

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



DIPLOMSKA NALOGA

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE STOPNJE TEHNIČNO UPRAVLJANJE NEPREMIČNIN

Ljubljana, 2020

Univerza
v Ljubljani

*Fakulteta za
gradbeništvo in
geodezijo*



Kandidat/-ka:

Diplomska naloga št.:

Graduation thesis No.:

Mentor/-ica:

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

Član komisije:

Ljubljana, _____

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.8(043.2)
Avtor:	Kristina Cerar
Mentor:	prof. dr. Krištof Oštir
Somentor:	doc. dr. Žiga Kokalj
Naslov:	Opazovanje mestnega toplotnega otoka
Tip dokumenta:	diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	
Ključne besede:	Mestni toplotni otok, daljinsko zaznavanje, Landsat, analize časovnih vrst, QGIS

Izvleček:

V diplomski nalogi je predstavljeno opazovanje mestnega toplotnega otoka na primeru osmih največjih (po površini) slovenskih mest: Ljubljana, Maribor, Celje, Kranj, Koper, Velenje, Novo mesto in Ptuj. Mesta so obravnavana v časovni vrsti od leta 1986 do leta 2018. Opisano je določanje temperature omenjenih mest na podlagi satelitskih posnetkov Landsat. Izračunana sta SUHI (površinski mestni toplotni otok) in UHeatEx (kazalnik izpostavljenosti mestni toploti, ki upošteva fizikalne procese za nastanek mestnega toplotnega otoka). Rezultati naloge so pokazali, da je v Sloveniji prisoten pojav urbanega toplotnega otoka tako v velikih kot manjših mestih. Občine bi lahko rezultate uporabile pri načrtovanju ozelenjevanja mest in usmerjanju poselitve, s ciljem zmanjševanja pojava mestnega toplotnega otoka.

»Ta stran je namenoma prazna.«

IBLIOGRAFIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDK: 528.8(043.2)

Author: Kristina Cerar

Supervisor: Prof. Krištof Oštir, Ph. D.

Co-advisor: Žiga Kokalj, Ph. D.

Title: Observing the Urban Heat Island

Document type: Graduation Thesis – University studies

Scope and tools:

Keywords: Urban Heat Island, analysing satellite imagery, Landsat, time series analysis, QGIS

Abstract:

The diploma thesis presents the observation of the city heat island on the example of the eight largest (by area) Slovenian cities: Ljubljana, Maribor, Celje, Kranj, Koper, Velenje, Novo mesto and Ptuj. The cities are considered in the time series from 1986 to 2018. The determination of the temperature of the mentioned cities on the basis of Landsat satellite images is described. SUHI (surface urban heat island) and UHeatEx (urban heat exposure indicator, which takes into account the physical processes for the formation of the urban heat island) were calculated. The results of the task showed that the phenomenon of urban heat island is present in Slovenia in both large and small cities. Municipalities could use the results in urban planning and settlement management, with the aim of reducing the occurrence of urban heat island.

»Ta stran je namenoma prazna.«

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Krištofu Oštirju, somentorju doc. dr. Žigu Kokalju in asist. Jerneju Tekavcu za vse nasvete, usmeritve in strokovno pomoč pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvala gre tudi domačim, ki so mi pomagali in me spodbujali čez celoten študij.

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA	I
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	IV
IBLIOGRAFIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	VI
ZAHVALA	VIII
1 UVOD.....	1
1.1 NAMEN IN CILJI	1
2 TEORETIČNA IZHODIŠČA.....	2
2.1 MESTNI TOPLOTNI OTOK.....	2
2.1.1 Razvoj raziskovanja	2
2.1.2 Opredelitev.....	2
2.1.3 Vzroki za nastanek.....	3
2.1.4 Posledice in učinki.....	4
3 PODATKI	5
3.1 SATELITSKI POSNETKI LANDSAT.....	5
3.1.1 Landsat 4-5 TM	6
3.1.2 Landsat 7 ETM.....	6
3.1.3 Landsat 8 OLI/TIRS.....	7
3.1.4 Uporabljeni satelitski posnetki Landsat.....	8
3.2 H/W – (MESTNI) ULIČNI KANJON	12
3.3 B – BOWENOV RAZMERJE	13
3.4 ΔQ_s – KONDUKCIJSKA TOPLOTNA KAPACITETA ZRAKA	15
3.5 Q_F – ANTROPOGENI TOPLOTNI OTOK.....	16
4 UPORABLJENA PROGRAMSKA OPREMA.....	17
5 METODE DELA	19
5.1 TESTNA OBMOČJA	20
5.1.1 Ljubljana.....	20
5.1.2 Maribor.....	21
5.1.3 Celje.....	22
5.1.4 Kranj.....	22
5.1.5 Koper	23
5.1.6 Velenje	24
5.1.7 Novo mesto	24
5.1.8 Ptuj.....	25

5.2	IZDELAVA TEMPERATURNIH KART	25
5.3	IZRAČUN SUHI	26
5.4	IZRAČUN H/W	26
5.4.1	Prvi korak – DMP in DMT	26
5.4.2	Drugi korak – Mozaik	27
5.4.3	Tretji korak – Stavbe, kot vhodni sloj izračuna H/W	27
5.4.4	Četrty korak – H/W	28
5.4.5	Peti korak – Grafični prikaz H/W	30
5.5	IZRAČUN B	31
5.6	IZRAČUN ΔQ_s	31
5.7	IZRAČUN UHEATEx	32
6	ANALIZA IN REZULTATI	32
6.1	VREDNOTENJE TEMPERATURNIH KART	32
6.1.1	Ljubljana	33
6.1.2	Ptuj	36
6.2	VREDNOTENJE POVRŠINSKIH MESTNIH TOPLOTNIH OTOKOV (SUHI)	40
6.2.1	Ljubljana	41
6.2.2	Maribor	42
6.2.3	Celje	43
6.2.4	Kranj	44
6.2.5	Koper	45
6.2.6	Velenje	46
6.2.7	Novo mesto	47
6.2.8	Ptuj	48
6.3	ČASOVNA PRIMERJAVA IZBRANIH OBMOČIJ	49
6.4	VREDNOTENJE H/W, B, ΔQ_s IN QF	52
6.4.1	H/W – (mestni) ulični kanjon	52
6.4.2	β – Bowenovo razmerje	57
6.4.3	ΔQ_s – kondukcijska toplotna kapaciteta zraka	62
7	ZAKLJUČEK	65
	VIRI	69

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO PREGLEDNIC

<i>Preglednica 1: Datumska opredelitev preučevanih letnih časov</i>	<i>5</i>
<i>Preglednica 2: Opis kanalov Landsat 4-5 TM</i>	<i>6</i>
<i>Preglednica 3: Opis kanalov Landsat 7 ETM</i>	<i>6</i>
<i>Preglednica 4: Opis kanalov Landsat 8 OLI/TIRS</i>	<i>7</i>
<i>Preglednica 5: Datumsko datirani uporabljeni satelitski posnetki Landsat</i>	<i>8</i>
<i>Preglednica 6: Podatki za izračun H/W</i>	<i>13</i>
<i>Preglednica 7: Podatki za izračun β</i>	<i>13</i>
<i>Preglednica 8: Podatki za izračun ΔQ_s</i>	<i>15</i>
<i>Preglednica 9: Podatki za izračun QF</i>	<i>16</i>
<i>Preglednica 10: Koordinatna opredelitev izbranih območij</i>	<i>20</i>
<i>Preglednica 11: Temperature zraka dne 29.04.2018 pridobljene z meteoroloških postaj (ARSO METEO)</i>	<i>31</i>
<i>Preglednica 12: Prikaz minimalnih in maksimalnih temperatur za vse letne čase, Ljubljana</i>	<i>33</i>
<i>Preglednica 13: Prikaz minimalnih in maksimalnih temperatur za vse letne čase, Ptuj</i>	<i>37</i>
<i>Preglednica 14: Vrednosti β iz literature</i>	<i>57</i>

KAZALO SLIK

Slika 1: Mestni toplotni otok. Slika povzeta po predstavitvi Posebnosti urbane klime in okolja (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta 2017)	3
Slika 2: Shema zračne cirkulacije. Slika povzeta po delu Ivajnsič, D. (2010) Toplotni otok Ljutomera, str. 10.....	4
Slika 3: Grafični prikaz povišanja smrti v Angliji in Walesu v obdobju vročinskih valov od maja do avgusta 2019. Slika povzeta po članku Roberts, M. (2019).	4
Slika 4: Prikaz iskanja satelitskih posnetkov Landsat preko spletnega servisa Earth Explorer.....	5
Slika 5: Prikaz okvare senzorja ETM+, očitne so velike vrzeli na robovih posnetka USGS Earth Explorer (2020).	7
Slika 6: Učinek umestnega kanjona. Slika povzeta po predstavitvi Posebnosti mestne klime in okolja (UNI Ljubljana, Biotehniška fakulteta, str. 34).....	12
Slika 7: Testno območje Ljubljana. Satelitski posnetek Landsat prikazan v pravih barvah.	20
Slika 8: Testno območje Maribor. Satelitski posnetek Landsat prikazan v pravih barvah.	21
Slika 9: Testno območje Celje. Satelitski posnetek Landsat prikazan v pravih barvah.	22
Slika 10: Testno območje Kranj. Satelitski posnetek Landsat prikazan v pravih barvah.	22
Slika 11: Testno območje Koper. Satelitski posnetek Landsat prikazan v pravih barvah.	23
Slika 12: Testno območje Velenje. Satelitski posnetek Landsat prikazan v pravih barvah.	24
Slika 13: Testno območje Novo mesto. Satelitski posnetek Landsat prikazan v pravih barvah.	24
Slika 14: Testno območje Ptuj. Satelitski posnetek Landsat prikazan v pravih barvah.	25
Slika 15: Grafični prikaz podatkov aerolaserskega skeniranja terena	26
Slika 16: Prikaz dela v FME Desktop—u; pretvorba podatkov aerolaserskega skeniranja v DMP in DMT	27
Slika 17: Prikaz dela v FME Desktop—u; ustvarjanje mozaika	27
Slika 18: Prikaz dela v FME Desktop—u; DMP mozaik	Slika 19: Prikaz dela v FME Desktop—u; DMT mozaik
	27
Slika 20: Prikaz dela v FME Desktop—u; vhodni podatek za izračun mestnega uličnega kanjona	28
Slika 21: Prikaz dela v FME Desktop—u; povečava slike 22	28
Slika 22: Prikaz dela v FME Desktop—u; vhodni podatek za izračun mestnega uličnega kanjona za Kranj	28

Slika 23: Slika 22: Prikaz dela v FME Desktop—u; postopek izračuna razmerja H/W	29
Slika 24: Prikaz dela v FME Desktop—u; izračun površine celic, ki imajo vrednost 0 (tla).....	29
Slika 25: Prikaz dela v FME Desktop—u; izračun površine celic, ki imajo vrednost = 1 (stavba)	30
Slika 26: Prikaz dela v FME Desktop—u; rezultat H/W za Kranj	30
Slika 27: Primer izraza za izračun β za Kranj	31
Slika 28: Primer izraza za izračun Q^* za Kranj	32
Slika 29: Primer izraza za izračun ΔQ_s , za Kranj.....	32
Slika 30: Temperaturne karte pomlad, Ljubljana	34
Slika 31: Temperaturne karte poletje, Ljubljana	35
Slika 32: Temperaturne karte jesen, Ljubljana.....	36
Slika 33: Temperaturne karte zima, Ljubljana	36
Slika 34: Temperaturne karte pomlad, Ptuj	38
Slika 35: Temperaturne karte poletje, Ptuj	38
Slika 36: Temperaturne karte jesen, Ptuj	39
Slika 37: Temperaturne karte zima, Ptuj.....	40
Slika 38: Prikaz vrednosti temperatur zemeljskega površja za mesto in okolico ter SUHI, Ljubljana.	41
Slika 39: Prikaz vrednosti temperatur zemeljskega površja za mesto in okolico ter SUHI, Maribor...	42
Slika 40: Prikaz vrednosti temperatur zemeljskega površja za mesto in okolico ter SUHI, Celje.....	43
Slika 41: Prikaz vrednosti temperatur zemeljskega površja za mesto in okolico ter SUHI, Kranj	44
Slika 42: Prikaz vrednosti temperatur zemeljskega površja za mesto in okolico ter SUHI, Koper	45
Slika 43: Prikaz vrednosti temperatur zemeljskega površja za mesto in okolico ter SUHI, Velenje ...	46
Slika 44: Prikaz vrednosti temperatur zemeljskega površja za mesto in okolico ter SUHI, Novo mesto	47
Slika 45: Prikaz vrednosti temperatur zemeljskega površja za mesto in okolico ter SUHI, Ptuj	48
Slika 46: Temperaturne karte 11.08.1986	50
Slika 47: Temperaturne karte 07.04.2010	51
Slika 48: Temperaturne karte 29.04.2018	52
Slika 49: H/W Ljubljana	53

Slika 50: H/W Maribor.....	53
Slika 51: H/W Celje.....	54
Slika 52: H/W Kranj	54
Slika 53: H/W Koper	55
Slika 54: H/W Velenje	55
Slika 55: H/W Novo mesto	56
Slika 56: H/W Ptuj	56
Slika 57: β Ljubljana.....	58
Slika 58: β Maribor.....	58
Slika 59: β Celje.....	59
Slika 60: β Kranj	59
Slika 61: β Koper	60
Slika 62: β Velenje	60
Slika 63: β Novo mesto	61
Slika 64: β Ptuj	61
Slika 65: Δ QS Ljubljana.....	62
Slika 66: Δ QS Maribor.....	62
Slika 67: Δ QS Celje.....	63
Slika 68: Δ QS Kranj	63
Slika 69: Δ QS Koper	63
Slika 70: Δ QS Velenje	64
Slika 71: Δ QS Novo mesto	64
Slika 72: Δ QS Ptuj.....	64
Slika 73: Grafični prikaz števila satelitskih posnetkov Landsat v časovnem obdobju 1986 – 2018	65
Slika 74: Grafični prikaz števila satelitskih posnetkov Landsat v časovnem obdobju 1986 – 2018 po satelitih	66
Slika 75: Grafični prikaz števila uporabnih satelitskih posnetkov Landsat v časovnem obdobju 1986 – 2018	66

Slika 76: Grafični prikaz števila uporabnih satelitskih posnetkov Landsat v časovnem obdobju 1986 — 2018 po satelitih.....	67
Slika 77: Prikaz težave pridobivanja ustreznih satelitskih posnetkov — oblaki.....	67

»Ta stran je namenoma prazna.«

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

SUHI	Površinski mestni toplotni otok
UHeatEx	Kazalnik izpostavljenosti mestni toploti
GIS	Geografski informacijski sistem
H/W	(Mestni) ulični kanjon
GKOT	Georeferenciran in klasificiran oblak točk
QH	Konvekcijska toplotna občutljivost zraka
QE	Konvekcijski transport latentne toplote
β	Bowenovo razmerje
ρ	Gostota zraka
c	Specifična toplota pri stalnem tlaku
Tp	Temperatura površja
Tz	Temperatura zraka
rH	Relativna vlažnost
Lv	(Latentna) toplota uparjanja
Qs	Nasičena specifična vlažnost
Q	Specifična vlažnost zraka
rv	Vsebnost vlage
ΔQ_S	Kondukcijska toplotna kapaciteta zraka
Q*	Neto sevalni tok
σ	Stefan – Boltzmannova konstanta
α	Albedo
ε	Emisivnost
SW(↓)	Sončno obsevanje
LW(↓)	Atmosfersko povratno sevanje
QF	Antropogeni toplotni otok
SCP	Semi–Automatic Classification Plugin
GeoTIFF	Georeferenciran raster TIFF
DMP	Digitalni model površja
DMT	Digitalni model terena

»Ta stran je namenoma prazna.«

1 UVOD

Vloga mest kot središče človeške in gospodarske dejavnosti narašča iz leta v leto. Agathangelidis et al. (2019) napovedujejo, da bo do leta 2050 v mestnih območjih živel več kot dve tretjini svetovnega prebivalstva. Dnevno se srečujemo z okoljskimi vprašanji kot so onesnaževanje zraka, ravnanje z odpadki in viri pitne vode. Mesta imajo povišane temperature zraka glede na okoliška podeželska območja, kar je pojav, ki ga imenujemo *mestni toplotni otok*.

Mestni toplotni otok je povezan s spreminjanjem ozračja v mestih in zaradi vse gostejše pozidave postaja vse izrazitejši. Mestno prebivalstvo proizvede veliko odvečne energije, z asfaltnimi in betonskimi površinami spreminja energijsko bilanco, z visoko gradnjo pa vpliva na krajevno zračno cirkulacijo (Ivajnsič, D. 2010).

Daljinsko zaznavanje, ki je zasnovano na satelitih, omogoča preprosto spremljanje mestnih toplotnih otokov. Razlogi za izbiro satelitskih podatkov so: računalniška obdelava, dostopnost za velika območja, periodičnost in brezplačnost (v primeru slabše natančnosti). Z geoinformacijskimi orodji prepoznavamo in določamo prostorske termične vzorce, ki se pripisujejo mestu in njegovi okolici.

Pomembnost proučevanja tematike je izražena v tem, da mestni načrtovalci in oblikovalci politike potrebujejo orodja za prepoznavanje najbolj toplotno ranljivih območij mesta pred oblikovanjem in izvajanjem podnebne politike (Agathangelidis, I. 2019).

V diplomski nalogi je obravnavanih osem največjih slovenskih mest (po površini): Ljubljana, Maribor, Celje, Kranj, Koper, Velenje, Novo mesto in Ptuj. Mesta so obravnavana v časovni vrsti od leta 1986 do leta 2018. Opisano je določanje temperature omenjenih mest na podlagi satelitskih posnetkov Landsat. Izračunana sta SUHI (površinski mestni toplotni otok) in UHeatEx (kazalnik izpostavljenosti mestni toploti, ki upošteva fizikalne procese za nastanek mestnega toplotnega otoka).

1.1 Namen in cilji

V diplomski nalogi sem z orodji GIS izvedla izračune temperatur površja ter le-te ustrezno prikazala na kartah temperatur in SUHI.

Zastavila sem si naslednje cilje:

- i. Ugotoviti kakšne so temperaturne razlike med središčem mesta in njegovo okolico.
- ii. Ugotoviti kakšna je velikost, oblika in intenziteta toplotnega otoka na izbranih območjih.
- iii. Izračunati kazalnik izpostavljenosti mestni toploti (UHeatEx).
- iv. Ugotoviti primernost uporabe kazalnika izpostavljenosti mestni toploti na območju Slovenije.

Diplomska naloga je sestavljena iz sedmih poglavij. Uvodu sledi poglavje, z opisom razvoja raziskovanja, vzrokov za nastanek ter posledice pojava mestnega toplotnega otoka. V tretjem poglavju so opisani uporabljeni podatki in v četrtem uporabljena programska oprema. V petem poglavju so opisane metode dela, testna območja, izdelava temperaturnih kart, izračun površinskega mestnega toplotnega otoka (SUHI), mestnega uličnega kanjona (H/W), Bowenovega razmerja (β) in kondukcijske toplotne kapacitete zraka (ΔQ_s). Sledi poglavje o analizi in rezultatih. Ovrednotene so temperaturne karte, površinski mestni toplotni otoki, parametri za izračun UHeatEx. V tem poglavju je opisana tudi

časovna primerjava izbranih območij. Zadnje poglavje vsebuje zaključke in povzetek bistvenih ugotovitev.

2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

2.1 Mestni toplotni otok

2.1.1 Razvoj raziskovanja

Iznajdba instrumentov za merjenje meteoroloških kazalcev je omogočila razvoj znanstvene meteorologije ter tako tudi proučevanje mestne klime. Howard (1818) je obravnaval vplive urbanizacije na ozračje v mestu. Ugotovil je nastanek toplotnega otoka v mestih in bistvene razlike v vrednostih meteoroloških kazalcev med mestom in podeželjem.

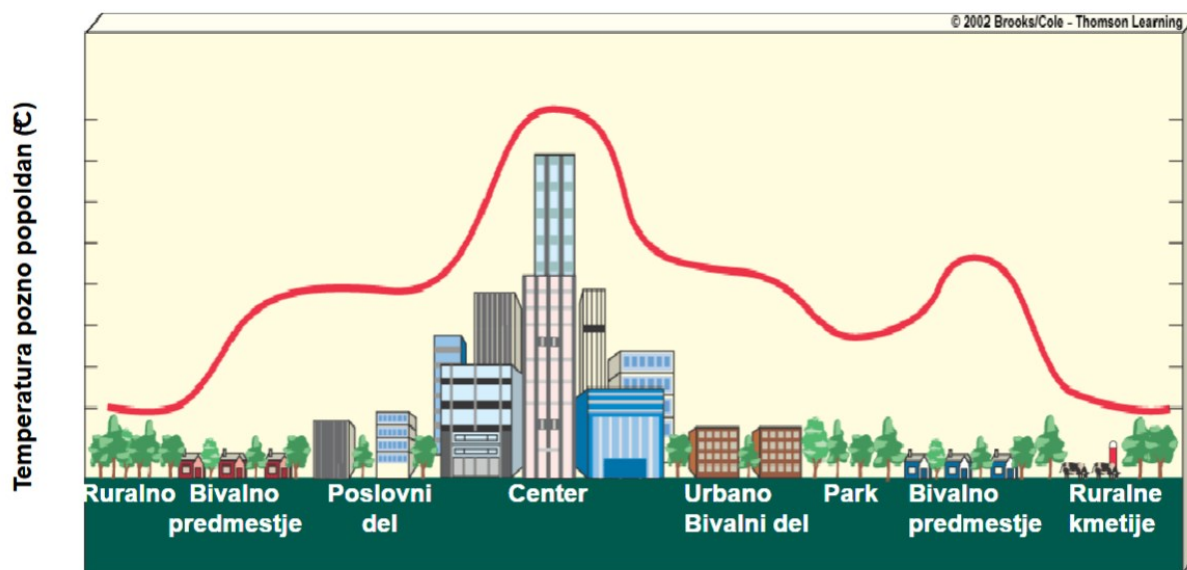
Razvoj satelitskih sistemov za daljinsko zaznavanje je omogočil nov način raziskovanja mestnih toplotnih otokov z dopolnitvijo tradicionalnih metod, ki temeljijo na merjenju temperature na meteoroloških postajah. Uporaba senzorjev občutljivih za različne spektre elektromagnetnega valovanja je omogočila določitev temperature na daljavo (Mulahusić, A. et al. 2018).

Meteorološke postaje zajemajo podatke točkovno, so številčno, lokacijsko in arhivsko zelo omejene. Satelitsko snemanje pa omogoča množični zajem podatkov na velikem območju, s čimer je zagotovljena velika prostorska in časovna pokritost opazovanj (Mulahusić, A. et al. 2018).

2.1.2 Opredelitev

Ivajnsič je v svojem delu Toplotni otok Ljutomera (2010) zapisal, da poimenovanje toplotni otok izhaja iz podobnosti v poteku izoterm nad mestom in nad majhnim, osamljenim otokom sredi morja. Skupna značilnost je potek izoterm, ki so tesno druga ob drugi kar pomeni, da temperatura hitro narašča od obrobja proti središču. Razdalja med izotermami nad mestom ni enakomerna, kar kaže na različno gostoto prebivalstva in različno rabo tal ter tudi na reliefno razgibanost mesta.

Pogosto ima mesto več središč z najvišjo temperaturo in tudi manjša območja s precej nižjo temperaturo ozračja. Zaradi tega se oblika in intenzivnost mestnega toplotnega otoka od mesta do mesta razlikujeta. Gibanje temperature zraka se preko dneva razlikuje glede na letni čas. Poenostavljeno je mestni toplotni otok pojav, pri katerem imajo mestna območja višjo temperaturo od manj urbaniziranih območij v bližnji okolici (Ivajnsič, D. 2010).



Slika 1: Mestni toplotni otok. Slika povzeta po predstavitvi Posebnosti urbane klime in okolja (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta 2017)

2.1.3 Vzroki za nastanek

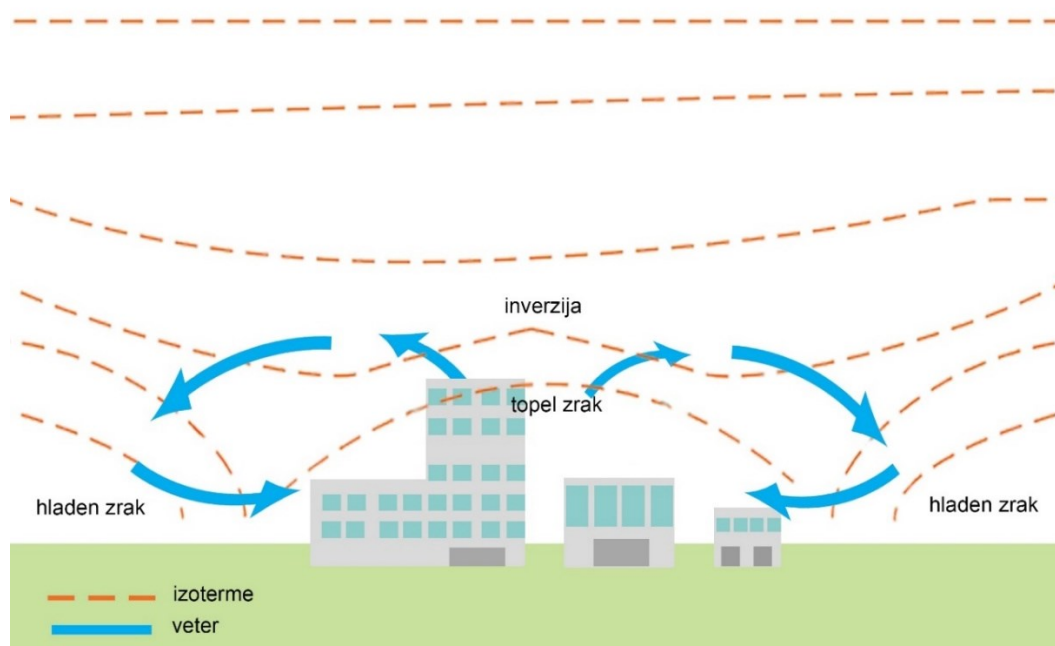
Večji delež betonskih in asfaltnih površin predstavlja specifično rabo tal v mestu, ki bistveno vpliva na energijsko bilanco mesta. Beton ima v primerjavi z vlažnimi tlemi tudi do šestkrat večjo toplotno konduktivnost, torej sposobnost prevajanja energije. In skoraj dvakrat večjo toplotno kapaciteto, ki je potrebna, da se snov segreje za 1 K, oz. koliko toplote mora snov oddati, da se ohladi za 1 K. To je tudi razlog da se beton podnevi počasi segreva, ponoči pa akumulira toploto. Prav ta lastnost močno vpliva na dnevni režim razlik v temperaturi zraka med mestom in okolico (Ivajnsič, D. 2010).

Mesto deluje kot termoakumulatorska peč, ki čez dan absorbira kratkovalovno sevanje Sonca, v nočnem in jutranjem času pa oddaja dolgovalovno sevanje v ohlajeno okolico.

Temperatura zraka v mestu je med drugim odvisna tudi od dejavnosti, ki so prisotne v mestu. Promet, industrija, obrtne dejavnosti in gospodinjstva vplivajo tako na temperaturo, kot tudi na onesnaženost zraka.

Glavni vzrok za nastanek in oblikovanje mestnega toplotnega otoka je naraščajoča zamenjava nepozidanih površin z grajenimi objekti.

Na razvoj mestnih toplotnih otokov najbolj vplivata dva primarna vremenska pojava, to sta veter in oblaki. Mestni toplotni otok je najintenzivnejši, kadar je nebo jasno in ni vetra. Oblaki zmanjšajo sončevo obsevanje tal in nižjih plasti ozračja, zaradi česar se dnevno segrevanje v mestih občutno zmanjša. Veter pa okrepi mešanje zračnih mas ter zmanjšuje razlike v temperaturah med mestom in okolico. Pojavijo se spremembe v krožnem gibanju zraka. Po drugi strani pa mestni toplotni otok zlasti v mirnem anticiklonskem vremenskem tipu povzroča celično kroženje zraka v prizemni plasti proti mestu, kjer se dviga in ponovno spušča izven mesta. Smer in hitrost vetra v mestu spremenijo tudi razne naravne ovire (gozd, relief ipd.) (Ivajnsič, D. 2010).



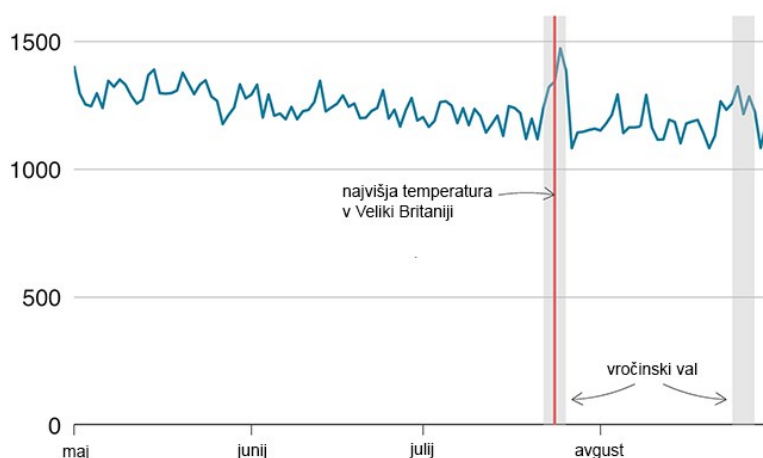
Slika 2: Shema zračne cirkulacije. Slika povzeta po delu Ivajnšič, D. (2010) Toplotni otok Ljutomera, str. 10

2.1.4 Posledice in učinki

Komac, B. et al. (2017) navajajo, da višje temperature vplivajo neposredno na ljudi in druga živa bitja, ter povzročajo vročinski stres ter druge zdravstvene težave, imajo pa tudi številne posredne učinke: slabšo kakovost zraka, omejene vodne vire ter težave z energetsko oskrbo.

Vročinski valovi ne povzročajo samo neposrednega povečanja umrljivosti med ogroženimi skupinami prebivalstva, ampak tudi nižajo kakovost življenja, zmanjšajo produktivnost pri delu in ter poslabšajo kronična bolezenska stanja (Kučić, L. J. 2018).

Na spodnji sliki je prikaz povišanje smrti v obdobjih vročinskih valov;



Slika 3: Grafični prikaz povišanja smrti v Angliji in Walesu v obdobju vročinskih valov od maja do avgusta 2019. Slika povzeta po članku Roberts, M. (2019).

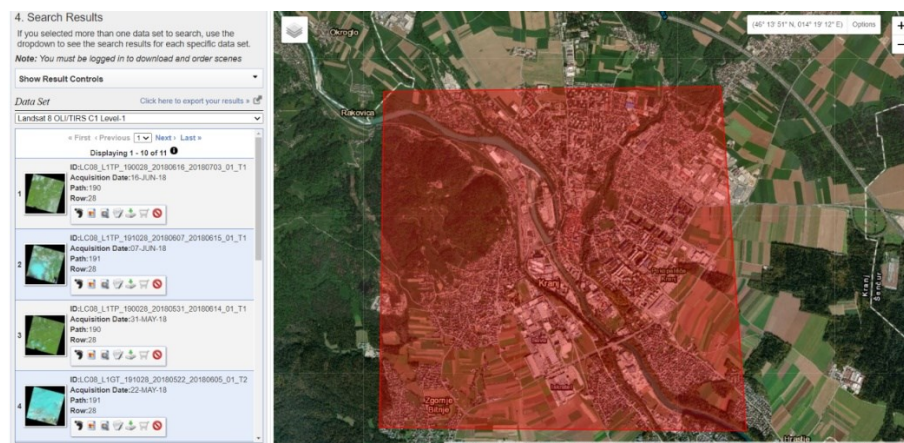
3 PODATKI

Za izračune sem uporabila številne podatke in sicer: satelitske posnetke Landsat, (mestni) ulični kanjon (razmerje H/W), Bowenovo razmerje (β), kondukcijsko toplotno kapaciteto zraka (ΔQ_s) in antropogeni toplotni otok (Q_F). V nadaljevanju so predstavljeni uporabljeni podatki ter teoretična izhodišča za izračun posameznega parametra, v petem poglavju podrobnejši izračuni, v šestem poglavju pa predstavitev in vrednotenje le-teh.

3.1 Satelitski posnetki Landsat

Kot vir posnetkov sem izbrala posnetke satelitov: Landsat 4-5 TM, Landsat 7 ETM ter Landsat 8 OLI/TIRS, vse stopnje obdelave so bile Level-1.

Izbrala sem jih zaradi obsežnega arhiva posnetkov, ki omogočajo časovna opazovanja in primerjave, dobre prostorske ločljivosti ter kombinacije senzorjev z ustreznimi termičnimi kanali. Vse satelitske posnetke sem prenesla s spletnega servisa USGS Earth Explorer.



Slika 4: Prikaz iskanja satelitskih posnetkov Landsat preko spletnega servisa Earth Explorer

Preučila sem časovno vrsto od leta 1986 do 2019, s štiriletnim razmikom. Vsako leto sem opazovanja preučevala tudi po letnih časih – pomlad, poletje, jesen in zima, katere sem datumsko omejila, kot je prikazano v preglednici 1.

Preglednica 1: Datumska opredelitev preučevanih letnih časov

Letni čas	Datumska opredelitev
pomlad	21. marec – 20. junij
poletje	21. junij – 22. september
jesen	23. september – 20. december
zima	21. december – 20. marec

3.1.1 Landsat 4-5 TM

Izstreljen je bil 1. marca 1984. Celotno Zemljo je pokril s časom ponovnega obiska 16 dni. Ekvator je prečkal dopoldne ob 09:45 uri ± 15 minut, s čimer so skušali doseči najbolj ugodne razmere za snemanje. Senzor je zajemal podatke v pasu, širokem 170 km, pri čemer je polna scena velika 170 km krat 185 km.

Preglednica 2: Opis kanalov Landsat 4-5 TM

Senzor	Številka kanala	Spektralni pas	Valovna dolžina [μ m]	Ločljivost [m]
TM	1	Vidna modra	0,45 – 0,52	30
TM	2	Vidna zelena	0,52 – 0,60	30
TM	3	Vidna rdeča	0,63 – 0,69	30
TM	4	NIR	0,77 – 0,90	30
TM	5	SWIR 1	1,55 – 1,75	30
TM	6	Termični	10,40 – 12,50	120
TM	7	SWIR 2	2,08 – 2,35	30

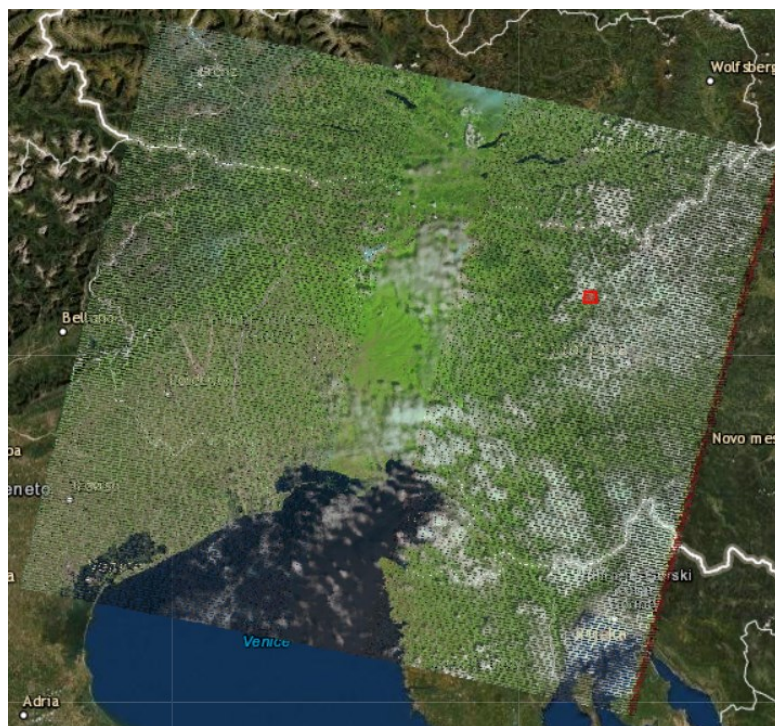
3.1.2 Landsat 7 ETM

Izstreljen je bil 15. aprila 1999. Celotno Zemljo je pokril s časom ponovnega obiska 16 dni. Ekvator je prečkal dopoldne ob 10:00 uri ± 15 minut, s čimer so skušali doseči najbolj ugodne razmere za snemanje. Senzor je zajemal podatke v pasu, širokem 170 km, pri čemer je polna scena velika 170 km krat 185 km.

Preglednica 3: Opis kanalov Landsat 7 ETM

Senzor	Številka kanala	Spektralni pas	Valovna dolžina [μ m]	Ločljivost [m]
ETM +	1	Modra	0.45 – 0.52	30
ETM +	2	Zelena	0.52 – 0.60	30
ETM +	3	Rdeča	0.63 – 0.69	30
ETM +	4	Bližnja IR	0.77 – 0.90	30
ETM +	5	SWIR 1	1.55 – 1.75	30
ETM +	6	Termični	10.40 – 12.50	30 (60*) *Zajem podatkov v ločljivosti 60 m, distribuirani podatki z ločljivostjo 30 m.
ETM +	7	SWIR 2	2.09 – 2.35	30
ETM +	8	Pankromatski	0.52 – 0.90	15

Maja 2003 je senzor ETM+ doživel okvaro v delovanju sistema za kompenzacijo snemalnih vrstic. Zaradi nedelujoče korekcije se snemalne vrstice prekrivajo na sredini in imajo velike vrzeli na robovih podobe (Oštir, K. 2006).



Slika 5: Prikaz okvare senzorja ETM+, očitne so velike vrzeli na robovih posnetka USGS Earth Explorer (2020).

3.1.3 Landsat 8 OLI/TIRS

Izstreljen je bil 11. februarja 2013. Celotno Zemljo pokrije s časom ponovnega obiska 16 dni. Ekvator prečka dopoldne ob 10:00 uri $\pm$ 15 minut, s čimer skušajo doseči najbolj ugodne razmere za snemanje. Podatke zajema v pasu, širokem 170 km, pri čemer je polna scena velika 170 km krat 185 km.

Spektralni kanali senzorja OLI, podobno kot Landsat 7 ETM, zagotavljajo izboljšave pred predhodnimi instrumenti Landsat, z dodatkom dveh novih spektralnih pasov:

- globoko modri vidni kanal (spektralni pas 1); posebej zasnovan za vodne vire in preiskavo obalnih območij in
- infrardeči kanal (spektralni pas) za odkrivanje cirusnih oblakov
-

Preglednica 4: Opis kanalov Landsat 8 OLI/TIRS

Senzor	Številka kanala	Spektralni pas	Valovna dolžina [μm]	Ločljivost [m]
OLI	1	obalni	0.43 – 0.45	30
OLI	2	modra	0.45 – 0.51	30
OLI	3	zelena	0.53 – 0.59	30
OLI	4	rdeča	0.63 – 0.67	30
OLI	5	bližnja IR	0.85 – 0.88	30
OLI	6	SWIR 1	1.57 – 1.65	30
OLI	7	SWIR 2	2.11 – 2.29	30
OLI	8	pankromatski	0.50 – 0.68	15

... se nadaljuje

... nadaljevanje preglednice 4

OLI	9	cirus	1.36 – 1.38	30
TIRS	10	Termični 1	10.60 – 11.19	30 (100*) *Zajem podatkov v ločljivosti 60 m, distribuirani podatki z ločljivostjo 30 m.
TIRS	11	Termični 2	11.50 – 12.51	30 (100*) *Zajem podatkov v ločljivosti 60 m, distribuirani podatki z ločljivostjo 30 m.

3.1.4 Uporabljeni satelitski posnetki Landsat

Uporabila sem 287 satelitskih posnetkov Landsat, od tega jih je 199 s satelita Landsat 4-5 TM, 25 z Landsat 7 ETM ter 63 z Landsat 8 OLI/TIRS. Vsi posnetki so datumsko in satelitsko opredeljeni v spodnji preglednici:

Preglednica 5: Datumsko datirani uporabljeni satelitski posnetki Landsat

Ljubljana							
Pomlad		Poletje		Jesen		Zima	
Datum	Satelit	Datum	Satelit	Datum	Satelit	Datum	Satelit
04.05.1985	L 4-5 TM	11.08.1986	L 4-5 TM	01.10.1987	L 4-5 TM	26.02.1987	L 4-5 TM
28.03.1989	L 4-5 TM	06.08.1990	L 4-5 TM	30.09.1990	L 4-5 TM	18.02.1990	L 4-5 TM
04.05.1994	L 4-5 TM	01.08.1994	L 4-5 TM	14.10.1992	L 4-5 TM	10.03.1994	L 4-5 TM
28.03.1998	L 4-5 TM	12.08.1998	L 4-5 TM	22.10.1998	L 4-5 TM	27.02.1999	L 4-5 TM
31.03.2002	L 7	31.08.2002	L 7	10.11.2002	L 7	04.02.2002	L 7
15.06.2006	L 4-5 TM	17.07.2006	L 4-5 TM	18.10.2005	L 4-5 TM	14.02.2006	L 4-5 TM
07.04.2010	L 4-5 TM	03.07.2010	L 4-5 TM	21.11.2009	L 4-5 TM	09.03.2011	L 4-5 TM
18.04.2014	L 8	08.08.2014	L 8	25.11.2013	L 8	12.01.2014	L 8
29.04.2018	L 8	25.07.2018	L 8	19.10.2017	L 8	18.02.2019	L 8
Maribor							

se nadaljuje...

... nadaljevanje preglednice 5

Pomlad		Poletje		Jesen		Zima	
Datum	Satelit	Datum	Satelit	Datum	Satelit	Datum	Satelit
07.05.1986	L 4-5 TM	11.08.1986	L 4-5 TM	07.10.1986	L 4-5 TM	15.01.1986	L 4-5 TM
31.03.1990	L 4-5 TM	06.08.1990	L 4-5 TM	09.10.1990	L 4-5 TM	04.02.1990	L 4-5 TM
07.06.1994	L 4-5 TM	01.08.1994	L 4-5 TM	13.10.1994	L 4-5 TM	15.02.1994	L 4-5 TM
08.05.1998	L 4-5 TM	12.08.1998	L 4-5 TM	26.09.1997	L 4-5 TM	16.01.1998	L 4-5 TM
13.06.2002	L 4-5 TM	31.08.2002	L 7	02.10.2002	L 7	04.01.2002	L 4-5 TM
15.06.2006	L 4-5 TM	17.07.2006	L 4-5 TM	15.11.2006	L 4-5 TM	14.03.2007	L 4-5 TM
07.04.2010	L 4-5 TM	12.07.2010	L 4-5 TM	23.09.2010	L 4-5 TM	02.02.2010	L 4-5 TM
18.04.2014	L 8	07.07.2014	L 8	01.11.2016	L 8	12.01.2014	L 8
29.04.2018	L 8	19.08.2018	L 8	06.10.2018	L 8	07.01.2018	L 8
Celje							
Pomlad		Poletje		Jesen		Zima	
Datum	Satelit	Datum	Satelit	Datum	Satelit	Datum	Satelit
23.05.1986	L 4-5 TM	11.08.1986	L 4-5 TM	09.11.1984	L 4-5 TM	07.03.1987	L 4-5 TM
31.03.1990	L 4-5 TM	06.08.1990	L 4-5 TM	06.10.1989	L 4-5 TM	10.01.1990	L 4-5 TM
14.06.1994	L 4-5 TM	01.08.1994	L 4-5 TM	14.10.1992	L 4-5 TM	10.03.1994	L 4-5 TM
08.05.1998	L 4-5 TM	12.08.1998	L 4-5 TM	15.10.1998	L 4-5 TM	16.01.1998	L 4-5 TM
12.06.2002	L 7	15.08.2002	L 7	02.10.2002	L 7	03.01.2002	L 7
24.03.2005	L 4-5 TM	17.07.2006	L 4-5 TM	18.10.2005	L 4-5 TM	11.03.2006	L 4-5 TM
07.04.2010	L 4-5 TM	12.07.2010	L 4-5 TM	03.10.2011	L 4-5 TM	02.02.2010	L 4-5 TM
18.04.2014	L 8	07.07.2014	L 8	11.10.2014	L 8	12.01.2014	L 8
29.04.2018	L 8	19.08.2018	L 8	19.10.2017	L 8	23.01.2018	L 8
Kranj							
Pomlad		Poletje		Jesen		Zima	
Datum	Satelit	Datum	Satelit	Datum	Satelit	Datum	Satelit

24.04.1987	L 4-5 TM	11.08.1986	L 4-5 TM	14.10.1986	L 4-5 TM	15.01.1986	L 4-5 TM
18.05.1990	L 4-5 TM	06.08.1990	L 4-5 TM	25.10.1990	L 4-5 TM	18.02.1990	L 4-5 TM
04.05.1994	L 4-5 TM	01.08.1994	L 4-5 TM	07.10.1995	L 4-5 TM	10.03.1994	L 4-5 TM
15.05.1998	L 4-5 TM	18.07.1998	L 4-5 TM	29.09.1998	L 4-5 TM	24.02.1998	L 4-5 TM
11.06.2002	L 4-5 TM	27.06.2002	L 4-5 TM	06.10.2001	L 7	03.02.2002	L 4-5 TM
15.06.2006	L 4-5 TM	17.07.2006	L 4-5 TM	12.10.2006	L 4-5 TM	14.02.2006	L 4-5 TM
07.04.2010	L 4-5 TM	12.07.2010	L 4-5 TM	29.10.2009	L 4-5 TM	02.02.2010	L 4-5 TM
02.04.2014	L 8	08.08.2014	L 8	11.10.2014	L 8	30.12.2014	L 8
29.04.2018	L 8	19.08.2018	L 8	13.10.2018	L 8	30.01.2018	L 8
Koper							
Pomlad		Poletje		Jesen		Zima	
Datum	Satelit	Datum	Satelit	Datum	Satelit	Datum	Satelit
27.03.1986	L 4-5 TM	11.08.1986	L 4-5 TM	01.12.1986	L 4-5 TM	26.02.1987	L 4-5 TM
09.05.1990	L 4-5 TM	06.08.1990	L 4-5 TM	09.10.1990	L 4-5 TM	18.02.1990	L 4-5 TM
04.05.1994	L 4-5 TM	01.08.1994	L 4-5 TM	27.10.1994	L 4-5 TM	12.01.1994	L 4-5 TM
15.05.1998	L 4-5 TM	18.07.1998	L 4-5 TM	22.10.1998	L 4-5 TM	24.02.1998	L 4-5 TM
02.05.2002	L 7	27.06.2002	L 4-5 TM	02.10.2002	L 7	10.01.2002	L 7
02.05.2005	L 4-5 TM	22.06.2006	L 4-5 TM	12.10.2006	L 4-5 TM	05.03.2007	L 4-5 TM
07.04.2010	L 4-5 TM	03.07.2010	L 4-5 TM	16.10.2010	L 4-5 TM	02.02.2010	L 4-5 TM
09.04.2014	L 8	12.08.2013	L 8	31.10.2013	L 8	08.03.2014	L 8
29.04.2018	L 8	23.06.2018	L 8	13.10.2018	L 8	15.02.2018	L 8
Velenje							
Pomlad		Poletje		Jesen		Zima	
Datum	Satelit	Datum	Satelit	Datum	Satelit	Datum	Satelit
07.05.1986	L 4-5 TM	11.08.1986	L 4-5 TM	27.10.1985	L 4-5 TM	15.01.1986	L 4-5 TM
31.03.1990	L 4-5 TM	06.08.1990	L 4-5 TM	25.10.1990	L 4-5 TM	10.01.1990	L 4-5 TM
24.04.1993	L 4-5 TM	01.08.1994	L 4-5 TM	07.10.1995	L 4-5 TM	10.03.1994	L 4-5 TM

08.05.1998	L 4-5 TM	12.08.1998	L 4-5 TM	15.10.1998	L 4-5 TM	19.01.1999	L 4-5 TM
12.06.2002	L 7	16.09.2002	L 7	02.10.2002	L 7	03.01.2002	L 7
15.06.2006	L 4-5 TM	17.07.2006	L 4-5 TM	18.10.2005	L 4-5 TM	11.03.2006	L 4-5 TM
07.04.2010	L 4-5 TM	29.08.2010	L 4-5 TM	03.10.2011	L 4-5 TM	02.02.2010	L 4-5 TM
18.04.2014	L 8	7.07.2014	L 8	/	/	13.02.2014	L 8
29.04.2018	L 8	18.07.2018	L 8	19.10.2017	L 8	27.02.2019	L 8
Novo mesto							
Pomlad		Poletje		Jesen		Zima	
Datum	Satelit	Datum	Satelit	Datum	Satelit	Datum	Satelit
07.05.1986	L 4-5 TM	11.08.1986	L 4-5 TM	01.10.1987	L 4-5 TM	07.03.1987	L 4-5 TM
31.03.1990	L 4-5 TM	06.08.1990	L 4-5 TM	25.10.1990	L 4-5 TM	10.01.1990	L 4-5 TM
24.04.1993	L 4-5 TM	01.08.1994	L 4-5 TM	04.12.1993	L 4-5 TM	10.03.1994	L 4-5 TM
08.05.1998	L 4-5 TM	12.08.1998	L 4-5 TM	15.10.1998	L 4-5 TM	17.02.1998	L 4-5 TM
12.06.2002	L 7	15.08.2002	L 7	02.10.2002	L 7	03.01.2002	L 7
27.05.2005	L 4-5 TM	17.07.2006	L 4-5 TM	18.10.2005	L 4-5 TM	14.03.2007	L 4-5 TM
07.04.2010	L 4-5 TM	12.07.2010	L 4-5 TM	29.10.2009	L 4-5 TM	02.02.2010	L 4-5 TM
18.04.2014	L 8	07.07.2014	L 8	11.10.2014	L 8	30.12.2014	L 8
29.04.2018	L 8	19.08.2018	L 8	19.10.2017	L 8	27.02.2019	L 8
Ptuj							
Pomlad		Poletje		Jesen		Zima	
Datum	Satelit	Datum	Satelit	Datum	Satelit	Datum	Satelit
05.04.1986	L 4-5 TM	11.08.1986	L 4-5 TM	07.10.1986	L 4-5 TM	15.01.1986	L 4-5 TM
25.04.1990	L 4-5 TM	06.08.1990	L 4-5 TM	06.10.1989	L 4-5 TM	04.02.1990	L 4-5 TM
23.04.1995	L 4-5 TM	01.08.1994	L 4-5 TM	27.09.1994	L 4-5 TM	15.02.1994	L 4-5 TM
08.05.1998	L 4-5 TM	12.08.1998	L 4-5 TM	05.10.1997	L 4-5 TM	16.01.1998	L 4-5 TM
02.04.2002	L 7	24.08.2002	L 7	02.10.2002	L 7	04.01.2002	L 4-5 TM
21.04.2006	L 4-5 TM	26.07.2006	L 4-5 TM	30.10.2006	L 4-5 TM	11.03.2006	L 4-5 TM

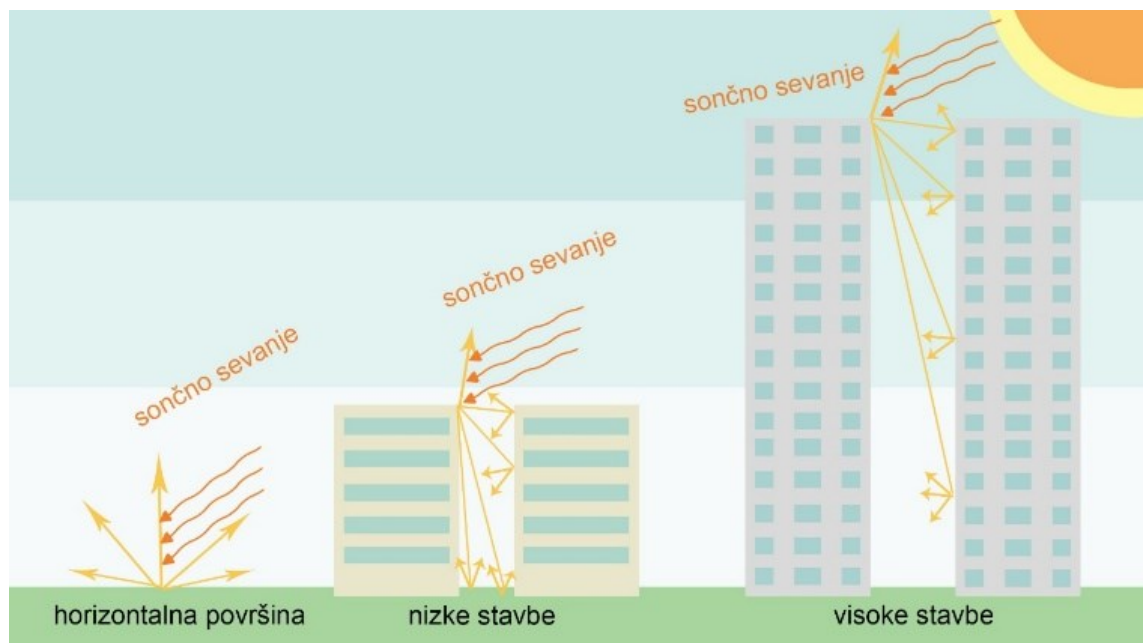
07.04.2010	L 4-5 TM	12.07.2010	L 4-5 TM	23.09.2010	L 4-5 TM	02.02.2010	L 4-5 TM
18.04.2014	L 8	17.08.2014	L 8	11.10.2014	L 8	13.02.2014	L 8
29.04.2018	L 8	12.08.2018	L 8	31.10.2018	L 8	07.01.2018	L 8

3.2 H/W – (mestni) ulični kanjon

Koeficient H/W je sestavljen iz dveh parametrov: H – povprečna višina stavb in W – širina ulice.

Geometrija mestnega kanjona spreminja tako prejeta kratkovalovno sevanje kot oddano dolgovalovno sevanje. Iz mestnega kanjona uspe uiti manj dolgovalovnega sevanja.

Sama geometrija vpliva na gibanje, smer in hitrost vetra, zmanjšanje efektivnega albeda sistema in povzroči mnogokratno odboj sevanja med površinami znotraj kanjona, kar posledično vpliva na kakovost zraka in temperaturo v okolici.



Slika 6: Učinek mestnega kanjona. Slika povzeta po predstavitvi Posebnosti mestne klime in okolja (UNI Ljubljana, Biotehniška fakulteta, str. 34)

Zaradi večkratnih odbojev se na fasadah stavb v uličnih kanjonih absorbirajo večje vrednosti sončnega in toplotnega sevanja kot tiste, ki se pojavljajo na samostojnih fasadah zgradb. Gostota toplotnega toka s sevanjem (kratko in dolgovalovno sevanje) je največja pri betonskih površinah. Pomemben pojav za razprševanje toplote in raznih onesnaževal v mestnih uličnih kanjonih je veter (Vallati, A. et al. 2016).

Preglednica 6: Podatki za izračun H/W

Uporabljen podatek	Vir	Opis
GKOT (Georeferenciran in klasificiran oblak točk)	Portal eVode – Lidar (ARSO)	V njem so točke klasificirane v sedem razredov; 0 – ustvarjene, vendar nikoli klasificirane točke, 1 – neklasificirane točke, 2 – tla, različni tipi vegetacije 3 – nizka (do 1 m), 4 – srednja (1 – 3 m) in 5 – visoka (nad 3 m), 6 – zgradbe in 7 – nizka točka (šum). Shranjen je v zapisu LAS.

3.3 β – Bowenovo razmerje

Bowenovo razmerje tvorita dva parametra: Q_H (konvekcijska toplotna občutljivost zraka) in Q_E (konvekcijski transport latentne toplote). β predstavlja razmerje med količino toplote nad vodno gladino in količino toplote, izkoriščene za izhlapevanje.

$$\beta = \frac{Q_H}{Q_E} = \frac{\rho c \frac{T_p - T_z}{r_H}}{\rho L_v \frac{q_s - q}{r_v}}$$

Občutljiva toplota se nanaša na neposredno segrevanje zraka, ki ga je mogoče zaznati s termometrom, medtem ko je latentna komponenta toplote mestne energetske bilance večinoma povezana z izmenjavo energije med površinsko izhlapevanjem vlage. Suha, neprepustna mestna plast daje prednost občutljivemu (Q_H) nad latentnim (Q_E) toplotnim tokom (Agathangelidis, I. et al. 2019).

Razmerje na mestnih in primestnih površinah čez dan ostaja stabilno, z manjšimi spremembami, medtem ko so vrednosti pri primestnih območjih močno odvisne od vegetacije. Pri podeželskih območjih so razlike večje, najbolj se kažejo pozno popoldne (Parlow, E.).

Preglednica 7: Podatki za izračun β

Uporabljen podatek za izračun Q_H	Vir	Opis
c (specifična toplota pri stalnem tlaku)	Parlow, E.	Uporabljena vrednost: 4185,5 J/kgK
T_z (temperatura zraka)	ARSO METEO	S spletne strani ARSO METEO pridobljeni podatki o povprečni temperaturi zraka na 2 m [°C].

se nadaljuje...

... nadaljevanje preglednice 7

Tp (temperatura površja)	Satelitski posnetki Landsat – USGS Earth Explorer	Podatki termičnega daljinskega zaznavanja – pridobljeni s SCP vtičnikom (QGIS) na podlagi termičnih kanalov.																									
ρ (gostota zraka)	ARSO METEO, Steve Gribble – »Air density calculator« in Senzal – tabela točke rosišča	ARSO METEO pridobljeni podatki o povprečnem zračnem tlaku, povprečni temperaturi zraka na 2 m in povprečni relativni vlagi. Senzal za določitev temperaturo površine v °C na kateri pride do kondenzacije pri določeni temperaturi zraka v °C in relativni zračni vlagi. Gribble za izračun gostote zraka.																									
		<table><tr><td>Letni čas</td><td>Povp. tlak [hPa]</td><td>Pov p. T [°C]</td><td>Povp. rel. vla.</td><td>Gostota zraka [kg/m⁻³]</td></tr><tr><td>pomlad 11.04.2002, 14:00</td><td>976</td><td>6,3</td><td>85 % ≈ 2,8 °C</td><td>1,21</td></tr><tr><td>poletje 11.07.2002, 14:00</td><td>980</td><td>28,9</td><td>54 % ≈ 17,5 °C</td><td>1,12</td></tr><tr><td>jesen 11.11.2002, 14:00</td><td>971</td><td>11,9</td><td>70 % ≈ 6,6 °C</td><td>1,19</td></tr><tr><td>zima 11.02.2002, 14:00</td><td>981</td><td>6</td><td>75 % ≈ 0,8 °C</td><td>1,22</td></tr></table>	Letni čas	Povp. tlak [hPa]	Pov p. T [°C]	Povp. rel. vla.	Gostota zraka [kg/m ⁻³]	pomlad 11.04.2002, 14:00	976	6,3	85 % ≈ 2,8 °C	1,21	poletje 11.07.2002, 14:00	980	28,9	54 % ≈ 17,5 °C	1,12	jesen 11.11.2002, 14:00	971	11,9	70 % ≈ 6,6 °C	1,19	zima 11.02.2002, 14:00	981	6	75 % ≈ 0,8 °C	1,22
		Letni čas	Povp. tlak [hPa]	Pov p. T [°C]	Povp. rel. vla.	Gostota zraka [kg/m ⁻³]																					
		pomlad 11.04.2002, 14:00	976	6,3	85 % ≈ 2,8 °C	1,21																					
		poletje 11.07.2002, 14:00	980	28,9	54 % ≈ 17,5 °C	1,12																					
		jesen 11.11.2002, 14:00	971	11,9	70 % ≈ 6,6 °C	1,19																					
zima 11.02.2002, 14:00	981	6	75 % ≈ 0,8 °C	1,22																							
rH (relativna vlažnost)	Liu, S. et. al.	Relativna vlaga je količina vlage v zraku v primerjavi s tisto, kar zrak lahko zadrži pri tej temperaturi. Ko zrak ne more zadržati vse vlage, jo kondenzira kot rosa. Visoke vrednosti rH se pojavljajo na območjih z visoko hrapavostjo, ki jo lahko povzročijo visoke zgradbe ali večja gostota zgradbe. Uporabljena vrednost: 60 s/m.																									
Uporabljen podatek za izračun Q _E	Vir	Opis																									
ρ (gostota zraka)		Opisano pri Q _E																									

... nadaljevanje preglednice 7

L_v (latentna toplota uparjanja)	Parlow, E.	Količina energije, ki jo je treba dodati tekoči snovi, da se določena količina snovi pretvori v plin. Latentna toplota L_v je količina energije, ki je potrebna za uparjanje tekočine v plin. Uporabljena vrednost: 2300000 J/kg.
q_s (nasičena specifična vlažnost)	UCSD	Predstavlja največjo količino vodne pare, ki lahko obstaja v zraku za določeno temperaturo in zračni tlak. Uporabljena vrednost za temperaturo 25 °C je 0,020 kg/kg.
q (specifična vlažnost zraka)	The Engineering ToolBox	Uporabljena vrednost za temperaturo 25 °C je 0,019826 kg/kg.
r_v (vsebnost vlage)	Burch, D. M., Chi, J.	Potrebna za izračun prenosa toplote skozi celico, saj vpliva na toplotno upornost in toplotno kapaciteto. Vsebnost vlage v celicah se izračuna iz relativne vlažnosti materiala. Uporabljena vrednost: 0,8 s/m.

3.4 ΔQ_s – kondukcijska toplotna kapaciteta zraka

Kondukcijska toplotna kapaciteta zraka je neto pretok toplote, shranjene v mestni prostornini (tj. zrak, drevesa, zgradbe, tla). V mestnih območjih je vrednost večja (Lindberg, F. 2014).

Enačbe v nadaljevanje so povzete po Roberts, S. M. et al. (2006).

$$\Delta Q_s = (Q^* + Q_F) - (Q_H + Q_E)$$

$$Q^* = SW_{\downarrow} - SW_{\uparrow} + LW_{\downarrow} - LW_{\uparrow};$$

$$SW_{\uparrow} = \alpha * SW_{\downarrow}, LW_{\uparrow} = \sigma \epsilon T_p^4$$

Preglednica 8: Podatki za izračun ΔQ_s

Uporabljen podatek	Vir	Opis
σ (Stefan – Boltzmannova konstanta)	A. Wicki et. al.	Stefan – Boltzmannova konstanta je fizikalna konstanta, sorazmernostni faktor med celotno energijo, ki jo izseva enota površine črnega telesa v enoti časa in četrto potenco absolutne temperature v Stefan–Boltzmannovem zakonu. Uporabljena vrednost: $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$.
T_p (temperatura površja)	Satelitski posnetki Landsat – USGS Earth Explorer	Podatki termičnega daljinskega zaznavanja – pridobljeni s SCP vtičnikom (QGIS) na podlagi termičnih kanalov, v enoti Kelvin.

Se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice 8

α (albedo)	Roberts, S. M. et. al.	Razmerje med količino odbite in količino prejete svetlobe nekega objekta (belo, popolno odbijajoče površje bi imelo albedo 1,0; črno, popolnoma absorbirajoče površje bi imelo albedo 0,0). Uporabljena vrednosti: 0,20.
ε (emisivnost)	Dular M., Hočevnar M.	Običajno imajo temnejše, hrapave površine večjo emisivnost od gladkih, svetlih površin. Uporabljena vrednost: Gradbeni materiali imajo emisivnost okoli 0,9.
$SW_{(1)}$ (Sončno obsevanje)	Dunlop Solar J.	Uporabljena vrednost: Običajna vrednost na zemeljski površini 1000 W/m ² .
$LW_{(1)}$ (atmosfersko povratno sipanje)	Spletna stran: Nasa earth observations, ki je del EOS—ove znanstvene pisarne za projekt pri Nasi Goddard Center za vesoljske polete	Preusmeritev zemeljskega sevanja nazaj na površje zaradi toplogrednega učinka. Uporabljena vrednost: 300 W/m ² .

3.5 Q_F – antropogeni toplotni otok

Antropogene spremembe v mestnih območjih vplivajo na toplotno okolje, kar povzroča povišane atmosferske in podzemne temperature. V več mestih je možno opaziti podzemni vpliv mestnega vročinskega otoka (Menberg, K. et al 2013).

Preglednica 9: Podatki za izračun Q_F

Uporabljen podatek	Vir	Opis
Q_F (antropogeni toplotni otok)	NCAR UCAR Climate & Global Dynamics	Uporabljena vrednost: 0,39 W/m ² .

4 UPORABLJENA PROGRAMSKA OPREMA

QGIS 3.2.3 Bonn in vtičnik SCP

QGIS je odprtokodni geografski informacijski sistem. Razvoj se je začel 2002 kot projekt na SourceForge, ki je odložišče odprtokodne programske opreme.

Snovalci programa QGIS si prizadevajo, da bi GIS, ki je tradicionalno draga lastniška programska oprema, bila na voljo vsem, ki imajo dostop do osebnega računalnika. Program trenutno deluje na večini platform Unix, Windows in macOS in je razvit s pomočjo orodij Qt in C++.

Poleg dostopnosti je cilj programa biti uporabniku prijazen GIS. QGIS je dosegel točko v razvoju, ko se uporablja za vsakodnevne potrebe: torej ogled podatkov, zajem podatkov, izvajanje naprednih analiz in za predstavitev v obliki zemljevidov, atlasov in poročil.

Program omogoča ogled kombinacij vektorskih in rastrskih podatkov (v 2D ali 3D) v različnih oblikah in projekcijah brez pretvorbe v interno ali skupno obliko. Podprti formati vključujejo:

- Prostorsko omogočene tabele in pogledi s PostGIS, SpatiaLite in MS SQL Spatial, Oracle Spatial, vektorskimi formati, ki jih podpira nameščena knjižnica OGR, vključno z GeoPackage, ESRI Shapefile, MapInfo, SDTS, GML in številnimi drugimi.
- Rastrske in slikovne formate, ki jih podpira nameščena knjižnica GDAL (Geospatial Data Abstraction Library), kot so GeoTIFF, ERDAS IMG, ArcInfo ASCII GRID, JPEG, PNG in mnogi drugi.
- Podatkovne mreže (podprti so TIN-i in običajna omrežja).
- Rastrski in vektorski podatki GRASS iz baz podatkov GRASS (lokacija / nabor zemljevidov).
- Spletni prostorski podatki, ki služijo kot spletne storitve OGC, vključno z WMS, WMTS, WCS, WFS in WFS-T.
- Preglednice (ODS / XLSX).

QGIS uporabljajo pod splošno licenco GNU, kar pomeni, da ta licenca zajamči svobodo pri razdeljevanju in spreminjanju prostega programja ter s tem zagotovi, da ostane programje prosto za vse njegove uporabnike.

QGIS je zasnovan z arhitekturo vtičnikov. To omogoča, da se v aplikacijo enostavno doda številne nove lastnosti in funkcije. Nekatere funkcije v programu se dejansko izvajajo kot vtičniki. Sama sem uporabila vtičnik SCP, ki je polavtomatski vtičnik za klasifikacijo.

SCP (Semi-Automatic Classification) je razvil Luca Congedo in je brezplačen odprtokodni vtičnik, ki omogoča polsamodejno klasifikacijo slik daljinskega zaznavanja. Ponuja več orodij za prenos brezplačnih slik (ASTER, Landsat, MODIS, Sentinel-2 in Sentinel-3), predobdelavo, obdelavo in rastrske izračune. Vtičnik sem uporabila za izdelavo temperaturnih kart tako, da sem obrezala vhodne podatke – GeoTIFF (georeferencirani rastr) na določena območja. V njem sem izvedla pretvorbo podatkov Landsat, temperature izražene v stopinjah Celzijih in uporabila atmosfersko korekcijo DOS1.

FME Desktop

FME Desktop je del platforme FME. Uporablja se za pretvorbe in obdelavo podatkov na običajnem računalniku. Ima različne komponente in funkcije, ki omogočajo, da posameznik podatke integrira prilagojeno svojim željam in potrebam. Dve ključni aplikaciji sta FME Workbench in FME Data Inspector.

Delo se začne v FME Workbench, okolju kjer posameznik konfigura delovni prostor za integracijo podatkov. Delovni prostor je sestavljen iz različnih povezav z bralniki, pretvorniki in zapisovalniki, ki se uporabljajo za ustvarjanje delovnega toka po meri. Glavne komponente FME Workbench so:

- Navigator, ki ponuja seznam vseh predmetov delovnega prostora, torej bralnike, pisce, pretvorniki in določene parametre.
- Glavno okno (platno), ki je namenjeno grajenju svojemu delovnemu prostoru z dodajanjem podatkovnega vira, transformatorjev in izhodnih podatkovnih vrst.
- Dnevnik prevajanja, ki nakaže trenutni status in končni rezultat.
- Predogled, ki omogoča prikaz 2D, 3D ali tabelarične podatke.

Poleg predogleda, ki ga omogoča FME Workbench, pregled podatkov omogoča tudi aplikacija Data Inspector, ki je neposredno povezana s FME Workbenchom. Podatke je možno prikazati ločeno v svojem oknu. Uporaba Data Inspector priporočljiva, ko upravljamo z večjim naborom podatkov ter dostopanjem do dodatnih orodij, ki jih aplikacija omogoča.

Program sem uporabila za pretvorbe podatkov aerolaserskega skeniranja ter izračun parametrov kazalnika izpostavljenosti mestni toploti.

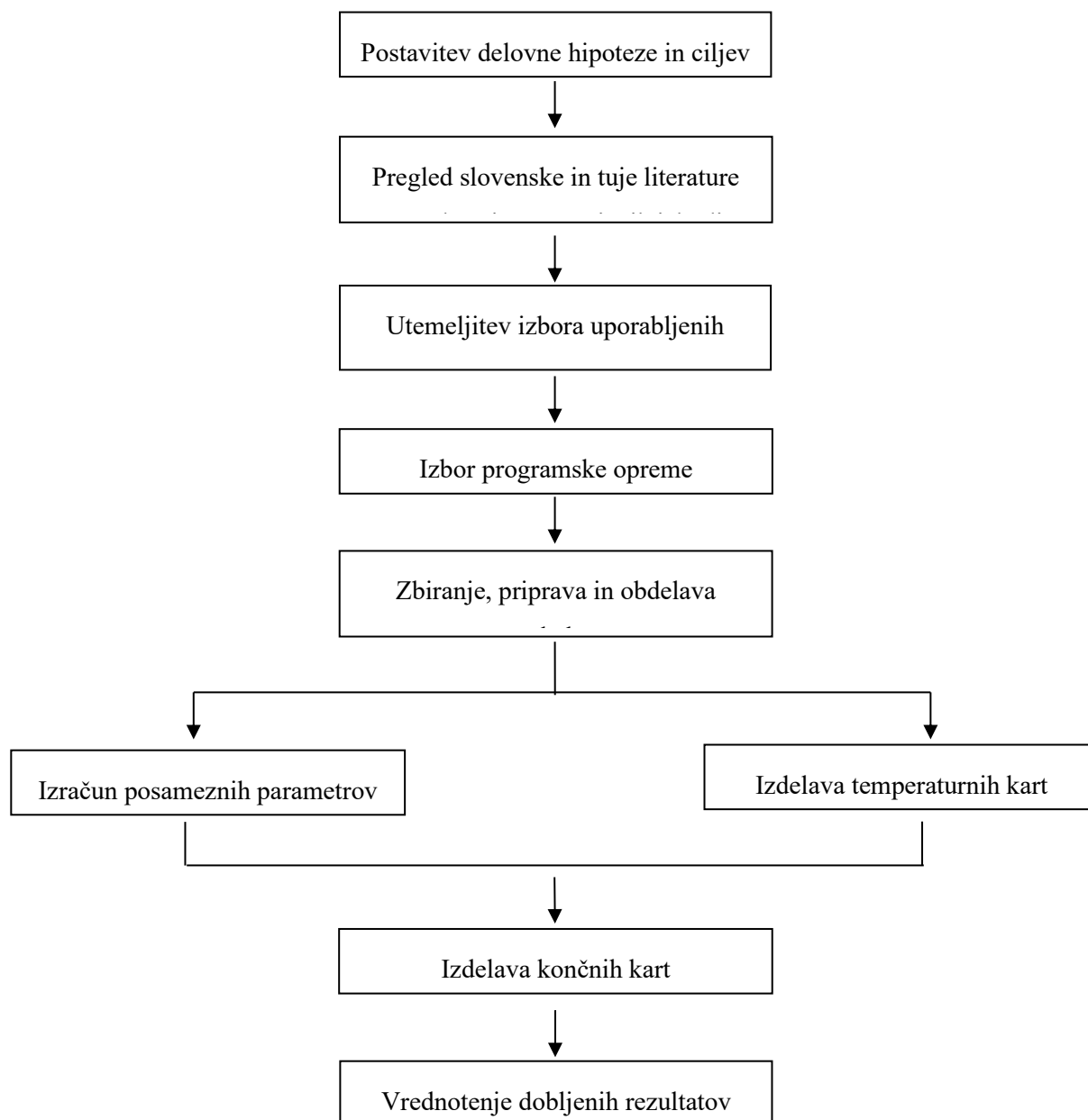
Microsoft Excel

Program, ki ga je ustvarilo podjetje Microsoft, uporablja preglednice za organiziranje števil in podatkov s formulami in funkcijami ter izvajanje finančnih analiz. Glavne uporabe Excela vključujejo: vnos podatkov, upravljanje podatkov, risanje grafov, programiranje, računovodstvo, finančno modeliranje.

Program sem uporabila za organizacijo datumov satelitskih posnetkov po letnih časih, temperatur, ki sem jih pridobila s programom QGIS, računanje osnovnih statistik ter ustvarjanje diagramov in grafikonov za grafični prikaz.

5 METODE DELA

V nalogi sem delo razdelila v več korakov:



5.1 Testna območja

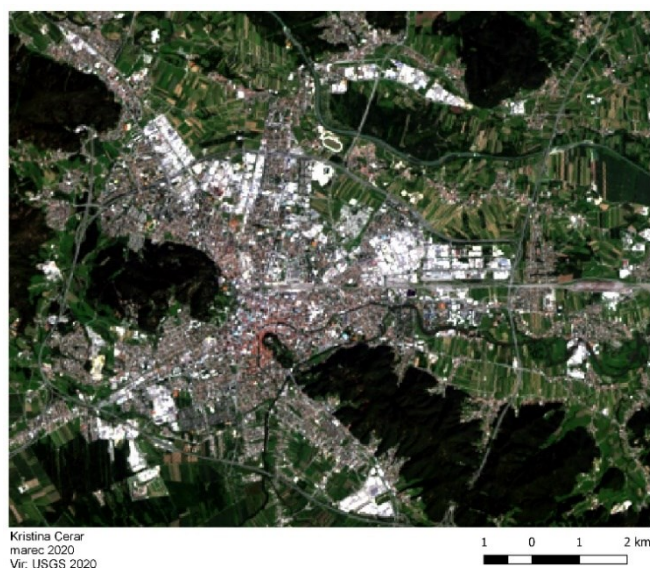
Za analizo sem izbrala osem največjih slovenskih mest (po površini), to so: Ljubljana, Maribor, Celje, Kranj, Koper, Velenje, Novo mesto in Ptuj.

Območja so določena kot pravokotniki s koordinatami vogalov, ki so prikazane v spodnji preglednici.

Preglednica 10: Koordinatna opredelitev izbranih območij

Kraj	SL (=spodnji vogal levo)		ZD (=zgornji vogal desno)	
	n [m]	e [m]	n [m]	e [m]
Ljubljana	456.500	97.200	470.000	108.000
Maribor	545.700	152.700	554.000	160.000
Celje	517.200	119.500	523.900	124.000
Kranj	447.800	119.800	453.000	125.300
Koper	398.800	43.400	404.300	48.500
Velenje	504.800	134.000	511.600	138.500
Novo mesto	509.700	71.200	515.900	76.700
Ptuj	565.300	139.900	569.800	144.600

5.1.1 Ljubljana

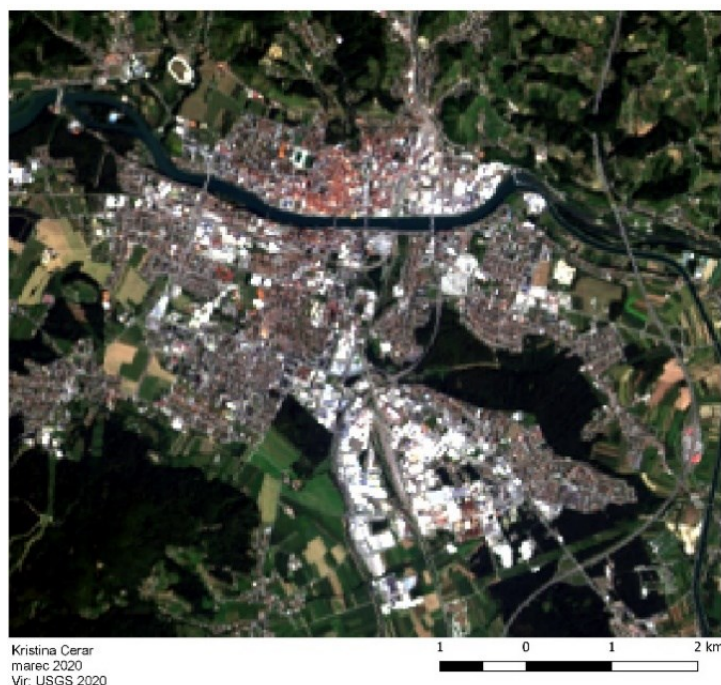


Slika 7: Testno območje Ljubljana. Satelitski posnetek Landsat prikazan v pravih barvah.

Leži v Ljubljanski kotlini v bližini sotočja reke Ljubljanice in Save. Na vzhodnem delu so park Tivoli, Rožnik in Šišenski hrib, na južnem obrobju Ljubljansko barje. Ljubljana ima zmerno celinsko podnebje

osrednje Slovenije, ki ga zaznamujejo mrzle zime in vroča poletja. Povprečna temperatura najhladnejšega meseca januarja je med $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ in $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, najtoplejšega meseca julija med $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ in $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Povprečna letna količina padavin znaša od 1000 mm do 1300 mm (Ogrin, D. 1996). Ob koncu druge svetovne vojne je sledilo obdobje urbanizacije katerega zaznamujejo številne nove stanovanjske soseske. Prevladujoči tipi stavb v centru mesta so večnadstropne stanovanjske stavbe ter poslovne in upravne stavbe. Na obrobju prevladujejo nakupovalna središča. Omejena zelena infrastruktura in ozke ulice prispevajo k razvoju mestnega toplotnega otoka. Na severu se nahaja industrijska cona Črnuče in Šiška, na zahodu Zalog, v osrednjem delu območje ob Letališki cesti. Prav tako se nahajajo mešana industrijsko – poslovno – nakupovalna območja kot so BTC Ljubljana (vzhod), Vič (zahod), Rudnik (jug) ter Stegne (severozahod).

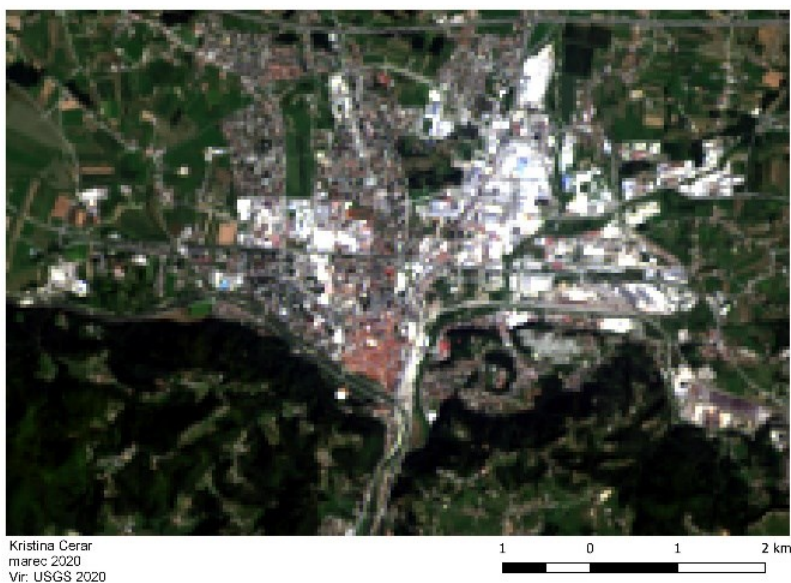
5.1.2 Maribor



Slika 8: Testno območje Maribor. Satelitski posnetek Landsat prikazan v pravih barvah.

Staro mestno jedro Maribora je stisnjeno med Dravske terase in Gorice na severu. Prevladuje zmerno celinsko podnebje vzhodne Slovenije, ki se od osrednjega razlikuje v količini padavin – za vzhodno je značilna majhna količina povprečna letna količina padavin med 800 mm do 1000 mm (Ogrin, D. 1996). Tloris mesta predstavlja pravokotna mreža zaporedja zgradb in prometnih komunikacij v smeri sever – jug in zahod – vzhod. V 19. stoletju se je mesto začelo širiti proti Meljskemu hribu, v našem stoletju pa proti jugovzhodu. Na jugovzhodu se nahaja industrijska cona Tezno. Pomanjkanje zelenih površin, visoke stavbe ter ozke ulice prispevajo k razvoju mestnega toplotnega otoka (Mestna občina Maribor).

5.1.3 Celje



Slika 9: Testno območje Celje. Satelitski posnetek Landsat prikazan v pravih barvah.

Celje leži v Celjski kotlini ob reki Savinji. Za mesto je značilno zmerno celinsko podnebje osrednje Slovenije (Ogrin, D. 1996). Hiter gospodarski razvoj je povzročilo odprtje južne železnice leta 1857. Ob starih in novih komunikacijah so pričele rasti reprezentančne in javne stavbe, starejše hiše pa so začeli dvigati v nadstropja in jim nadeli novejšo in bogatejšo fasado. Staro mestno jedro je prepleteno s trgi in ozkimi ulicami, na vzhodu se nahaja industrijska cona Celje – vzhod (TIC Celje).

5.1.4 Kranj



Slika 10: Testno območje Kranj. Satelitski posnetek Landsat prikazan v pravih barvah.

Kranj leži ob reki Savi. Mesto ima zmerno celinsko podnebje zahodne in južne Slovenije. Povprečna temperatura najhladnejšega meseca januarja je med 0 °C in – 3 °C. Povprečna temperatura najtoplejšega meseca julija med 15 °C in 20 °C. Povprečna letna količina padavin znaša od 1300 mm do 2800 mm (Ogrin, D. 1996). Staro mestno jedro zaznamujejo trg z vzporednimi ozkimi ulicami. Na severozahodu se nahaja poslovna cona Polica, na zahodu Laze v osrednjem delu poslovna cona Savska Loka, Iskra Labore in Planika (Mestna občina Kranj).

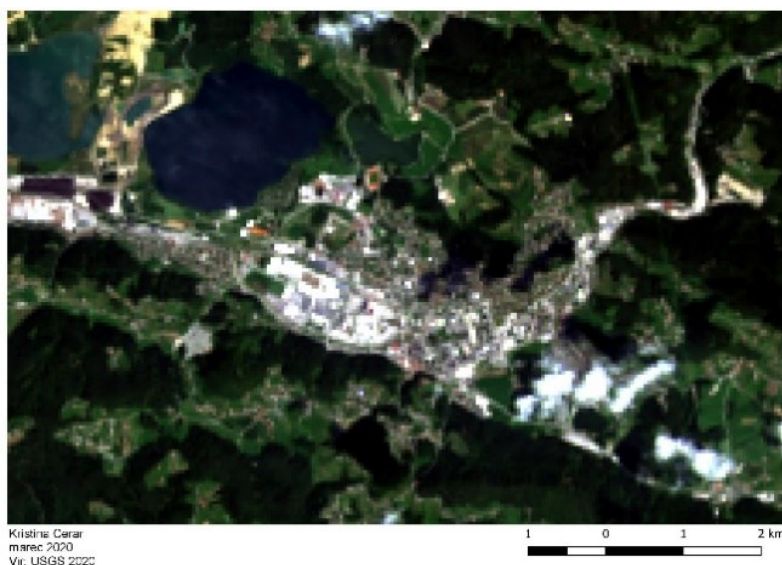
5.1.5 Koper



Slika 11: Testno območje Koper. Satelitski posnetek Landsat prikazan v pravih barvah.

Koper leži ob Tržaškem zalivu. Ima submediteransko obalno podnebje. Povprečna temperatura najhladnejšega meseca januarja je nad 4 °C, najtoplejšega meseca julija nad 20 °C. Povprečna letna količina padavin je 1000 mm do 1200 mm. Povprečna temperatura najhladnejšega meseca nad je 0 °C (Ogrin, D. 1996). Staro mestno jedro zaznamujejo poslopja meščanskih hiš, ozke ulice ter kamniti trgi. Čas po drugi svetovni vojni je prinesel veliko sprememb, leta 1957 je nastalo pristanišče Luka Koper, ki je edino slovensko mednarodno tovarno pristanišče. V osrednjo – južnem delu se nahaja poslovno – industrijska cona Koper (Luka Koper 2015).

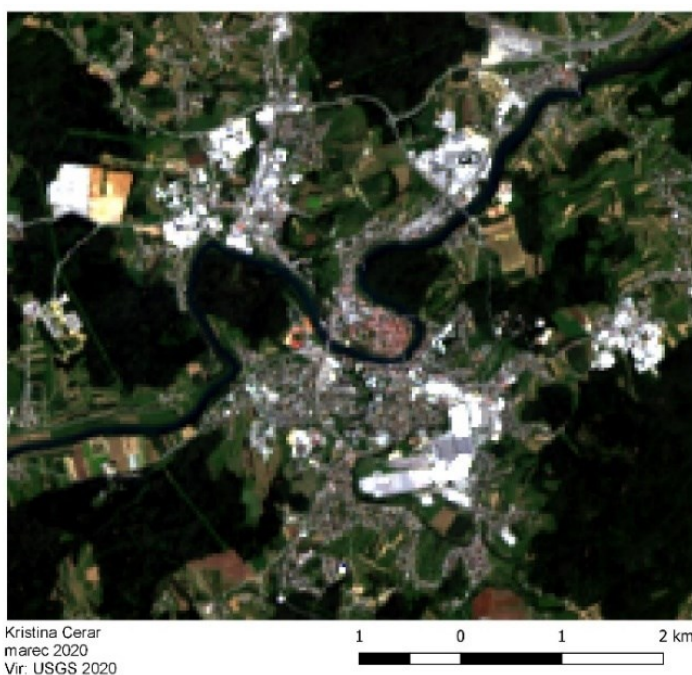
5.1.6 Velenje



Slika 12: Testno območje Velenje. Satelitski posnetek Landsat prikazan v pravih barvah.

Velenje je umeščeno med hribe in doline ter ob delni degradaciji doline zaradi ugrezanja pri izkopavanju premoga. Mesto je zaznamovala hitra rast in urbanizacija po drugi svetovni vojni, zato prevladujejo večstanovanjski objekti ter poslovne stavbe (Mestna občina Velenje). Velenje ima zmerno celinsko podnebje osrednje Slovenije (Ogrin, D. 1996). V osrednjem delu se nahaja podjetje Gorenje.

5.1.7 Novo mesto



Slika 13: Testno območje Novo mesto. Satelitski posnetek Landsat prikazan v pravih barvah.

Novo mesto je v ožjem smislu gričevnata pokrajina ob reki Krki in njenih pritokih. Prevladuje zmerno celinsko podnebje osrednje Slovenije (Ogrin, D. 1996). V centru so prevladujoči tipi stavb večstanovanjske stavbe, poslovne stavbe in nakupovalna središča, na obrobju pa posamezne hiše. Na zahodu se nahaja gospodarska cona Zahod, na severovzhodu tovarna zdravil Krka, na vzhodu gospodarska cona Cikava ter v osrednjem južnem delu industrijska cona Na Brezovici (Zavod Novo mesto).

5.1.8 Ptuj



Slika 14: Testno območje Ptuj. Satelitski posnetek Landsat prikazan v pravih barvah.

Ptuj leži ob reki Dravi in Ptujskem jezeru, ki je največje umetno stalno jezero v Sloveniji. Podnebje je zmerno celinsko vzhodne Slovenije (Ogrin, D. 1996). V centru so prevladujoči tipi stavb večstanovanjske stavbe, poslovne stavbe in nakupovalna središča, na obrobju pa posamezne hiše. V osrednjem delu se nahaja obrtna cona Ptuj.

5.2 Izdelava temperaturnih kart

Osnova za izdelavo temperaturnih kart so termični posnetki (torej uporabljen spektralni kanal 6 za Landsat 4-5 TM in Landsat 7 ETM+ ter spektralni kanal TIRS 1 za Landsat 8 OLI/TIRS), to so satelitske podobe, ki prikazujejo svetilno temperaturo površja. Gre za informacijo o temperaturi v okviru slikovnega elementa. Z analizo podob se določi temperatura izbranih območij, na podlagi temperature pa vrednosti mestnega toplotnega otoka.

S programom QGIS sem izdelala 287 temperaturnih kart, ki so ovrednotene v podpoglavju 6.1. Na temperaturnih kartah so prikazane vrednosti linearno raztegnjene med -10°C in 30°C . Uporabila sem enotno barvno skalo, vrednosti so razdeljene v 21 razredih. S to odločitvijo sem sicer pridobila nasičenja

pri najmanjših ter največjih vrednostih, a so le-ta majhna in so razlike med seboj opazne, hkrati pa so karte med seboj vizualno primerljive.

5.3 Izračun SUHI

Za vsako leto sem izračunala SUHI, ki se izračuna iz temperatur površja pridobljenih s posnetkov. Definiran je z naslednjo enačbo:

$$SUHI = T_{p_{mesto}} - T_{p_{okolica}}$$

$T_{p_{mesto}}$ je povprečna vrednost temperature površja območja, ki se obravnava kot mestno

$T_{p_{okolica}}$ je povprečna vrednost temperature površja za mestno okolico

Enačba je smiselna in se uporablja le, če sta pozidano in nepozidano območje dobro opredeljeni, če nista se lahko zgodi, da je vrednost SUHI negativna (Mulahusić, A. et al. 2018).

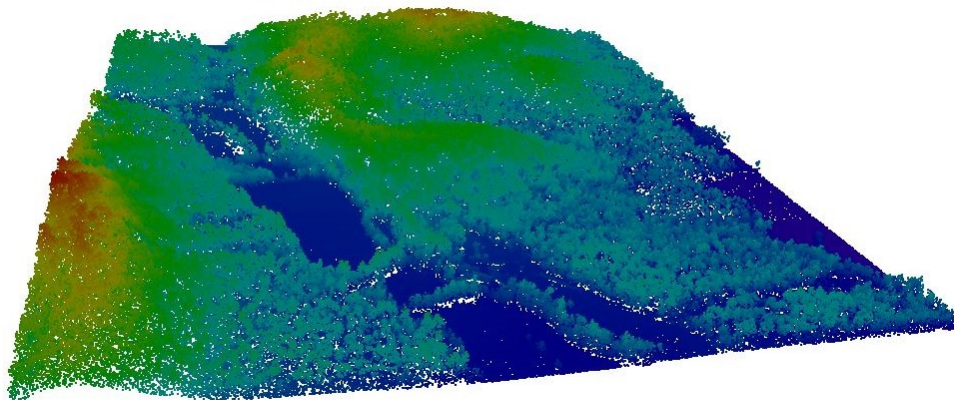
5.4 Izračun H/W

Za izračun mestnega uličnega kanjona H/W, sem uporabila program FME Desktop. Izračun poteka v štirih korakih od tega so prvi trije priprava vhodne datoteke. Koraki: generiranje digitalnega modela površja (DMP) in digitalnega modela terena (DMT), generiranje mozaikov, pridobitev vhodnega podateka za izračun mestnega uličnega kanjona (H/W), izračun H/W ter grafični prikaz.

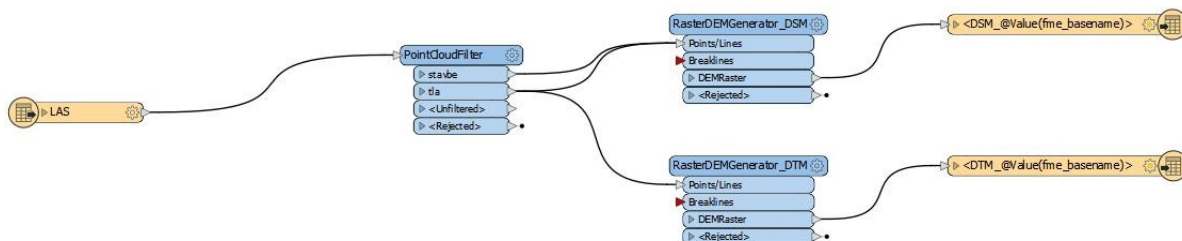
Mesto Kranj je uporabljeno kot grafični prikaz posameznih korakov.

5.4.1 Prvi korak – DMP in DMT

Vhodni podatki so podatki aerolaserskega skeniranja (LiDAR, mreža 1 m krat 1 m), to je oblak georeferenciranih točk. S transformatorjem PointCloudFilter sem izločila vrednosti, ki predstavljajo stavbe (razred 6) ter vrednosti, ki predstavljajo tla (razred 2). Nato se s transformatorjem RasterDEMGenerator generira DMP vsakega mesta, ki predstavlja digitalni model površja (vhodna sta oba razreda). Prav tako se generira DMT vsakega, ki predstavlja digitalni model terena (vhodni razred 2).



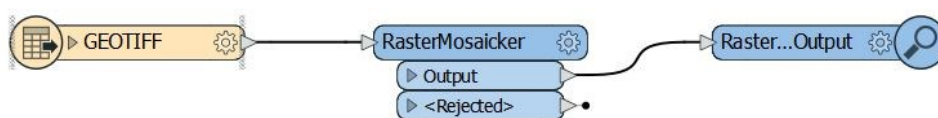
Slika 15: Grafični prikaz podatkov aerolaserskega skeniranja terena



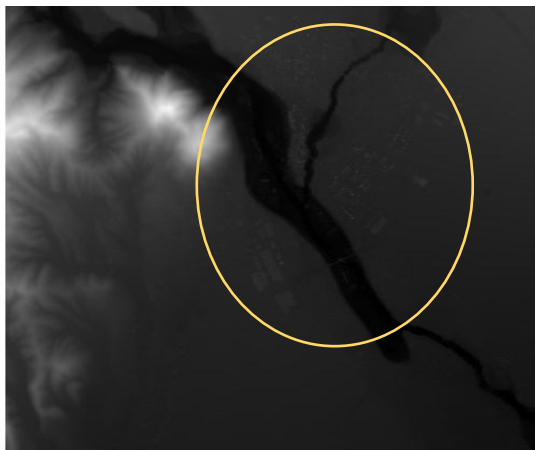
Slika 16: Prikaz dela v FME Desktop—u; pretvorba podatkov aerolaserskega skeniranja v DMP in DMT

5.4.2 Drugi korak – Mozaik

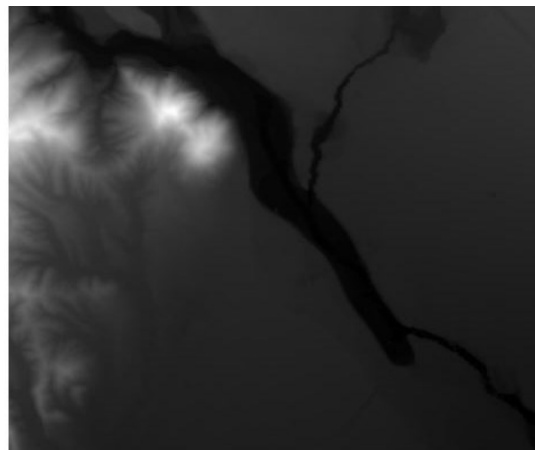
Ker so podatki aerolaserskega skeniranja razdeljeni po listih v projekciji D96TM v velikosti 1 km², se rezultate prvega koraka s transformatorjem RasterMosaicker združi v mozaik.



Slika 17: Prikaz dela v FME Desktop—u; ustvarjenje mozaika



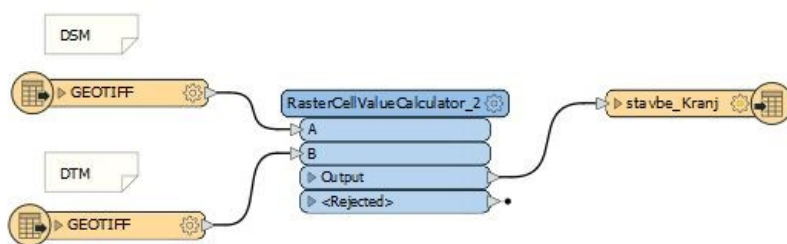
Slika 18: Prikaz dela v FME Desktop—u; DMP mozaik



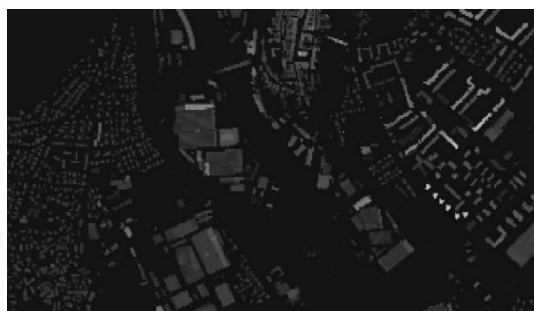
Slika 19: Prikaz dela v FME Desktop—u; DMT mozaik

5.4.3 Tretji korak – Stavbe, kot vhodni sloj izračuna H/W

S transformatorjem RasterCellValueCalculator se od digitalnega modela površja odšteje digitalni model terena in s tem pridobi vhodni podatek za izračun mestnega uličnega kanjona.



Slika 20: Prikaz dela v FME Desktop—u; vhodni podatek za izračun mestnega uličnega kanjona

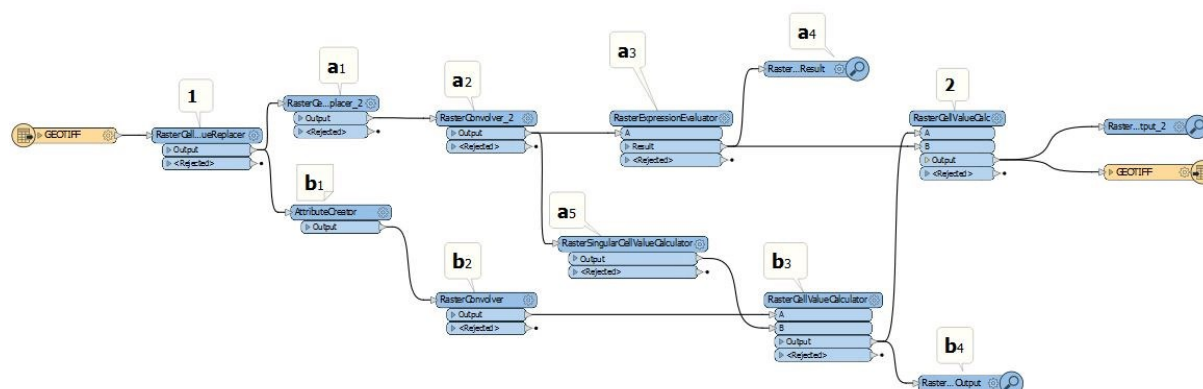


Slika 22: Prikaz dela v FME Desktop—u; vhodni podatek za izračun mestnega uličnega kanjona za Kranj

Slika 21: Prikaz dela v FME Desktop—u; povečava slike 22

5.4.4 Četrty korak – H/W

Izračun temelji na razmerju površine celic, ki imajo vrednost 1 (= stavba) ter površine celic, ki imajo vrednost 0 (= tla). Narejen je s konvolucijskim filtrom 11 m krat 11 m, kar pomeni, da za vsak originalen slikovni element naredi okno v velikosti 11 m krat 11 m in v tem oknu izračuna vrednost, ki se pripiše temu slikovnemu elementu. Premika se konvolucijsko okno, ki se med. Okna se med seboj prekrivajo.



Slika 23: Slika 22: Prikaz dela v FME Desktop—u; postopek izračuna razmerja H/W

Začetek izračuna (1) se prične s transformatorjem *RasterCellValueReplacer*, kjer se določi, da se vse vrednosti na vhodnem sloju, ki so nižje od 3 m enači z vrednostjo 0. Nato se proces razdvoji na izračun površine celic, ki imajo vrednost 0 (= tla $a_1 - a_5$) ter izračun površine celic, ki imajo vrednost 1 (= stavba $b_1 - b_4$).

Izračun površine celic, ki imajo vrednost 0 (= tla) se prične s transformatorjem *RasterCellValueReplacer*, kjer se določi, da vse, ki so višje od 3 m predstavljajo stavbo (a_1). Nadaljuje se s transformatorjem *RasterConvolver*, katerega naloga je pridobiti delež celic, ki so stavbe v oknu 11 m krat 11 m (a_2). Z *RasterExpressionEvaluator* (a_3) se izračuna površina tistih celic, ki imajo vrednost 0. To naredi po principu, da delež obrne, če je torej delež stavb 0,1 potem je delež tal 0,9. Ta delež se pomnoži z velikostjo okna 121 m².



Slika 24: Prikaz dela v FME Desktop—u; izračun površine celic, ki imajo vrednost 0 (tla)

Izračun površine celic, ki imajo vrednost 1 (= stavba), se prične z ustvarjanjem novega atributa – delitelj z vrednostjo 1 (b_1), ki se uporabi v *RasterConvolver*-ju (b_2) s katerim se pridobi seštevek višin za posamezno okno. V b_3 se dobljen seštevek višin deli s številom celic, ki so klasificirane kot stavba (a_5).



Slika 25: Prikaz dela v FME Desktop—u; izračun površine celic, ki imajo vrednost = 1 (stavba)

Rezultat (2) H/W delež se pridobi z osnovnim rastrskim transformatorjem – RasterCellValueCalculator, kjer se uporabi operacija deljenje.



Slika 26: Prikaz dela v FME Desktop—u; rezultat H/W za Kranj

5.4.5 Peti korak – Grafični prikaz H/W

Pridobljene rezultate sem grafično prikazala v programu QGIS z zvezno barvno lestvico. Vrednosti so razdeljene v sedem razredov. Standardni obseg podatkov je nastavljen od 2 % do 98 % vrednosti podatkov, kar pomeni, da se za določanje najmanjših in največjih vrednosti ne bodo uporabljali izstopajoči kazalniki.

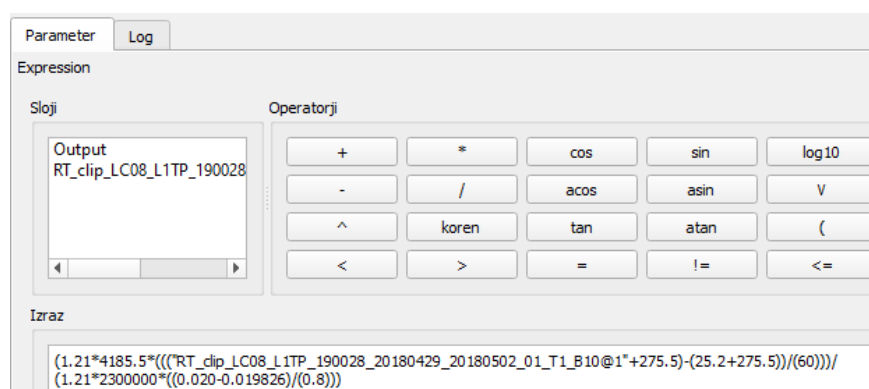
5.5 Izračun β

Izračun sem naredila v programu QGIS, z orodjem Raster calculator.

Preglednica 11: Temperature zraka dne 29.04.2018 pridobljene z meteoroloških postaj (ARSO METEO)

Ime meteorološke postaje	Temperatura zraka na višini 2 m [°C] ob 14:00 uri	Položaj postaje		
		λ [m]	ϕ [m]	H [m]
Ljubljana — Bežigrad	26	14.5124	46.0655	299
Maribor — Tabor	26,5	15.6450	46.5394	275
Celje — Medlog	25,9	15.2259	46.2366	242
Kranj	25,2	14.3647	46.2477	392
Koper	23,9	13.7135	45.5430	56
Velenje	26,3	15.1119	46.3603	388
Novo mesto	27,2	15.1773	45.8018	220
Ptuj	27,6	15.8492	46.4197	222

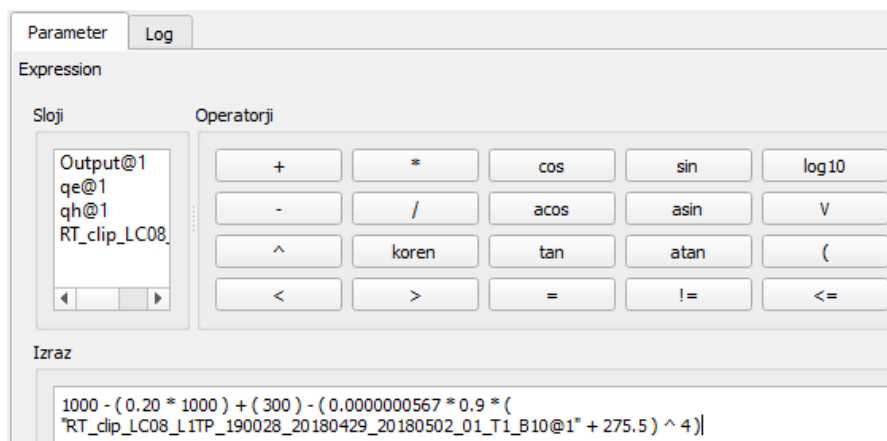
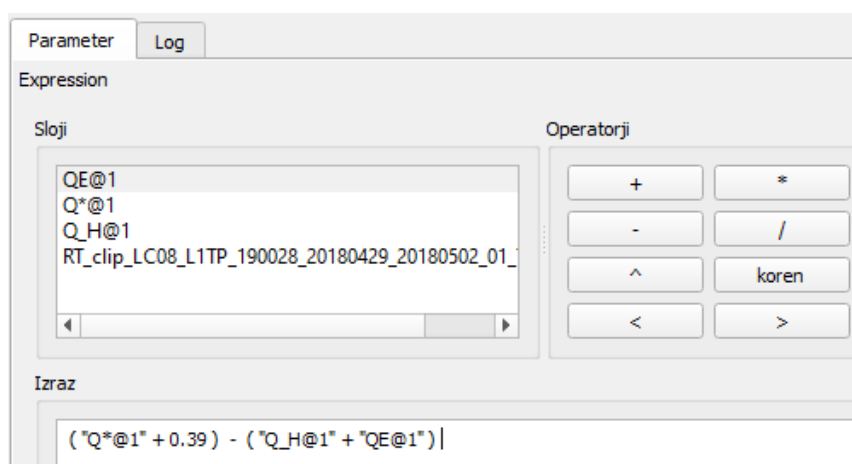
Preostali vhodni podatki so navedeni v podpoglavju 3.3 β – Bowenovo razmerje.



Slika 27: Primer izraza za izračun β za Kranj

5.6 Izračun ΔQ_s

Izračun sem naredila v programu QGIS, z orodjem Raster calculator. Vhodni podatki so navedeni v podpoglavju 3.4 ΔQ_s .

Slika 28: Primer izraza za izračun Q^* za KranjSlika 29: Primer izraza za izračun ΔQ_s , za Kranj

5.7 Izračun UHeatEx

Izračun UHeatEX presega obseg diplomske naloge. V naslednjem poglavju so predstavljeni grafični prikazi posameznih parametrov.

6 ANALIZA IN REZULTATI

6.1 Vrednotenje temperaturnih kart

Ovrednoteni bosta dve mesti; največje mesto (v površini) v izboru – Ljubljana ter najmanjše (po površini) mesto v izboru – Ptuj.

V celotnem izboru satelitskih posnetkov sem imela težavo pridobivanja ne samo ustreznih posnetkov v smislu jasnosti, temveč tudi datuma. V poletnih mesecih to ne predstavlja take težave kot v zimskih, namreč temperatura lahko zelo variira med decembrom in marcem, ampak oba se uvrščata v zimski letni čas. Za Ljubljano sem recimo pridobila posnetek z dne 26. februarja ter 10. marca, za Ptuj z dne 15. februarja ter 11. marca. Datumska razlika je očitna tudi na temperaturnih kartah, ki so predstavljene v nadaljevanju.

6.1.1 Ljubljana

Temperaturne karte iz leta 1986 in 1990 kažejo, da so temperaturne razlike med pozidanimi območji ter nepozidanimi majhne. Temperaturne karte iz leta 1992, 1994 in 1998 kažejo na višje temperature na celotnem območju, opazna je koncentracija višjih temperatur na pozidanih površinah

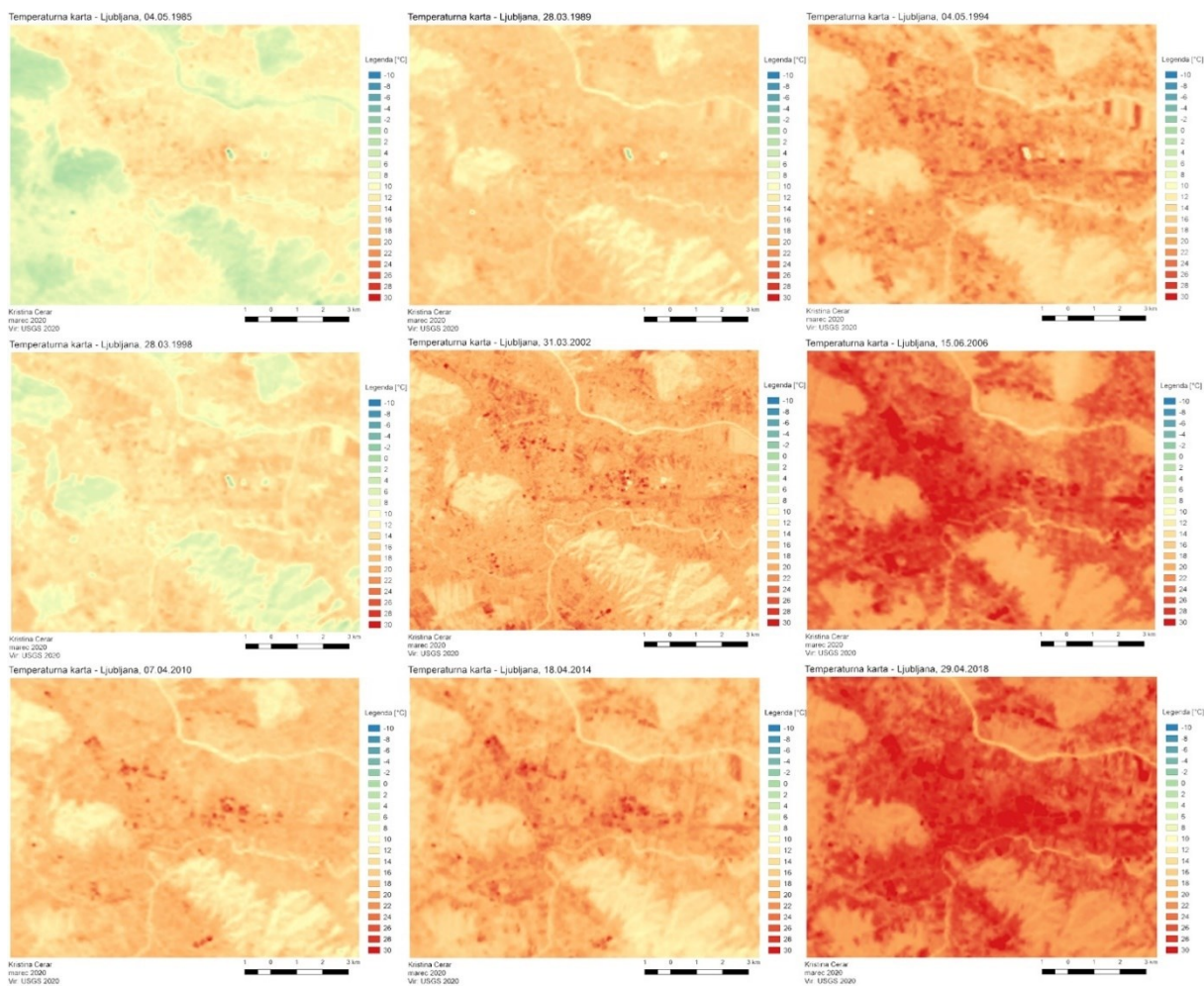
Na karti iz leta 2002 pomlad se opazi koncentracija najvišjih temperatur na novih površinah – na jugovzhodnem robu. Od leta 2002 se opazi naraščanje koncentracije najvišjih temperatur na površinah največje gostote naseljenosti prebivalstva in površinah najgostejše pozidave. Temperaturna karta iz poletnega obdobja kažejo na močno segreto površje tal, saj je takrat segrevanje najintenzivnejše in temperatura se dlje časa ohranja visoka.

Preglednica 12: Prikaz minimalnih in maksimalnih temperatur za vse letne čase, Ljubljana

Letni čas	Minimalna temperatura	Maksimalna temperatura
Pomlad	– 4,6 °C (04.05.1985)	37,2 °C (15.06.2006)
poletje	13,8 °C (06.08.1990)	41,5 °C (25.07.2018)
Jesen	– 14,0 °C (14.10.1992)	24,3 °C (19.10.2017)
Zima	– 14,0 °C (18.02.1990)	16,6 °C (09.03.2011)

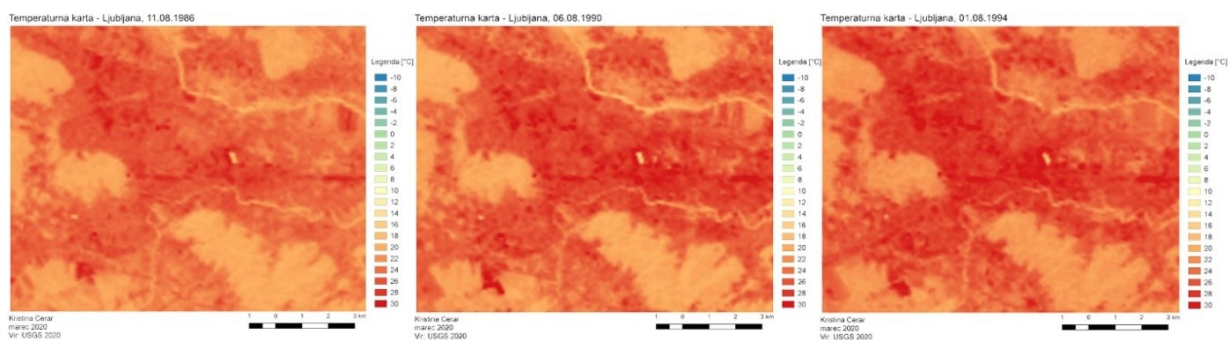
Iz preglednice 13 je razvidno, da so bile najnižje temperature površja do leta 1992. Najvišje pa v zadnjih letih, od 2011 dalje. Na temperature vplivajo temperature kovinskih streh, saj se le-te bolj ohladijo oziroma segrejejo od okolice. Pomembno vlogo ima tudi njihova emisivnost, ki jo bi bilo potrebno upoštevati za bolj natančnejše vrednosti temperature.

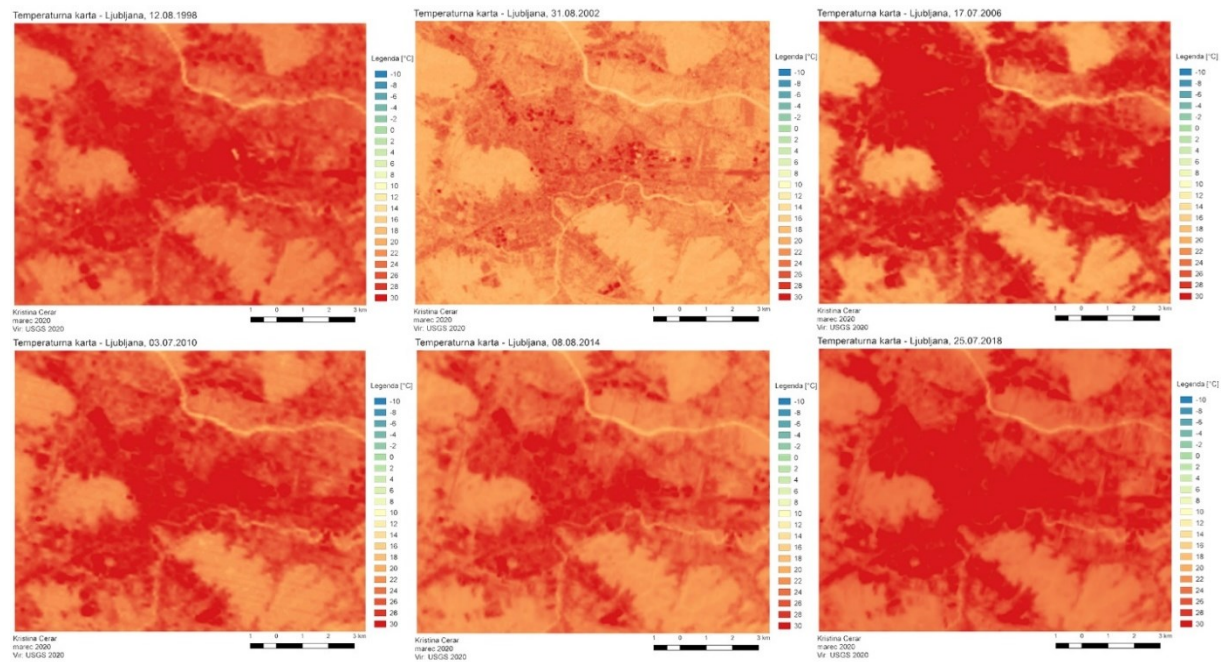
6.1.1.1 Pomlad



Slika 30: Temperaturne karte pomlad, Ljubljana

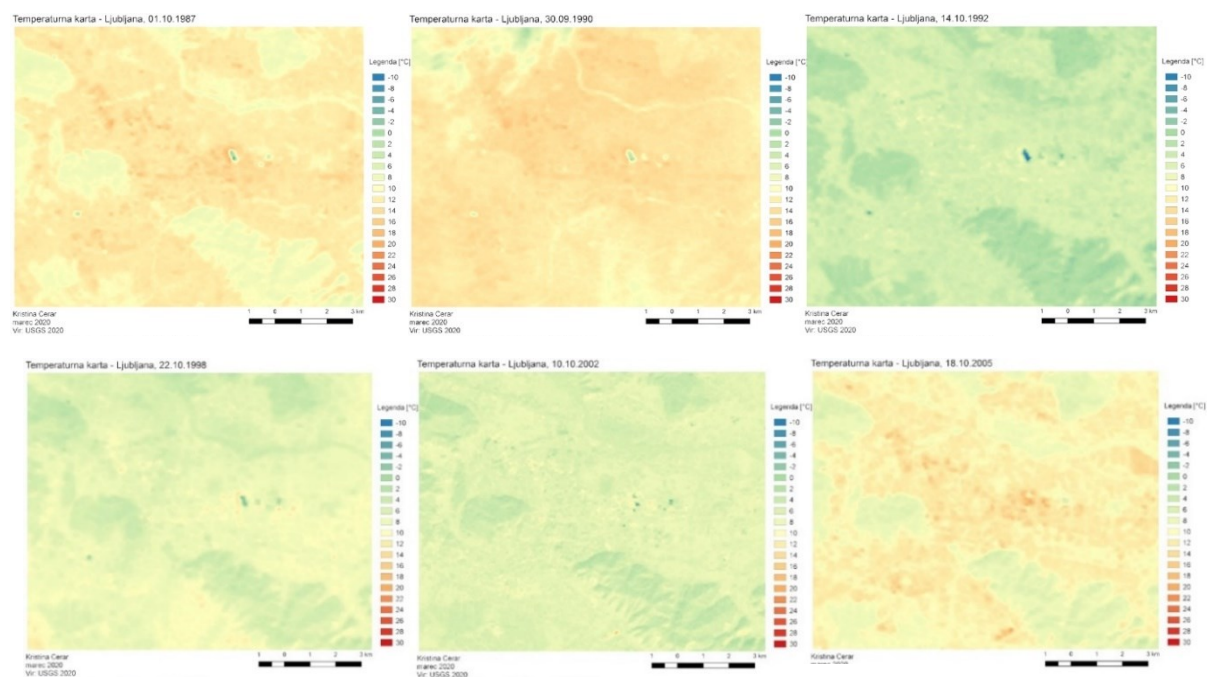
6.1.1.2 Poletje

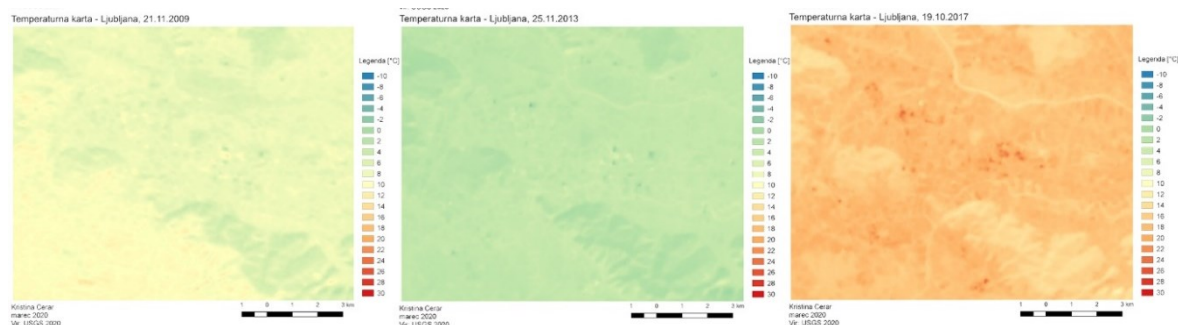




Slika 31: Temperaturne karte poletje, Ljubljana

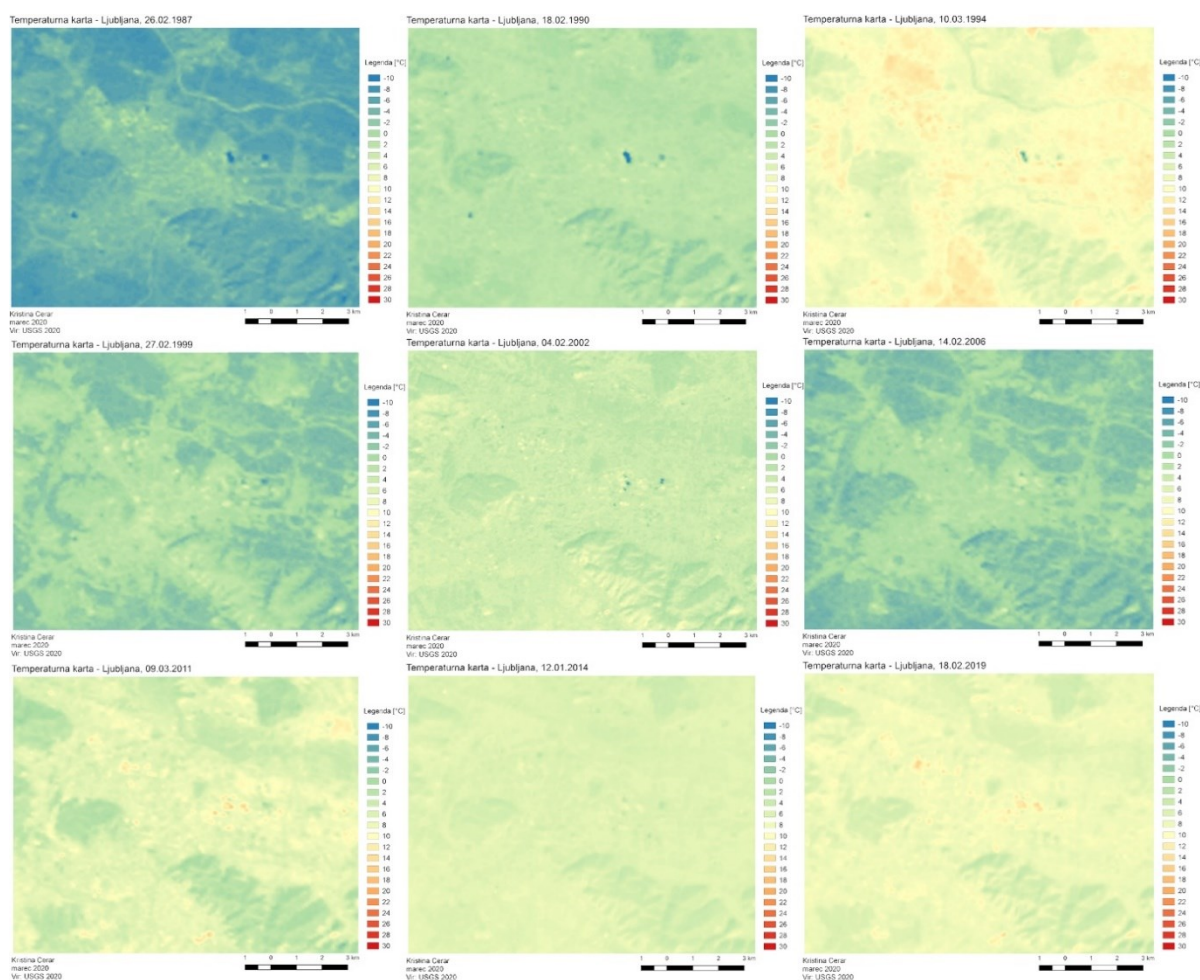
6.1.1.3 Jesen





Slika 32: Temperaturne karte jesen, Ljubljana

6.1.1.4 Zima



Slika 33: Temperaturne karte zima, Ljubljana

6.1.2 Ptuj

Temperaturne karte iz leta 1986 in 1990 kažejo, da so razlike med temperaturami pozidanega območja ter nepozidanega majhne. Temperaturne karte iz leta 1994, 1995 in 1998 kažejo na višje temperature na celotnem območju, opazna je koncentracija višjih temperatur na pozidanih površinah. Od leta 2002 se opazi naraščanje koncentracije najvišjih temperatur na površinah največje gostote naseljenosti prebivalstva in površinah najgostejše pozidave. Temperaturna karta iz poletnega obdobja kažejo na

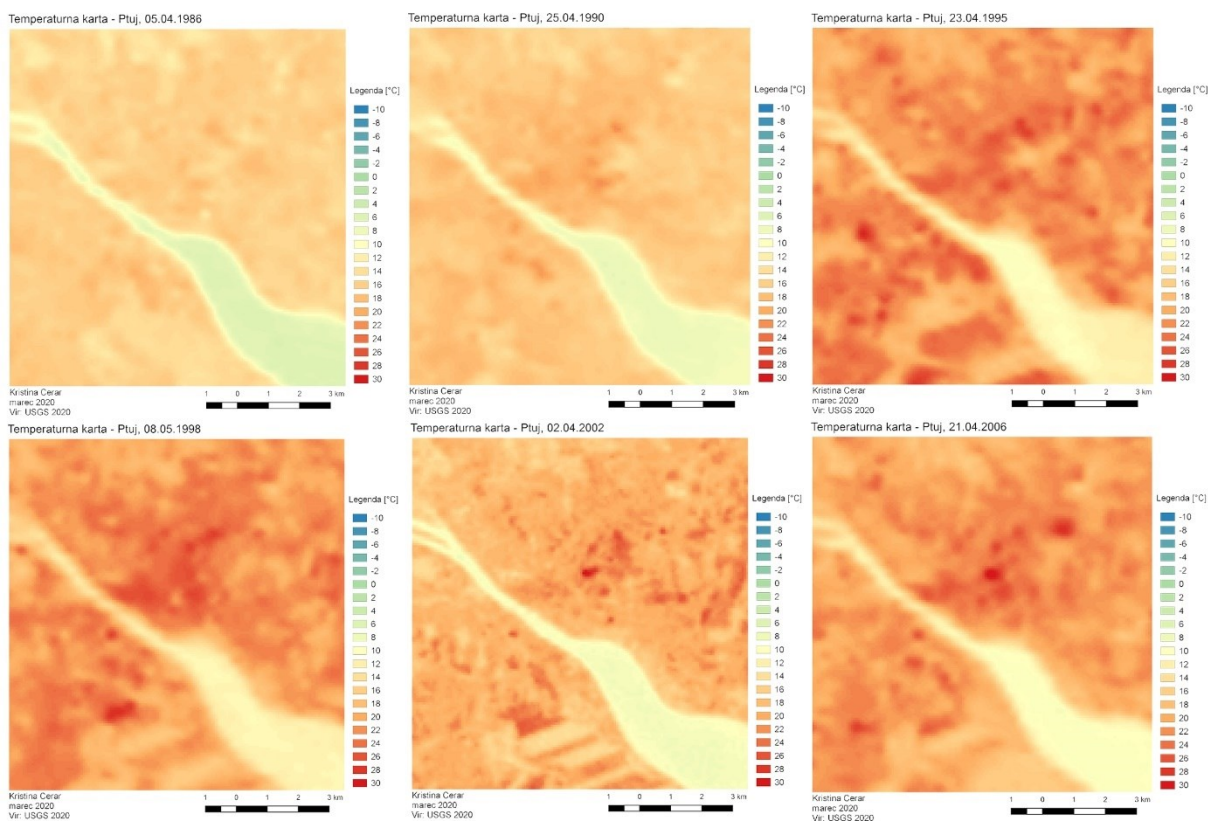
močno segrevano površino tal, saj je takrat segrevanje najintenzivnejše in temperature se dlje časa ohranja visoka.

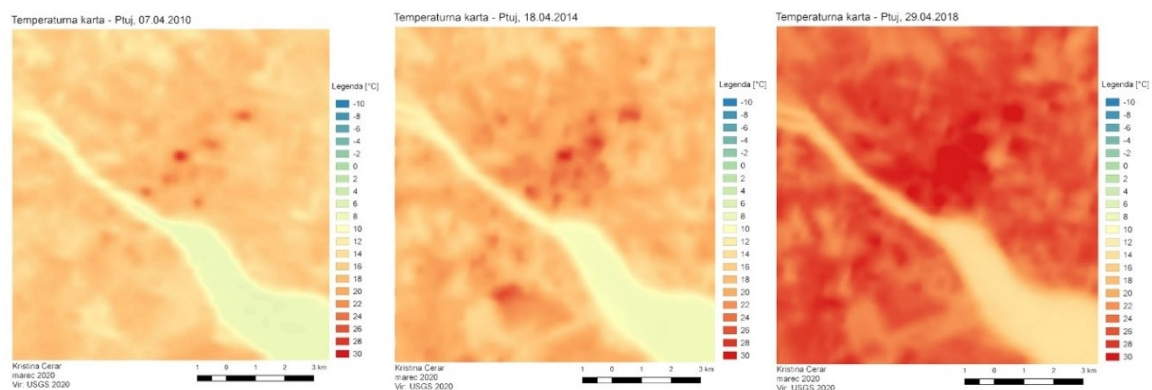
Preglednica 13: Prikaz minimalnih in maksimalnih temperatur za vse letne čase, Ptuj

Letni čas	Minimalna temperatura	Maksimalna temperatura
pomlad	5,5 °C (05.04.1986)	34,1 °C (29.04.2018)
poletje	14,6 °C (17.08.2014)	36,4 °C (24.08.2002)
jesen	5,0 °C (30.10.2006)	27,9 °C (2.10.2002)
zima	−16,5 °C (15.02.1994)	15,6 °C (11.03.2006)

Najnižje temperature na Ptuj (preglednica 13) so v primerjavi s temperaturami Ljubljane (preglednica 12) bolj razpršene in ni mogoče določiti do katerega leta so se pojavljale, medtem ko so se najvišje vrednosti temperature površja bolj enakomerno začele pojavljati od leta 2002 dalje.

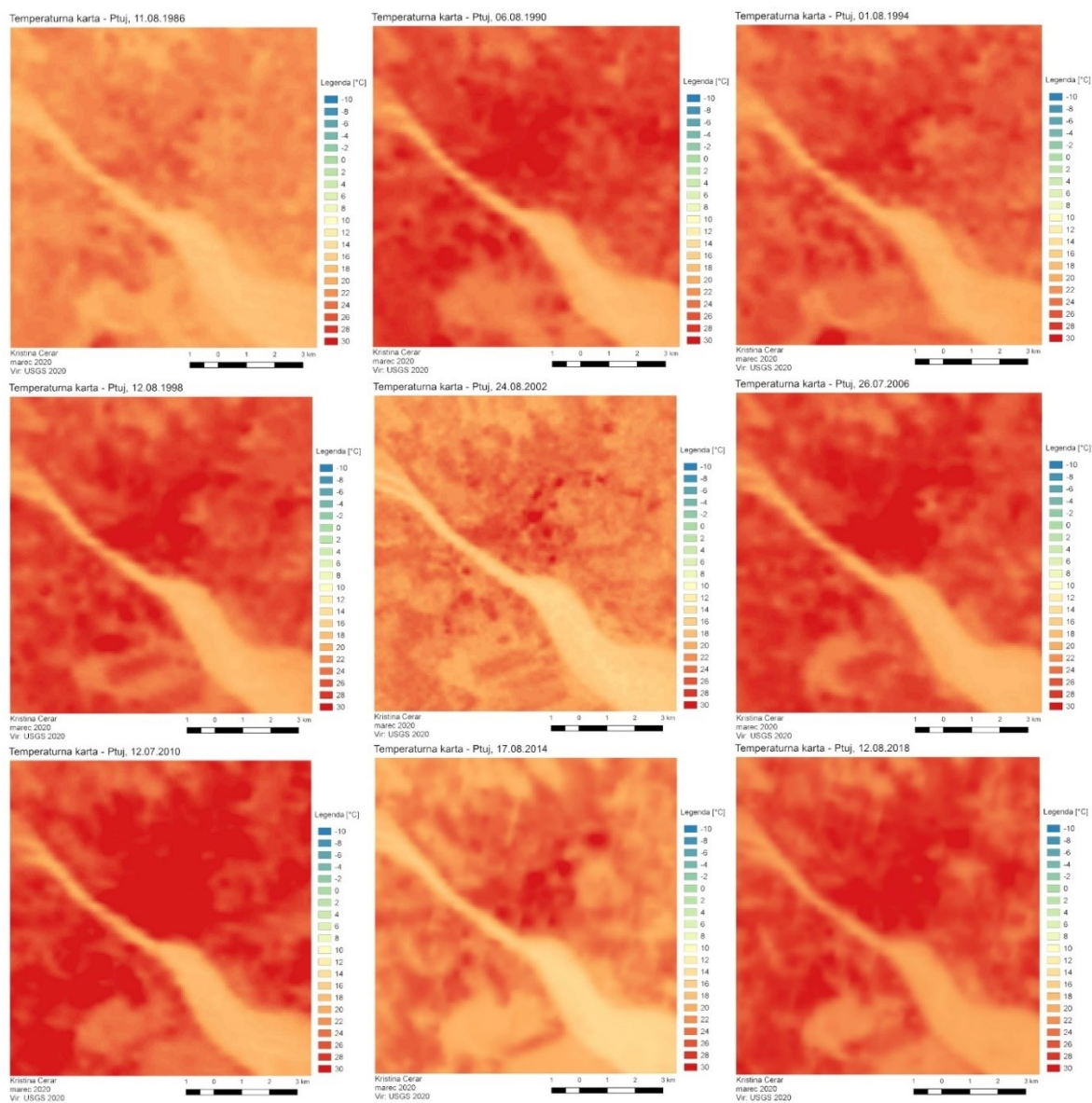
6.1.2.1 Pomlad





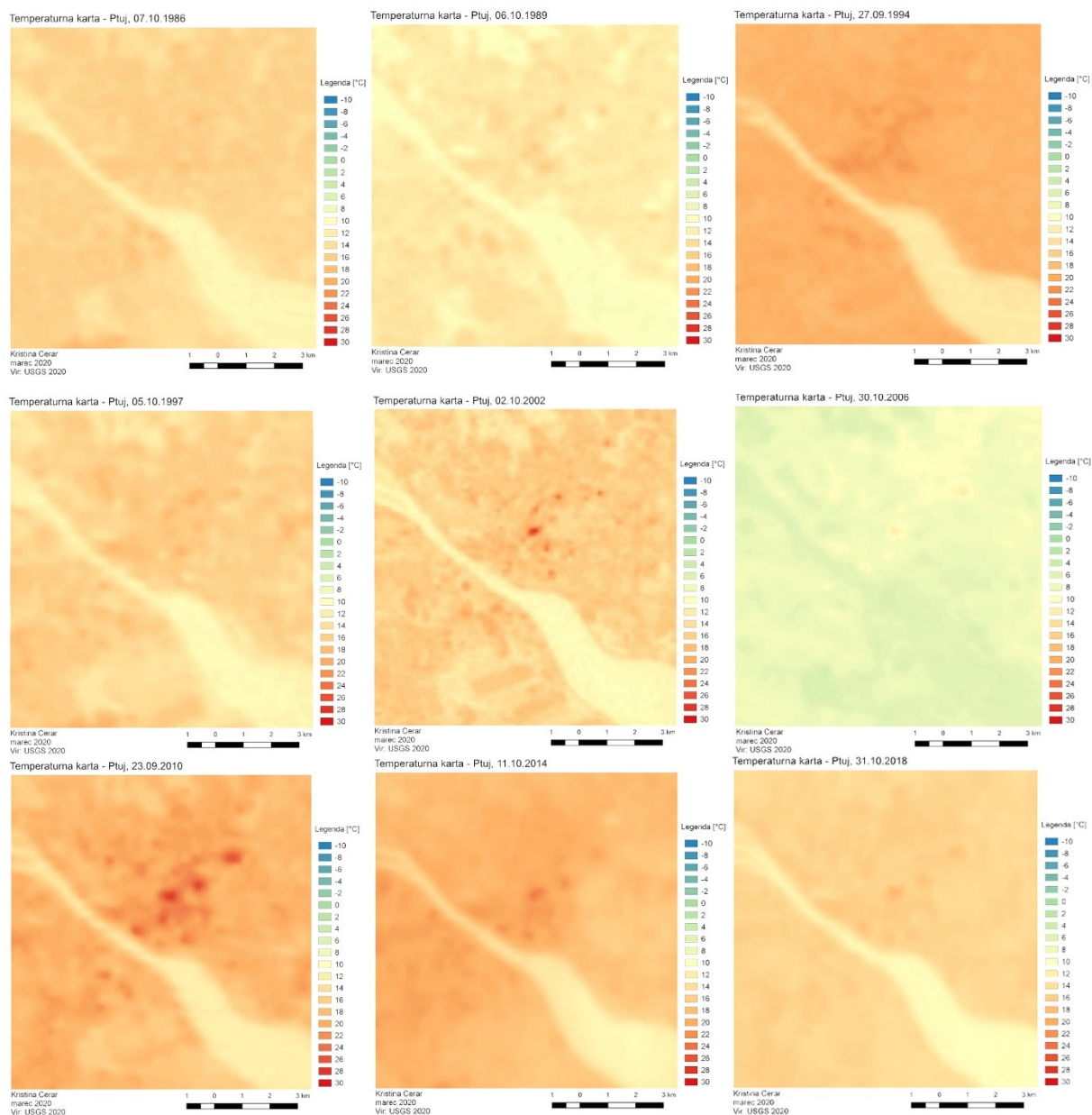
Slika 34: Temperaturne karte pomlad, Ptuj

6.1.2.2 Poletje



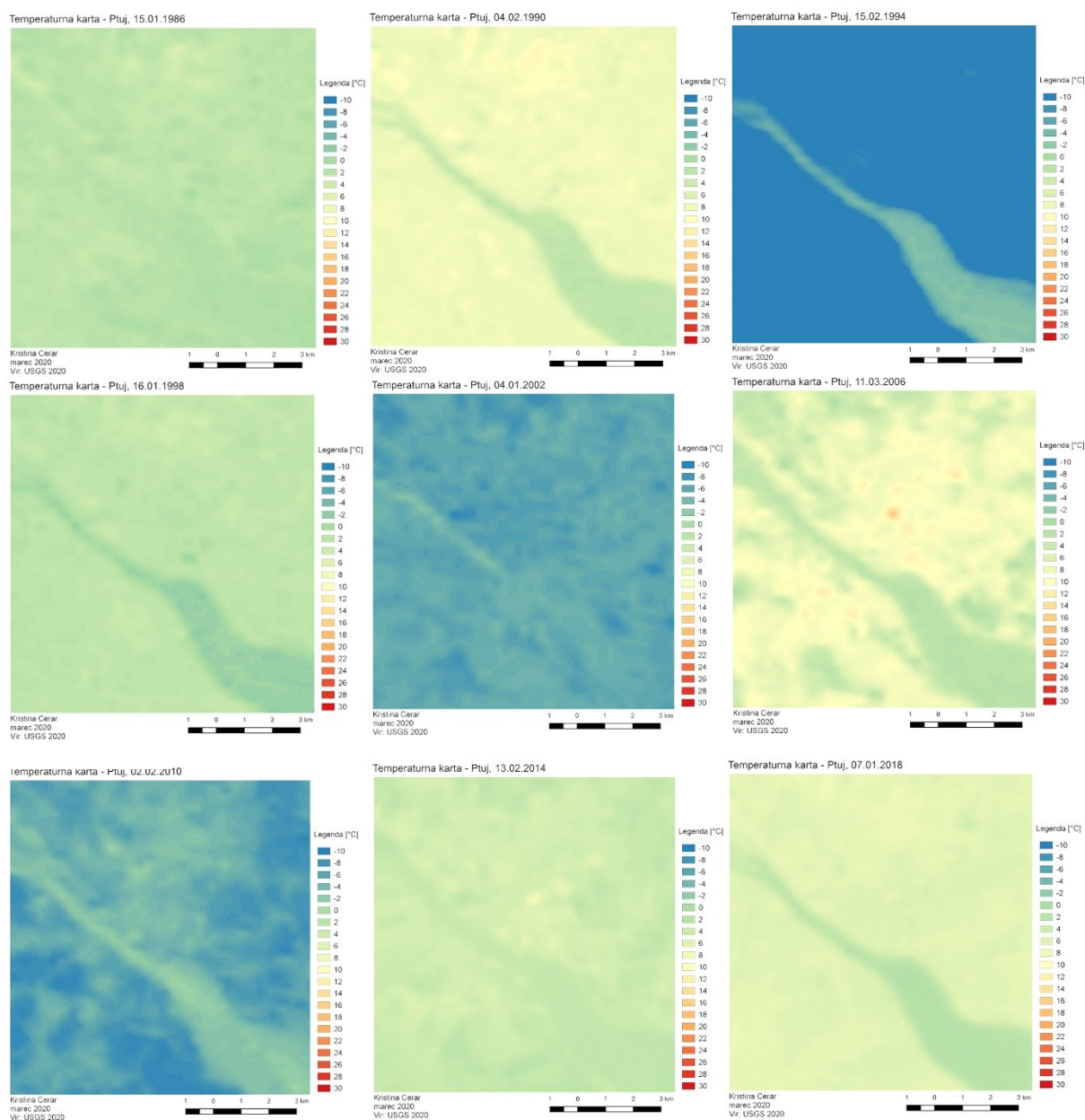
Slika 35: Temperaturne karte poletje, Ptuj

6.1.2.3 Jesen



Slika 36: Temperaturne karte jesen, Ptuj

6.1.2.4 Zima



Slika 37: Temperaturne karte zima, Ptuj

6.2 Vrednotenje površinskih mestnih toplotnih otokov (SUHI)

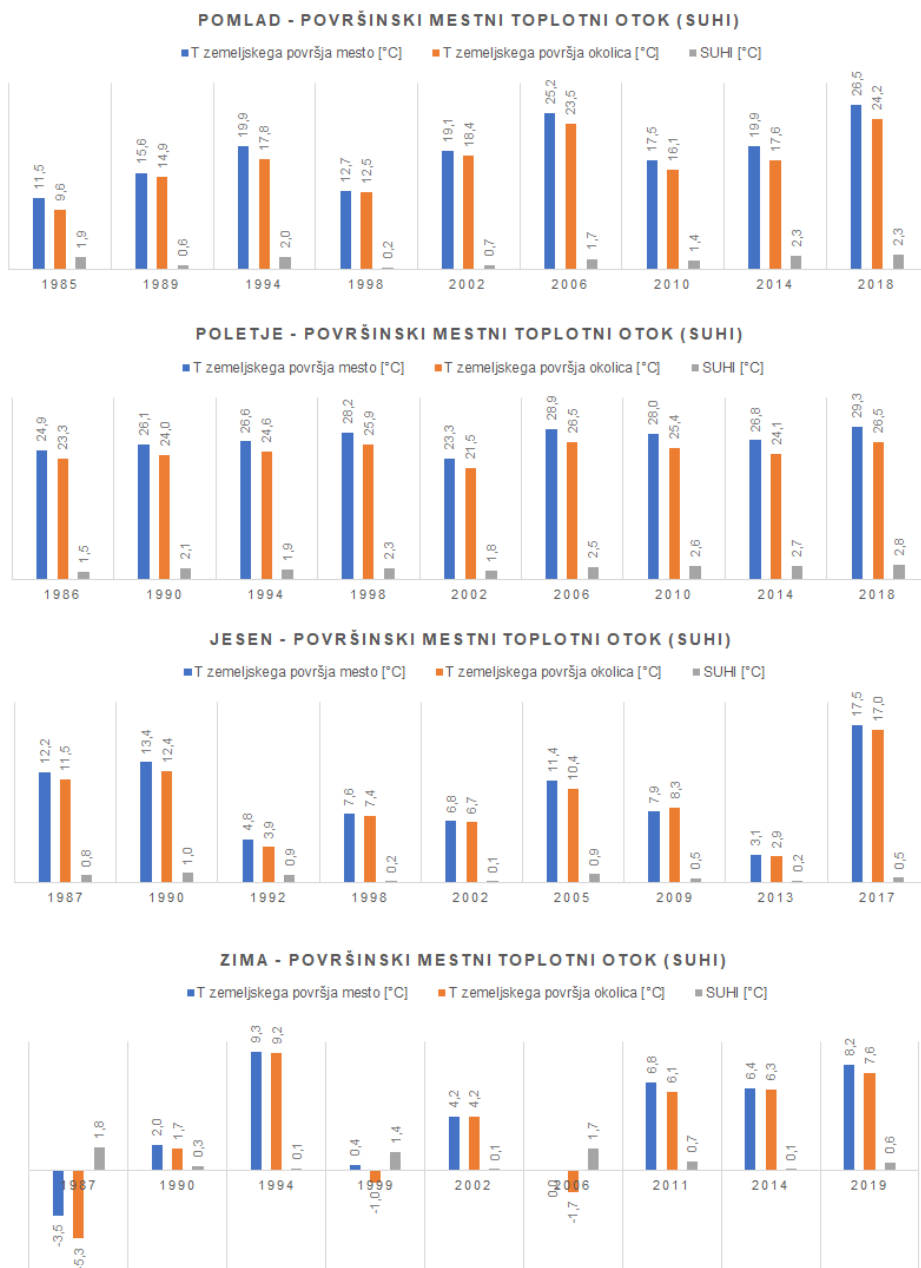
S QGIS orodjem Raster layer statistics sem na podlagi temperaturnih kart določila temperaturo za pozidano in nepozidano območje.

Vrednosti površinskega mestnega toplotnega otoka SUHI dosežejo vrhunec čez dan. Satelit Landsat snema med 9:00 in 10:00 uro zjutraj po lokalnem sončevem času, zato ni mogoče izmeriti površinskega mestnega toplotnega otoka v trenutku, ko je ta najizrazitejši (Mulahusić, A. et al. 2018).

Dobljene vrednosti površinskega mestnega toplotnega otoka SUHI so največje v poletnih mesecih, kar je v skladu z dejstvom, da so površinski mestni toplotni otoki SUHI najintenzivnejši v dneh z najvišjo temperaturo. Razlike maja in junija, niso velike. SUHI je občutno manjši jeseni in pozimi.

V nadaljevanju so predstavljeni izračuni površinskih mestnih toplotnih otokov SUHI za posamezni letni čas, za posamezno mesto.

6.2.1 Ljubljana



Slika 38: Prikaz vrednosti temperatur zemeljskega površja za mesto in okolico ter SUHI, Ljubljana

V spomladanskih mesecih je bil največji površinski mestni toplotni otok leta 2014 in 2018, ki je znašal + 2,3 °C kar pomeni, da je bilo spomladi v pozidanemu delu Ljubljane v povprečju topleje za 2,3 °C.

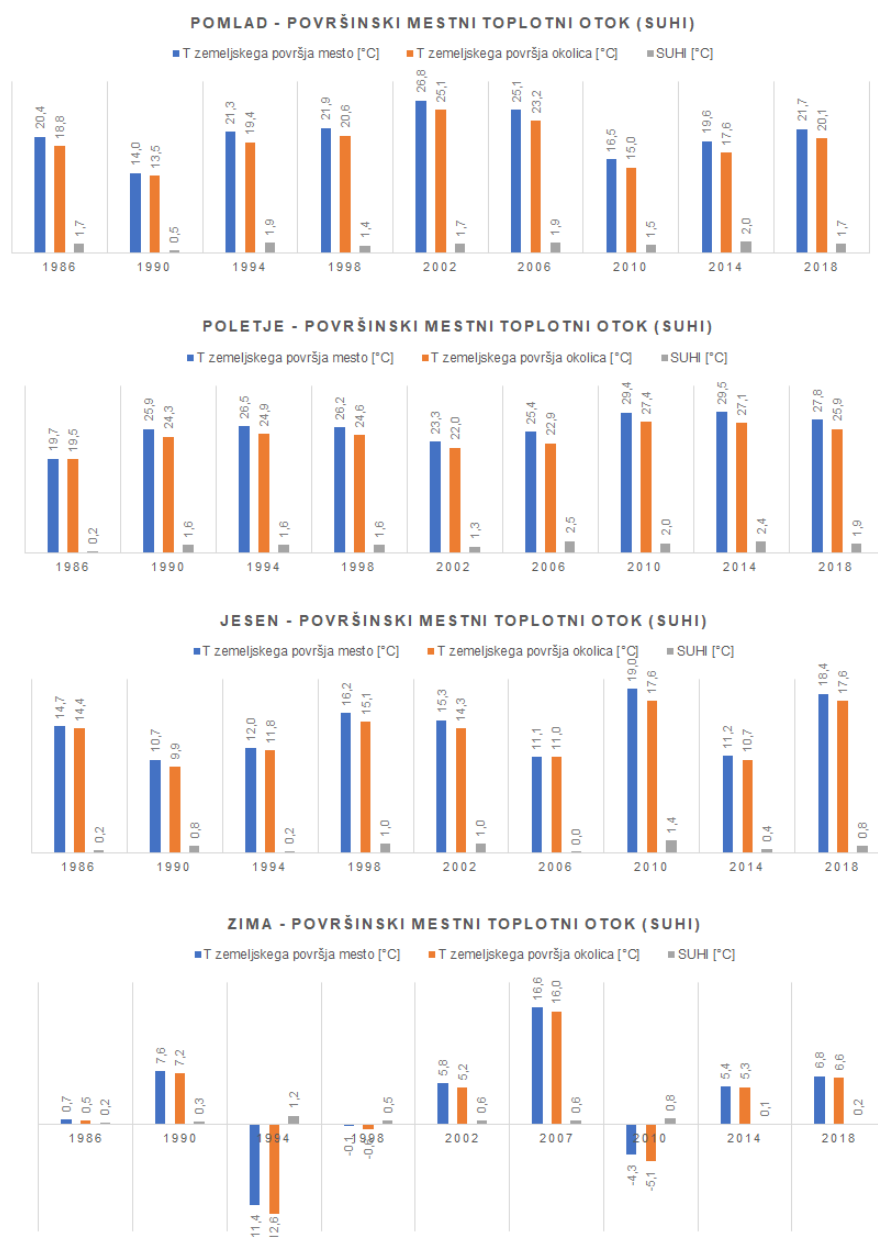
Najmanjši površinski mestni toplotni otok je bil leta 1998, ki je znašal $+0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ kar pomeni, da je bilo spomladi v pozidanemu delu Ljubljane v povprečju topleje le za $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

V poletnih mesecih je bilo leta 2018 v pozidanemu delu Ljubljane v povprečju topleje za $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Najmanj pa se je pozidan del segrel leta 1986, ko je bilo v povprečju topleje za $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

V jesenskih mesecih je bilo leta 1990 v pozidanemu delu Ljubljane v povprečju topleje za $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Najmanj pa se je pozidan del segrel leta 2002, ko je bilo v povprečju topleje le za $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

V zimskih mesecih je bilo leta 1987 v pozidanemu delu Ljubljane v povprečju topleje za $1,79\text{ }^{\circ}\text{C}$. Najmanj pa se je pozidan del segrel v letih 1994, 2002 in 2014, ko je bilo v povprečju topleje le za $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

6.2.2 Maribor



Slika 39: Prikaz vrednosti temperatur zemeljskega površja za mesto in okolico ter SUHI, Maribor

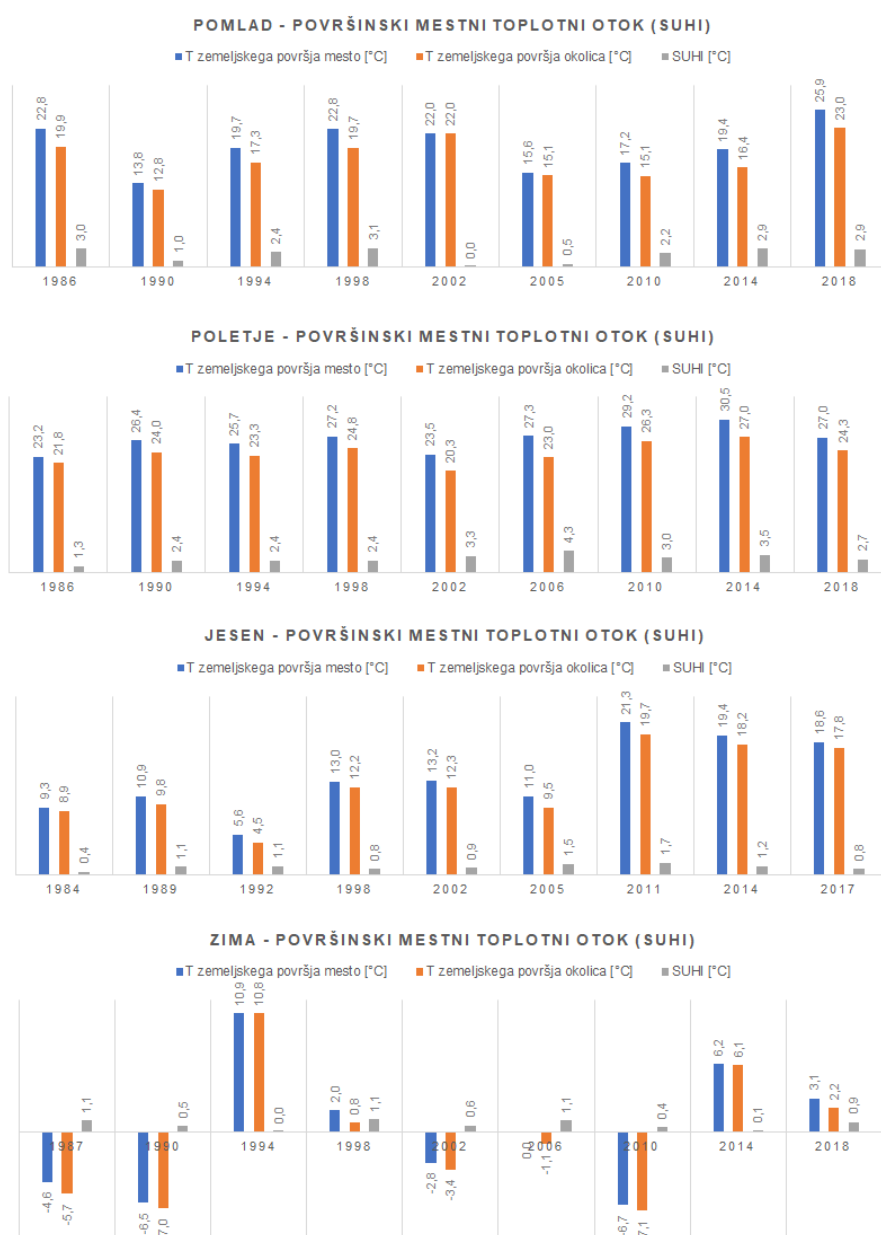
V spomladanskih mesecih je bilo leta 2014 v pozidanemu delu Maribora v povprečju topleje za 2,0 °C. Najmanj pa se je pozidan del segrel leta 1990, ko je bilo v povprečju topleje za 0,5 °C.

V poletnih mesecih je bilo leta 2006 v pozidanemu delu Maribora v povprečju topleje za 2,5 °C. Najmanj pa se je pozidan del segrel leta 1986, ko je bilo v povprečju topleje le za 0,2 °C.

V jesenskih mesecih je bilo leta 2010 v pozidanemu delu Maribora v povprečju topleje za 1,4 °C. Leta 2006 se pozidan del sploh ni segrel glede na okolico.

V zimskih mesecih je bilo leta 1994 v pozidanemu delu Maribora v povprečju topleje za 1,2 °C. Najmanj pa se je pozidan del segrel leta 2014, ko je bilo v povprečju topleje le za 0,1 °C.

6.2.3 Celje



Slika 40: Prikaz vrednosti temperatur zemeljskega površja za mesto in okolico ter SUHI, Celje

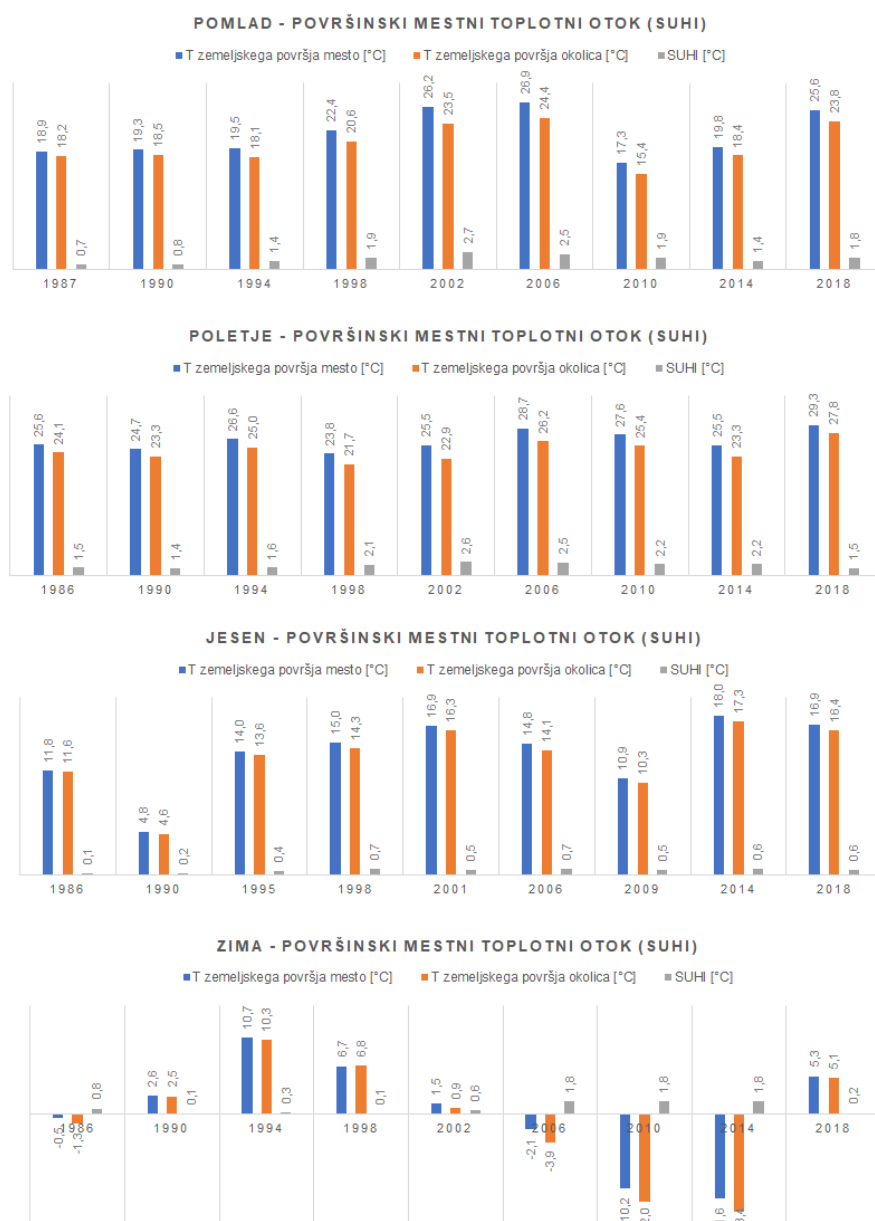
V spomladanskih mesecih je bilo leta 1998 v pozidanemu delu Celja v povprečju topleje za 3,1 °C. Leta 2002 se pozidan del sploh ni segrel glede na okolico.

V poletnih mesecih je bilo leta 2006 v pozidanemu delu Celja v povprečju topleje za 4,3 °C. Najmanj pa se je pozidan del segrel leta 1986, ko je bilo v povprečju topleje le za 1,3 °C.

V jesenskih mesecih je bilo leta 2011 v pozidanemu delu Celja v povprečju topleje za 1,7 °C. Najmanj pa se je pozidan del segrel leta 1984, ko je bilo v povprečju topleje le za 0,4 °C.

V zimskih mesecih je bilo v letih 1987, 1998 in 2006 v pozidanemu delu Celja v povprečju topleje za 1,1 °C. Najmanj pa se je pozidan del segrel leta 1994.

6.2.4 Kranj



Slika 41: Prikaz vrednosti temperatur zemeljskega površja za mesto in okolico ter SUHI, Kranj

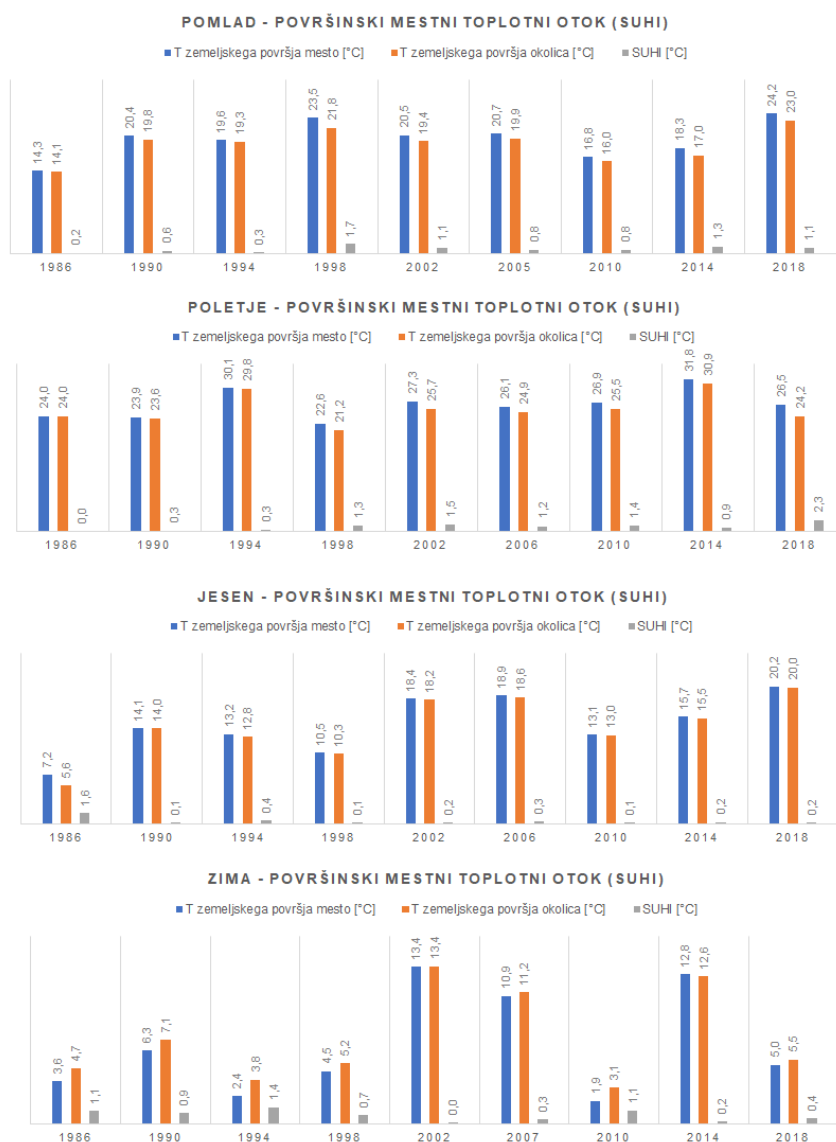
V spomladanskih mesecih je bilo leta 2002 v pozidanemu delu Kranja v povprečju topleje za 2,7 °C. Najmanj pa se je pozidan del segrel leta 1987, ko je bilo v povprečju topleje le za 0,7 °C.

V poletnih mesecih je bilo leta 2002 v pozidanemu delu Kranja v povprečju topleje za 2,6 °C. Najmanj pa se je pozidan del segrel leta 1990, ko je bilo v povprečju topleje le za 1,4 °C.

V jesenskih mesecih je bilo v letih 1998 in 2006 v pozidanemu delu Kranja v povprečju topleje za 0,7 °C. Najmanj pa se je pozidan del segrel leta 1986, ko je bilo v povprečju topleje le za 0,1 °C.

V zimskih mesecih je v letih 2006, 2010 in 2014 v pozidanemu delu Kranja v povprečju topleje za 1,8 °C. Najmanj pa se je pozidan del segrel v letih 1990 in 1998, ko je bilo v povprečju topleje le za 0,1 °C.

6.2.5 Koper



Slika 42: Prikaz vrednosti temperatur zemeljskega površja za mesto in okolico ter SUHI, Koper

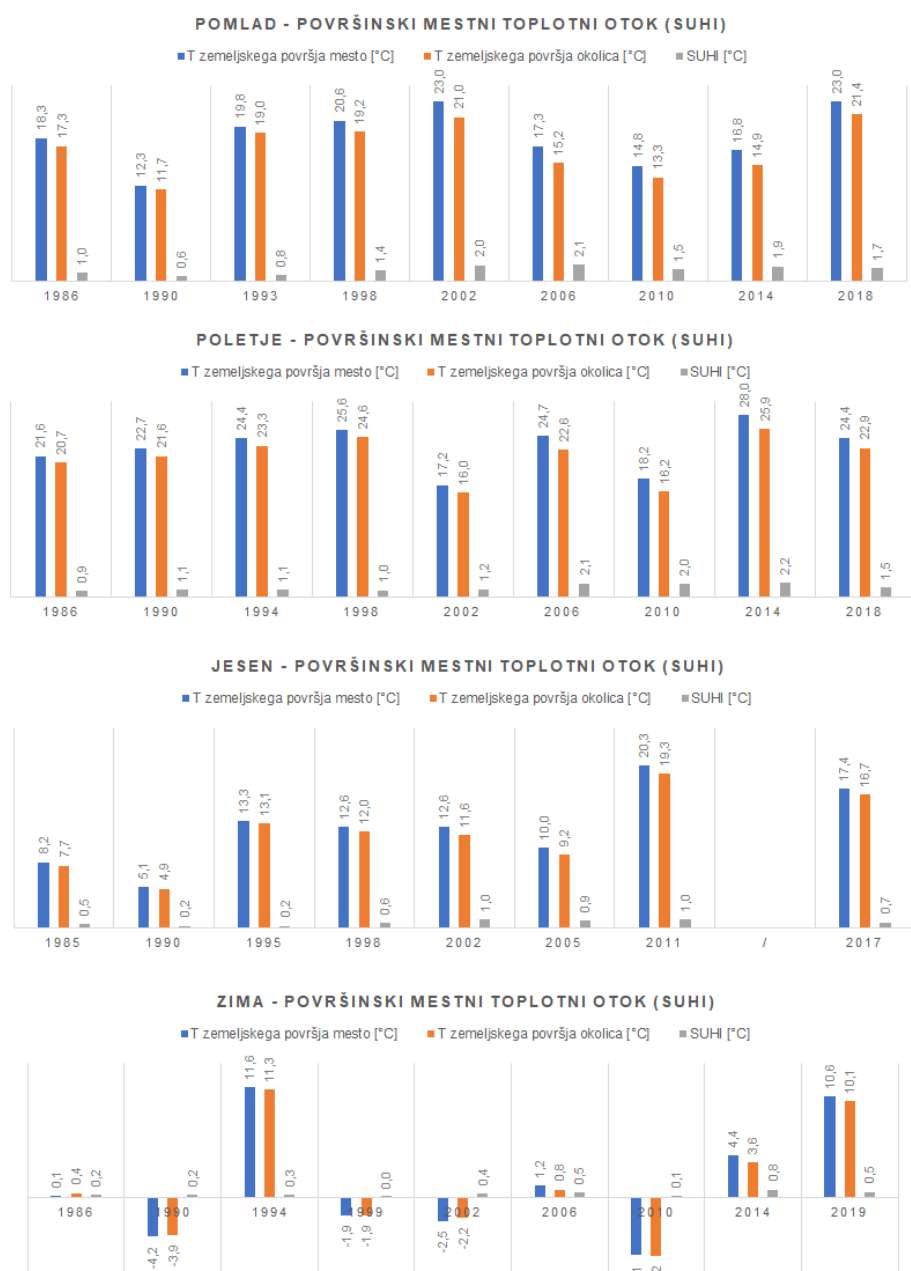
V spomladanskih mesecih je bilo leta 1998 v pozidanemu delu Kopra v povprečju topleje za 1,7 °C. Najmanj pa se je pozidan del segrel leta 1986, ko je bilo v povprečju topleje le za 0,2 °C.

V poletnih mesecih je bilo leta 2018 v pozidanemu delu Kopra v povprečju topleje za 2,3 °C. Leta 1986 se pozidan del sploh ni segrel glede na okolico.

V jesenskih mesecih je bilo v letih 1986 v pozidanemu delu Kopra v povprečju topleje za 1,6 °C. Najmanj pa se je pozidan del segrel v letih 1990, 1998 in 2010, ko je bilo v povprečju topleje le za 0,1 °C.

V zimskih mesecih je bilo leta 1994 v pozidanemu delu Kopra v povprečju topleje za 1,4 °C. Leta 2002 se pozidan del sploh ni segrel glede na okolico.

6.2.6 Velenje



Slika 43: Prikaz vrednosti temperatur zemeljskega površja za mesto in okolico ter SUHI, Velenje

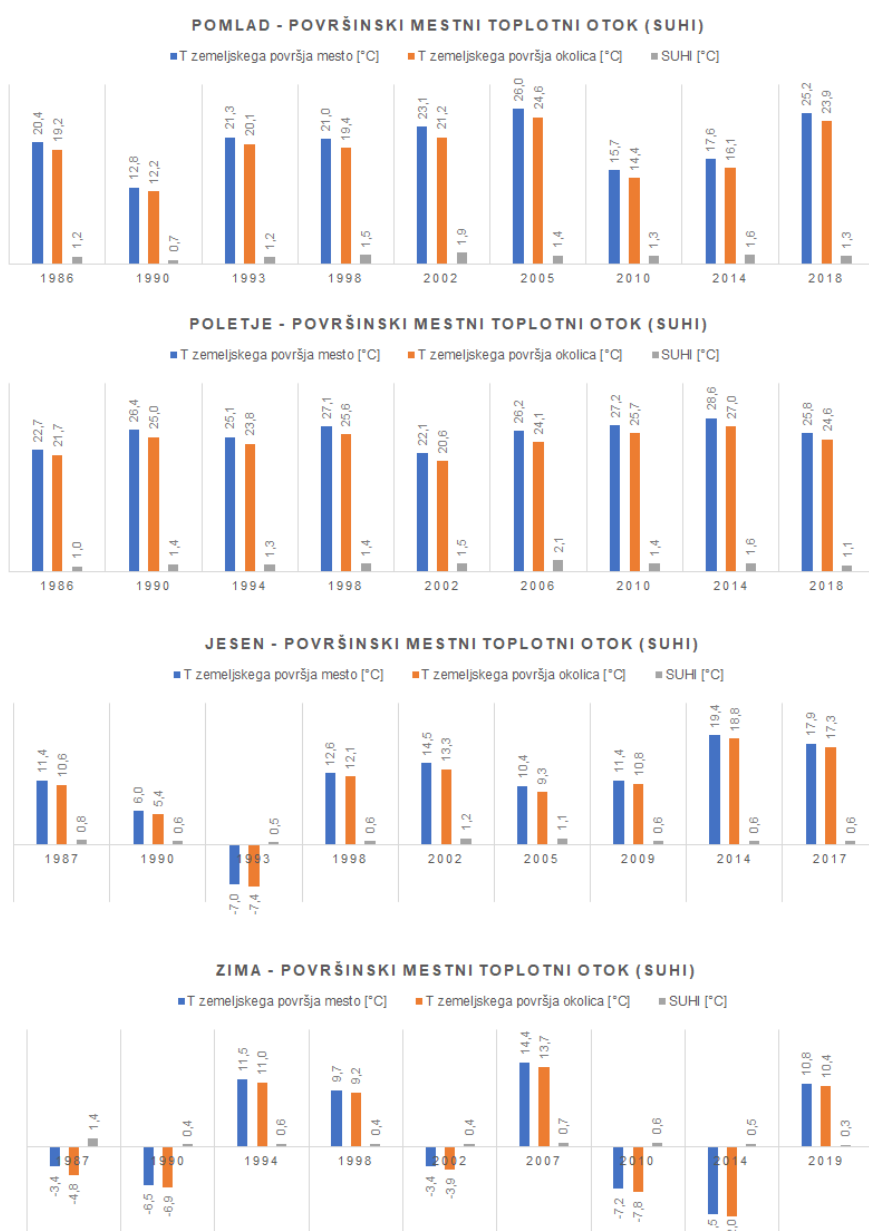
V spomladanskih mesecih je bilo leta 2006 v pozidanemu delu Velenja v povprečju topleje za 2,1 °C. Najmanj pa se je pozidan del segrel leta 1990, ko je bilo v povprečju topleje le za 0,8 °C.

V poletnih mesecih je bilo leta 2014 v pozidanemu delu Velenja v povprečju topleje za 2,2 °C. Najmanj pa se je pozidan del segrel leta 1986, ko je bilo v povprečju topleje za 0,9 °C.

V jesenskih mesecih je bilo v letih 2002 in 2011 v pozidanemu delu Velenja v povprečju topleje za 1,0 °C. Najmanj pa se je pozidan del segrel leta 1990, ko je bilo v povprečju topleje le za 0,2 °C.

V zimskih mesecih je bilo leta 2014 v pozidanemu delu Velenja v povprečju topleje za 0,8 °C. Leta 1999 se pozidan del sploh ni segrel glede na okolico.

6.2.7 Novo mesto



Slika 44: Prikaz vrednosti temperatur zemeljskega površja za mesto in okolico ter SUHI, Novo mesto

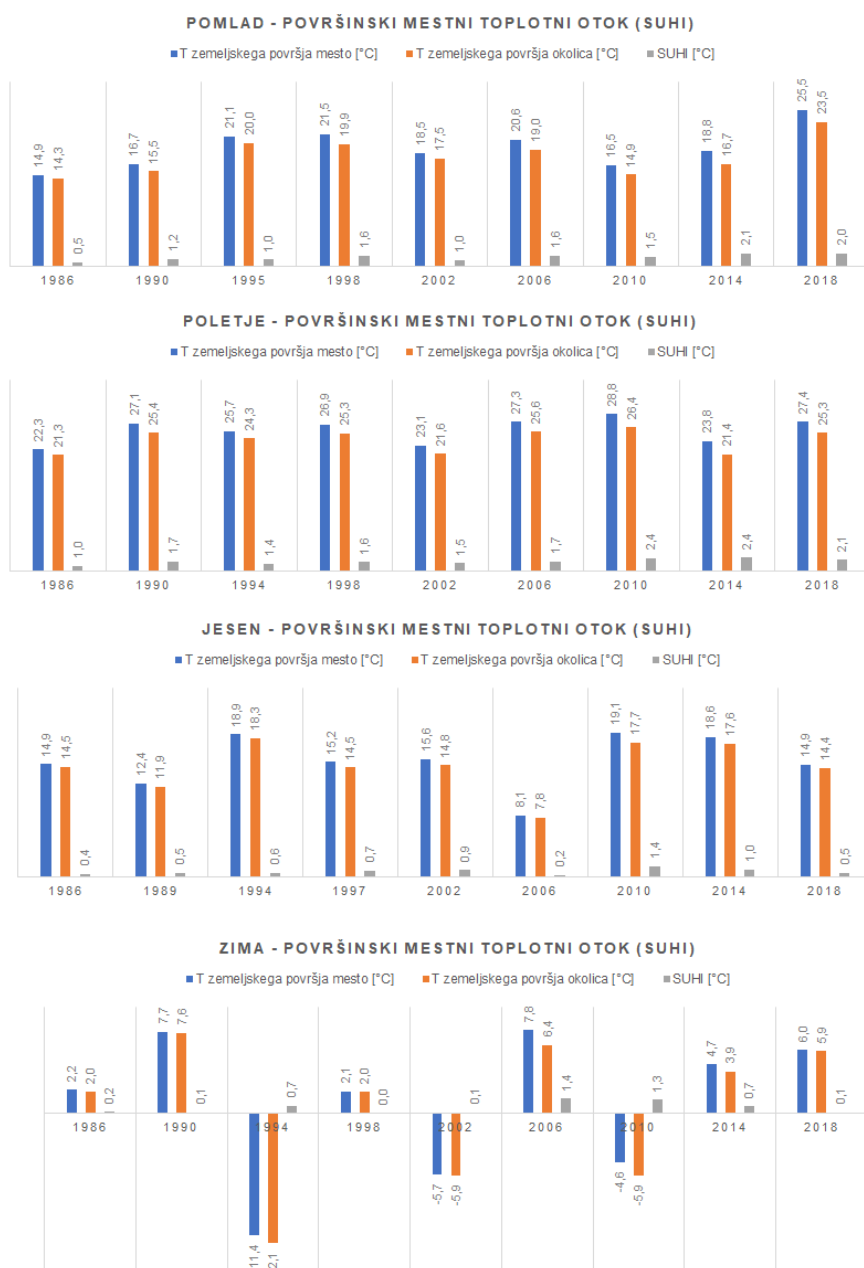
V spomladanskih mesecih je bilo leta 2002 v pozidanemu delu Novega mesta v povprečju topleje za 1,9 °C. Najmanj pa se je pozidan del segrel leta 1990, ko je bilo v povprečju topleje le za 0,7 °C.

V poletnih mesecih je bilo leta 2006 v pozidanemu delu Novega mesta v povprečju topleje za 2,1 °C. Najmanj pa se je pozidan del segrel leta 1986, ko je bilo v povprečju topleje za 1,0 °C.

V jesenskih mesecih je bilo leta 2002 v pozidanemu delu Novega mesta v povprečju topleje za 1,2 °C. Najmanj pa se je pozidan del segrel leta 1993, ko je bilo v povprečju topleje le za 0,5 °C.

V zimskih mesecih je bilo leta 1987 v pozidanemu delu Novega mesta v povprečju topleje za 1,4 °C. Najmanj pa se je pozidan del segrel leta 2019, ko je bilo v povprečju topleje le za 0,3 °C.

6.2.8 Ptuj



Slika 45: Prikaz vrednosti temperatur zemeljskega površja za mesto in okolico ter SUHI, Ptuj

V spomladanskih mesecih je bilo leta 2014 v pozidanemu delu Ptuja v povprečju topleje za 2,1 °C. Najmanj pa se je pozidan del segrel leta 1986, ko je bilo v povprečju topleje le za 0,5 °C.

V poletnih mesecih je bilo v letih 2010 in 2014 v pozidanemu delu Ptuja v povprečju topleje za 2,4 °C. Najmanj pa se je pozidan del segrel leta 1986, ko je bilo v povprečju topleje za 1,0 °C.

V jesenskih mesecih je bilo leta 2010 v pozidanemu delu Ptuja v povprečju topleje za 1,4 °C. Najmanj pa se je pozidan del segrel leta 2006, ko je bilo v povprečju topleje le za 0,3 °C.

V zimskih mesecih je bilo leta 2006 v pozidanemu delu Ptuja v povprečju topleje za 1,4 °C. Leta 1998 se pozidan del sploh ni segrel glede na okolico.

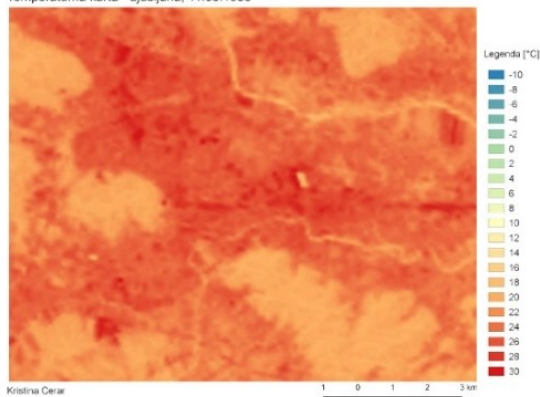
6.3 Časovna primerjava izbranih območij

Za dneve 11.08.1986, 07.04.2010 ter 29.04.2018 sem uspela pridobiti satelitske posnetke za vsa mesta. S tem je možna relativna primerjava med mesti ali mestnimi območji oz. drugimi manjšimi mestnimi enotami, ki je prikazana na spodnjih slikah. Absolutna primerjava ni smiselna, saj vplivajo še drugi dejavniki npr. lega in razgibanost terena.

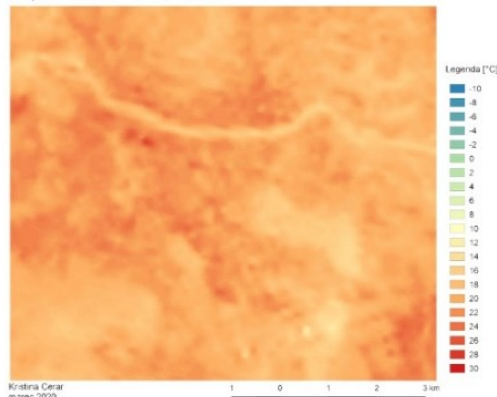
Lep grafični prikaz prisotnosti vročih točk so posnetki z dne 07.04.2010, iz katerih je razvidno da je ne glede na velikost mesta prisotna zvišana temperatura površja. Zanimiva je primerjava med datumom 11.08.1986 ter 29.04.2018, saj se prvi datum nanaša na poletno obdobje, medtem ko drugi na spomladansko. Po temperaturnih kartah pa tega ne bi mogli trditi, saj je Zemeljsko površje na spomladanskem posnetku vidno bolj segreto.

11.08.1986

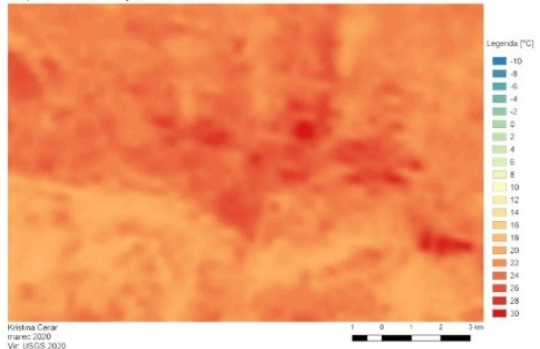
Temperaturna karta - Ljubljana, 11.08.1986



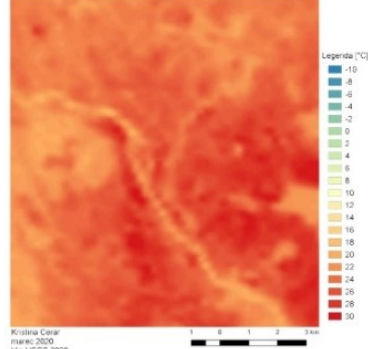
Temperaturna karta - Maribor, 11.08.1986

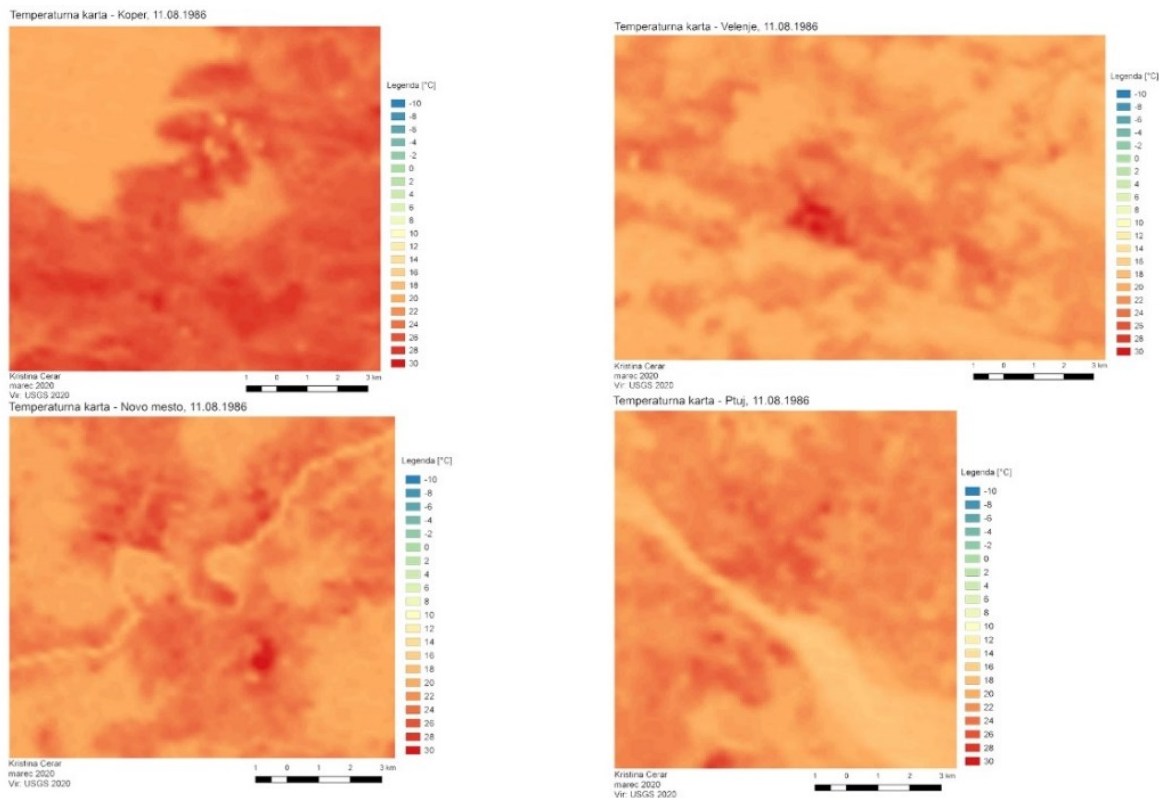


Temperaturna karta - Celje, 11.08.1986



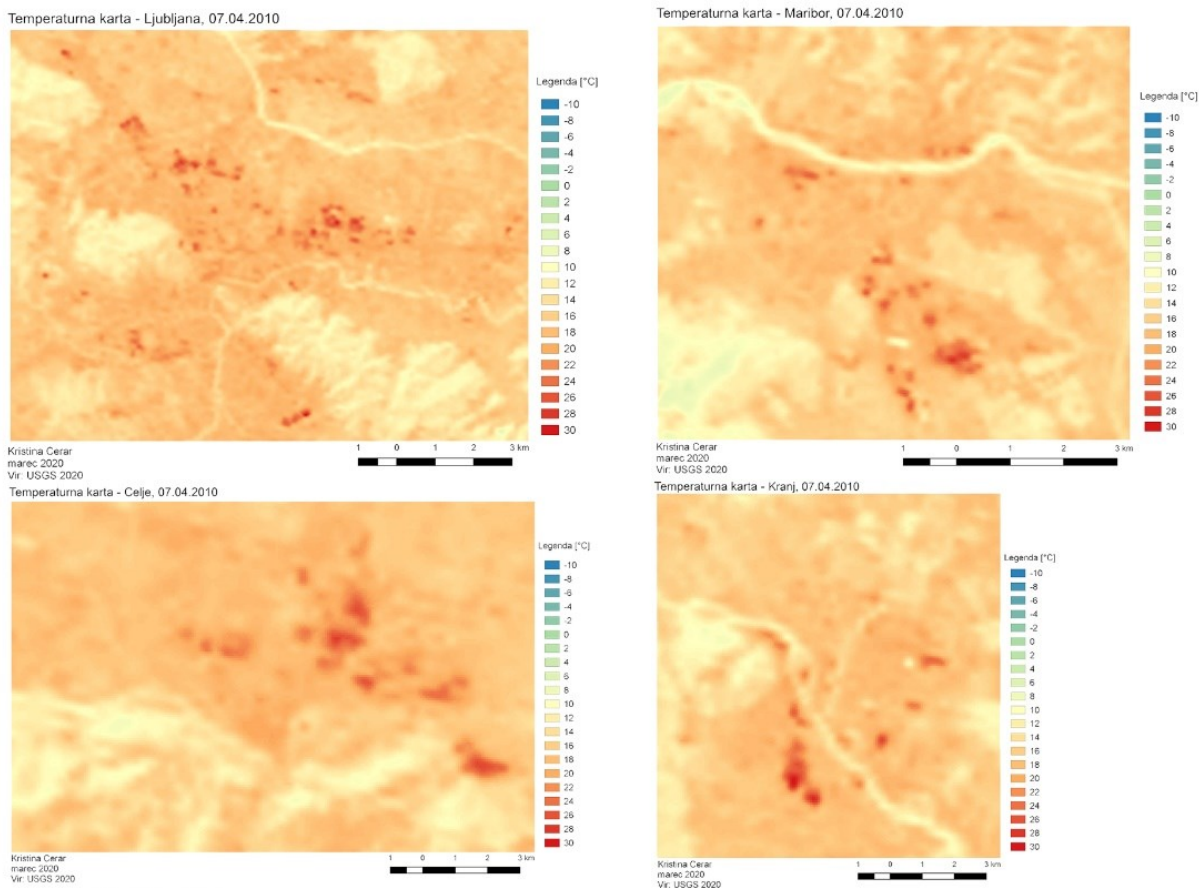
Temperaturna karta - Kranj, 11.08.1986

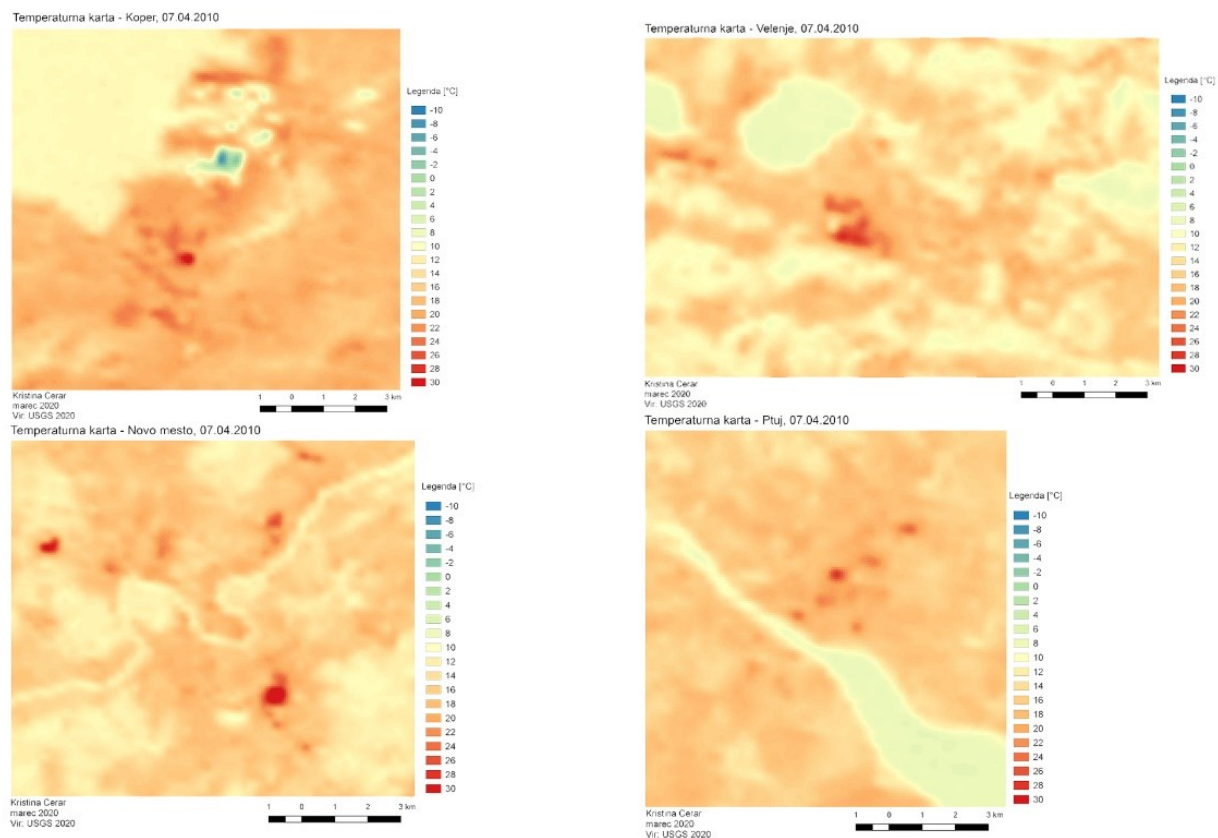




Slika 46: Temperaturne karte 11.08.1986

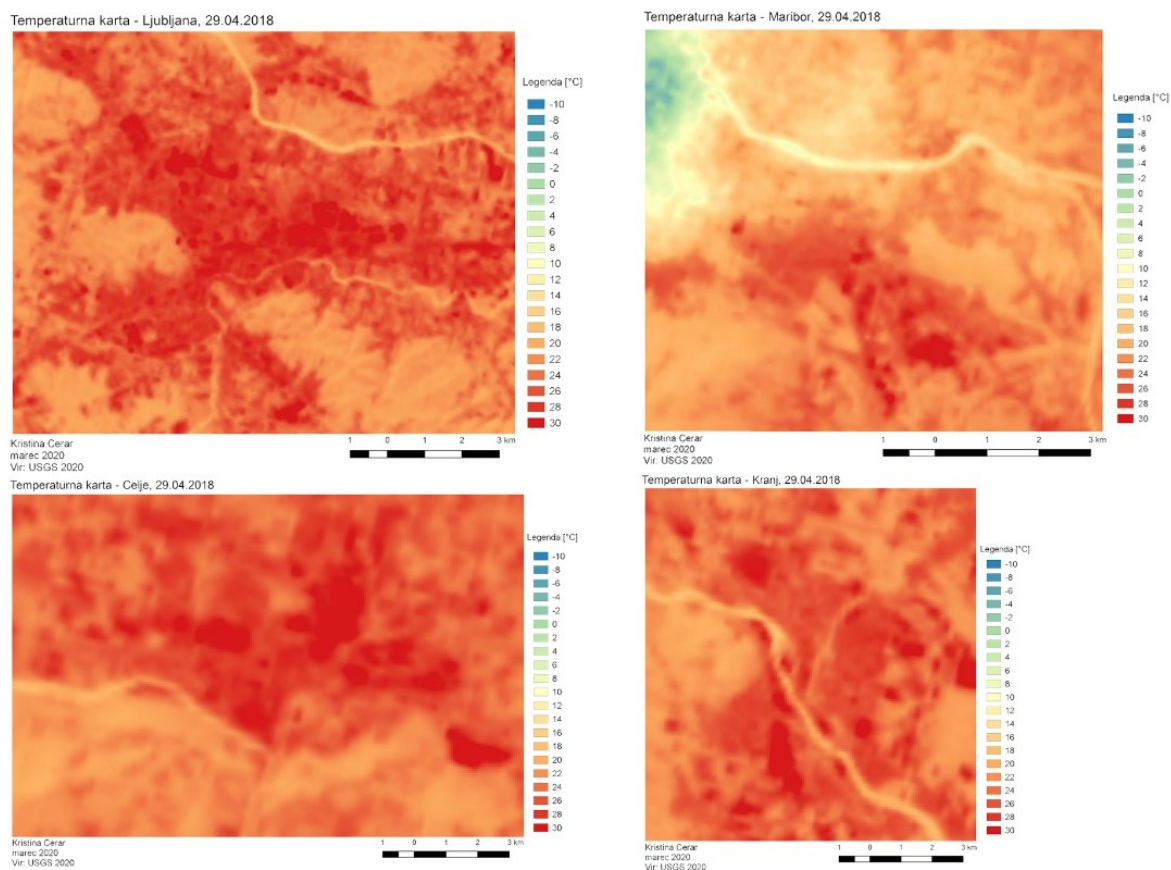
07.04.2010

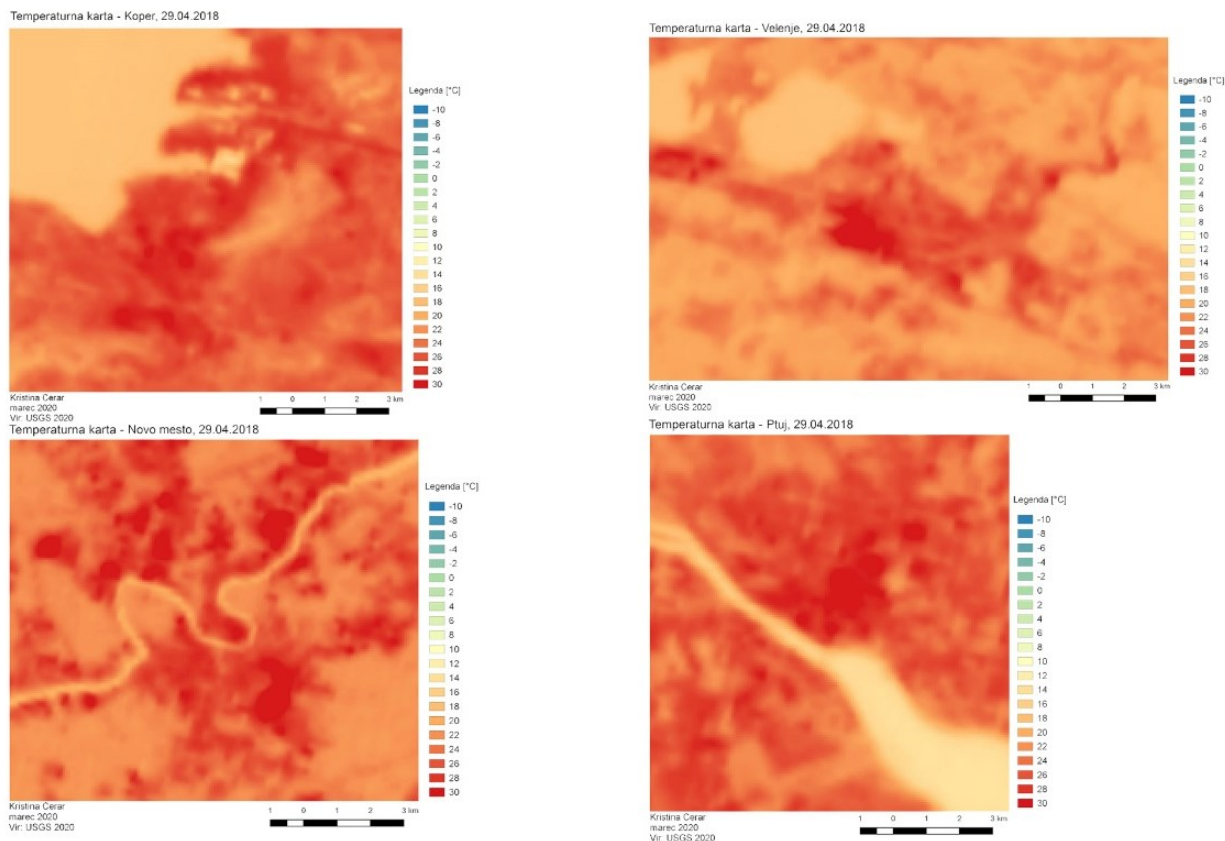




Slika 47: Temperature karte 07.04.2010

29.04.2018





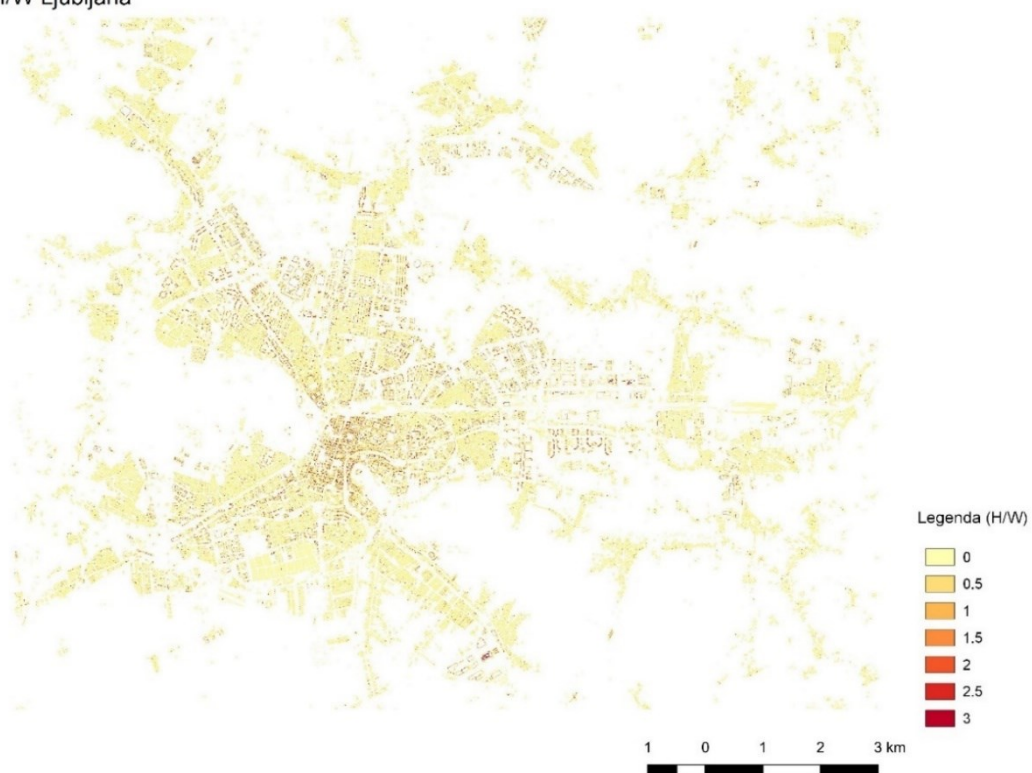
Slika 48: Temperaturne karte 29.04.2018

6.4 Vrednotenje H/W, β , ΔQ_S in QF

6.4.1 H/W – (mestni) ulični kanjon

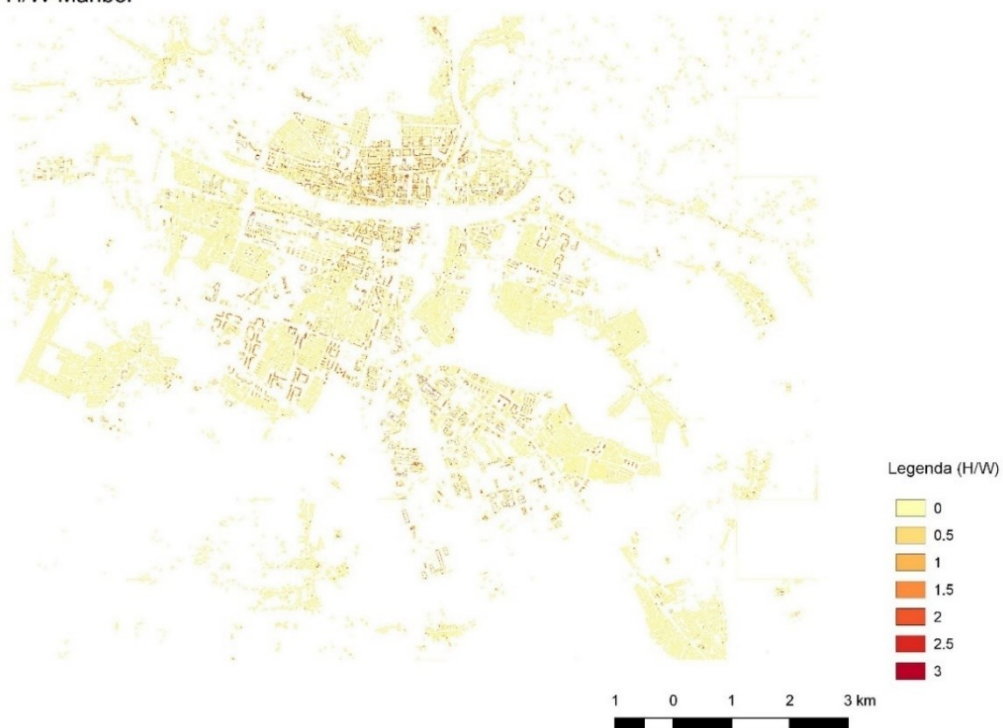
Zelo visoke stavbe (nad 60 m) so redkost, je pa ponekod gostota zgradb povzročila nesorazmerno ozke ceste, zlasti v središčih mest. Mestni kanjoni, ki imajo vrednost razmerja H/W višje od 2 se nahajajo v okolici središč.

H/W Ljubljana



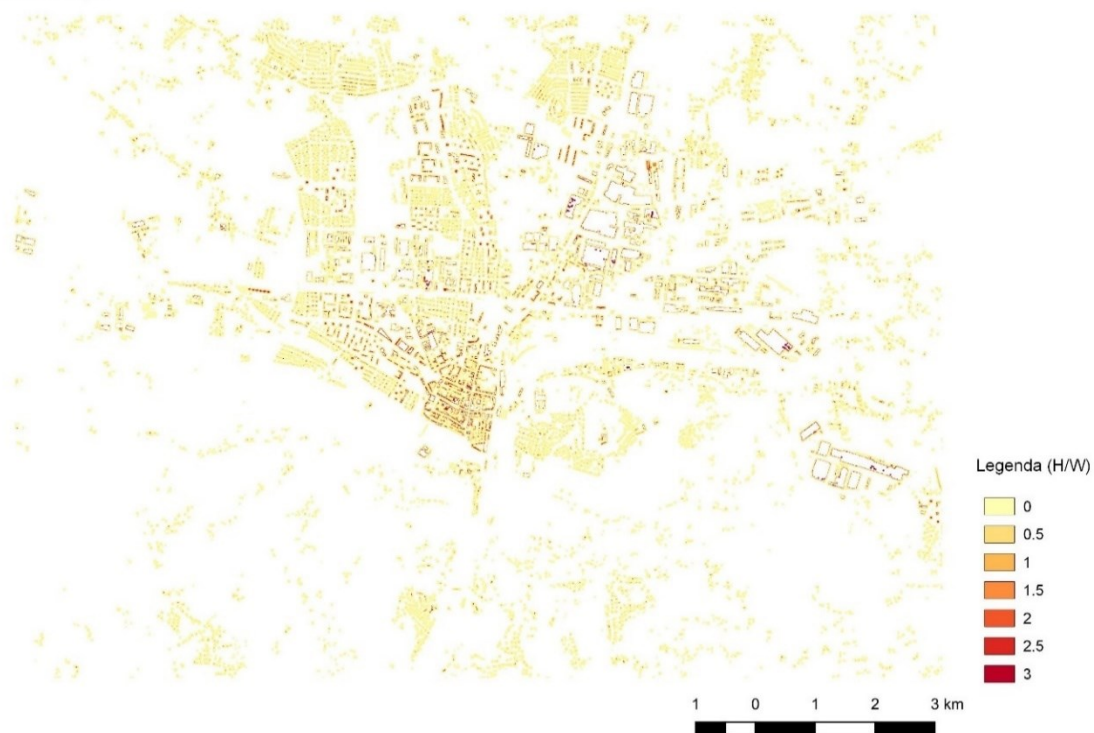
Slika 49: H/W Ljubljana

H/W Maribor



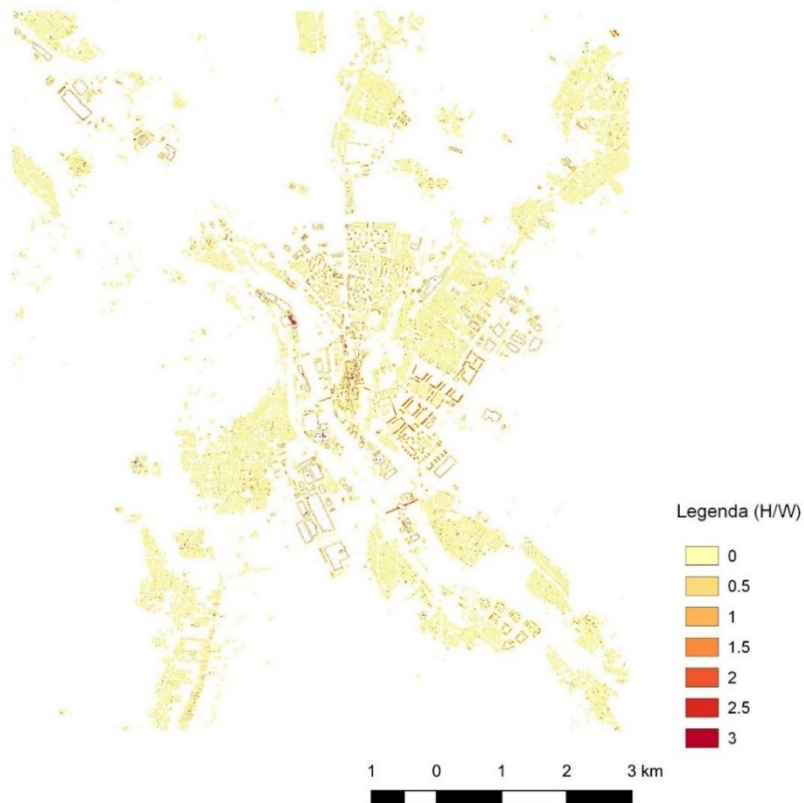
Slika 50: H/W Maribor

H/W Celje



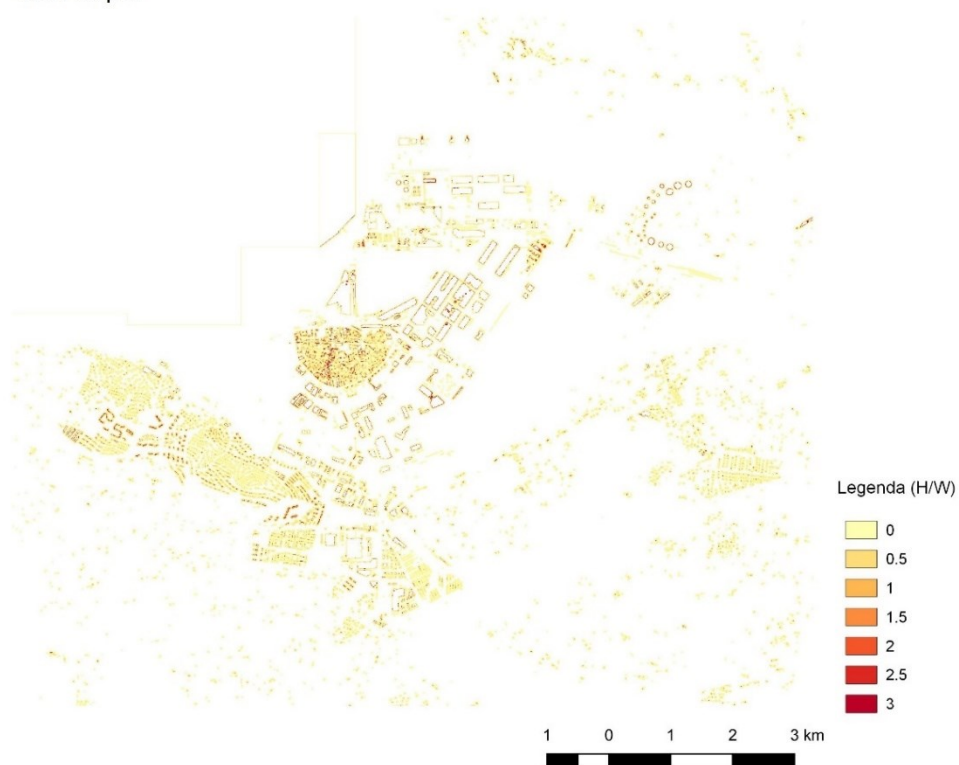
Slika 51: H/W Celje

H/W Kranj



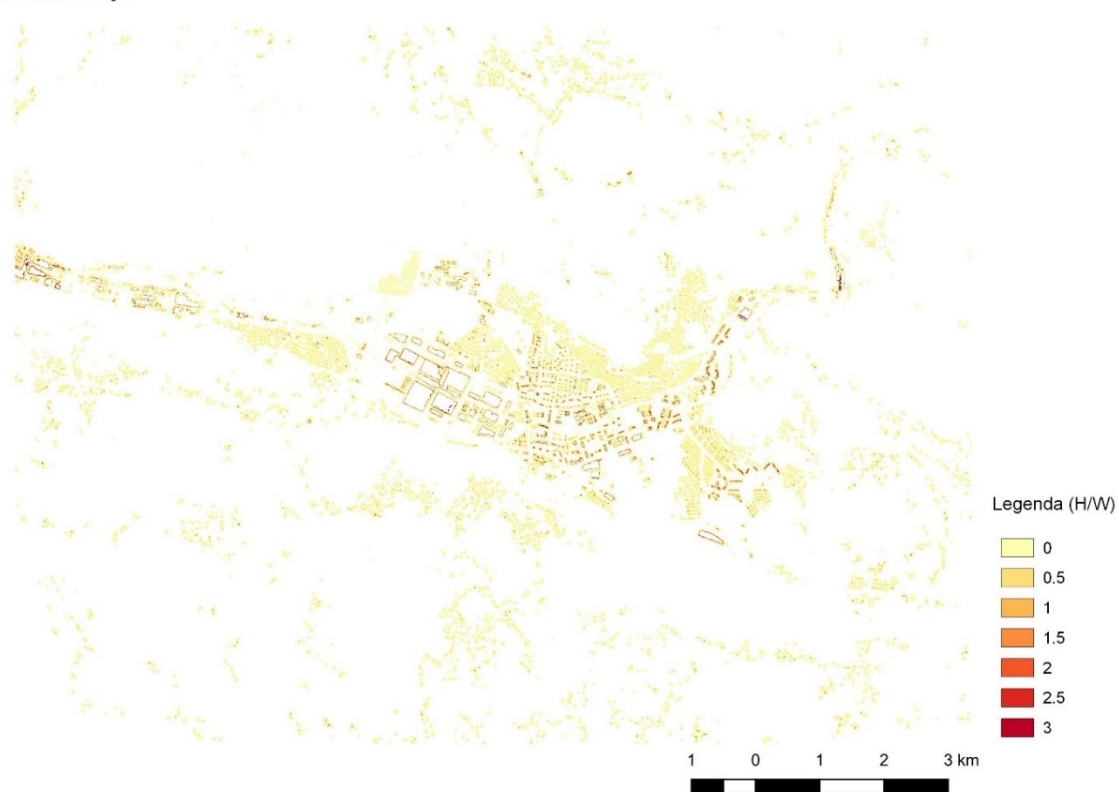
Slika 52: H/W Kranj

H/W Koper



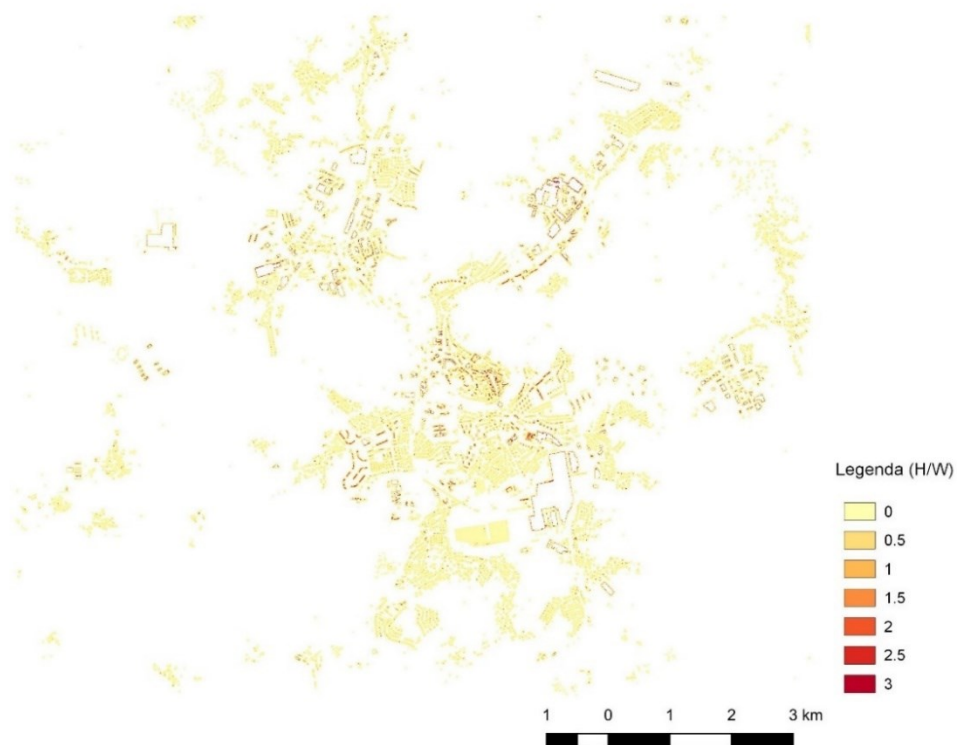
Slika 53: H/W Koper

H/W Velenje



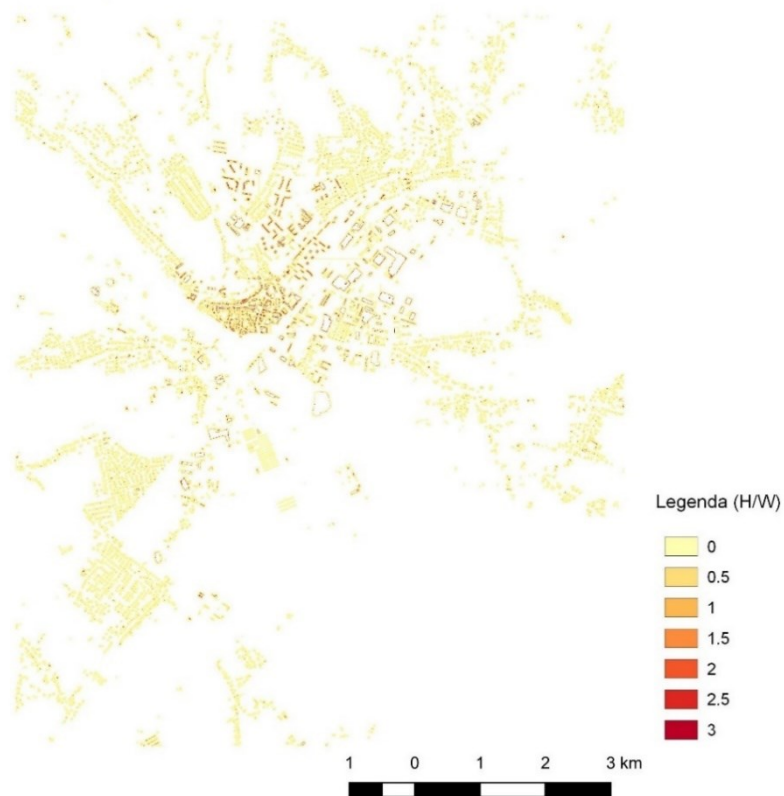
Slika 54: H/W Velenje

H/W Novo mesto



Slika 55: H/W Novo mesto

H/W Ptuj



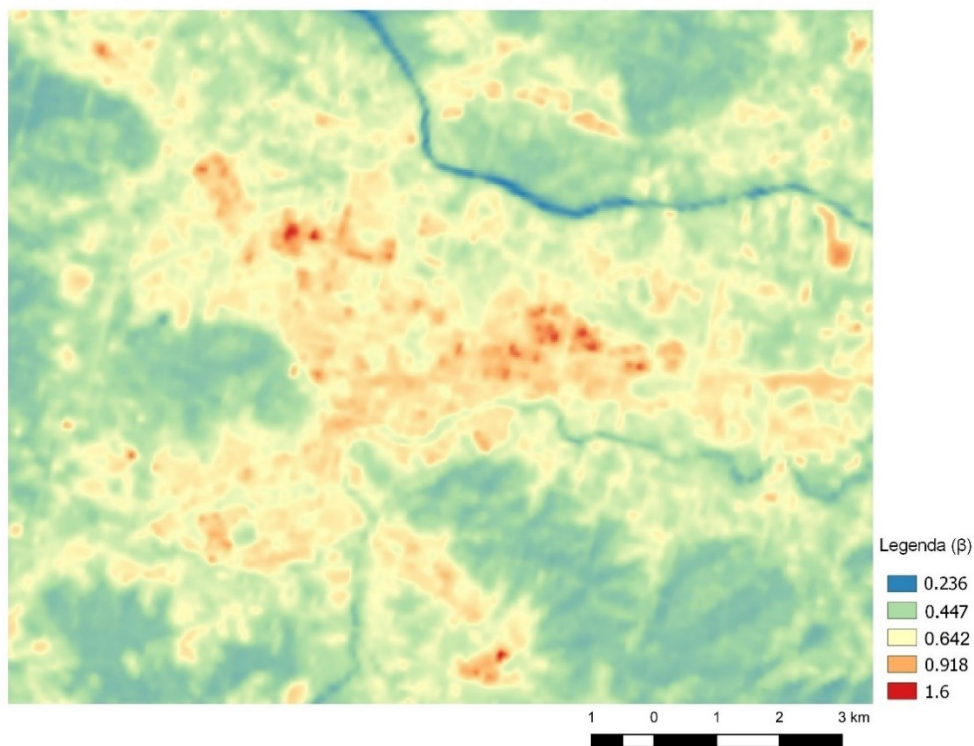
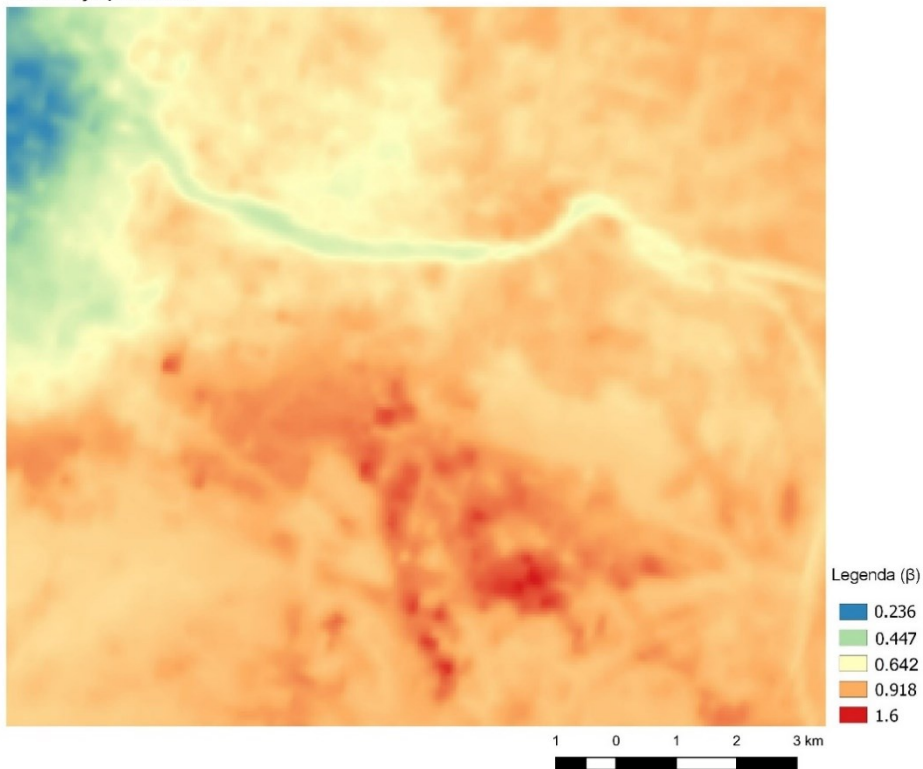
Slika 56: H/W Ptuj

6.4.2 β – Bowenovo razmerje

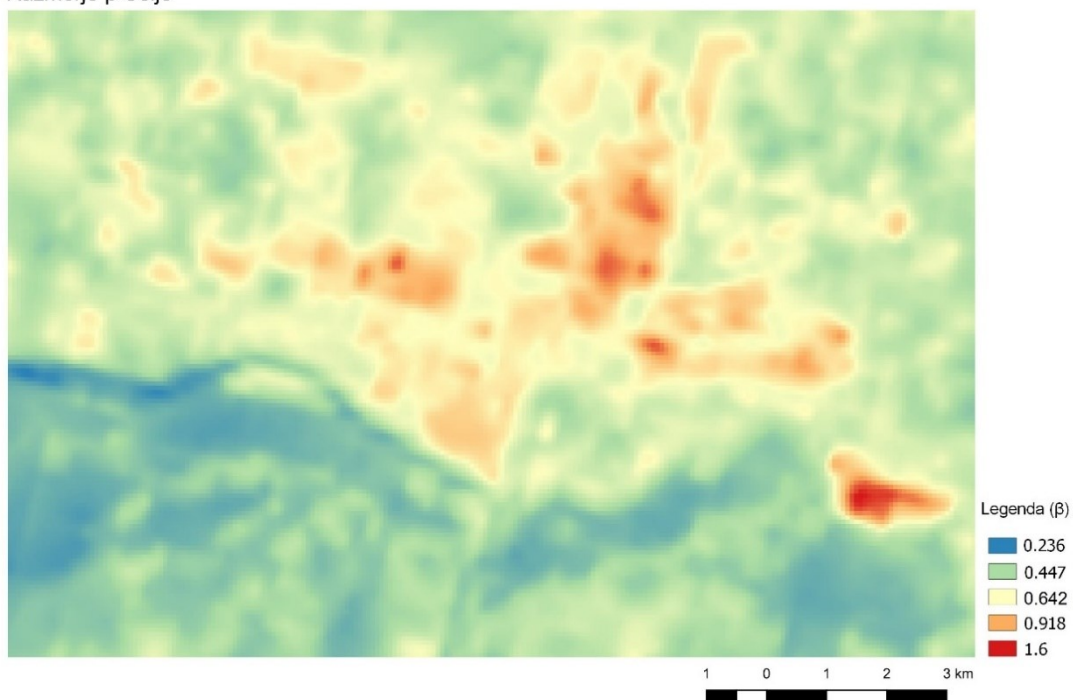
Na območju kjer je visoka gostota poselitve je vrednost največja in sicer 1,6, na primestnih območjih pa vrednost znaša pod 1,0. Če primerjamo pridobljene rezultate prevzete iz literature Parlow, E., ki so navedeni v spodnji preglednici, ugotovimo da so vrednosti med seboj primerljive.

Preglednica 14: Vrednosti β iz literature

Vrsta površine	Vrednost β	Razmerje Q_H in Q_E
Stanovanjsko območje z visoko gostoto poseljenosti	1,8	$Q_H > Q_E$
Stanovanjsko območje s srednjo gostoto poseljenosti	1,0	$Q_H = Q_E$
Stanovanjsko območje z nizko gostoto poseljenosti	0,8	$Q_H < Q_E$
Industrijsko območje	2,5	$Q_H > Q_E$
Iglasti gozd	0,7	$Q_H < Q_E$
Listnati gozd	0,4	$Q_H < Q_E$
Mešani gozd	0,5	$Q_H < Q_E$
Vrtnarstvo, vinogradi	0,5	$Q_H < Q_E$
Trava	0,6	$Q_H < Q_E$
Kmetijska območja	0,7	$Q_H < Q_E$

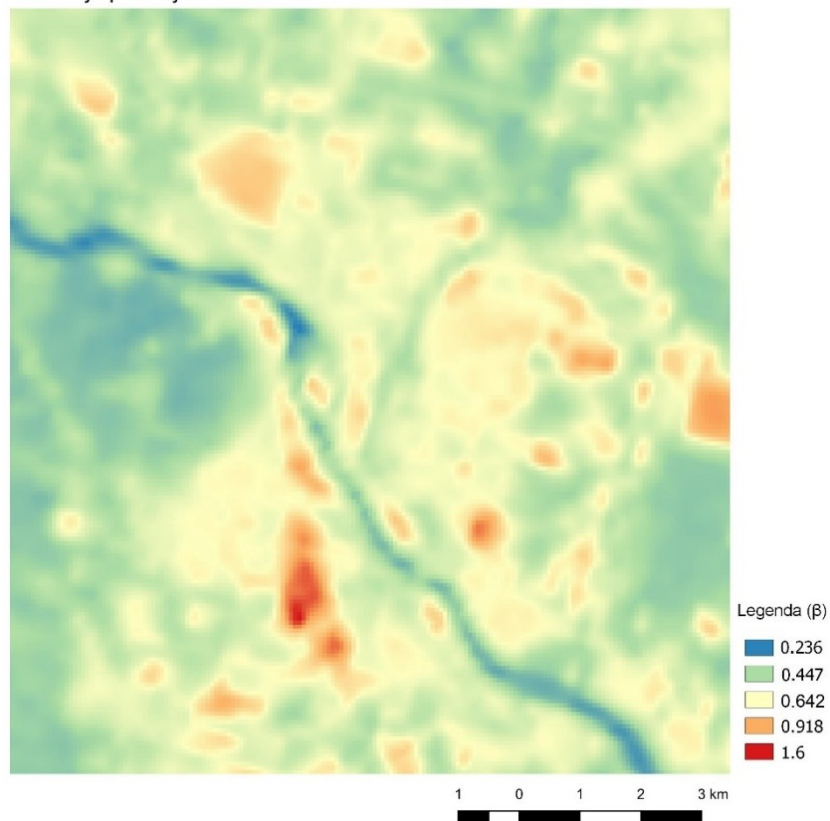
Razmerje β LjubljanaSlika 57: β LjubljanaRazmerje β MariborSlika 58: β Maribor

Razmerje β Celje

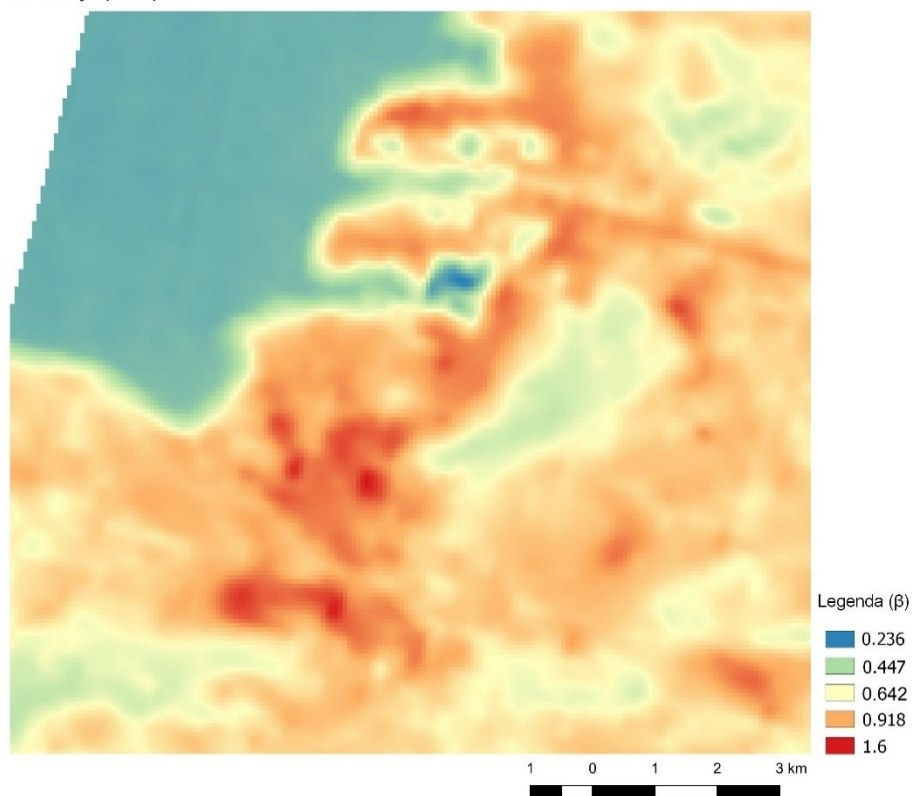
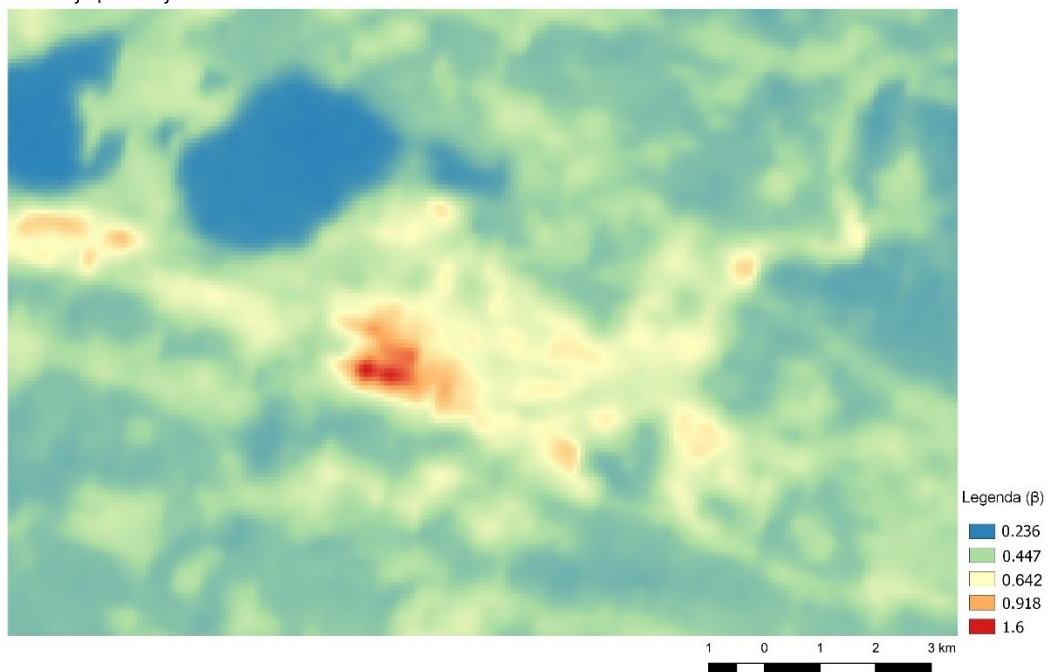


Slika 59: β Celje

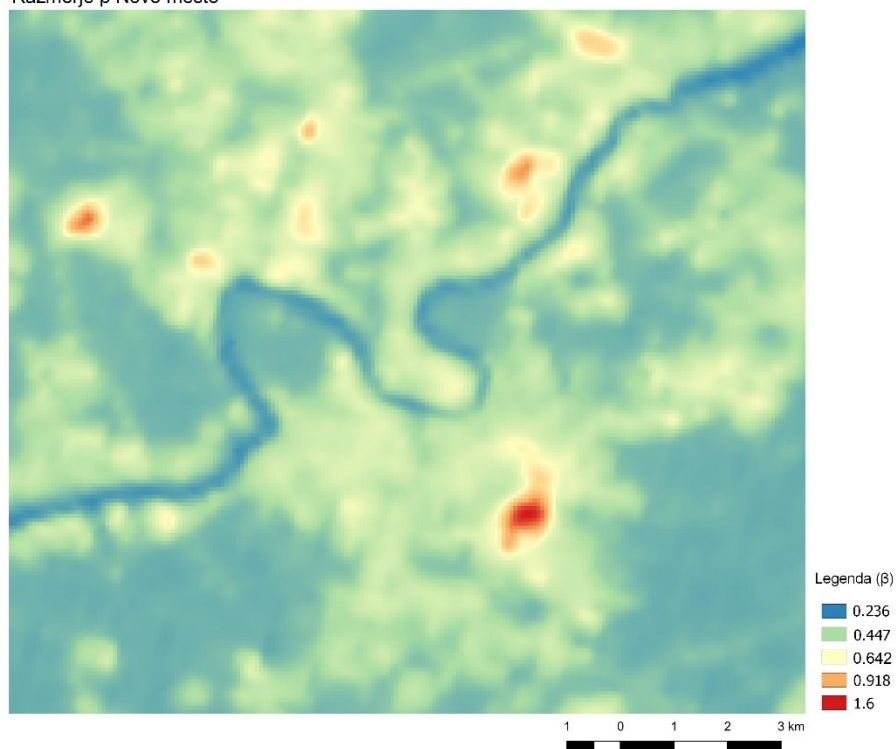
Razmerje β Kranj



Slika 60: β Kranj

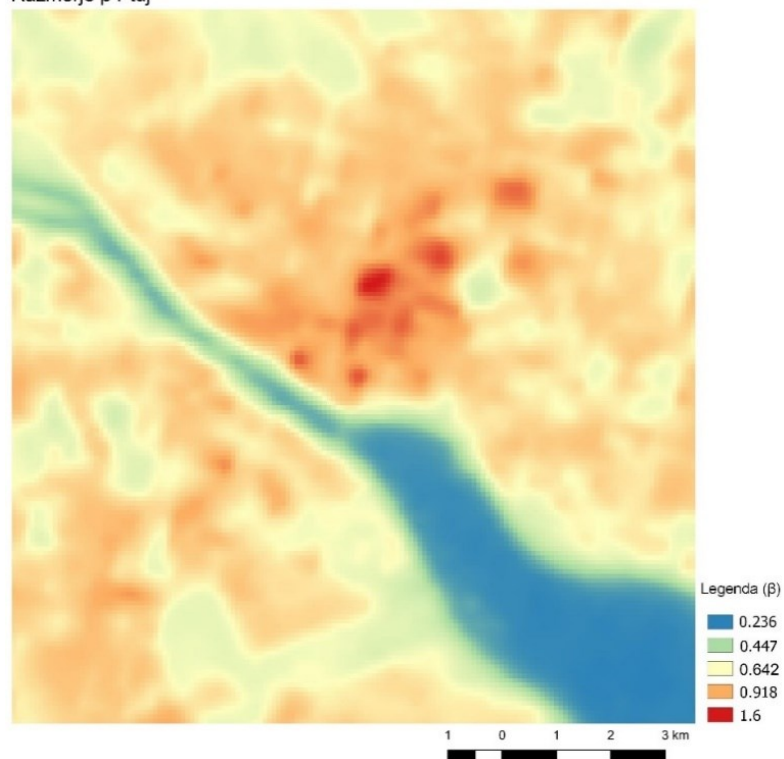
Razmerje β KoperSlika 61: β KoperRazmerje β VelenjeSlika 62: β Velenje

Razmerje β Novo mesto



Slika 63: β Novo mesto

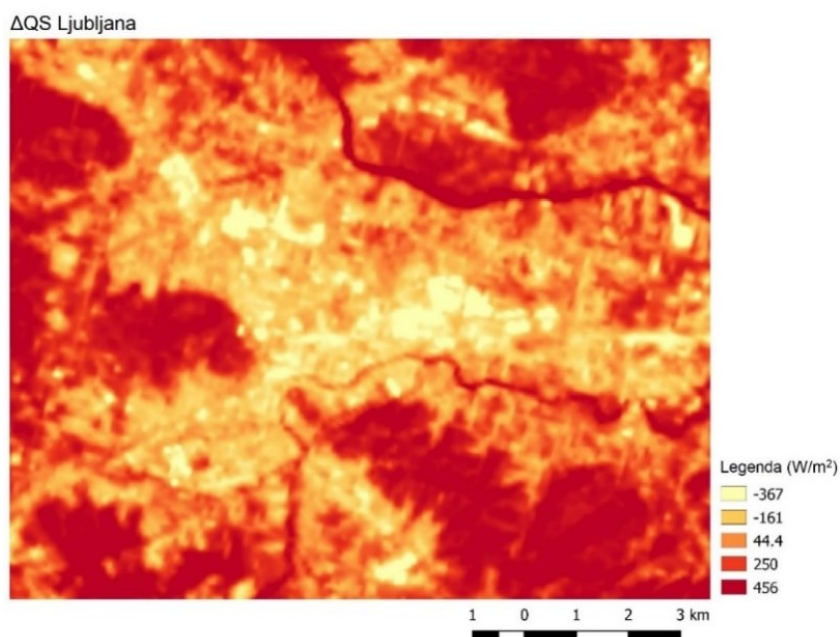
Razmerje β Ptuj



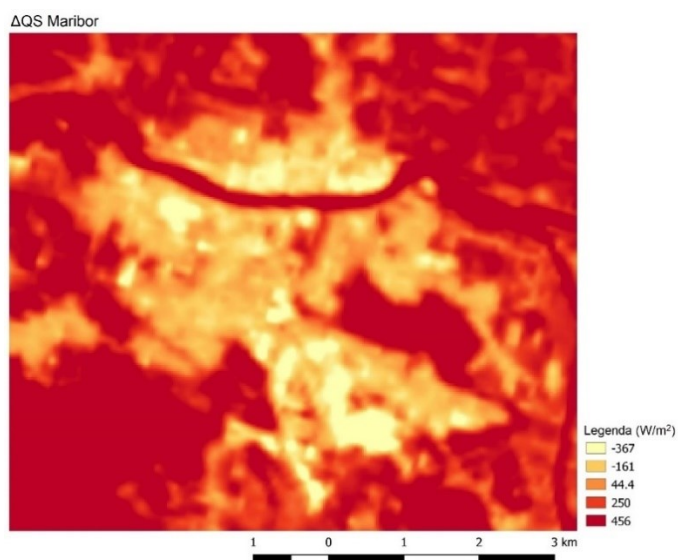
Slika 64: β Ptuj

6.4.3 ΔQ_s – kondukcijska toplotna kapaciteta zraka

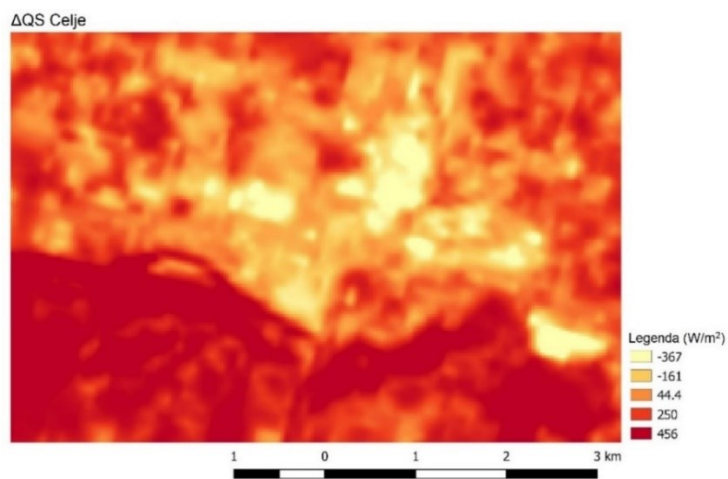
Visoke vrednosti dobro prikazujejo območje voda in vegetacije.



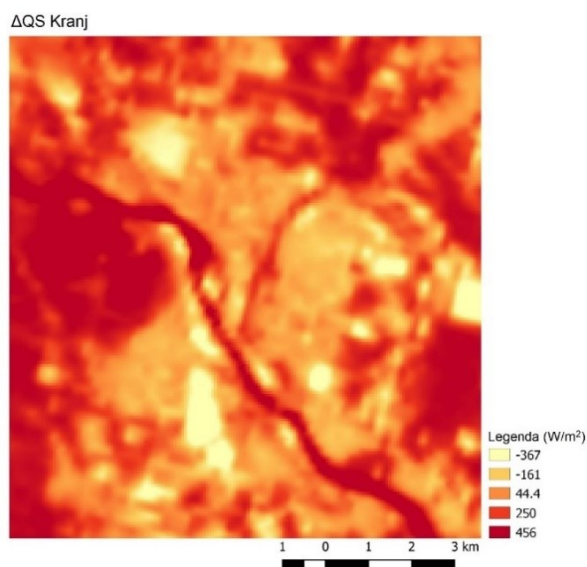
Slika 65: ΔQ_s Ljubljana



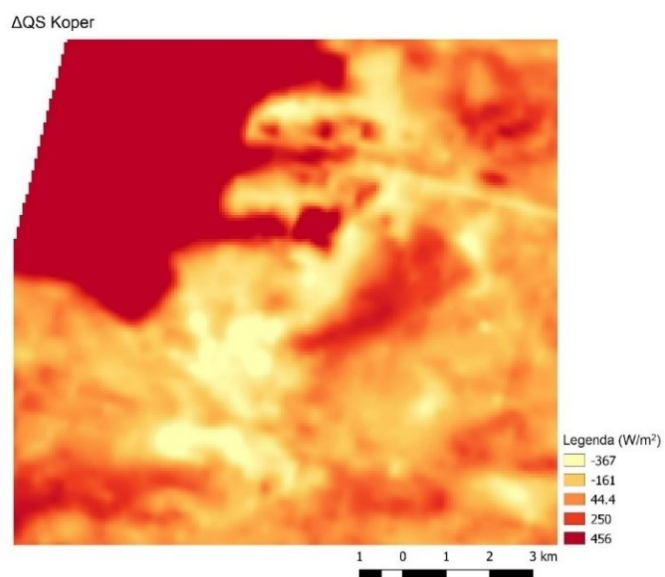
Slika 66: ΔQ_s Maribor



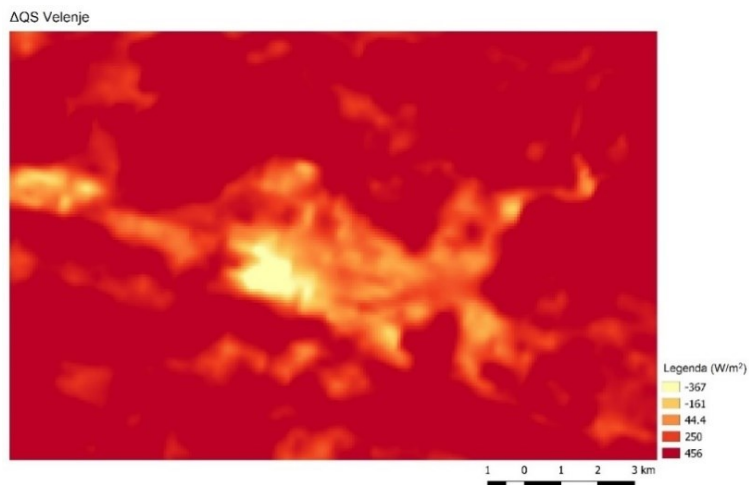
Slika 67: ΔQ_S Celje



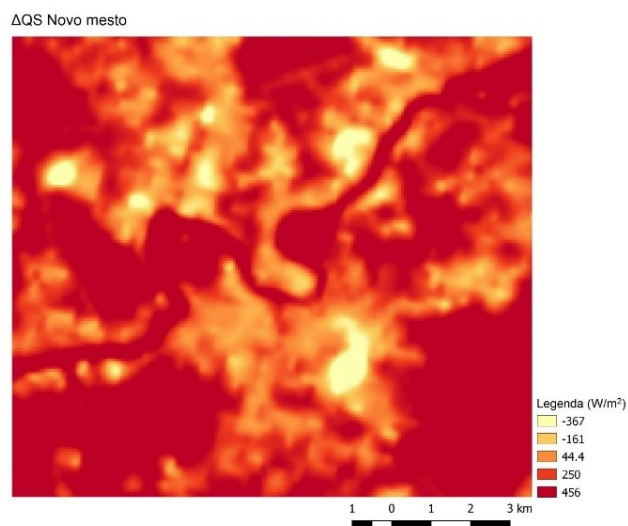
Slika 68: ΔQ_S Kranj



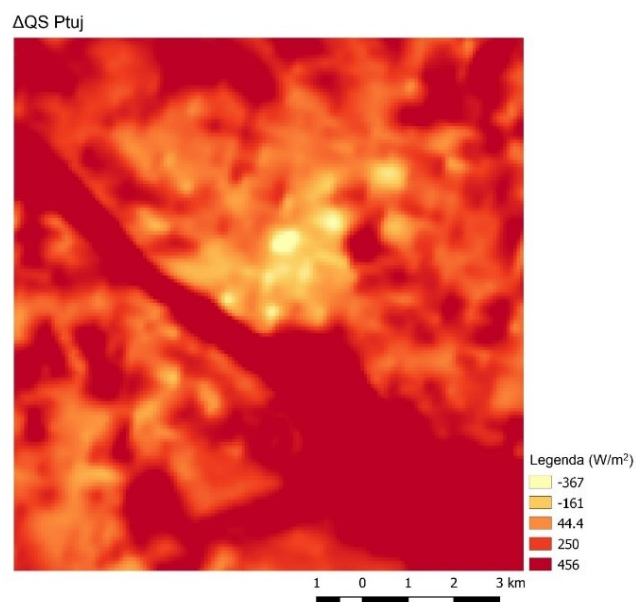
Slika 69: ΔQ_S Koper



Slika 70: ΔQS Velenje



Slika 71: ΔQS Novo mesto



Slika 72: ΔQS Ptuj

7 ZAKLJUČEK

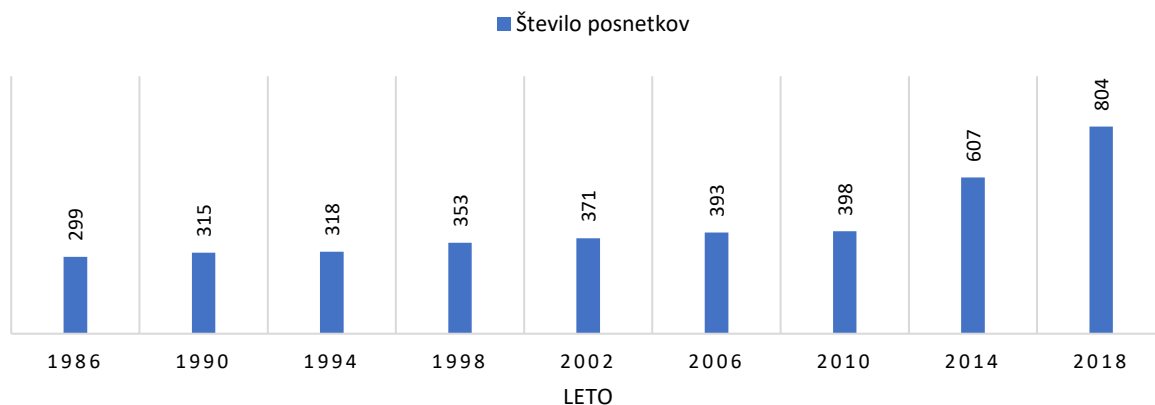
Mestni toplotni otok ni samo trenuten dejavnik v okolju, temveč je posledica preteklosti, s katero se bomo morali soočati tudi v prihodnosti, saj mestna infrastruktura marsikje še ni prilagojena na ta pojav. Hkrati je potrebno delovati tudi proaktivno v smeri ozaveščanja prebivalstva. Z razlogom smo lahko namreč zaskrbljeni, saj bo povečevanje števila mestnih toplotnih otokov v mestih brez primernih ukrepov za njihovo preprečevanje zagotovo prispevalo k slabšanju kakovosti življenjskega okolja in s tem tudi življenja nasploh. Pri urejanju mest je zato treba načrtovati tudi ukrepe za zmanjševanje mestnih toplotnih otokov (Žibret, 2014).

Z diplomsko nalogo sem želela ugotoviti temperaturne razlike med središčem mesta in njegovo okolico ter posledično določiti velikost, obliko in intenziteto mestnega toplotnega otoka. Dokazala sem, da se mestni toplotni otoki pojavljajo tudi v površinsko manjših mestih kot je recimo Ptuj, ne samo v večjih, pričakovanih, kot je Ljubljana. Dobljene vrednosti površinskega mestnega toplotnega otoka SUHI so največje v poletnih mesecih, kar je v skladu z dejstvom, da so površinski mestni toplotni otoki SUHI najintenzivnejši v dneh z najvišjo temperaturo. Razlike maja in junija, niso velike. SUHI je občutno manjši jeseni in pozimi. Za ta del diplomske naloge sem uporabila brezplačne podatke, s slabšo prostorsko ločljivostjo. Menim, da so podatki zadostovali mojim preučevanjem, če pa bi se določevalo še na manjših mestih bi bilo potrebno uporabiti satelitske podatke s še boljšo prostorsko ločljivostjo. Poleg boljših podatkov bi bilo potrebno upoštevati tudi emisivnost kovinskih streh, saj se le-te bolj ohladijo oziroma segrejejo od okolice in imajo posledično vpliv na analizo.

Želela sem izračunati tudi kazalnik izpostavljenosti mestni toploti UHeatEX ter ugotoviti njegovo primernost na območju Slovenije. Teh dveh ciljev nisem dosegla, zaradi tega, ker sam izračun že presega obseg diplomskega dela. Ključno težavo so predstavljali potrebni parametri. Izračun le-teh sem naredila, a sem uporabila splošne vrednosti, ter jih prevzela kot konstante torej, da se vrednosti prostorsko ne spreminjajo. Tu se pojavi vprašanje, ki je lahko ideja za nadaljnje raziskave in sicer, da bi se za območja v Sloveniji spremljalo te določene parametre in bi s tem pridobili bolj natančne rezultate.

Ob pisanju diplomske naloge sem se srečala s problematiko slabih satelitskih posnetkov ter pojavljanjem ponavljajočih se vrednosti. Na sliki 75 je predstavljeno število posnetkov v izbranem časovnem obdobju. Opazno je, da je največ posnetkov v zadnjih dveh letih, torej 2014 in 2018.

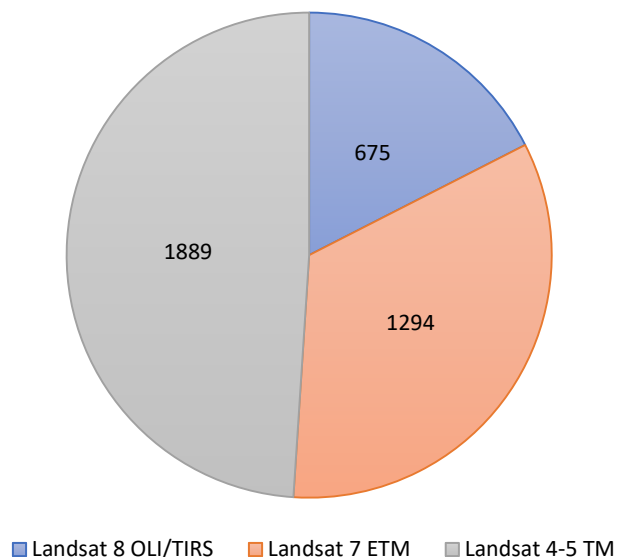
ŠTEVILO SATELITSKIH POSNETKOV LANDSAT V ČASOVNEM OBDOBJU 1986–2018



Slika 73: Grafični prikaz števila satelitskih posnetkov Landsat v časovnem obdobju 1986 – 2018

Na sliki 76 je predstavljeno število posnetkov po posameznih satelitih. Opazno je da ima, satelit Landsat 4-5 TM, za izbrano časovno obdobje največ posnetkov, kar je tudi logično, saj sta satelita snemala najdlje.

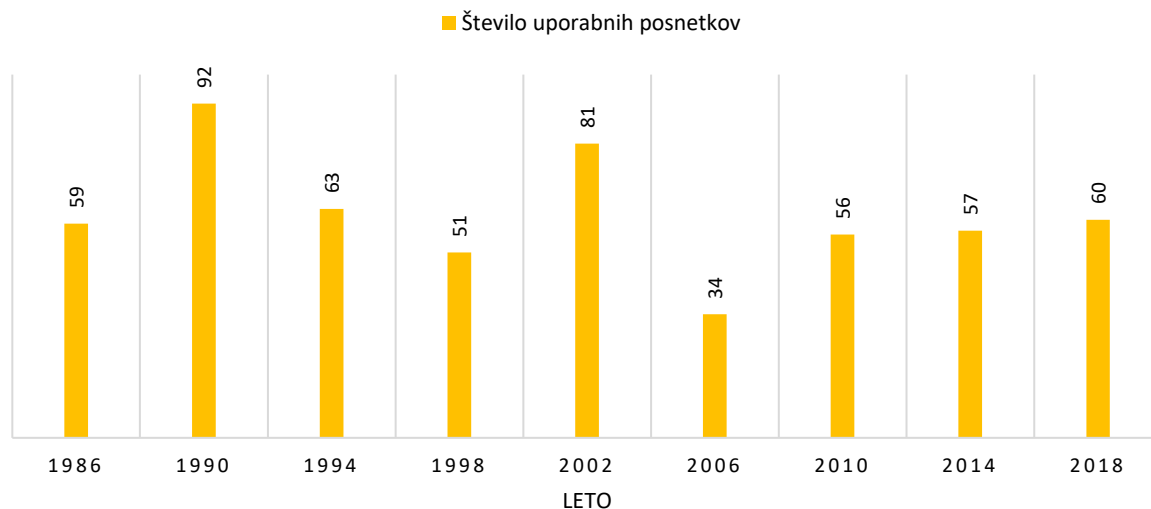
ŠTEVILO SATELITSKIH POSNETKOV LANDSAT V ČASOVNEM OBDOBJU 1986–2018 PO SATELITIH



Slika 74: Grafični prikaz števila satelitskih posnetkov Landsat v časovnem obdobju 1986 – 2018 po satelitih

Na sliki 77 je predstavljeno število uporabnih posnetkov v izbrani časovni vrsti. Opazno je, da so bile razmere leta 1990 in 2002 najbolj ugodne, saj je na voljo nadpovprečno število uporabnih posnetkov.

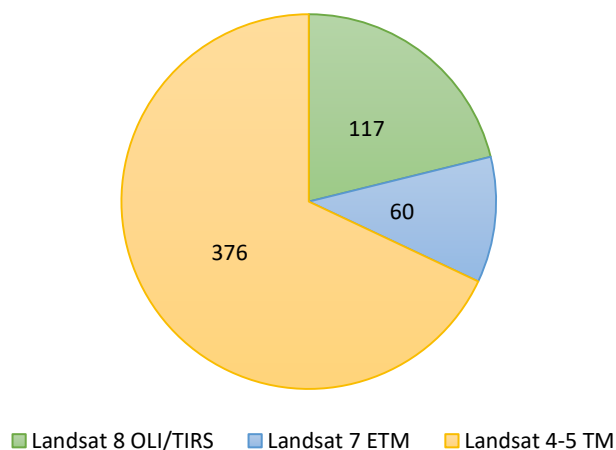
ŠTEVILO UPORABNIH SATELITSKIH POSNETKOV LANDSAT V ČASOVNEM OBDOBJU 1986–2018



Slika 75: Grafični prikaz števila uporabnih satelitskih posnetkov Landsat v časovnem obdobju 1986 – 2018

Na sliki 78 je prikazano število uporabnih posnetkov po različnih satelitih. Prav tako je opazno, da največje število uporabnih posnetkov prispevata satelita Landsat 4-5 TM.

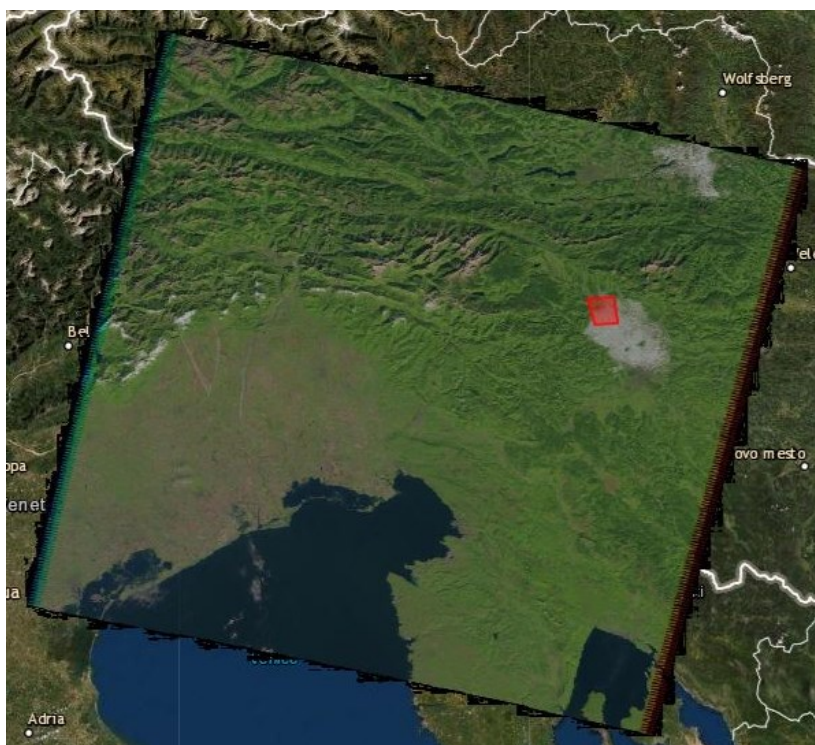
**ŠTEVILO UPORABNIH SATELITSKIH POSNETKOV LANDSAT V ČASOVNEM
OBDOBJU 1986–2018 PO SATELITIH**



Slika 76: Grafični prikaz števila uporabnih satelitskih posnetkov Landsat v časovnem obdobju 1986 — 2018 po satelitih

Tako sem za celotno časovno vrsto uspela pridobiti ustrezen satelitski posnetek, pri tem sem upoštevala tudi možnost odstopa od koraka štirih let, npr. upoštevala sem satelitski posnetek iz leta 1985, 1987, 1989 itd.

Veliko težavo sem imela tudi pri izbiri ustreznih satelitskih posnetkov, saj so predstavljati težavo oblaki, kot je razvidno s spodnje slike:



Slika 77: Prikaz težave pridobivanja ustreznih satelitskih posnetkov — oblaki

Težavo pa sem imela tudi pri sami obdelavi satelitskih posnetkov, namreč pri nekaterih posnetkih so se pojavljale ponavljajoče se vrednosti ($=17,93\text{ }^{\circ}\text{C}$). Vzroka pojava teh vrednosti nisem razrešila, sem pa le-te vrednosti uspešno maskirala, tako da se niso uporabljale v analizah.

V obravnavanih mestih se z urbanizacijo hitro večajo mestni toplotni otoki, zato je potrebno upoštevati le-to pri prostorskem načrtovanju in opredeljevanju mestnih dejavnosti. Glede na to, da lahko tip pozidave zelo vpliva tudi na prezračevnost mest in širjenje hladilnega učinka gozda oziroma zelenih površin, bi morala mesta pri načrtovanju novih površin upoštevati tudi to. Predlagala bi naslednje ukrepe:

- i. hladne strehe, ki zmanjšujejo oddajanje toplote,
- ii. zelene strehe, ki senčijo in povečujejo evapotranspiracijo (izhlapevanje vode s površine porasle z rastlinami, ki nastaja zaradi izhlapevanja vode s tal in izgubljanje vode iz rastlin v obliki vodne pare),
- iii. ustrezen izbor fasadnih površin in konstrukcij fasad, ki zmanjšajo obremenitve zaradi hlajenja/ogrevanja ter zmanjšajo temperaturo okolja,
- iv. geometrijo novih ulic oz. mestnega koridorja, ki bi omogočala dovod svežega ali hladnejšega zraka,
- v. sajenje drevja v mestnih predelih, načrtovanje parkov in zelenih območij, ki zmanjšujejo poletni višek temperature ter zmanjšujejo onesnaženost zraka.

Viri

Agathangelidis, I., Cartalis, C., Santamouris, M. 2019. Integrating Urban Form, Function, and Energy Fluxes in a Heat Exposure Indicator in View of Intra—Urban Heat Island Assessment and Climate Change Adaptation. *Climate* 2019, 7(6), 75.

<https://doi.org/10.3390/cli7060075> (Pridobljeno: 25.07.2020)

Burch, D. M., Chi, J. 1997. A PC Program for Predicting Heat and Moisture Transfer in Building Envelopes. National Institute of Standards and Technology, Special Publication 917: 47 str.

<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication917.pdf> (Pridobljeno: 25.07.2020)

Carlovicz, M. 2011. Measuring Earth's Albedo. The Earth Observatory.

<https://earthobservatory.nasa.gov/images/84499/measuring-earths-albedo> (Pridobljeno: 24.07.2020)

Ciglič, R., Geršič, M., Perko, D., Zorn, M. 2016. Digitalni podatki. GIS v Sloveniji 13. Ljubljana, Geografski inštitut Antona Melika, Založba ZRC: 272 str.

https://books.google.si/books?id=IDcuDwAAQBAJ&pg=PA107&lpg=PA107&dq=lidarski+pdoatki+z+natan%C4%8Dnostjo+1m&source=bl&ots=15fWx5QLiG&sig=ACfU3U3Oc3lBgv5yNhI_1AT3Tg_eNT8ncA&hl=sl&sa=X&ved=2ahUKEwiMjs7IyKzqAhUDqXEKHXNaCCcQ6AEwAHoECAkQAQ#v=onepage&q=lidarski%20pdoatki%20z%20natan%C4%8Dnostjo%201m&f=false (Pridobljeno: 25.07.2020)

Congedo, L. 2016. Semi-Automatic Classification Plugin Documentation.

<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1> (Pridobljeno: 24.07.2020)

Flanner, M. G. 2009. Integrating anthropogenic heat flux with global climate models, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L02801.

<https://doi.org/10.1029/2008GL036465> (Pridobljeno: 24.07.2020)

Dunlop Solar J. 2012. Chapter 2. Solar Radiation. Terminology & Definitions Geometric & Atmospheric Effects Solar Power & Energy Measurements & Data Jim Dunlop Solar.

<http://ecglp.com/files/3514/0200/1304/2—Solar—Radiation.pdf> (Pridobljeno: 24.07.2020)

Dolinar, M. 2006. Podnebne razmere v Sloveniji (obdobje 1971–2000). Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje.

https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/podnebne_razmere_v_sloveniji_71_00.pdf (Pridobljeno: 07.07.2020)

Engineering ToolBox. 2010. Water – Heat of Vaporization.

https://www.engineeringtoolbox.com/water-properties-d_1573.html (Pridobljeno: 24.07.2020)

Geodetski inštitut Slovenije. 2015. Izvedba laserskega skeniranja Slovenije. Blok 35 – tehnično poročilo o izdelavi izdelkov.

http://gis.arso.gov.si/related/lidar_porocila/b_35_izdelava_izdelkov.pdf (Pridobljeno: 03.06.2020)

Gribble, S. Air density calculator.

https://www.gribble.org/cycling/air_density.html (Pridobljeno: 24.07.2020)

Hočevár, M., Dular, M. 2016. Osnove inženirstva. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Katedra za energetska strojništvo: 233 str.

http://lab.fs.uni-lj.si/kes/osnove_inzenirstva/osnove_inzenirstva.pdf (Pridobljeno: 24.07.2020)

Howard, I. 1818. The Climate of London, Vol 1.

https://books.google.si/books?id=7skTAAAYAAJ&printsec=frontcover&hl=sl&source=gbg_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false (Pridobljeno: 24.07.2020)

- Ivajnsič, D. 2010. Toplotni otok Ljutomera. Geografski obzornik letnik 57. številka 2 str. 14-21.
<http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:doc-MCLP5ZKZ> (Pridobljeno: 24.05.2020)
- Jakoš, A. 2006. Ljubljane – faze urbanega razvoja. Urbani izziv letnik 17. številka 1/2 str. 12-17+176-180.
<http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:doc-IDPO4B3R> (Pridobljeno: 24.07.2020)
- Komac, B., Ciglič, R., Pavšek, M., Kokalj, Ž. 2017. Naravne nesreče v mestih – primer mestnega toplotnega otoka. Ig, ZRC SAZU.
http://nns.zrc-sazu.si/Portals/24/2017/04_Pavsek.pdf (Pridobljeno: 24.05.2020)
- Kučič, L. J. 2018. Vročinski valovi: globalno segrevanje ogroža več 100 tisoč Slovencev. MMC RTV Slovenija.
<https://www.rtvlo.si/moja-generacija/vrocinski-valovi-globalno-segrevanje-ogroza-vec-100-ti-soc-slovencev/473531> (Pridobljeno: 28.07.2020)
- Lindberg, F. Olofson, K.F.G., Sun, T. et al. 2020. Urban storage heat flux variability explored using satellite, meteorological and geodata. Theor Appl Climatol 141, 271–284
<https://doi.org/10.1007/s00704-020-03189-1> (Pridobljeno: 25.07.2020)
- Liu, S., Mao, D., Lu, L., Jia, L. 2007. Evaluating parameterizations of aerodynamic resistance to heat transfer using field measurements. Hydrol. Earth Syst. Sci., 11, 769–783.
<https://doi.org/10.5194/hess-11-769-2007> (Pridobljeno: 24.07.2020)
- Luka Koper, 2015. Več o zgodovini.
<https://luka-kp.si/slo/zgodovina-druzbe> (Pridobljeno: 24.07.2020)
- Menberg, K., Blum, P., Schaffiteel, A. Bayer, P. 2013. Long-Term Evolution of Anthropogenic Heat Fluxes into a Subsurface Urban Heat Island. Environ. Sci. Technol. 2013, 47, 17, 9747–9755.
<https://doi.org/10.1021/es401546u> (Pridobljeno: 24.07.2020)
- Mestna občina Kranj. 2020. Poslovne cone.
<https://www.kranj.si/kranj-moje-mesto/poslovni-portal/poslovne-cone> (Pridobljeno: 24.07.2020)
- Mestna občina Maribor. Lega in podnebje.
<http://www.maribor.si/povezava.aspx?pid=3794> (Pridobljeno: 24.07.2020)
- Mestna občina Velenje. Predstavitev.
<https://www.velenje.si/o-velenju/predstavitev> (Pridobljeno: 24.07.2020)
- Mills, G. 2008. Luke Howard and The Climate of London. Weather, Vol. 63, No. 6
<https://doi.org/10.1002/wea.195> (Pridobljeno: 25.07.2020)
- Mulahusić, A., Tuno, N., Topoljak, J., Kolić, T., Kogoj, D. 2018. Satelitsko termično snemanje Sarajeva. Geodetski vestnik, Vol. 62, No. 2.
http://www.geodetski-vestnik.com/62/2/gv62-2_mulahusic.pdf (Pridobljeno: 24.05.2020)
- Nave, R. 2017. HyperPhysics. Relative Humidity.
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Kinetic/relhum.html#c1> (Pridobljeno: 24.07.2020)
- Niu, L., Tang, R., Jiang, Y., Zhou, X. 2020. Spatiotemporal Patterns and Drivers of the Surface Urban Heat Island in 36 Major Cities in China: A Comparison of Two Different Methods for Delineating Rural Areas. Sustainability, 12(2), 478.
<https://doi.org/10.3390/su12020478> (Pridobljeno: 25.06.2020)
- Ogrin, D. 1996. Podnebni tipi v Sloveniji. Geografski vestnik, V. 68, str. 39-56.
<http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:DOC-NDDCHX2Y> (Pridobljeno: 24.07.2020)

Oštir, K. 2006. Daljinsko zaznavanje. Ljubljana, Inštitut za antropološke in prostorske študije, Založba ZRC: 252 str.

<https://iaps.zrc-sazu.si/sites/default/files/9616568728.pdf> (Pridobljeno: 24.05.2020)

Parlow, E. Urban climate – analysis of radiation and heat fluxes. Meteorology, Climatology and Remote Sensing (MCR Lab). University Basel, Department of Environmental Sciences.

<https://earth.esa.int/documents/973910/2642313/EP2.pdf> (Pridobljeno: 20.08.2020)

Pifwirny, M. 2006. Net Radiation and the Planetary Energy Balance. Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition.

<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7i.html> (Pridobljeno: 24.07.2020)

Plone – odprtokodni sistem za upravljanje vsebin in enciklopedij. 2020. Splošno dovoljenje GNU.

<http://www.lugos.si/linux/licence/gpl> (Pridobljeno: 24.07.2020)

Roberts, S. M., Oke, T.R., Grimmond, C.S.B., Voogt, J.A. 2006. Comparison of Four Methods to Estimate Urban Heat Storage. J. Appl. Meteor. Climatol. (2006) 45 (12): 1766–1781.

<https://doi.org/10.1175/JAM2432.1> (Pridobljeno: 20.08.2020)

Roberts, M. 2019. Summer heatwave 'death spike' seen in UK. BBC News online.

<https://www.bbc.com/news/health-49958201> (Pridobljeno: 01.08.2020)

QGIS Documentation. 2020. QGIS User Guide.

https://docs.qgis.org/3.10/en/docs/user_manual/ (Pridobljeno: 24.07.2020)

Safe Software Inc. 2020. FME Desktop Tour.

<https://www.safe.com/fme/fme-desktop/tour/2019.0> (Pridobljeno: 24.07.2020)

Senzal. 2015. Tabela točke rosišča.

http://www.senzal.si/files/tabela_tocke_rosisca.pdf (Pridobljeno: 24.07.2020)

SourceForge. 2020. About SourceForge.

<https://sourceforge.net/about> (Pridobljeno: 24.07.2020)

TIC Celje. Urbanizacija.

<https://www.celje.si/sl/content/urbanizacija> (Pridobljeno: 24.07.2020)

UCSD. Saturation specific humidity.

<http://meteora.ucsd.edu/~iacob/sio20/slides/slides012513.pdf> (Pridobljeno: 25.07.2020)

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo. Kinematika – tabele.

<http://lab.fs.uni-lj.si/kolt/fizika/fsuni/Tabele.pdf> (Pridobljeno: 24.07.2020)

Univerza v Ljubljani; Biotehniška fakulteta. Posebnosti urbane klime in okolja. 2017.

https://studentski.net/gradivo/ulj_bt_fak2_kli_sno_posebnosti_urbane_klime_in_okolja_01
(Pridobljeno: 24.07.2020)

Vallati, A., Grignaffini, S., Romagna, M., Mauri, L., Colucci, C. 2016. Influence of Street Canyon's Microclimate on the Energy Demand for Space Cooling and Heating of Buildings. Energy Procedia, Elsevier, V. 101, str. 941-947.

<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.119> (Pridobljeno: 24.07.2020)

Weisstein, E.W. 1996–2007. Stefan–Boltzmann Constant.

<https://scienceworld.wolfram.com/physics/Stefan-BoltzmannConstant.html> (Pridobljeno: 24.07.2020)

Wicki, A., Parlow, E., Feigenwinter C. 2018. Evaluation and Modeling of Urban Heat Island Intensity in Basel, Switzerland. *Climate*, 6(3), 55.

<https://doi.org/10.3390/cli6030055> (Pridobljeno: 24.07.2020)

Zavod Novo mesto.

<https://www.visitnovomesto.si/home/document/docid/5624?back=/novo-mesto> (Pridobljeno:

24.07.2020)

Žibret, A. 2014. Segrevanje glavnega mesta se iz središča seli na obrobje. Ljubljana, Delo.

<https://www.delo.si/novice/ljubljana/segrevanje-glavnega-mesta-se-iz-sredisca-seli-na-obrobje.html>

(Pridobljeno: 09.09.2020)