1876-31.12.1877
Splošna postaja	297	1.1.1882-31.12.1917
Zavod za pospeševanje sadjarstva	269	1.1.1921-31.12.1947
Maribor - Tezno	275	1.1.1948-31.12.1961
Maribor - Tabor	275	1.1.1962-

Vir: Arhiv Urada za meteorologijo, 2011. Povše, 1984.

Od začetka meritev do časa po 2. svetovni vojni je bila meteorološka postaja Maribor locirana na levem bregu Drave, ob vznožju Mariborskih goric na lokaciji Zavoda za pospeševanje sadjarstva, od leta 1948 do leta 1961 pa je delovala na območju nekdanjega športnega letališča na obrobju mesta ob današnji južni vpadnici v mesto. Leta 1961 so meteorološko postajo preselili za okoli 500 m proti severozahodu. Z rekonstrukcijo značilnosti rabe tal s pomočjo starejših zemljevidov in vojaških aerofotoposnetkov lahko z gotovostjo sklepamo, da se do konca 60. in začetka 70. let 20. stoletja oblika rabe tal ni bistveno spreminjala. Na vseh obravnavanih lokacijah so se v okolici nahajali travniki, vrtovi in njive. Šele na koncu 60. let so v okolici sedanje lokacije meteorološke postaje začele rasti prve stavbe (gasilski dom, stanovanjski bloki ob Rapočevi ulici in Jadranski cesti, nakupovalna središča in servisne dejavnosti s pripadajočimi asfaltiranimi parkirišči). Tako se tudi na primeru Maribora v zadnji 50. letih pri analizi podnebnih sprememb ne moremo izogniti vpliva mestnega toplotnega otoka (Žiberna 1996; Žiberna 2006).

Pri obeh obravnavanih meteoroloških postajah smo analizirali trende naslednjih meteoroloških elementov:

- povprečne temperature zraka
- povprečne višine padavin
- povprečne vrednosti potencialne evapotranspiracije po Thornthwaitu
- povprečna vodna bilanca
- indeks kontinentalnosti po Kernerju.

Podatke o temperaturah, padavinah, evapotranspiraciji in vodni bilanci smo analizirali na nivoju mesecev, leta in sezon, pri čemer smo upoštevali klasično klimatsko tipizacijo sezon (pomlad od 1. marca do 31. maja, poletje od 1. junija do 31. avgusta itd.).

Zaradi omejenega števila merjenih meteoroloških elementov na obeh postajah predvsem do sredine 20. stoletja, smo se pri računanju potencialne evapotranspiracije bili prisiljeni zateči k preprostemu Thornthwaitovemu modelu, po katerem se potencialna evapotranspiracija za dani mesec računa po naslednjem obrazcu:

$$PET_m = 1,6 \times \left(100 \times \frac{T_m}{I} \right)^a$$

Pri čemer pomenijo:

T_m – povprečna mesečna temperatura v °C

I – člen, ki ga izračunamo po obrazcu:

$$I = \sum_{m=1}^{12} \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1,514}$$

a - člen, ki ga izračunamo kot funkcijo I :

$$a = (6,75 \times 10^{-7} \times I^3) - (7,7 \times 10^{-5} \times I^2) + (1,79 \times 10^{-2} \times I) + 0,49$$

(Linacre, 1992).

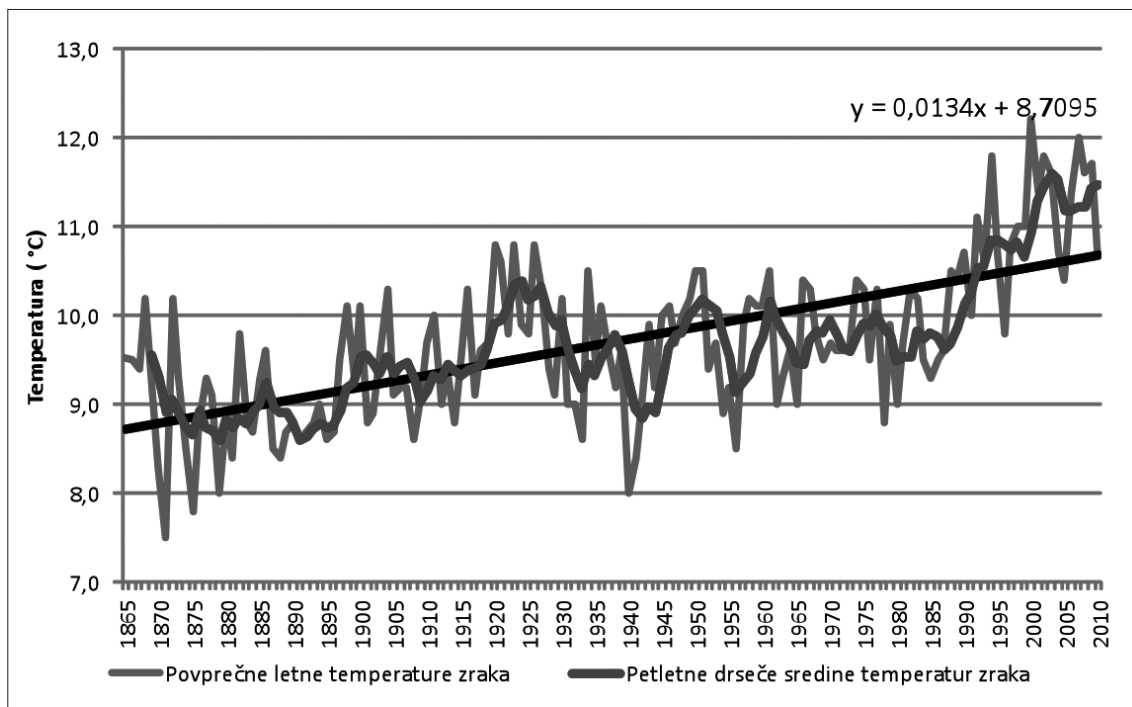
Vodno bilanco smo privzeli kot razliko med višino padavin in potencialno evapotranspiracijo.

Trende klimatskih parametrov smo prikazali tudi s petletnimi drsečimi sredinami. Zveze med temperaturnimi trendi in aktivnostjo Sonca smo analizirali z uporabo povprečnih mesečnih vrednosti Wolfovega števila. Slednje je merilo aktivnosti Sonca s pomočjo števila peg in števila skupin peg na Soncu. Verificirani podatki o povprečnem mesečnem Wolfovem številu se nahajajo na spletni strani NASE in sicer za obdobje od leta 1749 naprej (<http://solarscience.msfc.nasa.gov/SunspotCycle.shtml>).

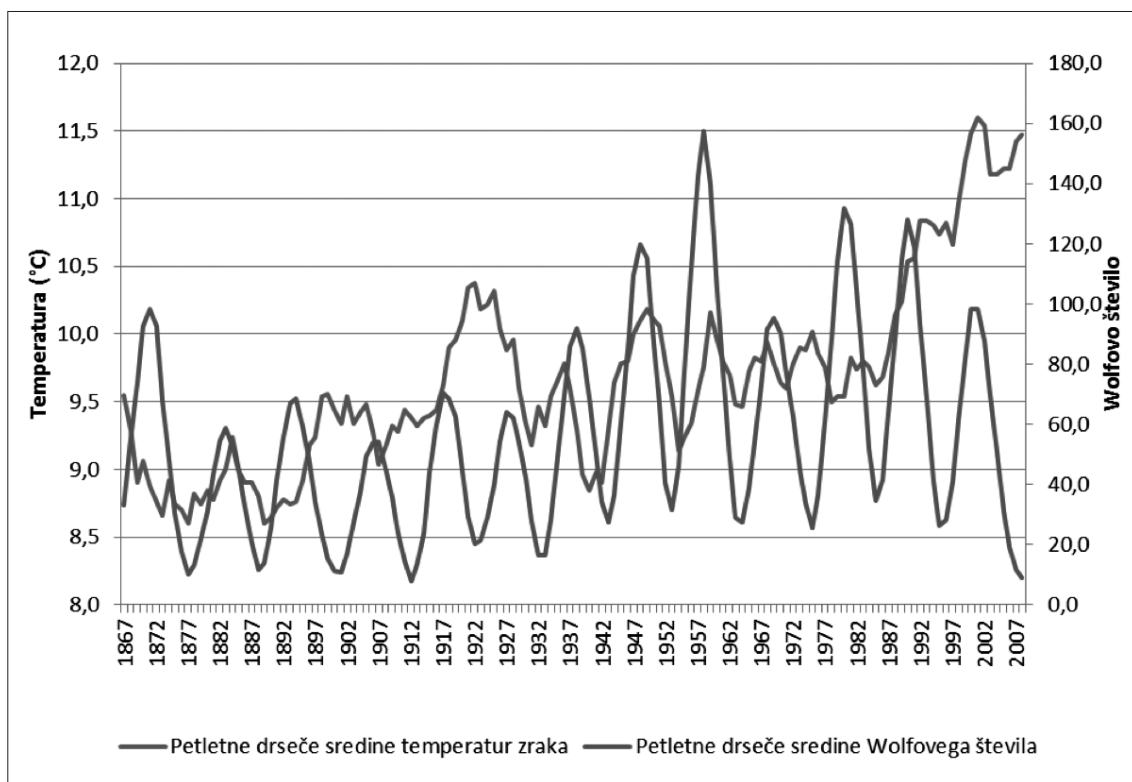
3. TRENDI TEMPERATUR ZRAKA

Začetek merjenja temperatur zraka v Sloveniji sovpada s koncem "male ledene dobe", obdobja s podpovprečnimi temperaturami zraka, ki se je začelo sredi 16. stoletja (Borroughs 2007, 256). Trend povprečnih letnih temperatur v obdobju 1865-2010 je bil v Ljubljani s stopnjo 1,35°C/100 let. V vseh mesecih so bili trendi temperatur zraka pozitivni. Najvišji trendi so se pojavljali v januarju (1,91°C/100 let) in februarju (1,79°C/100 let). Najnižji trendi so se pojavljali v septembru (0,85°C/100 let) in aprilu (0,93°C/100 let). Med letnimi časi so se najbolj segrevali zima (1,68°C/100 let), sledili pa so pomlad (1,35°C/100 let), poletje (1,25°C/100 let) in jesen (1,13°C/100 let). Trendi povprečnih letnih temperatur so bili v posameznih obdobjih seveda različni, opaziti pa je mogoče višanje trendov. V zadnjih 100 letih, v obdobju 1911-2010 so se povprečne letne temperature zraka višale s stopnjo 1,56°C/100 let, v zadnjih 70 letih (1941-2010) s stopnjo 2,61°C/100 let, v zadnjih 50 letih (1961-2010) s stopnjo 4,29°C/100 let, v zadnjih 30 letih (1981-2010) pa celo s stopnjo 4,91°C/100 let. V obdobju 1981-2010 so se najbolj segrevale zime (7,76°C/100 let), sledile pa so pomladi (7,28°C/100 let), poletja (7,27°C/100 let) in jeseni (4,94°C/100 let). Med meseci sta se v zadnjih 30 letih v Ljubljani najbolj segrevala februar (11,65°C/100 let) in junij (11,64°C/100 let).

Povprečne letne temperature v Ljubljani so v prvem petletnem obravnavanem obdobju (1865-1869) znašale 9,5°C. Temperature so se nato do leta 1880 znižale na 8,0°C, nato pa ponovno



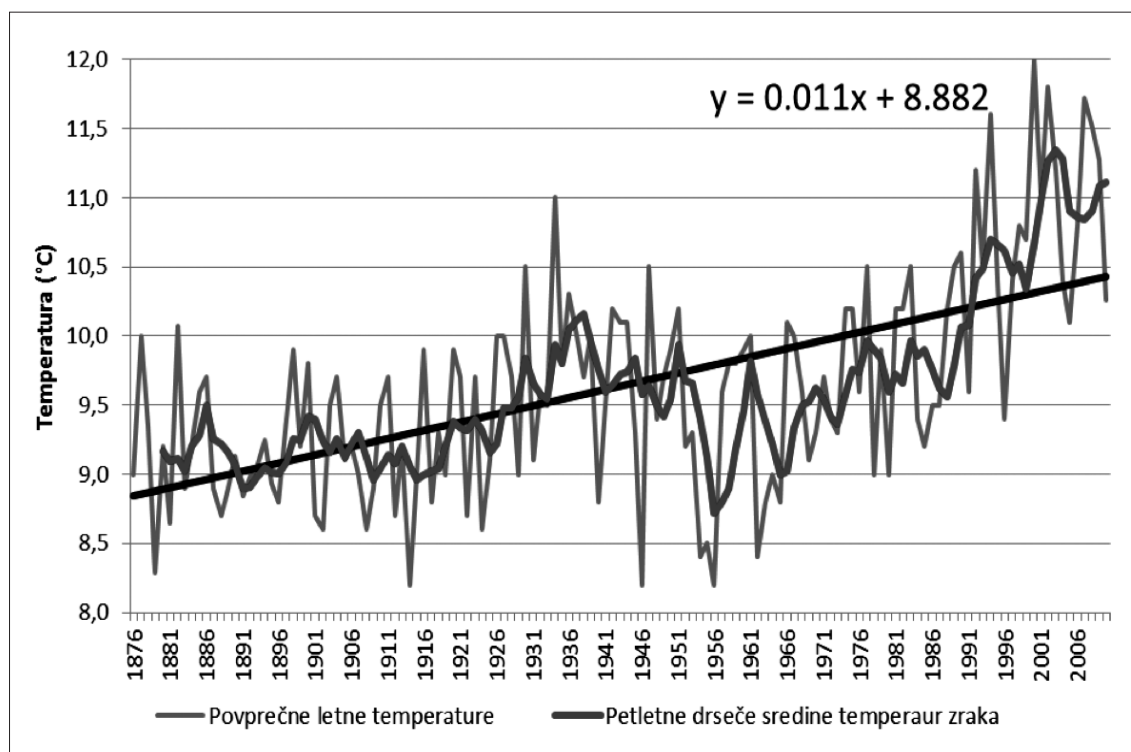
Sl. 1 Trendi povprečnih letnih temperatur zraka in petletne drseče sredine letnih temperatur v Ljubljani (1865-2010).
Vir: Urad za meteorologijo, ARSO, Ljubljana, 2011.



Sl. 2 Petletne drseče sredine povprečnih letnih temperatur v Ljubljani (1865-2010) in Wolfovega števila.
Vir: Urad za meteorologijo, ARSO, Ljubljana, 2011., <http://solarscience.msfc.nasa.gov/SunspotCycle.shtml>

naraščale. Oscilacije maksimalnih petletnih drsečih sredin so se nato do 20. let 20. stoletja pojavljale z viški v letih 1882, 1899, 1911 in 1922, torej z intervali 15 let, 17 let, 12 let in 11. let. Vsak maksimum je bil višji od preteklega. Petletne drseče sredine temperatur zraka so v Ljubljani leta 1922 znašale 10,4°C. Sledilo je obdobje, ko so povprečne temperature zraka nekoliko upadle oziroma niso naraščale s tempom, ki je bil značilen za konec 19. in začetek 20. stoletja. Maksimumi petletnih drsečih sredin so se pojavljali v letih 1935, 1948, 1959, 1975 in 1981. Zanimivo je, da so vrednosti temperatur zraka v maksimumu rahlo upadale, oscilacije pa so se pojavljale z intervali 12 let, 13 let, 11 let, 7 let in 6 let. Splošno je priznано, da so vzrok za stagnacijo in padec temperatur zraka od sredine 20. stoletja do začetka 80. let 20. stoletja vnosi delcev in nekaterih plinov, ki so posledica intenzivnejšega kurjenja fosilnih goriv in prometa (Lamb 1995, 329). Amplitude posameznih oscilacij so postajale čedalje nižje. Razpon maksimalne in minimalne temperature petletnih drsečih sredin v obdobju med 1922 in 1931 je znašal 1,2°C, razpon oscilacije med leti 1978 in 1981 pa le 0,3°C. Od leta 1981 naprej beležimo ponovno intenzivnejšo rast temperatur zraka. maksimumi oscilacij petletnih drsečih sredin so se v Ljubljani pojavljali v letih 1993 in 2001. Povezava z aktivnostjo Sonca je šibka. Sovpadanje maksimuma petletnih drsečih sredin Wolfovega števila in temperature zraka kaže na sovpadanje maksimumov obeh parametrov v letih 1882, 1935, 1948, 1959, 1966, 1993 in 2001. Vendar pa se po 80. letih temperature zraka očitneje višajo, metem ko aktivnost Sonca tudi v maksimumih celo rahlo upada. Pearsonov korelacijski koeficient med petletnimi drsečimi sredinami Wolfovega števila in temperatur zraka v Ljubljani znaša le 0,1951.

Tudi v Mariboru v obravnavanem obdobju 1876-2010 lahko govorimo o naraščanju povprečnih letnih temperatur in sicer s stopnjo 1,19°C/100 let. Med sezonami so se najintenzivneje segrevali zima (1,37°C/100 let) in pomlad (1,31°C/100 let), sledili pa so poletje (1,11°C/100 let)

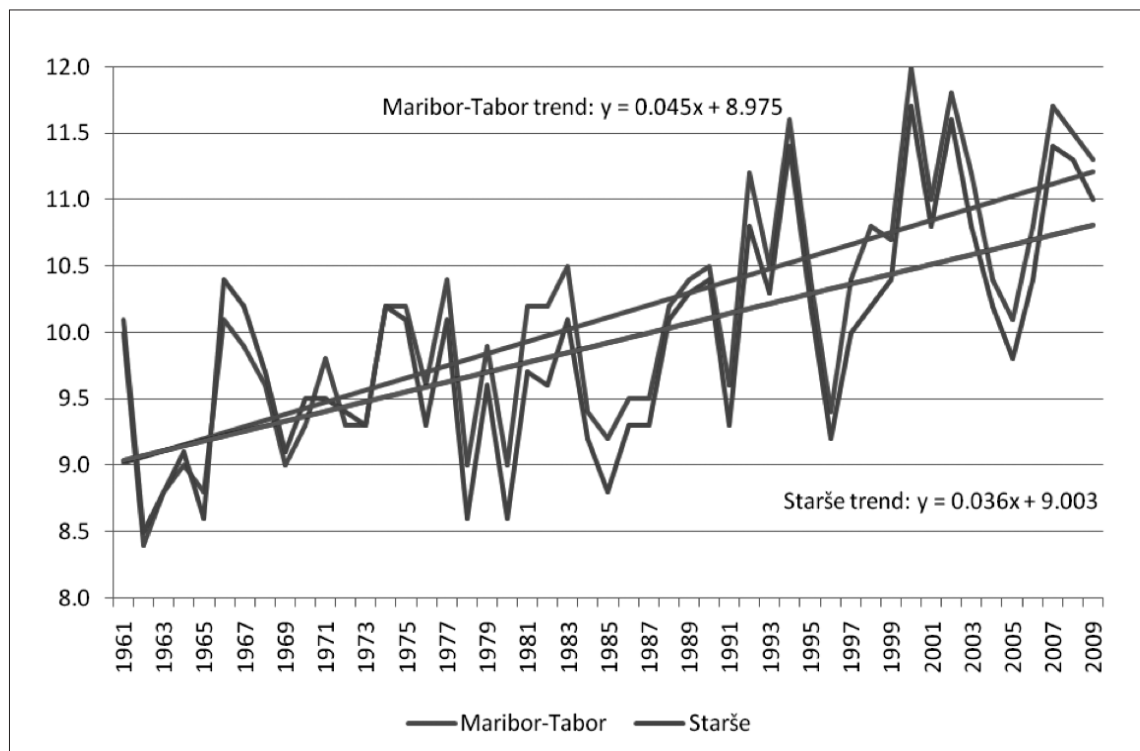


Sl. 3 Trendi povprečnih letnih temperatur zraka in petletne drseče sredine letnih temperatur v Mariboru (1876-2010). Vir: Urad za meteorologijo, ARSO, Ljubljana, 2011.

in jesen ($0,94^{\circ}\text{C}/100$ let). Med meseci so se najintenzivneje segrevali februar ($1,69^{\circ}\text{C}/100$ let) in januar ($1,68^{\circ}\text{C}/100$ let), za tem pa še maj ($1,46^{\circ}\text{C}/100$ let), november ($1,30^{\circ}\text{C}/100$ let) in april ($1,27^{\circ}\text{C}/100$ let). Tudi v Mariboru lahko zaznamo, da se trendi v zadnjih desetletjih stopnjujejo. Če smo za zadnjih 135 let ugotovili intenzivnost segrevanja povprečnih letnih temperatur s stopnjo $1,19^{\circ}\text{C}/100$ let, pa so ti trendi za obdobje 1911-2010 (100 let) $1,56^{\circ}\text{C}/100$ let, za obdobje 1941-2010 (70 let) $2,61^{\circ}\text{C}/100$ let, za obdobje 1961-2010 (50 let) $4,29^{\circ}\text{C}/100$ let in za obdobje 1981-2010 (30 let) celo $4,91^{\circ}\text{C}/100$ let. Zanimivo je, da so se v zadnjih 30 letih najbolj segreli poletje (trend $6,66^{\circ}\text{C}/100$ let), pomlad (trend $5,94^{\circ}\text{C}/100$ let) in šele nato zima (trend $5,26^{\circ}\text{C}/100$ let). Jesen se je segrela s stopnjo $2,55^{\circ}\text{C}/100$ let.

Oscilacije petletnih drsečih povprečnih letnih temperatur zraka je mogoče zaznati tudi v Mariboru. Viški so se pojavljali v letih 1882, 1896, 1903, 1910, 1916, 1926, 1934, 1941, 1947, 1957, 1969, 1973, 1980, 1990 in 1999. Intervali med vrhunci oscilacij so v Mariboru tako znašali 14 let, 5 let, 7 let, 6 let, 10 let, 8 let, 7 let, 6 let, 10 let, 12 let, 4 leta, 7 let, 10 let in 9 let. V povprečju se torej dolžina oscilacij giblje med 4 in 14 let. V nekaterih epizodah bi lahko govorili tudi o ujemanju med ciklom Sončeve aktivnosti in nihanjem povprečnih temperatur zraka, v večini primerov pa so temperaturna nihanja očitno oblikovali drugi dejavniki. Pearsonov korelacijski koeficient med Petletnimi drsečimi povprečnimi letnimi temperaturami v Mariboru in Wolfvim številom je le 0,2173. Tudi v Mariboru je – podobno kot v Ljubljani - mogoče zaznati razkorak med trendi aktivnosti Sonca in povprečnimi letnimi temperaturami. Delno si to lahko razlagamo s spremenjeno rabo tal v Mariboru, čeprav je intenzivnost širjenja bila največja v času do začetka 80. let 20. stoletja.

O vplivu mestnega toplotnega otoka na trende temperatur zraka tako v Ljubljani kot v Mariboru smo že govorili. V Mariboru lahko izvedemo primerjavo med urbano meteorološko postajo



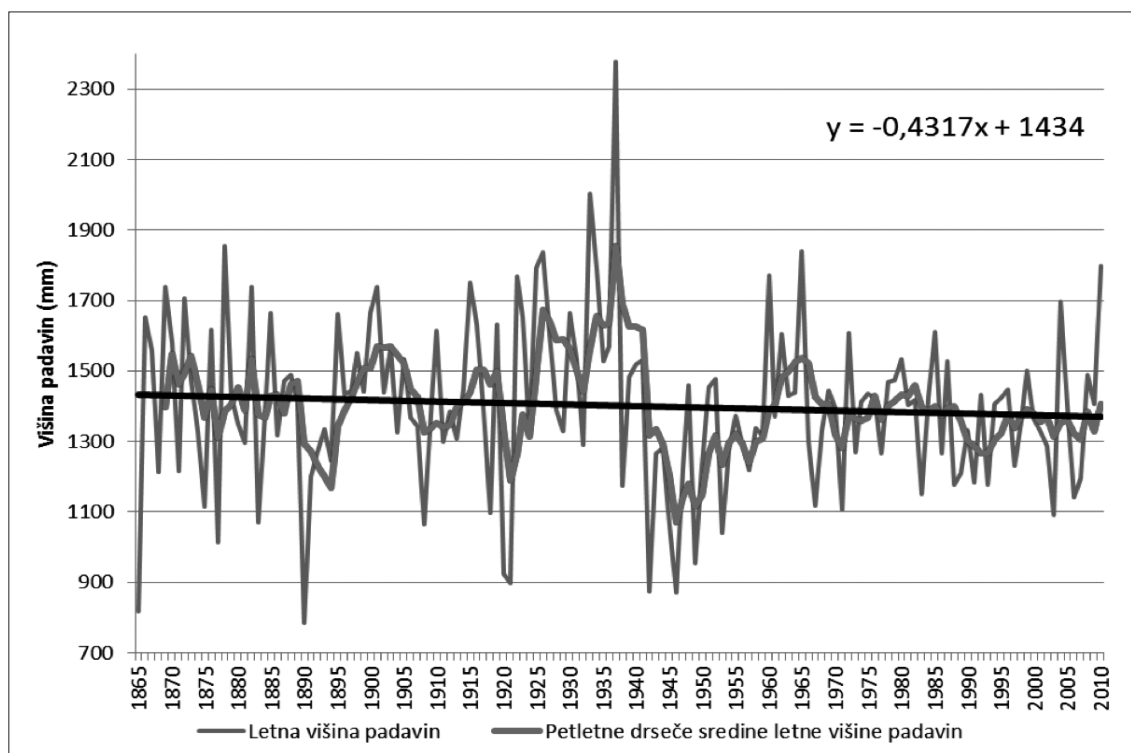
Sl. 4 Povprečne letne temperature zraka na meteoroloških postajah Maribor-Tabor in Starše (1961-2009).
Vir: Žiberna, 2006.

Maribor-Tabor in meteorološko postajo Starše, ki je locirana na Dravskem polju, 12 km jugovzhodno od Maribora in je začela delovati leta 1961. Za slednjo pa je potrebno omeniti, da se je zaradi suburbanizacije predvsem od sredine 90. let 20. stoletja vendarle kažejo tudi precej omiljeni antropogeni vplivi (Žiberna 2006), vendar ti v obravnavanem obdobju še niso moteči. Starše tako v naši analizi predstavljajo neke vrste "ozadje" v kateri se "šum", ki nastane zaradi součinkovanja vpliva globalnih temperaturnih trendov in vplivov mestnega toplotnega otoka dajo razločiti.

Primerjava trendov povprečnih letnih temperatur zraka kaže, da so te seveda hitreje naraščale v Mariboru in sicer s stopnjo $0,45^{\circ}\text{C}/10$ let, v Staršah pa je ta trend znašal $0,36^{\circ}\text{C}/10$ let. Groba ocena torej kaže, da je v zadnje pol stoletja prispevek mestnega toplotnega otoka na trend reda velikosti $0,09^{\circ}\text{C}/10$ let (Slika 4).

4 TRENDI PADAVIN, EVAPOTRANSPIRACIJE IN VODNE BILANCE

Trendi višine padavin so manj signifikantni od temperaturnih trendov. V Ljubljani so padavine v obdobju 1865-2010 v splošnem padale in sicer s povprečnim trendom $-43,17$ mm/100 let. V resnici so v vmesnih obdobjih nastopale fluktuacije višine padavin, vendar z manj pravilnimi oscilacijami, kot je bilo to mogoče opaziti pri temperaturah zraka. Do 90. let 19. stoletja so padavine v Ljubljani rahlo upadle (leta 1890 je v Ljubljani padlo le 784 mm padavin, kar je najmanj v celotnem obravnavanem obdobju oziroma le okoli 50 % dolgoletne povprečne višine padavin). Višina padavin je nato do 30. let 20. stoletja naraščala (leta 1933 je v Ljubljani padlo 2004 mm, leta 1937 pa kar 2379 mm padavin, kar je najvišja vrednost v celotnem obravnavanem obdobju). To leto je bilo tudi sicer rekordno: na padavinski postaji Učja na območju Julijskih Alp so nameirili 4309 mm, na Gomanjcah v Snežniškem pogorju pa 4109 mm (Trontelj 1997, 48). Do leta

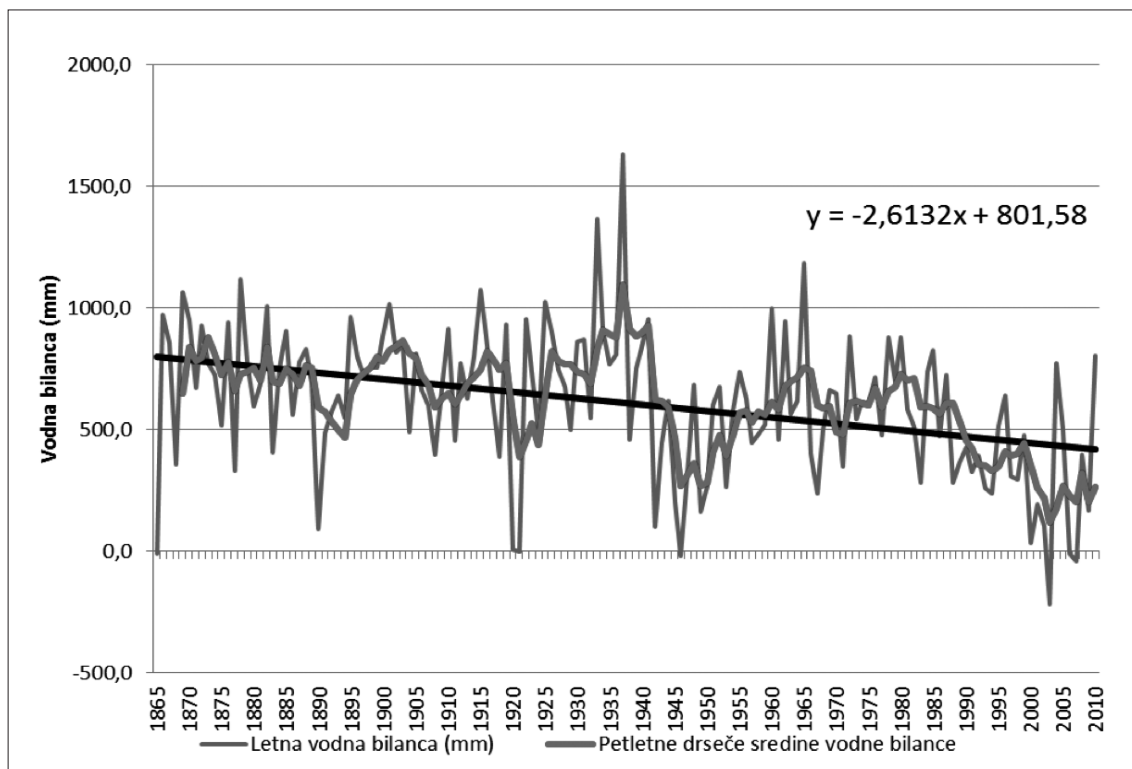


Slika 5: Trendi letnih višin padavin in petletne drseče sredine letnih višin padavin v Ljubljani (1865-2010). Vir: Urad za meteorologijo, ARSO, Ljubljana, 2011.

1946, ko je v Ljubljani padlo le 872 mm padavin so se le-te močno znižale, nato ponovno naraščale do sredine 60. let, odtlej pa vse do danes beležimo rahel vendar konstanten padec višine padavin. Trendi višine padavin po sezonah kažejo največje zmanjševanje v poletju (-20,97 mm/100 let) in jeseni (-19,16 mm/100 let). Zmanjševanje višine padavin je mogoče zaznati še v pomladi (-10,39 mm/100 let), medtem ko se je pozimi višina padavin celo rahlo povečala (8,36 mm/100 let). Potrebno pa je povedati, da pozimi zaradi segrevanja delež padavin v trdi obliki (sneg) počasi pada na račun padavin v tekoči obliki (dež).

Posledica višanja temperatur zraka v Ljubljani je tudi višanje potencialne evapotranspiracije. ta se je v obdobju 1965-2010 dvigovala s stopnjo 218,16 mm/100 let. Najvišji trendi potencialne evapotranspiracije so bili v poletnih mesecih (104,36 mm/100 let), spomladi (55,19 mm/100 let), jeseni (48,75 mm/100 let), medtem ko so bili pozimi le 9,07 mm/100 let). Potencialna evapotranspiracija se je dvigala zlasti po letu 1981.

Razlika med višino padavin in potencialno evapotranspiracijo predstavlja poenostavljeno vodno bilanci, zaloge vlage v tleh, kjer pa se v obliki podzemne vode ta prav tako giblje. Trendi vodne bilance v Ljubljani kažejo izrazit negativen trend: -261,32 mm/100 let. Povedano drugače: padavinsko je osrednja Slovenija izgubila dva dobro namočena meseca. najvišji negativni trendi vodne bilance nastopajo v poletnih mesecih (-125,33 mm/100 let), kar je z vidika oskrbe z vodo in potreb za kulturne rastline izrazito neugodno. Za razliko od nekaterih žitaric (pšenica, ječmen), ki jih požanjemo že na začetku julija, pa se nekatere druge kulturne rastline, predvsem koruza, ki je v osrednji Sloveniji pogosta, ravno v obdobju primanjkljaja vlage nahajajo v fenofazah rasti, torej fazah, ko so njihove potrebe po vlagi največje. Dodatno k neugodnim razmeram botruje dejstvo, da se večina njivskih površin nahaja na plitvih do srednjeglobokih tleh na produ in pesku, kjer meteorna voda zelo hitro odteče v večje globine in kot taka ni več na voljo korenin-

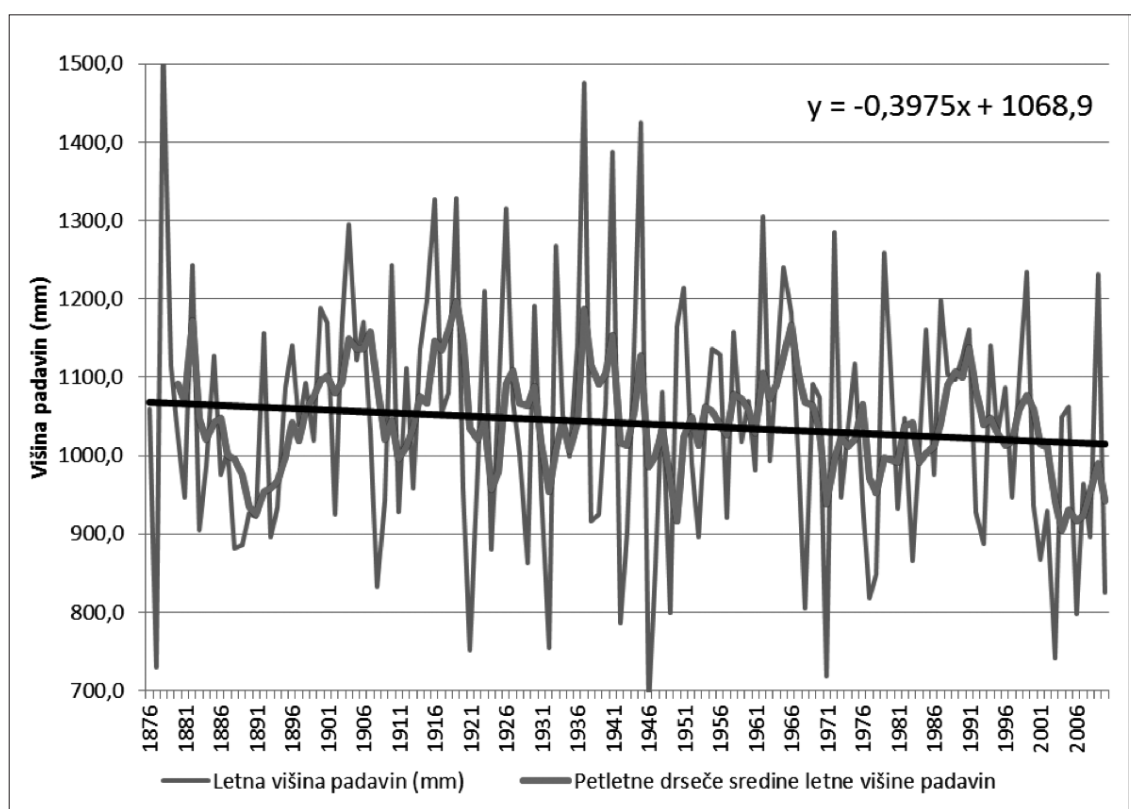


Sl. 6 Trendi letne vodne bilance v Ljubljani (1865-2010).

Vir: Urad za meteorologijo, ARSO, Ljubljana, 2011.

skemu sistemu rastlin (Kajfež-Bogataj, Bergant 2005, 38-39). Prepolovljeni trendi nastopajo v jesenskih (-67,29 mm/100 let) ter spomladanskih mesecih (-65,58 mm). Trend vodne bilance v zimskih mesecih je zelo neizrazit (-0,71 mm/100 let). Kljub vsemu pa osrednja Slovenija predvsem na račun dovolj velike količine padavin v splošnem še ne beleži negativne vodne bilance. Obdobja, ko je vodna bilanca v Ljubljani bila manjša od 500 mm se pojavlja od sredine 40., do sredine 50. let 20. stoletja ter od konca 80. let 20. stoletja, ko je tako stanje že normalno. V sušnem letu 2003 je znašala vodna bilanca v Ljubljani -217,3 mm, kar je najmanj v celotnem obdobju meritev.

V Mariboru v primerjavi z Ljubljano zaradi lege na robu subpanonskega podnebnege tipa pade letno manj padavin. Povprečna letna višina padavin v obdobju 1876-2010 je znašala 1041,9 mm. Najbolj namočeni so poletni meseci (junij 121,6 mm), ko so padavine konvektivnega nastanka. Sekundarni maksimum padavin se pojavlja v oktobru (95,5 mm) in novembru (84,2 mm), ko je izvor padavin povezan z intenzivnejšo ciklogenezno v Genovskem zalivu. Tudi v Mariboru v obravnavanem obdobju beležimo trend upadanja povprečne letne višine padavin in sicer s stopnjo 39,8 mm/100 let. Tako kot v Ljubljani tudi tukaj trendi niso signifikantni, saj znaša standardni odklon povprečne letne višine padavin v obravnavanem obdobju 160,2 mm. Tudi



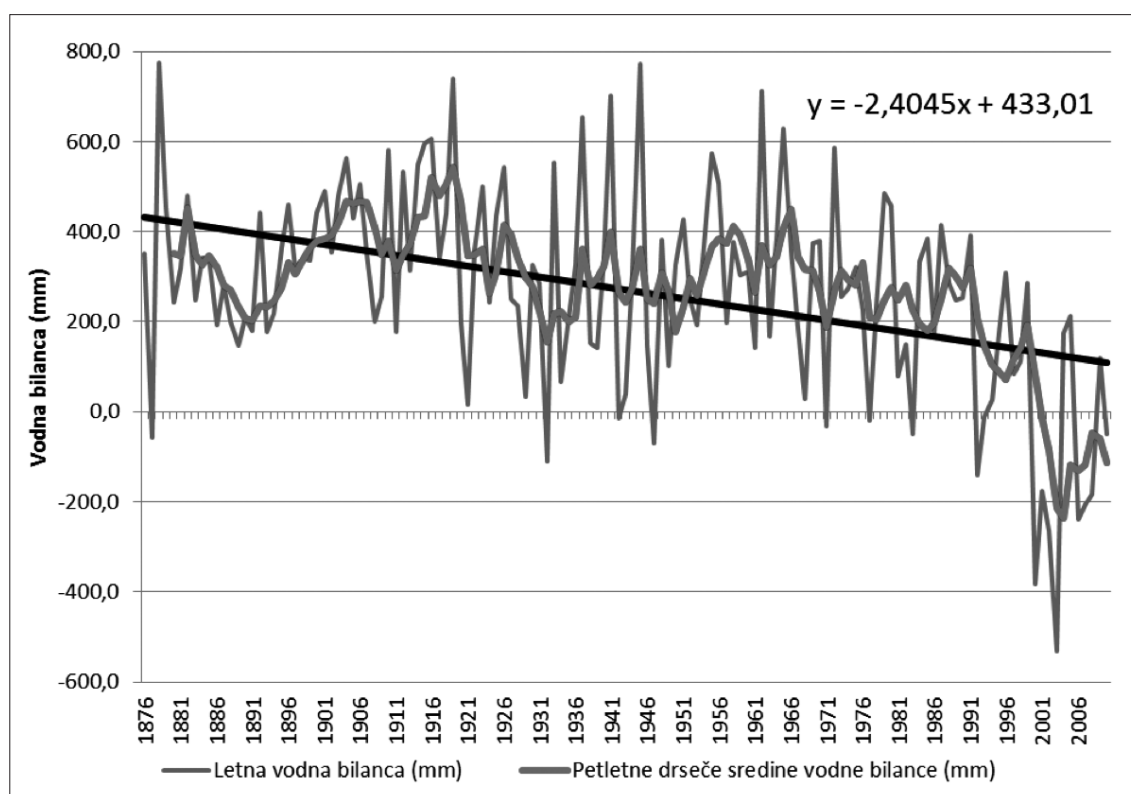
Sl. 7 Trendi letne višine padavin v Mariboru (1876-2010).

Vir: Urad za meteorologijo, ARSO, Ljubljana, 2011.

trendi višine padavin po sezonah niso signifikantni in so vsi nižji od standardnega odklona. V zimskih mesecih višina padavin celo rahlo narašča (1,35 mm/100 let), v ostalih sezonah pa pada: spomladi s stopnjo 34,23 mm/100 let, poleti s stopnjo 3,54 mm/100 let in jeseni s stopnjo 15,72 mm/100 let. Potencialna evapotranspiracija na letni ravni znaša 772,4 mm, najvišja pa je seveda

poleti (385,1 mm), sledita jesen (185,6 mm) in pomlad (185,1 mm), najnižja pa je pozimi (16,5 mm). Zaradi višanja temperatur se potencialna evapotranspiracija viša in sicer na letni ravni s stopnjo 200,7 mm/100 let. Med sezonami je trend potencialne evapotranspiracije najvišji poleti (95,43 mm/100 let), sledijo pa pomlad (53,53 mm/100 let), jesen (42,51 mm/100 let) ter zima (9,55 mm/100 let).

Razlika med višino padavin in potencialno evapotranspiracijo je v Mariboru zaradi subpanonskih podnebnih značilnosti večja kot v Ljubljani. Če je Ljubljana v obravnavanem obdobju beležila presežek padavin nad evapotranspiracijo v višini 609,5 mm, je ta presežek na letnem nivoju v Mariboru le še 269,5 mm. V Ljubljani so vse sezone in vsi meseci razen julija beležili presežek padavin nad evapotranspiracijo. V Mariboru je situacija precej drugačna. Vse sezone razen zime v obravnavanem obdobju beležijo primanjkljaj vlage. Najvišji primanjkljaj se pojavlja poleti (-258,5 mm), nato spomladi (-100,0 mm) in jeseni (-86,0 mm). V zimi je zaznati presežek vlage v višini 38,9 mm. Stanje je z vidika kulturnih rastlin izrazito neugodno, saj se deficiti vlage pojavljajo ravno v fenofazah rasti, ko rastline potrebujejo največ vlage. Tudi trendi vodne bilance so izrazito neugodni. V obdobju 1876-2010 se je ta nižala s stopnjo -240,45 mm/100 let. To pomeni, da se je enem stoletju povprečna letna višina padavin znižala za okoli 25 %, oziroma, da smo "izgubili" dva najbolj namočena meseca. Trendi vodne bilance so najvišji v poletnih mesecih (-56,41 mm/100 let) in spomladi (-46,60 mm/100 let). Med meseci vsi razen decembra beležijo negativne trende vodne bilance. Ti so najvišji maja (-42,60 mm/100 let), aprila (-34,31 mm/100 let), julija (-31,53 mm/100 let) in junija (-30,37 mm/100 let). Klimatska suša v severovzhodni Sloveniji postaja torej že neke vrste "normalno" stanje. Sušna leta so se pojavljala že v preteklih obdobjih: leta 1877 je bila vodna bilanca -57,9 mm, leta 1932 -110,8 mm, 1942 -13,9 mm, 1947



Sl. 8 Trendi letne vodne bilance v Mariboru (1876-2010).

Vir: Urad za meteorologijo, ARSO, Ljubljana, 2011.

-69,7 mm, 1971 -33,3 mm, 1977 -20,8 mm in leta 1983 -50,2 mm. Leta 1992 je bila vodna bilanca -141,0 mm, po letu 1999 pa klimatska suša v Mariboru ni pojavila le leta 2004 in 2010, v ostalih letih pa je vodna bilanca znašala vedno pod -200 mm, leta 2000 - 382,9 mm, leta 2003 pa celo -531,1 mm, kar je rekordni deficit zabeležen v času instrumentalnih meritev v Mariboru.

5 ZAKLJUČEK

Meritve meteoroloških elementov v Sloveniji potekajo od sredine 19. stoletja naprej. Najdaljše homogene opazovalne nize imata klimatski postaji Ljubljana in Maribor. Lokacije meteoroloških postaj so se v celotnem obravnavanem obdobju spreminjale. Največji vpliv mesta pa je opaziti predvsem zaradi širjenja pozidanih površin v okolici opazovalnega prostora, čemur smo na obeh postajah priča v drugi polovici 20. stoletja naprej. Obe meteorološki postaji kažeta na naraščanje temperatur. V Ljubljani so se v obravnavanem obdobju povprečne letne temperature višale s stopnjo 1,34°C/100 let, v Mariboru pa s stopnjo 1,195°C/100 let. V obeh mestih so omenjeni trendi ne le posledica globalnih podnebnih sprememb, pač pa tudi čedalje intenzivnejšega pojava mestnega toplotnega otoka. Vendar pa ta vpliv predstavlja manjši prispevek k dvigu temperatur, kar je tudi dokazano na primeru primerjave med Mariborom in Staršami. V obeh mestih so se v obravnavanem obdobju najbolj ogrele zime in sicer v Ljubljani s stopnjo 1,68°C/100 let, v Mariboru pa s stopnjo 1,37°C/100 let. V obeh mestih je prav tako mogoče zaznati rahel padec višine padavin, vendar trendi niso signifikantni. V Ljubljani so se letne višine padavin zniževale s stopnjo 43,17 mm/100 let, v Mariboru pa s stopnjo 39,75 mm/100 let. Zaradi višanja temperatur se v obeh mestih viša potencialna evapotranspiracija. Posledica tega je, da se razlika med padavinami in potencialno evapotranspiracijo manjša. Vodna bilanca v Ljubljani se je tako znižala z dinamiko 261,32 mm/100 let, v Mariboru pa z dinamiko 240,45 mm/100 let. Taki trendi so zaskrbljujoči predvsem v severovzhodni Sloveniji, kjer v spomladanskih in poletnih mesecih deficit vlage čedalje pogosteje predstavlja običajno stanje. Deficiti vlage so se v zadnjih desetletjih stopnjevali. V Mariboru (in na območju celotne severovzhodne Slovenije) v zadnjih letih beležimo rekordne izpade padavin, po letu 2000 sta bili le dve leti s suficitom vlage.

LITERATURA

- Arhiv Urada za meteorologijo, ARSO, 2011, Ljubljana.
- Borroughs W.J., 2007, *Climate Change. A Multidisciplinary Approach*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Houghton J., 2009, *Global Warming. Complete Briefing*. Cambridge University Press, Cambridge.
- <http://solarscience.msfc.nasa.gov/SunspotCycle.shtml>
- Kajfež – Bogataj L., Bergant K., 2005: Podnebne spremembe v Sloveniji in suša, *Ujma*, 19, Ljubljana.
- Lamb H.H., 1995, *Climate History And The Modern World*, Routledge, London.
- Linacre E., 1992, *Climate Data And Resources. A Reference And Guide*. Routledge, London.
- Povše M., 1984, *Imenik ali seznam krajev z vremenskimi postajami v SR Sloveniji in s kronološkim pregledom dosedanjih meteoroloških opazovanj*, Hidrometeorološki zavod SRS, Ljubljana.
- Plut D., 2010, *Geografija sonaravnega razvoja*, Filozofska fakulteta, Ljubljana.
- Trontelj M., 1997, *Kronika izrednih vremenskih dogodkov XX. stoletja*, Hidrometeorološki zavod RS, Ljubljana.
- Žiberna I., 1996, *Mestna Klima Maribora*. Doktorska disertacija, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana.
- Žiberna I., 2006, *Trendi temperatur zraka v Mariboru kot posledica razvoja mestnega toplotnega otoka*. *Revija za geografijo*, Filozofska fakulteta. Maribor.

SUMMARY

The paper presents the trends in the change of temperatures, precipitations, evapo-transpirations and water balance in metrological stations in Ljubljana (from 1876 until 2010) and Maribor (from 1876 until 2010). It analyses the changes in monthly, seasonal and summer average values within the observed range. It also explains the dynamics of these changes in accordance with the changes in the activities of the Sun.