

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



DIPLOMSKA NALOGA

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE STOPNJE GEODEZIJA IN GEOINFORMATIKA

Ljubljana, 2018

Univerza
v Ljubljani

*Fakulteta za
gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500 faks
(01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**UNIVERZITETNI
ŠTUDIJSKI PROGRAM
PRVE STOPNJE
GEODEZIJA IN
GEOINFORMATIKA**

Kandidat/-ka:

Mentor/-ica:

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

Član komisije:

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	528.837:712(497.4)(043.2)
Avtor:	Maruša Cestnik
Mentor:	prof. dr. Krištof Oštir
Somentor:	viš. pred. dr. Mojca Foški
Naslov:	Kako zelena so slovenska mesta
Tip dokumenta:	diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	30 str., 7 pregl., 19 sl., 8. graf., 2 en.
Ključne besede:	zelene površine, mesta, NDVI, satelitski posnetki, Sentinel-2A, Landsat

Izvleček

V diplomski nalogi smo, z analizo satelitskih posnetkov, določili delež zelenih površin na določenem območju. Obravnavana so območja izbranih slovenskih mest in ljubljanskih četrti. Opisana je metoda, s katero lahko določimo mejo mest. Arhiv satelitskih posnetkov je zelo obsežen, dostop do njih pa preprost in brezplačen. Za potrebe naših analiz smo prenesli podatke satelitov Sentinel-2A, Landsat 5 in Landsat 8. Zelenost območij smo določili z izračunom normiranega diferencialnega vegetacijskega indeksa (NDVI). Na podlagi teh rezultatov smo lahko določili, kako močno so zelena slovenska mesta in kakšen je delež zelenih površin v mestu. Izvedli smo tri analize, in sicer primerjavo med šestimi slovenskimi mesti (Ljubljana, Maribor, Celje, Kranj, Novo mesto in Koper), primerjavo med štirimi ljubljanskimi četrtimi skupnostmi (Center, Bežigrad, Šiška in Moste) ter na koncu še analizo sprememb v zelenosti mesta Ljubljana, v obdobju od leta 1984 do leta 2017. Za vsako analizo so v rezultatih prikazane karte vrednosti NDVI in mej območij ter dodan histogram vrednosti NDVI.

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 528.837:712(497.4)(043.2)
Author: Maruša Cestnik
Supervisor: Assist. Prof. Krištof Oštir, Ph. D.
Co-advisor: Sen. Lect. Mojca Foški, Ph. D.
Title: How green are Slovenian cities
Document type: Graduation Thesis – University studies
Scope and tools: 30 p., 7 tab., 19 fig., 8 graph., 2 eq.
Keywords: green areas, cities, NDVI, satellite images, Sentinel-2A, Landsat

Abstract

In the graduation thesis, we have determined the proportion of green areas on a certain area with analysis of satellite images. Reviewed are areas of certain Slovenian cities and quarters of Ljubljana. A method for determining the borders of cities is described. The archive of satellite images is very extensive and access to them is simple and free. For our analysis, we have downloaded the data from satellites Sentinel-2A, Landsat 5 and Landsat 8. We have determined the greenness of surfaces with the calculation of normalized difference vegetation index (NDVI). Based on the results, we could determine how green are the Slovenian cities and what is the proportion of green areas in the city. We performed three analyzes, namely a comparison between six Slovenian cities (Ljubljana, Maribor, Celje, Kranj, Novo mesto and Koper), a comparison between four city quarters of Ljubljana (Center, Bežigrad, Šiška and Moste) and an analysis of changes in greenness of Ljubljana in the period from 1987 to 2017. For each analysis, there are maps with NDVI values and borders of areas in the results. There are also added Histograms of NDVI values.

»Ta stran je namenoma prazna.«

ZAHVALA

V prvi vrsti bi se rada zahvalila mentorju prof. dr. Krištofu Oštirju in somentorici viš. pred. dr. Mojci Foški za vse strokovne usmeritve, nasvete in popravke tekom nastajanja diplomske naloge.

Hvala družini za vso spodbudo in podporo.

Posebna zahvala gre prijateljem in študijskim kolegom – za tri čudovito preživeta študijska leta.

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA.....	I
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	III
BIBLIOGRAFIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT.....	V
ZAHVALA.....	VII
1 UVOD.....	1
1.1 Namen in cilji.....	2
2 MESTA IN ZELENE POVRŠINE	3
2.1 Zelene površine.....	3
3 SATELITSKI POSNETKI	4
3.1 Sateliti Sentinel.....	4
3.2 Sateliti Landsat.....	6
4 NDVI.....	7
5 PROGRAMSKA OPREMA.....	8
5.1 ArcMap	8
5.2 QGIS.....	8
6 PRIDOBIVANJE SATELITSKIH PODATKOV	9
6.1 Pridobivanje podatkov Sentinel.....	9
6.2 Pridobivanje podatkov Landsat.....	11
7 METODA DELA.....	12
7.1 Metodologija definiranja mesta	12
7.2 Postopek računanja NDVI.....	13
8 REZULTATI IN ANALIZA	15
8.1 Primerjava mest	15
8.1.1 Ljubljana	16
8.1.2 Kranj.....	17
8.1.3 Koper.....	18
8.1.4 Novo mesto	19
8.1.5 Celje	20
8.1.6 Maribor.....	21
8.2 Primerjava mestnih četrti.....	23
8.3 Spremembe	24
9 ZAKLJUČEK.....	28
VIRI.....	29

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO SLIK

Slika 1: Velikost pasa snemanja Sentinela-2A na dan 20.6.2017.	9
Slika 2: Pridobivanje Sentinelovih podatkov preko SciHub-a.	10
Slika 3: Pridobivanje Sentinelovih podatkov preko vtičnika SCP.	10
Slika 4: Nesklenjeni pasovi.	12
Slika 5: Dotikajoči se pasovi.	12
Slika 6: Sklenjeni pasovi.	13
Slika 7: Rezultat funkcije »Dissolve«, na primeru Celja.	13
Slika 8: Računanje NDVI na primeru Sentinelovih posnetkov.	14
Slika 9: Legenda vrednosti NDVI.	15
Slika 10: Karta mesta in vrednosti NDVI – Ljubljana.	16
Slika 11: Karta mesta in vrednosti NDVI – Kranj.	17
Slika 12: Karta mesta in vrednosti NDVI – Koper.	18
Slika 13: Karta mesta in vrednosti NDVI – Novo mesto.	19
Slika 14: Karta mesta in vrednosti NDVI – Celje.	20
Slika 15: Karta mesta in vrednosti NDVI – Maribor.	21
Slika 16: Karta mestnih četrti in vrednosti NDVI.	23
Slika 17: Karta mesta Ljubljana in vrednosti NDVI v letu 1984.	25
Slika 18: Karta mesta Ljubljana in vrednosti NDVI v letu 2000.	25
Slika 19: Karta mesta Ljubljana in vrednosti NDVI v letu 2017.	26

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Kanali senzorja MSI na satelitih Sentinel.	5
Preglednica 2: Lastnosti satelitov Landsat 5 in Landsat 8 ter njunih senzorjev.	6
Preglednica 3: Pridobljeni posnetki Sentinel-2A.	10
Preglednica 4: Pridobljeni posnetki satelitov Landsat.	11
Preglednica 5: Povprečne vrednosti NDVI in deleži zelenih površin za vsa mesta.	22
Preglednica 6: Povprečne vrednosti NDVI in deleži zelenih površin za vse mestne četrti.	24
Preglednica 7: Povprečne vrednosti NDVI in deleži zelenih površin, za mesto Ljubljana, v letih 1984, 2000 in 2017.	27

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Histogram vrednosti NDVI – Ljubljana.	16
Graf 2: Histogram vrednosti NDVI – Kranj.....	17
Graf 3: Histogram vrednosti NDVI – Koper.....	18
Graf 4: Histogram vrednosti NDVI – Novo mesto.	19
Graf 5: Histogram vrednosti NDVI – Celje.	20
Graf 6: Histogram vrednosti NDVI – Maribor.....	21
Graf 7: Histogram vrednosti NDVI – mestne četrti.	23
Graf 8: Histogram vrednosti NDVI – Ljubljana leta 1984, 2000 in 2017.....	26

»Ta stran je namenoma prazna.«

1 UVOD

»Daljinsko zaznavanje je znanost pridobivanja informacij o površju Zemlje, ne da bi z njo prišli v neposredni stik.« (Oštir, 2006: str. 13)

S sateliti in satelitskimi posnetki raziskujemo in opazujemo številne pojave – od opazovanja gozdov, požarov, plazov, oljnih madežev do izdelovanja različnih modelov višin in kart. Z analizo satelitskih posnetkov, je mogoče določiti tudi delež zelenih površin na določenem območju, kar smo v tej nalogi raziskovali mi. Diplomsko delo temelji na ideji določanja zelenosti mest, ki jo je v članku *European capital greenness evaluation* opisal Gärtner Philipp.

Avtor je raziskoval, kako zelene so evropske prestolnice in koliko rastlinstva jih obdaja. Za območje mesta je definiral krog s polmerom 5 km in središčem v centru mesta. V analizi je bilo obravnavanih 43 evropskih prestolnic, med njimi tudi Ljubljana. Zelenost mest je meril na podlagi izračuna normiranega diferencialnega vegetacijskega indeksa (NDVI). Ta predstavlja razmerje med razliko infrardečega in rdečega kanala in vsoto infrardečega in rdečega kanala. Uporabil je posnetke satelita Sentinel-2. Analiza je pokazala, da je najbolj zelena evropska prestolnica Sarajevo, sledi pa mu Vaduz. Avtor je v nadaljevanju analiziral zelenost mest z več kot dva milijona prebivalci in zelenost obmorskih mest. Najbolj zeleno mesto z več kot dva milijona prebivalcev je Kijev, najbolj zeleno obmorsko mesto pa Monako.

V članku je za območje mest uporabljeno območje kroga s polmerom 5 km, to je razdalja, ki jo človek lahko prehodi v eni uri. Tako so vsa mesta definirana kot enako velik krog, pa naj bo to mesto Pariz, Stockholm ali Vaduz, čeprav ta mesta niti približno ne zajemajo enako velike površine. Pri nekaterih mestih tako ni zajeto celotno mesto (primer Pariza), pri obmorskih mestih velik del območja predstavlja morje (primer Stockholma) ali pa je mesto tako majhno, da so v analizo zajeta še okoliška naselja in gozdne površine (primer Vaduza). Ker smo bili glede takšne primerjave skeptični, smo se odločili za vsako izbrano mesto, z ustrezno metodologijo, določiti njegovo mejo.

Prepogosto vzamemo rastline in drevesa okoli nas za samoumevne, čeprav je skoraj vsak vidik našega življenja odvisen od njih. Rastline absorbirajo ogljikov dioksid, dajejo kisik, hrano, gradbene materiale in zdravila. Kadar pride do drastičnih sprememb v vegetaciji, to vpliva tako na naše zdravje, gospodarstvo in okolje.

Vegetacijski indeks je število, ki poda intenzivnost vegetacije na nekem območju. Poznamo več vrst vegetacijskih indeksov, vsi pa se izračunajo iz različnih kombinacij spektralnih pasov iz digitalnih slik, ki jih pogosto zbirajo sateliti. (Xue in Su, 2017) Pri analizah se največkrat uporablja normirani diferencialni vegetacijski indeks (NDVI).

Višje vrednosti predstavljajo bolj zelena območja, saj se nanašajo na povečano prisotnost klorofila v rastlinah.

V nalogi smo določili območja mest, izbrali ustrezno časovno obdobje, pridobili ustrezne satelitske posnetke in izračunali vegetacijski indeks.

V prvem delu diplome je predstavljeno teoretično ozadje uporabljenih podatkov. Predstavljen je pojem zelenih površin in mesta. Na kratko so predstavljeni tudi sateliti, katerih podatke smo uporabili.

Drugi del naloge je sestavljen iz več delov. V prvem koraku je predstavljeno pridobivanje satelitskih podatkov, tako pri satelitih Sentinel, kot tudi pri satelitih Landsat. Sledi metodologija določevanja mest, saj smo za potrebe analize potrebovali definirane meje izbranih mest in določevanja vrednosti NDVI. Na koncu so podani rezultati. V rezultatih so med seboj primerjana mesta ter mestne četrti, izdelana je analiza sprememb v zelenosti mesta Ljubljana.

1.1 Namen in cilji

Namen naloge je predstaviti in med seboj primerjati kako zelena so največja in najbolj poseljena slovenska mesta. Do sedaj so bile takšne raziskave opravljene le na izbranih delih sveta. V nalogi smo želeli metodologijo preveriti in prilagoditi za naše razmere ter analizirati kakšno je stanje v Sloveniji.

V okviru diplomske naloge sta bila zastavljena naslednja cilja:

1. cilj: Določiti mejo mest
Poiskati in izbrati je bilo potrebno najustreznejšo metodo, s katero lahko določimo območje mesta. Iz Geodetske uprave Republike Slovenije, lahko pridobimo le podatke o administrativnih mejah naselij, samo mesto pa je od naselja nekoliko manjše.
2. cilj: Poiskati ustrezne satelitske posnetke in ugotoviti kako zelena so izbrana območja
Pod terminom ustreznih satelitskih posnetkov smatramo posnetke, ki so bili zajeti v ustreznem časovnem obdobju, zajemajo celotno izbrano območje, so brez ali skoraj brez oblakov in če se le da, vsa obravnavana območja zajemajo v podobnem času. Kako zelena so izbrana območja smo določili z analizo indeksa NDVI. Obravnavali smo izbrana mesta in izbrane mestne četrti.

2 MESTA IN ZELENE POVRŠINE

ZUreP-2 mesto opredeljuje kot urbano naselje, ki je kulturno družbeno in gospodarsko središče širšega območja ter opravlja več funkcij. Od drugih naselij se loči po kulturno-zgodovinskih, arhitektonskih in urbanističnih značilnostih. (ZUreP-2, 3. člen)

Analizirali in primerjali smo šest največjih in najbolj poseljenih, mest v Sloveniji:

- Ljubljana
- Maribor
- Celje
- Kranj
- Koper
- Novo mesto

Definiranje mesta ni tako enostavno, kot se zdi na prvi pogled. Predpostavljamo, da je območje mesta manjše od območja naselja. Metoda, ki smo jo mi uporabili za določevanje območja mesta, je predstavljena v poglavju 7.1.

2.1 Zelene površine

Zelene površine predstavljajo stik človeka z naravo. Pri prostorskem načrtovanju postaja vse bolj pomembno ohranjanje obstoječih zelenih površin in urejanje novih. Imajo velik vpliv na kakovost bivanja in spodbujajo psihofizično zdravje, zato se pri določanju namenske rabe prostora zgotavlja, da so zelene površine na takšni lokaciji in v takšnem obsegu, kjer prinašajo koristi. (Simoneti, 2014)

Opravlja ekološko, estetsko, ekonomsko, rekreacijsko in sociološko funkcijo.

Ekološka funkcija se kaže predvsem z varovanjem pred vetrnimi sunki, sposobnostjo regulacije klime, čiščenjem zraka in čiščenjem vode. Zelene površine namreč absorbirajo izpušne pline in s tem pripomorejo k zmanjševanju vplivov posledic, ki nastanejo zaradi onesnaževanja okolja. (Černe, 2009) Ta funkcija je tesno povezana z okoljsko osveščenostjo in varstvom narave, za katerega vemo, da je eden izmed treh stebrov trajnostnega razvoja.

Estetska funkcija ima reprezentančno in oblikovalsko vlogo. Naselje z zelenimi površinami popestrimo in odpravimo monotonost. (Černe, 2009)

Sociološka in rekreacijska funkcija se med seboj precej prepletata. Vse več ljudi želi svoj prosti čas preživeti v naravi. Zelene površine v naseljih so v tem pomenu zelo pomembne, saj predstavljajo območje za rekreativne dejavnosti, druženje, otroško igro ali zgolj za sprostitvev.

Za učinkovito opravljanje teh funkcij, morajo biti na zelenih površinah prisotni tudi objekti urbane opreme (na primer koši za smeti, klopi, ...) in druge sestavine (na primer utrjene površine za hojo, vodne površine, ...). (Černe, 2009)

Pod zelene površine štejemo vsa območja, kjer so prisotne vegetacijske prvine (obvodna vegetacija, drevo, grmičevje, ...). Vsa ta območja opravljajo funkcijo izboljšanja življenjskega okolja, zato morajo biti tudi ustrezno vzdrževana.

V diplomski nalogi zelene površine predstavlja vsa vegetacija na obravnavanem območju. To so lahko zelenice, pokopališča, vrtovi, igrišča, drevesa, parki, ...

3 SATELITSKI POSNETKI

V diplomski nalogi smo uporabili podatke satelitov Sentinel-2A, Landsat 5 in Landsat 8.

Podatke satelita Sentinel-2A smo uporabili pri primerjavi mest v istem času. Podatki tega satelita so boljše ločljivosti, prav tako, pa je pas snemanja večji in je v enem posnetku zajeta skoraj celotna Slovenija. Vsa obravnavana mesta so zajeta v enem posnetku (več o tem v poglavju 6.1).

Podatke satelitov Landsat 5 in Landsat 8 smo uporabili pri primerjavi sprememb v obdobju triintridesetih let.

3.1 Sateliti Sentinel

Copernicus je program Evropske unije za opazovanje Zemlje. Izvaja se v partnerstvu z državami članicami, Evropsko vesoljsko agencijo (ESA), Evropsko organizacijo za izkoriščanje meteoroloških satelitov (EUMETSAT), Evropskim centrom za srednjeročne vremenske napovedi (ECMWF) in Evropsko Agencijo za okolje (EEA). (Copernicus, 2018)

ESA v programu Copernicus zagotavlja pridobivanje podatkov z več kot 30 satelitov in strmi k doseganju globalnih, neprekinjenih, avtonomnih ter zelo kakovostno zmogljivih opazovanj Zemlje.

Pod okriljem Evropske komisije vzpostavlja družino šestih misij satelitov Sentinel.

Aprila 2014 so v vesolje poslali svoj prvi satelit Sentinel-1A. Do danes so izstrelili že 7 satelitov: Sentinel-1A (l. 2014), Sentinel-1B (l. 2016), Sentinel-2A (l. 2015), Sentinel-2B (l. 2017), Sentinel-3A (l. 2016), Sentinel-5P (l. 2017) in Sentinel-3B (l. 2018). Do leta 2021 naj bi se tem pridružili še trije sateliti: Sentinel-4, Sentinel-5 in Sentinel-6.

Misija Sentinel-1: Visokoločljivi radarski senzor

Satelita skrbita za natančno in zanesljivo opazovanje kopnega in morja. Snemata podnevi in ponoči, tudi skozi oblake in dež. Uporabna sta za opazovanje oljnih madežev, premikov ledenih plošč, spremljanje podnebnih sprememb in podobno. (Veljanovski in sod., 2014)

Misija Sentinel-2: Visokoločljivi multispektralni optični senzor

Prvi satelit iz druge misije in hkrati tretji Sentinelov satelit, Sentinel-2A, je bil izstreljen junija 2015. Drugi satelit, Sentinel-2B, pa marca 2017. Satelita dopolnjujeta opazovanja, ki jih pošiljajo sateliti Landsat in SPOT. Nahajata se na isti tirnici, na višini 786 km, razmaknjena pa sta za pol tirnice. Skupaj dosežeta čas ponovnega obiska na ekvatorju v petih dneh in pogosteje na večjih geografskih širinah. Posamezno svetlobo zaznava 13 spektralnih kanalov. (Veljanovski in sod., 2014)

Podatki o kanalih senzorja MSI, ki je nameščen na satelitih Sentinel-2, so prikazani v preglednici 1.

Preglednica 1: Kanali senzorja MSI na satelitih Sentinel. (Vir: <http://www.gisagmaps.com/landsat-8-sentinel-2-bands/>)

Sentinel-2			
Kanal	Valovna dolžina (µm)	Ločljivost (m)	Spektralni pas
1	0,421 – 0,457	60	aerosol
2	0,439 – 0,535	10	modra
3	0,537 – 0,582	10	zelena
4	0,646 – 0,685	10	rdeča
5	0,694 – 0,714	20	rdeči rob vegetacije ¹
6	0,731 – 0,749	20	rdeči rob vegetacije ¹
8	0,768 – 0,796	10	bližnja IR
8a	0,767 – 0,908	20	bližnja IR
9	0,848 – 0,881	60	Vodna para
10	0,931 – 0,958	60	Cirus ²
11	1,338 – 1,681	20	kratkovalovna infrardeča
12	2,072 – 2,312	20	kratkovalovna infrardeča

Satelita omogočata spremljanje sprememb vegetacije v rastni sezoni, pridobivanje podatkov za hitrejšo odzivanje v primeru naravnih nesreč (požari, poplave, vulkanski izbruhi, plazovi in podobno), upravljanje zemljišč, spremljanje podnebnih sprememb, pomorska in openska opazovanja ter različna kartiranja (pokrovnosti, geofizičnih spremenljivk in podobno). (Veljanovski in sod., 2014)

V diplomski nalogi smo uporabili podatke satelita Sentinel-2A.

Misija Sentinel-3: Večnamenski instrument

Zagotavljata visoke natančnosti optičnih, radarskih in altimetrijskih podatkov pomorskih in kopenskih opazovanj. Njuni produkti se uporabljajo predvsem v kopenskih in morskih aplikacijah. (Veljanovski in sod., 2014)

Misija Sentinel-4 in Sentinel-5: Meteorološka satelita

Ta satelita bosta zagotavljala in spremljala podatke o sestavi atmosfere. Primarni cilj je spremljanje glavnih plinov in aerosolov v kakovosti zraka po Evropi. (Sentinel-4, 2018)

Sentinel-5P predstavlja sicer svojo misijo, ki se je začela oktobra 2017 in je predhodnik Sentinela-5.

Misija Sentinel-6: Višinomerski satelit

Sentinel-6 bo izstreljen leta 2020 in bo zagotavljal zelo natančno merjenje višine morske gladine. Namenjen bo predvsem za operativno oceanografijo in za podnebne študije. (Sentinel-6, 2018)

¹ Rdeči rob se nanaša na hitre spremembe v odbojnosti vegetacije, v bližnjem infrardečem obsegu elektromagnetnega spektra. Klorofil v vegetaciji absorbira večino svetlobe v vidnem delu spektra, vendar postane skoraj transparenten pri valovnih dolžinah večjih od 700 nm.

² Cirusi so visoki in tanki oblaki, sestavljeni iz ledenih kristalčkov.

3.2 Sateliti Landsat

Kot že omenjeno, smo podatke satelitov Landsat uporabili pri časovni primerjavi sprememb.

Podatke Landsatovih satelitov iz vesolja lahko pridobimo od leta 1972 dalje, ko je ameriška vesoljska agencija NASA v vesolje poslala svoj prvi satelit ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite), kasneje preimenovan v Landsat 1. Do danes so v vesolje poslali 8 satelitov: Landsat 1 (l. 1972), Landsat 2 (l. 1975), Landsat 3 (l. 1978), Landsat 4 (l. 1982), Landsat 5 (l. 1984), Landsat 7 (l. 1999) in Landsat 8 (l. 2013). Satelit Landsat 6 so izstrelili leta 1993 vendar poskus ni bil uspešen, saj ni nikoli dosegel svoje tirnice. Konec leta 2020 predvidevajo izstrelitev satelita Landsat 9.

V diplomski nalogi smo uporabili podatke satelita Landsat 5 in satelita Landsat 8.

Landsat 5 ima nameščen skener TM (ang. Thematic Mapper). To je prečni skener, ki ima od svojega predhodnika, senzorja MSS (ang. MultiSpectral Scanner), boljšo prostorsko ločljivost, natančnejšo radiometrično ločljivost, ožje kanale, več kanalov in večje število senzorjev na kanal. Podatke tega skenerja uporabljamo pri opazovanju okolja, zaznavanju sprememb v okolju, v različnih aplikacijah, pri kartiranju in podobno. (Oštir, 2006)

Landsat 8 je najnovejši satelit v družini satelitov Landsat. Opremljen je z dvema vzdolžnima skenerjema OLI (ang. Operational Land Imager) in TIRS (ang. Thermal Infrared Sensor). OLI ohranja enako zasnovo kot njegov predhodnik, dodana pa ima dva kanala: temno modrega (za obalne študije) in kratkovalovnega rdečega (cirus). TIRS sestavljata dva spektralna kanala, ki zaznavata termično infrardeče valovanje. Satelit Landsat 8 se uporablja v najrazličnejše namene. (Landsat 8, 2018)

Lastnosti satelitov Landsat 5 in Landsat 8 so prikazani v preglednici 2.

Preglednica 2: Lastnosti satelitov Landsat 5 in Landsat 8 ter njunih senzorjev. (Vir: Vrhovšek, 2017)

Landsat					
	Landsat 5	Landsat 8			
Senzor	Kanal		Valovna dolžina (µm)	Ločljivost (m)	Spektralni pas
TM	1		0,45 - 0,52	30	modra
	2		0,52 - 0,60	30	zelena
	3		0,63 - 0,69	30	rdeča
	4		0,76 - 0,90	30	bližnja IR
	5		1,55 - 1,75	30	kratkovalovna IR
	6		10,4 - 12,5	120	termična IR
	7		2,08 - 2,35	30	kratkovalovna IR
OLI		1	0,43 - 0,45	30	temno modra
		2	0,45 - 0,51	30	modra
		3	0,53 - 0,59	30	zelena
		4	0,64 - 0,67	30	rdeča
		5	0,85 - 0,88	30	bližnja IR
		6	1,57 - 1,65	30	kratkovalovna IR
		7	2,11 - 2,29	30	kratkovalovna IR
		8	0,50 - 0,68	15	pankromatsko
		9	1,36 - 1,38	30	cirus
TIRS		10	10,60 - 11,19	100	termična IR
		11	11,50 - 12,51	100	termična IR

4 NDVI

NDVI ali normirani diferencialni vegetacijski indeks (ang. normalized difference vegetation index) je eden izmed najbolj pogosto uporabljenih indeksov za računanje intenzivnosti vegetacije. Poleg NDVI se v praksi uporablja tudi indeks zelene vegetacije (GVI), ki vključuje kombinacijo večjega števila kanalov, indeks listne površine (LAI), izboljšan vegetacijski indeks (EVI), ki je podoben NDVI, s to razliko, da je pri izračunu dodan spektralni odboj v modrem delu spektra, in podobni.

Indeks NDVI kvantificira vegetacijo z merjenjem razlike med bližnjo infrardečo svetlobo in rdečo svetlobo. Zdrava vegetacija absorbira večino rdeče svetlobe in odbija precejšen del infrardeče. Nezdrava oziroma bolj redka vegetacija odbija večji del rdeče svetlobe in manjši del infrardeče. (NDVI, 2018)

NDVI vrednost je tako razmerje med razliko infrardečega in rdečega kanala in njuno vsoto. (Oštir, 2006)

Izračunamo ga po spodnji enačbi:

$$NDVI = \frac{IR-R}{IR+R} \quad (1)$$

Indeks zavzame vrednosti med -1 in 1. Višja kot je vrednost bolj bujna in zelena je vegetacija. Negativne vrednosti imajo oblaki, voda in sneg saj odbijajo večji del vidne rdeče svetlobe. Nizke pozitivne vrednosti nakazujejo na gola kamnita tla in stavbe. Vrednosti višje od približno 0,2 predstavljajo grmičevje in travniške površine, najvišje pa običajno gozdne površine. Kakšen je razpon NDVI vrednosti je odvisno od vsakega posnetka posebej.

5 PROGRAMSKA OPREMA

V diplomski nalogi smo uporabili dva programa: ArcMap in QGIS. Prvega smo uporabili predvsem pri določevanju meje mest, drugega pa pri obdelavi in analizi satelitskih posnetkov.

5.1 ArcMap

ESRI (ang. Enviromental System Research Institute) je podjetje, ustanovljeno leta 1969, ki se ukvarja z razvojem programske opreme s področja geografskih informacijskih sistemov. ArcMap je licencirano programsko orodje in je glavna komponenta ESRI-jevega programa ArcGIS. Geoprostorski program omogoča urejanje, prikaze in obdelavo podatkov. Uporabljamo ga lahko pri širokem spektru storitev. (ArcMap, 2018)

Uporabljen je bil vtičnik ArcToolbox. Ta ponuja številna orodja za obdelovanje podatkov. Uporabili smo orodje za obrezovanje, orodje za določevanje projekcije, orodje za transformacije med koordinatnimi sistemi, orodje za določevanje pasov (bufer območja) in orodje za združevanje.

5.2 QGIS

Za razliko od ArcMapa je QGIS brezplačen program. Z razvojem programa je pričela organizacija Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Program lahko teče pod operacijskimi sistemi Windows, Linux, Unix, Mac OSX in Android. Je prosto dostopen in odprtokodni program, ki omogoča branje in obdelavo vektorskih in rastrskih podatkov. (QGIS, 2018)

Za pridobivanje satelitskih posnetkov in njihovo predobdelavo smo uporabili vtičnik SCP (ang. Semi-Automatic Classification Plugin). Vtičnik omogoča nadzorovano klasifikacijo slik, orodja za prenos in predobdelavo slik daljinskega zaznavanja. (QGIS SCP, 2018)

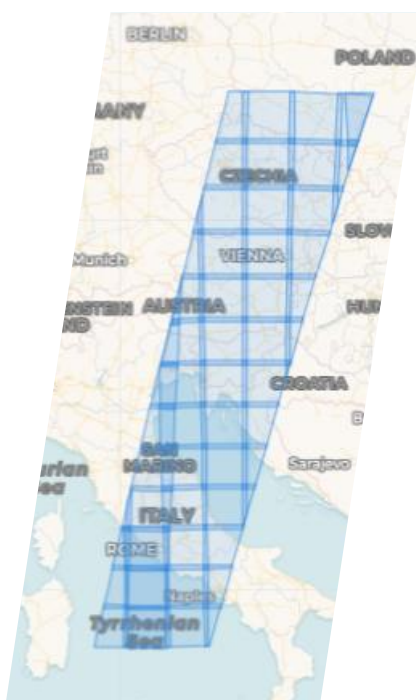
6 PRIDOBIVANJE SATELITSKIH PODATKOV

Vsi podatki satelitskih misij Sentinel in Landsat so brezplačni in prosto dostopni na internetu. Pri obeh satelitskih sistemih lahko podatke pridobimo prek internetne strani ali neposredno prek QGIS-ovega vtičnika SCP. V obeh primerih je bilo ključno, da najdemo takšne posnetke, kjer oblaki ne prekrivajo obravnavanih območij.

Vse posnetke smo morali pridobiti v približno istem obdobju v letu, v času, ko je vegetacija najbolj bujna in zelena. To je obdobje od približno začetka junija, do sredine julija.

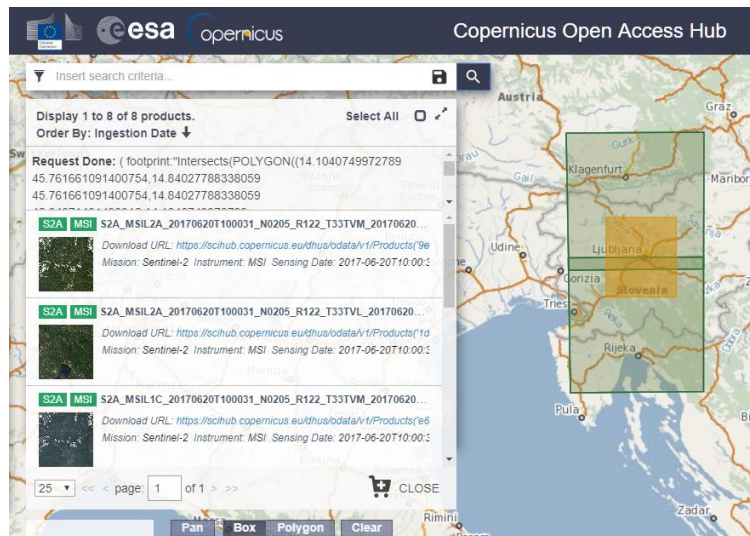
6.1 Pridobivanje podatkov Sentinel

Podatke satelita Sentinel-2A, smo pridobili za primerjavo zelenosti mest in mestnih četrti v istem času. Sentinel-2 v enem posnetku zajame pas širine 290 km (slika 1), sam posnetek pa je, zaradi lažjega prenosa in obdelave, razdeljen na manjše dele velikost 110x110 km.



Slika 1: Velikost pasu snemanja Sentinela-2A na dan 20. 6. 2017. (vir: EO Browser)

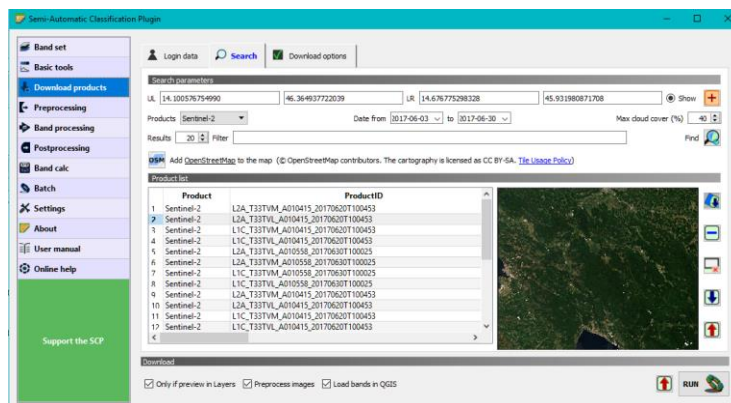
Sentinelove posnetke lahko pridobimo na spletni strani SciHub (<https://scihub.copernicus.eu/>). Po opravljeni registraciji, smo označili območje, ki nas zanima, določili v katerem obdobju naj išče, izbrali ustrezen satelit in začeli z iskanjem (slika 2).



Slika 2: Pridobivanje Sentinelovih podatkov preko SciHub-a.

Pri pregledu podatkov smo bili pozorni, da celotno območje obravnave (našega mesta) leži na izbranem satelitskem posnetku.

Podobno lahko podatke pridobimo tudi prek QGIS-ovega vtičnika SCP (slika 3). Vpišemo se prek računa SciHub, določimo območje iskanja, časovni okvir in po želji prekritost z oblaki. Ko posnetke najde in izberemo najbolj ustreznega, lahko pred prenosom določimo različne predobdelave, atmosferske popravke, določimo katere kanale želimo prenesti in podobno.



Slika 3: Pridobivanje Sentinelovih podatkov preko vtičnika SCP.

Posnetke smo pridobili z internetne strani SciHub. Vsi posnetki so iz satelita Sentinel-2A, iz dne 20. 6. 2017. Preneseni posnetki so prikazani v preglednici 3.

Preglednica 3: Pridobljeni posnetki Sentinel-2A.

Posnetek	Mesto/-i na posnetku
S2A_MSIL2A_20170620T100031_N0205_R122_T33TUL_20170620T100453	Koper
S2A_MSIL2A_20170620T100031_N0205_R122_T33TVM_20170620T100453	Ljubljana, Kranj
S2A_MSIL2A_20170620T100031_N0205_R122_T33TWL_20170620T100453	Novo mesto
S2A_MSIL2A_20170620T100031_N0205_R122_T33TWM_20170620T100453	Celje, Maribor

6.2 Pridobivanje podatkov Landsat

Ker lahko podatke Sentinel-2 pridobimo šele od leta 2015 najprej, smo za časovno primerjavo sprememb uporabili posnetke satelitov Landsat. Spremembe zelenosti smo opazovali na primeru mesta Ljubljana. Iskali smo samo posnetke, na katerih je bila Ljubljana, brez oblakov in ki so bili zajeti v približno istem obdobju leta.

Podobno kot Sentinelove, lahko pridobimo tudi Landsatsove posnetke.

Posnetke lahko prenesemo prek internetne strani Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Določimo območje iskanja, časovni okvir, prekritost z oblaki in v arhivu izberemo, katere rezultate želimo poiskati. Ko dobimo zadetke, prenesemo tiste, ki najbolj ustrezajo našim zahtevam.

Posnetke lahko, enako, kot pri Sentinelu, presnamemo prek vtičnika SCP.

Mi smo posnetke sneli prek spletne strani Earth Explorer. Želeli smo primerjati tri časovna obdobja in sicer od leta 1984³ do danes. Izbrali smo leta 1984, 2000 in 2017. Izbrani posnetki so prikazani v preglednici 4, pripisan je tudi datum zajema posnetka in satelit.

Preglednica 4: Pridobljeni posnetki satelitov Landsat.

Datum	Satelit	Posnetek
25. 6. 1984	Landsat 5	LT05_L1TP_191028_19840625_20170220_01_T1
21. 6. 2000	Landsat 5	LT05_L1TP_191028_20000621_20171211_01_T1
20. 6. 2017	Landsat 8	LC08_L1TP_191028_20170620_20170630_01_T1

³ Leta 1984 so izstrelili Landsat 5, ki nam zagotavlja veliko bolj kakovostne podatke od svojih predhodnikov.

7 METODA DELA

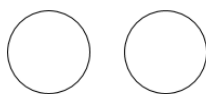
7.1 Metodologija definiranja mesta

Da bi med seboj lahko primerjali zelenost mest, je potrebno najprej določiti mejo mesta. Za določitev območja mesta smo uporabili metodo, ki so jo opredelili v poročilu Pomen majhnih in srednje velikih mest za razvoj urbanih območij, 2008. Uporabili smo programsko orodje ArcMap 10.5.1.

Iz Geodetske uprave Republike Slovenije smo, za celotno Slovenijo pridobili podatke o administrativnih mejah naselij in katastru stavb.

Določitev območja mest smo izvedli v več korakih:

1. Za lažjo preglednost smo najprej iz celotnega območja naselij v Sloveniji izbrali in izrezali naselja naših območij. To najlažje izvedemo z atributno tabelo, kjer izberemo obravnavana naselja, ostala pa izbrisemo.
2. Posamezno naselje smo nato shranili kot nov sloj. Tako je vsako naselje na svojem sloju in ne več na skupnem. To smo storili z označitvijo izbranega naselja in z desnim klikom shranili kot nov sloj.
3. Kataster stavb smo obrezali na mejo naselij in izločili vse enostavne in nezahtevne objekte s tlorisno površino manjšo od 30 m². Takšni objekti so predvsem pomožni gospodarski objekti (lope, garaže, ute, ...), ki se v mestih največkrat nahajajo poleg enodružinskih hiš in so bolj gradniki podeželskega prostora. Tudi pri tem koraku si lahko pomagamo z atributno tabelo. Kataster stavb smo na mejo naselij obrezali z orodjem »Clip«.
4. Okoli vsakega objekta iz katastra stavb smo nato izrisali sto metrski pas (bufer). To je eden izmed ključnih korakov, saj nam pomaga pri določitvi sklenjenosti mesta. Takšno velikost pasu smo izbrali, saj se je pri analizi v omenjenem poročilu izkazalo, da so poselitveni vzorci v Sloveniji zelo gosti in pozidava na takšni razdalji strnjena. Kot rezultat smo pridobili tri možnosti:
 - a. Pasovi objektov, ki se med seboj niso dotikali (slika 4)
Takšna območja so predstavlja nesklenjenost pozidave, zato smo jih s programskim orodjem odstranili. Izjema je mesto Ljubljana, kjer se večji del pasu ni dotikal preostalega dela, vendar smo po pregledu tega dela tudi ta del umestili k mestu Ljubljana.



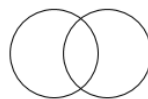
Slika 4: Nesklenjeni pasovi.

- b. Pasovi objektov, ki so se med seboj dotikala (slika 5)
To so območja, ki so predstavljal maksimalno (100 m) razdaljo med objekti, kjer lahko še trdimo, da je pozidava sklenjena.



Slika 5: Dotikajoči se pasovi.

- c. Pasovi objektov, ki so se med seboj prekrivajo (slika 6)



Slika 6: Sklenjeni pasovi.

5. Za jasno določitev meje mesta je bilo potrebno vsa območja, ki se med seboj dotikajo ali prekrivajo združiti v enoten poligon. To smo storili z orodjem »Dissolve«. Rezultat te funkcije je, na primeru Celja, prikazan na sliki 7.



Slika 7: Rezultat funkcije »Dissolve«, na primeru Celja.

6. Kot lahko opazimo na sliki 7, so nastale z združitvijo vseh območij, znotraj sloja, prazne luknje. Te luknje je bilo potrebno odstraniti in prazna območja vključiti v sloj, kot del mesta. To lahko najbolj enostavno odstranimo ročno z orodjem »Editor«. Ko smo vključili orodje za urejanje, smo z dvojnim klikom kliknili na območje, ki ga želimo urejati. Z desnim klikom smo pritisnili na sekcijo, ki smo jo želeli odstraniti, kliknili »Part« in nato »Delete«. Postopek smo ponovili, dokler nismo odstranili vseh lukenj znotraj območja mesta.

Rezultat opisane metode so določene meje mest, prikazane na kartah v poglavju 8.1.

7.2 Postopek računanja NDVI

Postopek določitve vrednosti NDVI je bil izveden v programu QGIS 3.0.3.

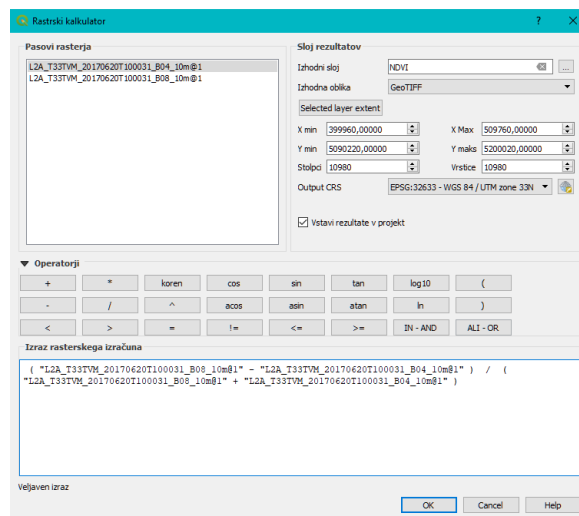
Ker mesta in mestne četrti niso bile v enaki projekciji kot satelitski posnetki, smo jih najprej transformirali v koordinatni sistem posnetkov, to je WGS84. To najbolj preprosto naredimo v QGIS-u, kjer z desnim klikom na sloj, ki ga želimo transformirati, kliknemo shrani kot in v oknu, ki se odpre, izberemo zelen koordinatni sistem.

Ko smo imeli projekciji usklajeni, smo lahko satelitske posnetke obrezali na velikost mest. To smo storili s pomočjo orodja za obrezovanje: raster → izvleci → izreži raster z masko sloja. Postopek smo ponovili za vsa mesta in mestne četrti.

Katere kanale satelitskih posnetkov smo obrezali, je bilo odvisno od posameznega satelita. Pri Sentinelu smo uporabili posnetke z najboljšo, 10 m, ločljivostjo. Za izračun NDVI smo uporabili:

- pri Sentinel-2A: kanala 4 (rdeč) in 8 (IR)
- pri Landsat 5: kanala 3 (rdeč) in 4 (IR)
- pri Landsat 8: kanala 4 (rdeč) in 5 (IR)

Vrednost NDVI smo izračunali s pomočjo rastrskega kalkulatorja, po že znani enačbi (enačba (1), poglavje 4), kot je prikazano na sliki 8.



Slika 8: Računanje NDVI na primeru Sentinelovih posnetkov.

Prag NDVI, ki predstavlja vegetacijo, smo določili s poskušanjem. Prek sloja NDVI smo položili sloj katastra stavb in določili vrednosti, kjer se pojavi vegetacija. Ta vrednost nam je bila kasneje v pomoč pri določitvi vrednosti, kako močno je neko območje zeleno.

Izvedli smo posamezne statistike (povprečna vrednost NDVI, minimalna in maksimalna vrednost NDVI, število pikslov v posameznem območju vrednosti in podobno) in izrisali grafe.

Grafe smo izrisali v Excelu. V trenutku, ko ustvarimo datoteko NDVI vrednosti (praviloma TIF), se ustvari tudi datoteka aux.xml, v kateri je zapisano koliko pikslov ima posamezno vrednost NDVI. Podatke smo prenesli v Excel in izrisali grafe (te sicer izrišeta tudi QGIS in ArcMap, vendar se jih ne da oblikovati).

Rezultati so predstavljeni v naslednjem poglavju.

8 REZULTATI IN ANALIZA

V tem poglavju bodo najprej predstavljeni rezultati po posameznih mestih in primerjava med njimi. Sledi primerjava ljubljanskih mestnih četrti (Center, Šiška, Bežigrad, in Moste) in pregled sprememb v zelenosti mesta Ljubljana skozi čas.

Za vsako obravnavano območje (mesto ali mestno četrt) so na karti prikazane meje območij in vrednosti NDVI. Območja nevegetacije so obarvana s svetlejšimi odtenki – v sivih tonih vode, v rumenkastih tonih pa stavbe. Območja vegetacije so obarvana v zelenih barvah. Manj intenzivno zelena območja (npr. njive) so v vojaško zelenih in rumenih tonih, bolj zelena območja pa v temnejših odtenkih zelene. Z najtemnejšo barvo so tako predstavljena gozdna območja, s svetlejšimi odtenki pa travniške površine in grmičevje. Barvni razpon s podanimi vrednostmi je prikazan na sliki 9.



Slika 9: Legenda vrednosti NDVI.

Vsaki karti je dodan tudi histogram vrednosti NDVI, ki nam pokaže koliko pikslov ima posamezno vrednost NDVI.

Za boljšo predstavbo je kot podlaga je uporabljen DOF 2011 (digitalni ortofoto) v 30 % prosojnosti.

Vse karte so narejene v programu QGIS 3.0.3.

8.1 Primerjava mest

Kot že omenjeno, smo v diplomski nalogi najprej določili območja obravnavanih mest. Rezultat te metodologije je obod mest, na kartah prikazan z odebeljeno rdečo krivuljo.

Mejna vrednost, pri kateri smo ocenili, da se začne vegetacija, je 0,25. To vrednost smo uporabili pri določevanju deleža zelenih površin v mestu.

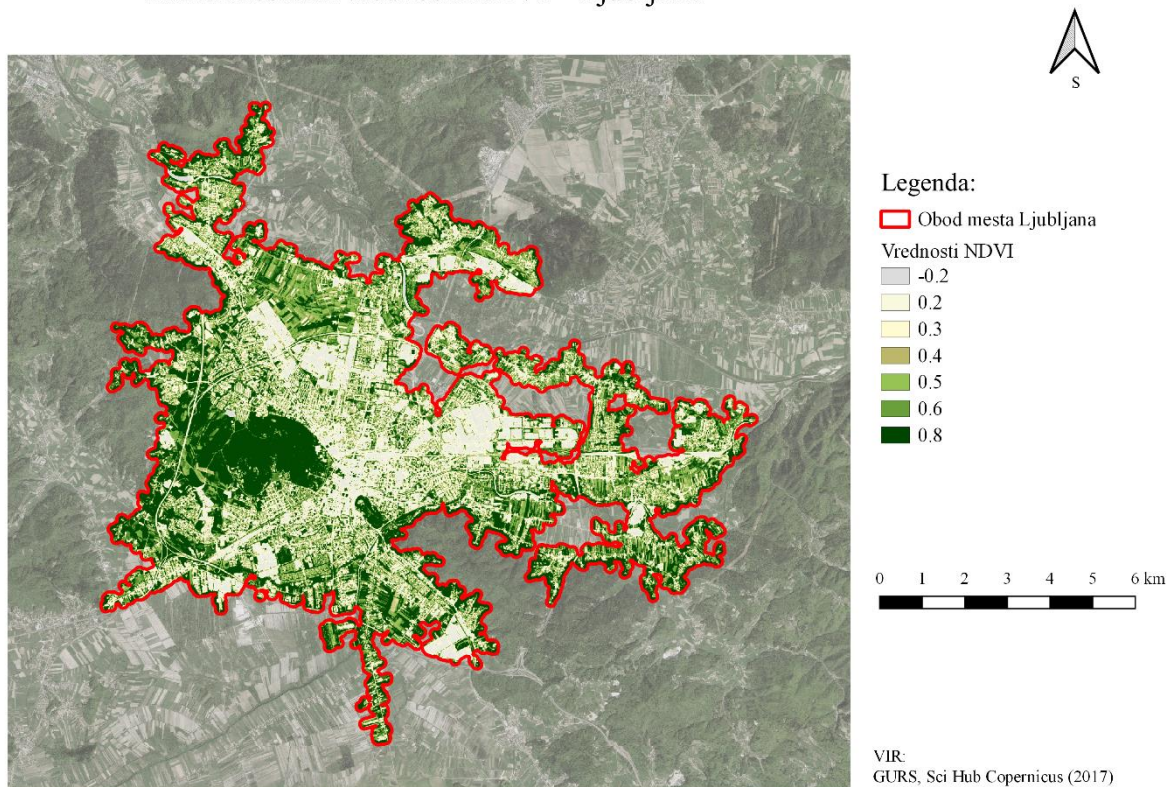
$$\text{delež zelenih površin} = \frac{\text{št.pikslov z NDVI vrednostjo večjo od 0,25}}{\text{št.vseh pikslov}} \quad (2)$$

Večja vrednost NDVI predstavlja bolj močno zelena območja oziroma manjši delež ne zelenih površin, kot so vode, stavbe. Večji odstotek pa večji delež zelenih površin proti celotnemu območju mesta.

8.1.1 Ljubljana

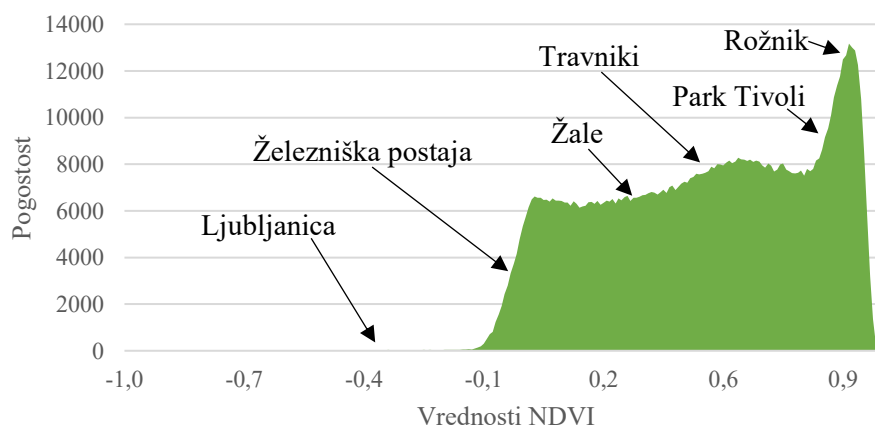
Ljubljana je glavno mesto Republike Slovenije. Površina mesta po naši metodi znaša 92,2 km². Mesto je kar precej zeleno, leta 2016 je bila razglašena za zeleno prestolnico Evrope, zato smo pričakovali visoke vrednosti NDVI. Povprečna vrednost NDVI znaša 0,51. Zelene površine prekrivajo 77 % celotnega mesta (slika 10). K takšnemu odstotku pripomorejo predvsem Rožnik, park Tivoli, Grajski grič in posamezne obrobne njive. Brez območja parka Tivoli in Rožnika bi delež zelenih površin v mestu upadel za 4 %, povprečna vrednost NDVI pa bi se znižala na 0,49.

Karta mesta in vrednosti NDVI – Ljubljana



Slika 10: Karta mesta in vrednosti NDVI – Ljubljana.

Na grafu 1 je približno prikazano, kakšne vrednosti NDVI imajo posamezna območja v Ljubljani.

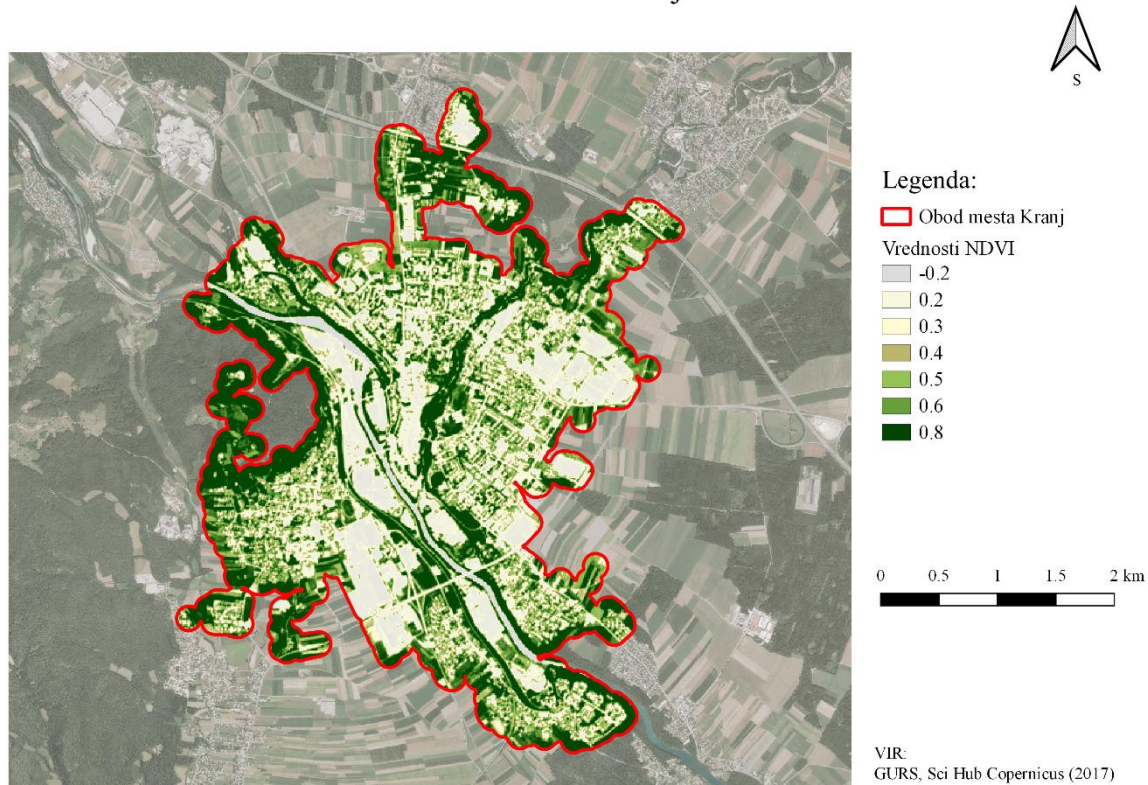


Graf 1: Histogram vrednosti NDVI – Ljubljana.

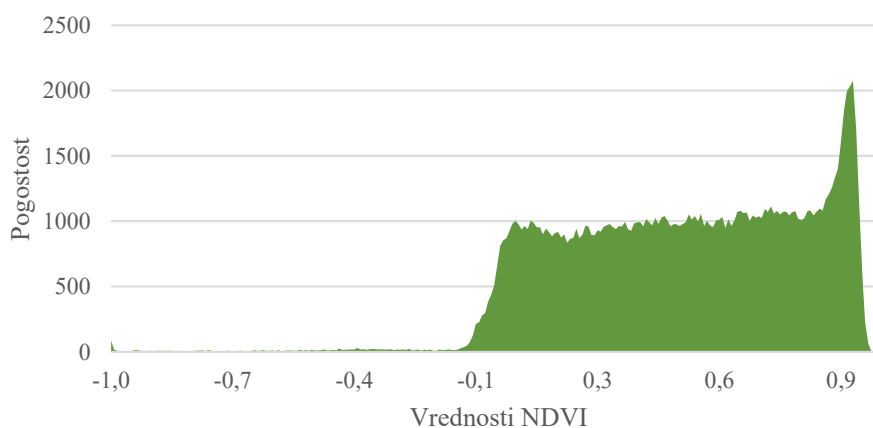
8.1.2 Kranj

Kranj leži nekaj kilometrov severozahodno od Ljubljane. Površina našega mesta znaša 13 km². Povprečna vrednost NDVI 0,48, pri čemer je delež zelenih površin v mestu 74 % (slika 11, graf 2). Skozi celotno mesto teče reka Sava, ki močno niža povprečno vrednost NDVI. K zelenosti mesta pripomorejo okoliški gozdovi, drevesa ob reki Savi, posamezne zelenice in predvsem kanjon reke Kokre.

Karta mesta in vrednosti NDVI – Kranj



Slika 11: Karta mesta in vrednosti NDVI – Kranj.

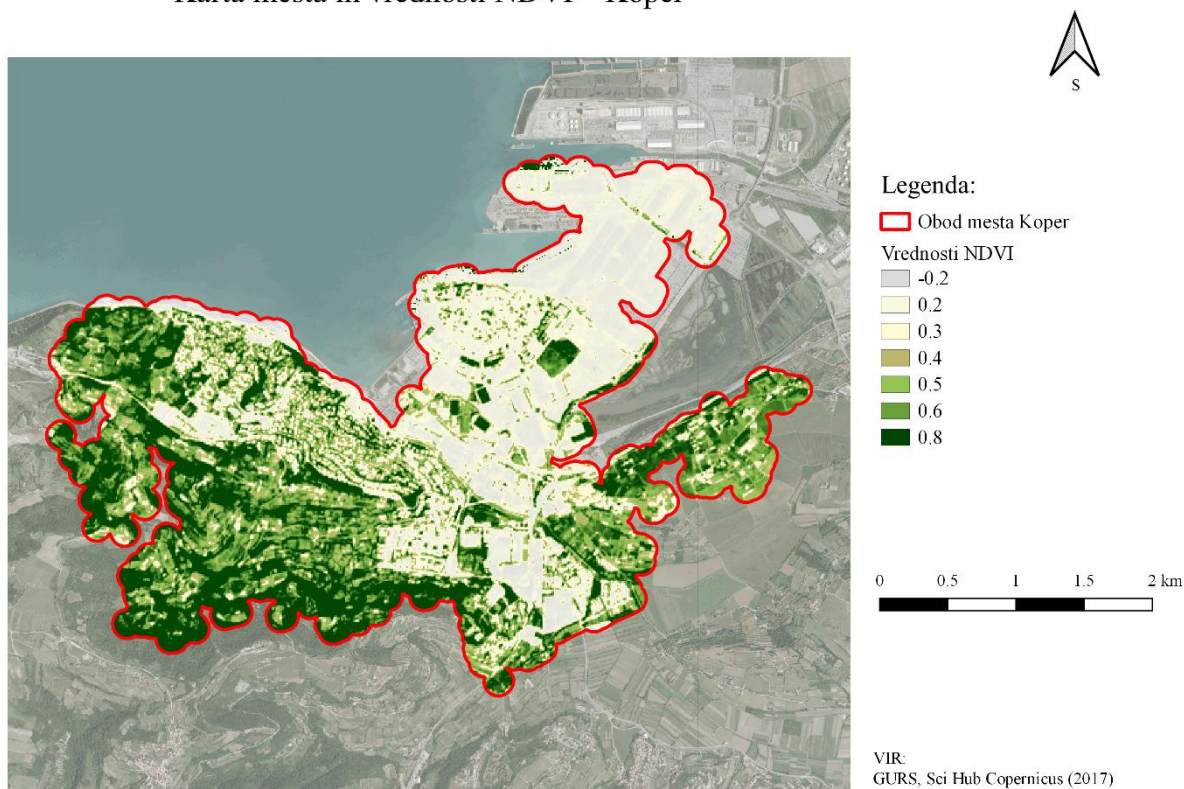


Graf 2: Histogram vrednosti NDVI – Kranj.

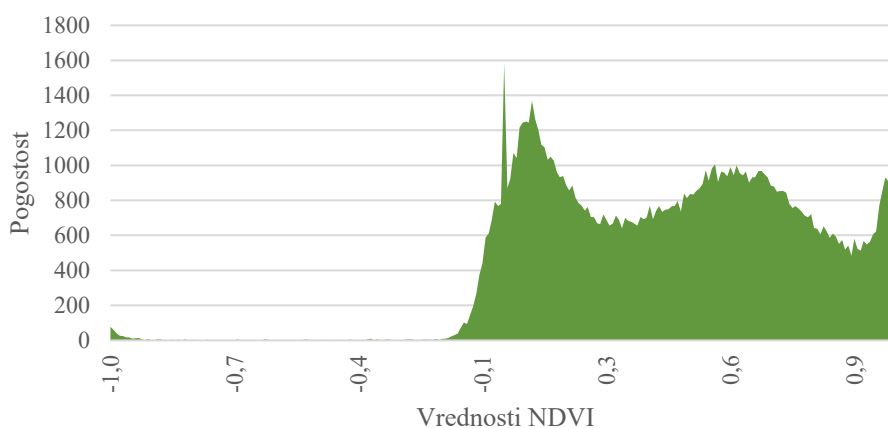
8.1.3 Koper

Koper je edino obmorsko mesto, ki je vključeno v analizo. Ker leži ob morju in del mesta zajema Luka Koper, poleg tega pa se tu že čuti vpliv sredozemskega podnebja, smo tu pričakovali nekoliko nižje vrednosti NDVI. Zelenih površin je v mestu kar nekaj, sploh na jugo-zahodnem delu, vendar rastle ni tako močno zeleno. Povprečna vrednost NDVI znaša 0,43, delež zelenih površin v mestu je 74 % (slika 12). Površina določenega mesta od administrativne meje naselja pri Kopru najmanj odstopa, in sicer 2 km². Površina mesta znaša 11,3 km². Iz histograma NDVI vrednosti mesta Koper (graf 3) lepo vidimo, da se le-ta razlikuje od vseh ostalih, saj je delež močnejše zelenih površin drastično manjši, kot pri ostalih. Zaradi Luke Koper velik delež predstavljajo območja z nižjimi vrednostmi NDVI.

Karta mesta in vrednosti NDVI – Koper



Slika 12: Karta mesta in vrednosti NDVI – Koper.

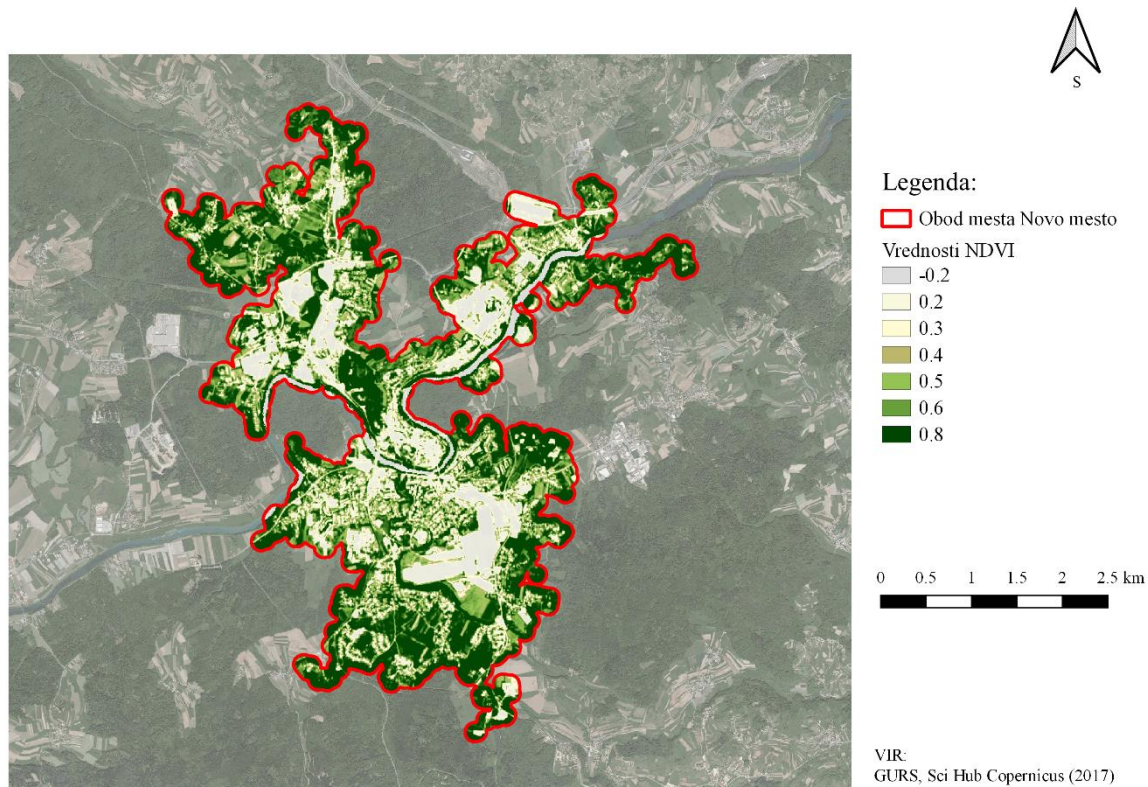


Graf 3: Histogram vrednosti NDVI – Koper.

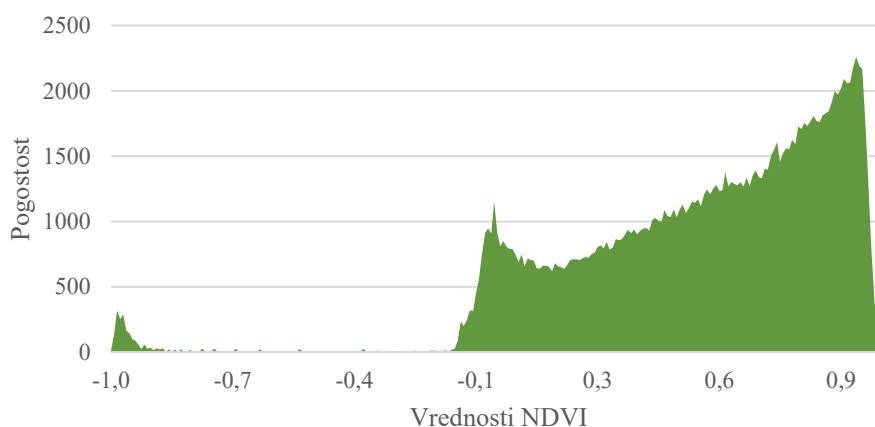
8.1.4 Novo mesto

Celotno mesto je precej razpršeno, s številnimi vmesnimi zelenimi površinami. Razpolavlja ga reka Krka. Mesto je veliko 15,6 km². Povprečna vrednost NDVI je 0,53, delež pokritosti mesta z zelenimi površinami pa 79 % (slika 13, graf 4). Zelene površine predstavljajo drevesa, travniki in nekaj obrobni njiv.

Karta mesta in vrednosti NDVI – Novo mesto



Slika 13: Karta mesta in vrednosti NDVI – Novo mesto.

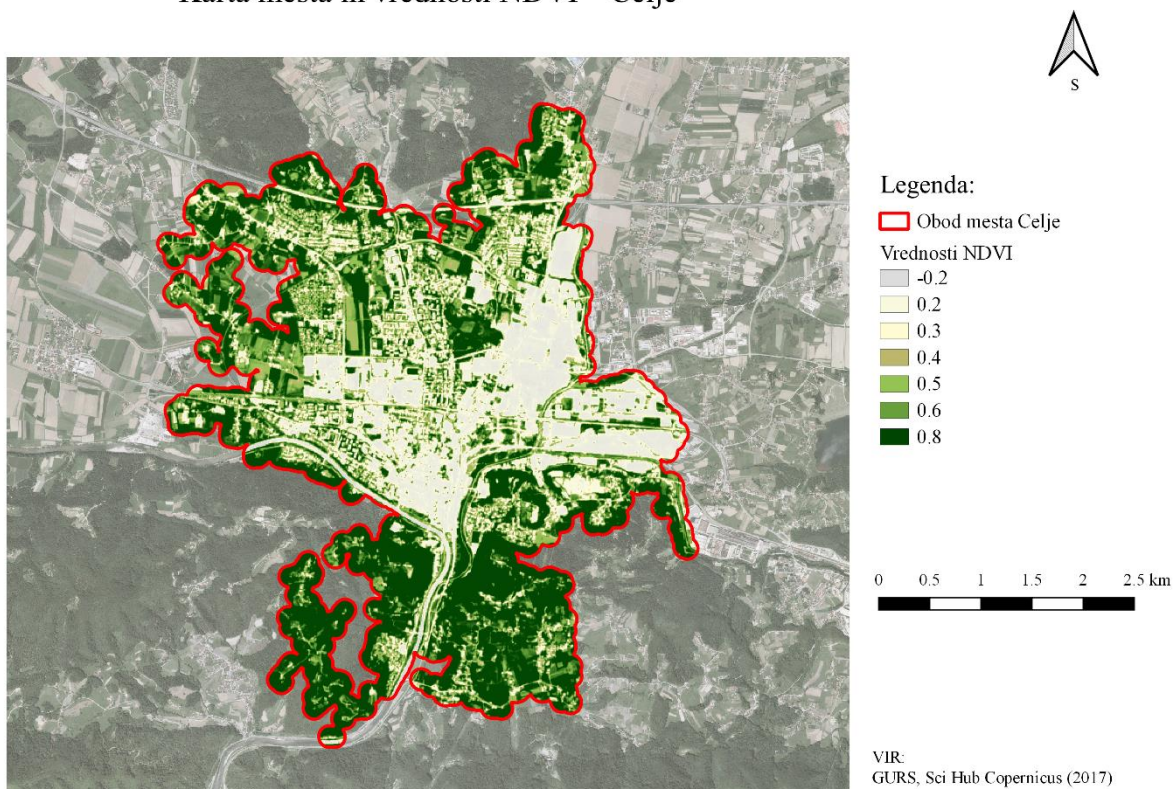


Graf 4: Histogram vrednosti NDVI – Novo mesto.

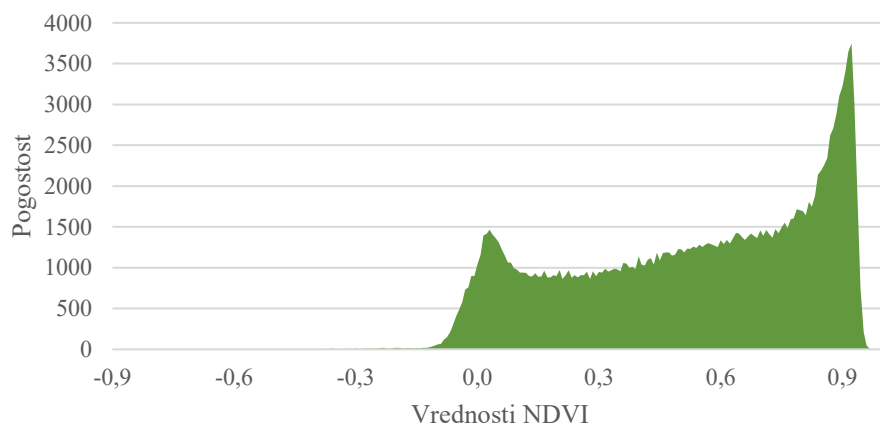
8.1.5 Celje

Površina našega mesta znaša 18 km². Povprečna vrednost NDVI znaša 0,53 (graf 5). Vrednost se v stotinkah razlikuje in je nekoliko nižja od povprečne vrednosti pri Novem mestu, vendar so tako majhne razlike zanemarljive in nerelevantne. Delež zelenih površin v mestu znaša 77 % (slika 14). Tudi tu se največ zelenih površin nahaja na obrobju mesta, ob reki Savinji in precejšen del na griču, ki vodi do gradu.

Karta mesta in vrednosti NDVI – Celje



Slika 14: Karta mesta in vrednosti NDVI – Celje.

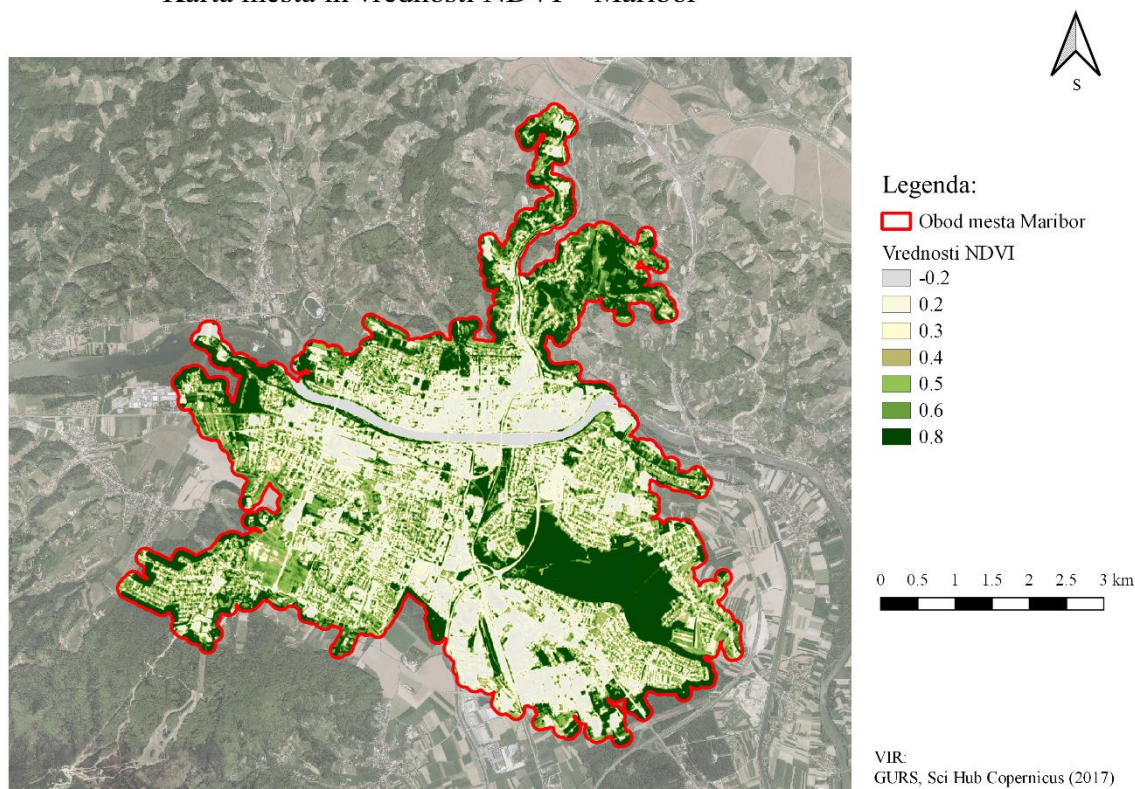


Graf 5: Histogram vrednosti NDVI – Celje.

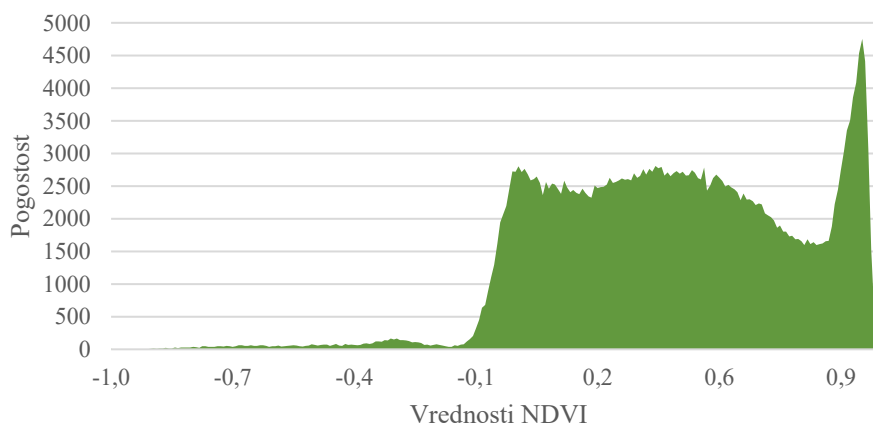
8.1.6 Maribor

Maribor je drugo največje mesto v Republiki Sloveniji, precej gosto pozidano, s posameznimi vmesnimi zelenimi površinami. Mesto, kot smo ga določili, je veliko 32 km². Pri tem zelene površine prekrivajo 70 % celotnega območja. Povprečna NDVI vrednost znaša 0,44 (graf 6). Tudi temu mestu vrednost NDVI niža prisotnost reke Drave. Zelo obsežen del zelenih površin v mestu Maribor predstavlja mestni gozd Stražun, ki leži na jugovzhodu mesta in pripomore k večji zelenosti mesta (slika 15). Ostale zelene površine predstavljajo vmesna travniška območja in drevesa. Brez mestnega gozda Stražun, bi povprečna vrednost NDVI padla na 0,41, delež zelenih površin pa bi padel za 6 %.

Karta mesta in vrednosti NDVI – Maribor



Slika 15: Karta mesta in vrednosti NDVI – Maribor.



Graf 6: Histogram vrednosti NDVI – Maribor.

Če primerjamo te rezultate lahko ocenimo, katero mesto je bilo na dan 20.6.2017 bolj zeleno. Za boljše preglednost so vsi rezultati zbrani v preglednici 5.

Preglednica 5: Povprečne vrednosti NDVI in deleži zelenih površin za vsa mesta.

Mesto	Povprečna vrednost NDVI	Delež zelenih površin v mestu
Novo mesto	0,53	79 %
Celje	0,53	77 %
Ljubljana	0,51	77 %
Kranj	0,48	74 %
Maribor	0,44	70 %
Koper	0,43	65 %

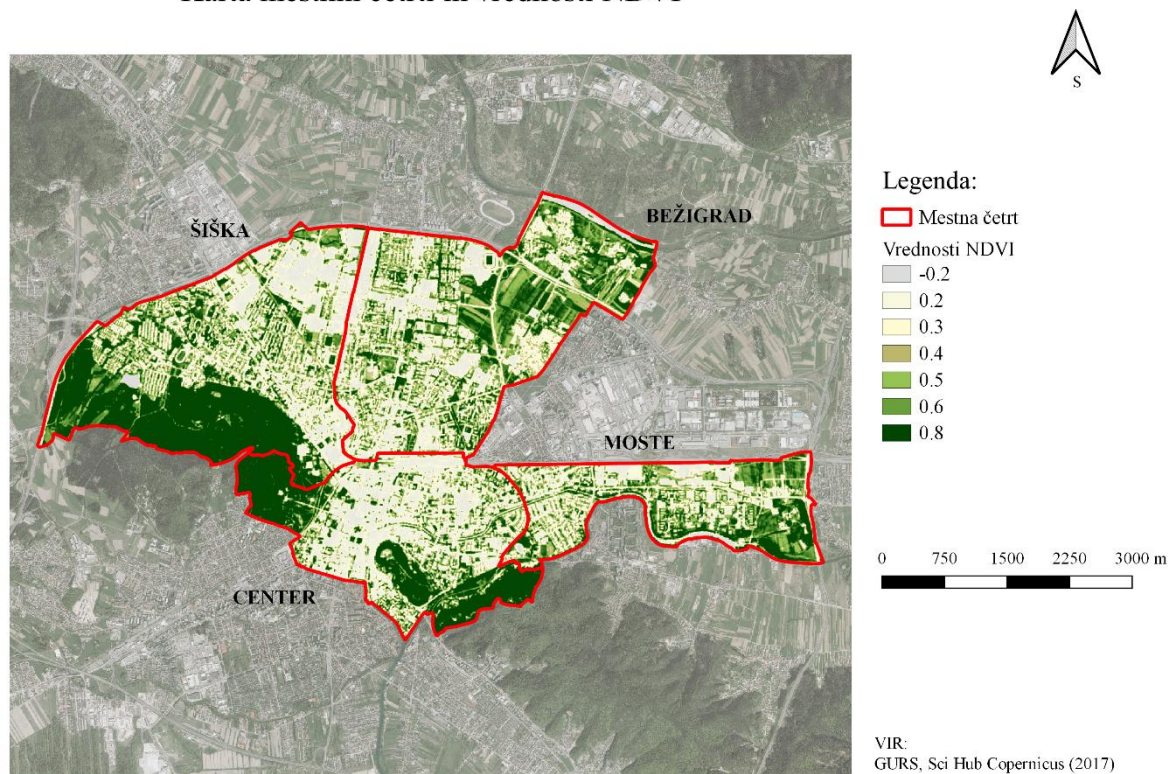
Vidimo lahko, da sta bili junija 2017 najbolj zeleni mesti Novo mesto in Celje. Kot smo že omenili, je bila pri Celju povprečna vrednost NDVI nekoliko manjša, vendar je ta razlika zanemarljiva. Po stopnji zelenosti jima nato sledi Ljubljana, pri kateri je delež zelenih površin v mestu enak kot pri Celju. Kranj je četrto mesto z najbolj intenzivno vegetacijo, sledi pa mu Maribor. Najmanj zelenih površin in tudi najmanj močno zeleno je mesto Koper. Vsa mesta si v istem vrstnem redu sledijo tako po povprečni vrednosti NDVI, kot tudi po deležu zelenih površinah.

8.2 Primerjava mestnih četrti

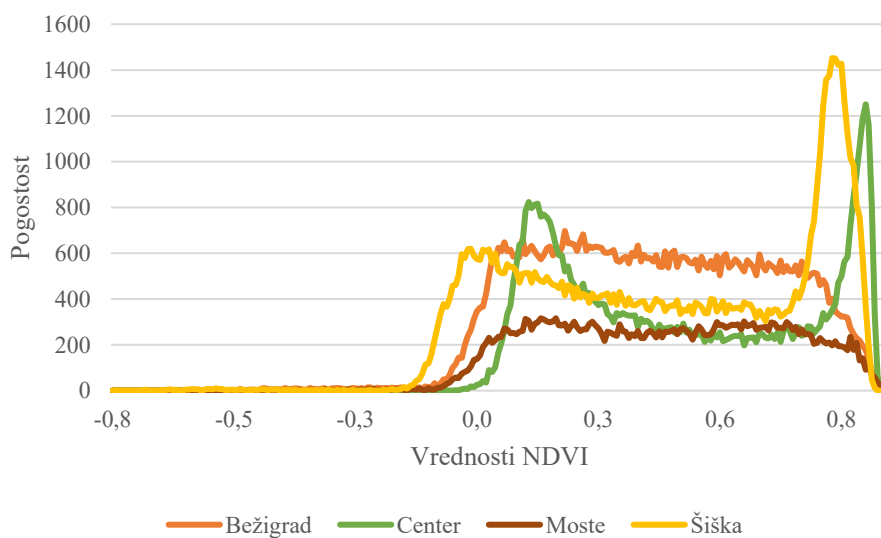
Primerjali smo tudi kako zelene so posamezne mestne četrti v Ljubljani. Izbrali smo štiri najbolj poseljene mestne četrti: četrtna skupnost Šiška, četrtna skupnost Bežigrad, četrtna skupnost Center in četrtna skupnost Moste.

Na karti (slika 16) so prikazane mestne četrti s pripisanimi imeni in obarvane glede na vrednosti NDVI (graf 7).

Karta mestnih četrti in vrednosti NDVI



Slika 16: Karta mestnih četrti in vrednosti NDVI.



Graf 7: Histogram vrednosti NDVI – mestne četrti.

Numerični rezultati te analize so zbrani v preglednici 6, kjer so prikazane povprečne vrednosti NDVI in deleži zelenih površin znotraj obravnavane mestne četrti.

Preglednica 6: Povprečne vrednosti NDVI in deleži zelenih površin za vse mestne četrti.

Mestna četrt	Povprečna vrednost NDVI	Delež zelenih površin v četrti
Šiška	0,50	72 %
Center	0,45	62 %
Moste	0,44	72 %
Bežigrad	0,41	68 %

Najbolj zelena četrt je Šiška. Znotraj te četrti se nahaja kar velik del Šišenskega hriba in del parka Tivoli (močno zelena območja, kar vpliva in viša vrednost NDVI), zato je takšen rezultat pričakovan. Druga najbolj močno zelena četrt je Center. Tu zelene površine predstavljajo najmanjši delež površine, kar je razumljivo, saj običajno centri mest niso tako zeleni, kot okolica. Območja zelenih površin v Centru predstavljajo Grajski grič, del parka Tivoli in del gozdnih površin na jugu. Ta območja so tako močno zelena, da je povprečna vrednost NDVI višja, kot pri ostalih dveh četrtih. Mestna četrt Moste ima enak delež zelenih površin, kot Šiška, vendar je tu vegetacija manj intenzivna. Najmanj intenzivna je vegetacija na območju mestne četrti Bežigrad. Tu zelene površine predstavljajo travniške in obdelovalne površine.

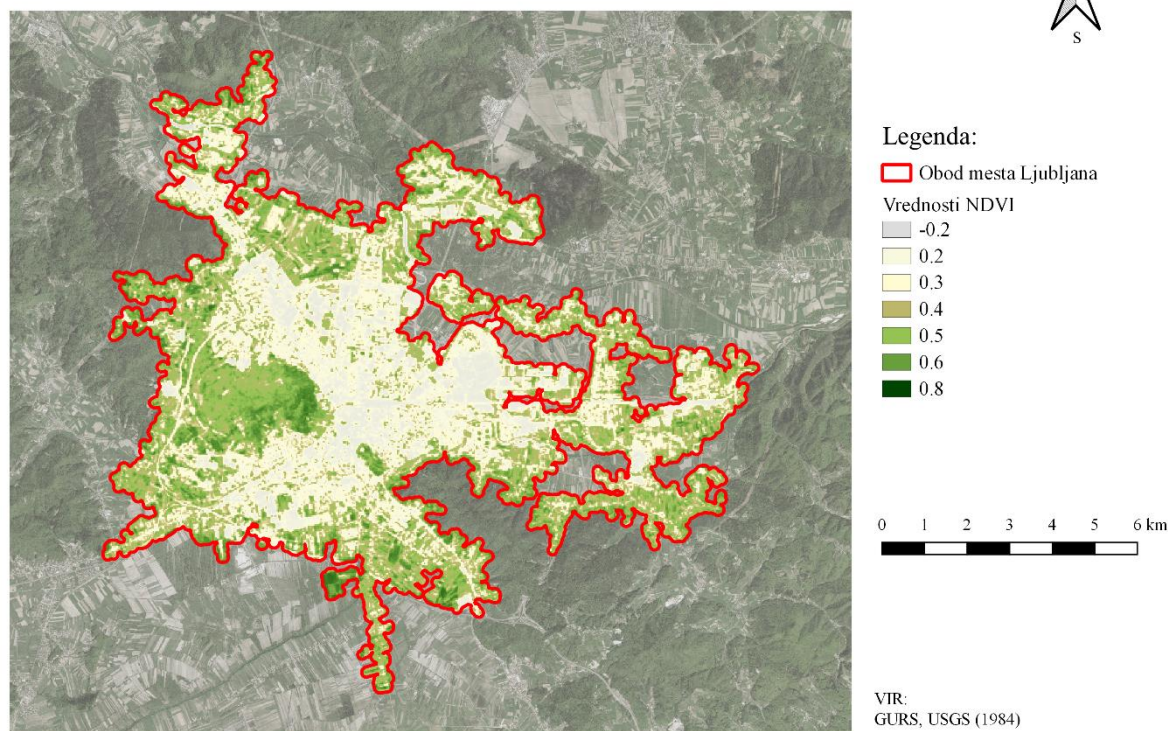
8.3 Spremembe

Zanimalo nas je tudi, kako se je zelenost mest spreminjala. Za primerjavo smo izbrali mesto Ljubljana, uporabili smo posnetke let 1984, 2000 in 2017. Kot v prejšnjih primerih, prikazujemo karte in histograme NDVI.

Za mejno vrednost, pri kateri se začne vegetacija smo ocenili 0,2. Razloga, zakaj se mejna vrednost pri Landsatovih posnetkih razlikuje od vrednosti pri Sentinelovih posnetkih, nismo ugotovili, razlik na osnovi razpoložljive literature namreč ne pričakujemo. Opazimo lahko, da se tudi končni rezultati povprečnih NDVI vrednosti med seboj razlikujejo.

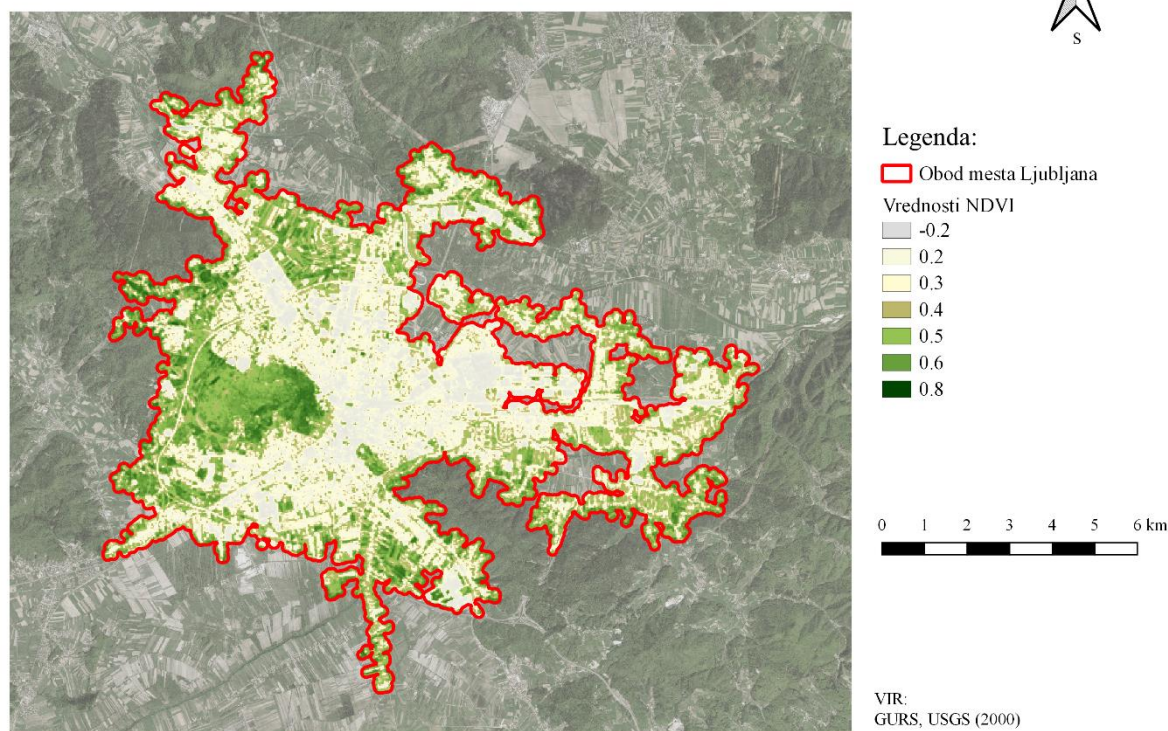
Naslednje tri karte (slika 17, slika 18, slika 19) prikazujejo obarvane NDVI vrednosti mesta Ljubljana, na dneve 25. 6. 1984, 21. 6. 2000 in 20. 6. 2017.

Karta mesta in vrednosti NDVI – leto 1984



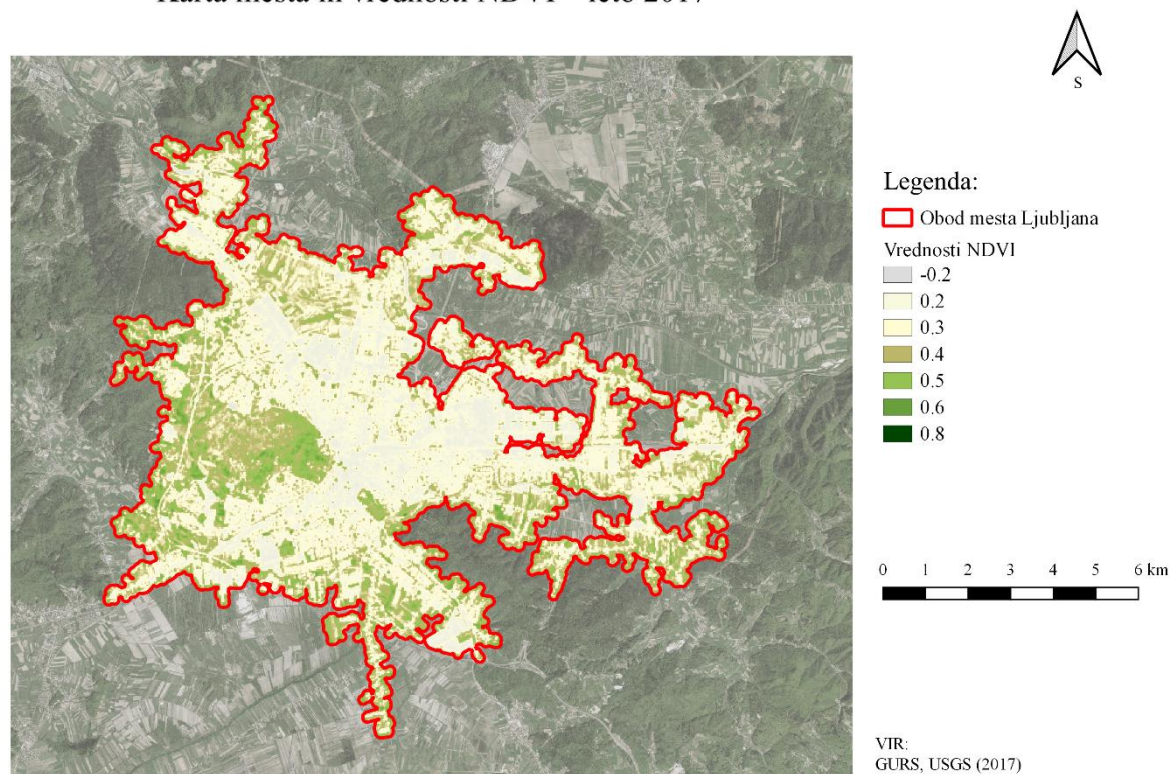
Slika 17: Karta mesta Ljubljana in vrednosti NDVI v letu 1984.

Karta mesta in vrednosti NDVI – leto 2000



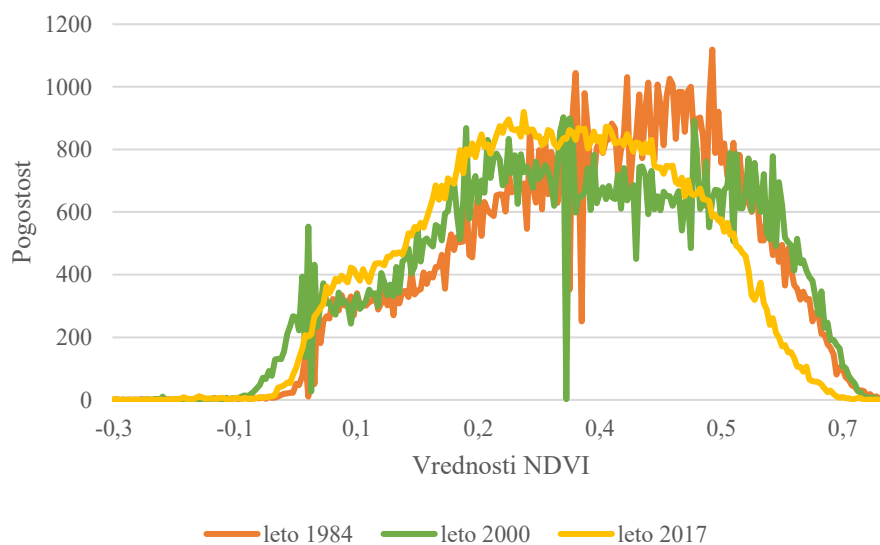
Slika 18: Karta mesta Ljubljana in vrednosti NDVI v letu 2000.

Karta mesta in vrednosti NDVI – leto 2017



Slika 19: Karta mesta Ljubljana in vrednosti NDVI v letu 2017.

Ob pregledu histogramov vrednosti NDVI lahko opazimo, da so si ti med seboj podobni. Če primerjamo histograma iz leta 1984 in 2017 vidimo, da ima histogram vrednosti NDVI za leto 1984 večje število višjih vrednosti, histogram leta 2017 pa več nižjih vrednosti. Ta razlika se pozna tudi pri numeričnih rezultatih. Histogram leta 2000 je neka prehodna faza med prej omenjenima histogramoma, pri njem pa lahko vidimo nekoliko večje število vrednosti okoli 0.



Graf 8: Histogram vrednosti NDVI – Ljubljana leta 1984, 2000 in 2017.

Numerični rezultati primerjave sprememb v zelenosti mesta Ljubljana, so prikazani v preglednici 7.

Preglednica 7: Povprečne vrednosti NDVI in deleži zelenih površin, za mesto Ljubljana, v letih 1984, 2000 in 2017.

Leto	Povprečna vrednost NDVI	Delež zelenih površin v mestu
1984	0,36	81 %
2000	0,35	77 %
2017	0,31	78 %

V obdobju triintridesetih let, se je v Ljubljani zgodilo kar nekaj gradbenih posegov. Nekaj zgradb se je v tem času porušilo, še več pa zgradilo. Posledice tega se kažejo tudi v zelenosti mesta.

V letih od 1984 do 2000 je delež zelenih površin v mestu Ljubljana upadel za 4 %, iz 81 % na 77 %. To je posledica številnih infrastrukturnih posegov. Zgrajen je bil vzhodni del ljubljanske obvoznice, posamezni priključki na avtocesto, industrijska cona je prerasla v nakupovalno središče Rudnik, širilo se je nakupovalno središče BTC in še številni drugi ter stanovanjski objekti. Povprečna vrednost NDVI je podobna, kar kaže na to, da nove gradnje niso močno znižale povprečne vrednost, oziroma je imela Ljubljana, glede na delež zelenih površin v mestu, leta 2000 bolj bujno in zeleno vegetacijo.

Obdobje od leta 2000 do leta 2017 je čas, ko je bil med drugim zgrajen Center Stožice, razcep Koseze, študentski dom Litostroj in Tehnološki park Brdo. Leta 2011 so porušili Palačo Kolizej v centru mesta, danes pa je to območje zasajeno z grmičevjem. Delež zelenih površin je za 1 % višji, kot leta 2000, je pa ta vrednost blizu merske napake. To je lahko tudi posledica vse večjega zavedanja o pomenu zelenega okolja. V zadnjih letih k temu močneje strmijo tudi prostorski načrtovalci. Novo zgrajeni objekti so nekoliko znižali povprečno vrednost NDVI, je pa bilo to obdobje v letu 2017 vroče in sušno, s pomanjkanjem dežja, kar neposredno vpliva tudi na zelenost rastlinstva.

9 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo izvedli primerjavo zelenosti posameznih mest v Sloveniji.

Metoda, ki smo jo uporabili za določevanje meje mesta, je bila povzeta po poročilu Pomen majhnih in srednje velikih mest za razvoj urbanih območij. S podatki o administrativnih mejah naselij in katastra stavb smo lahko določili sto metrski pas okoli vsake stavbe. Območja pasov, združenih v celoto, so tako predstavljala območje posameznega mesta. S tem smo uspešno dosegli svoj prvi zastavljeni cilj.

Drugi zastavljeni cilj je bil poiskati ustrezne satelitske posnetke in ugotoviti kako zelena so izbrana območja. Za potrebe analize, smo uporabili posnetke satelitov Sentinel-2A, Landsat 5 in Landsat 8. Vsi satelitski podatki so brezplačno dostopni in jih lahko snamemo prek spleta ali QGIS-ovega vtičnika SCP.

Stopnjo zelenosti ocenjujemo s pomočjo vegetacijskih indeksov. V diplomski nalogi smo uporabili normirani diferencialni vegetacijski indeks. To je vrednost med -1 in 1 izračunana kot razmerje med razliko infrardečega in rdečega kanala ter vsoto infrardečega in rdečega kanala. Na podlagi tega, smo lahko določili kako močno so zelena slovenska mesta in kakšen je delež zelenih površin v mestu. Izvedli smo tri analize.

V prvi, glavni, smo med seboj primerjali zelenost šestih slovenskih mest: Ljubljane, Maribora, Celja, Kranja, Kopra in Novega mesta. Ugotovili smo, da sta bili leta 2017 najbolj zeleni mesti Novo mesto in Celje, pri čemer pa ima Novo mesto za 2 % večji delež zelenih površin kot Celje. Novemu mestu in Celju sledi Ljubljana, nato Kranj, Maribor in Koper, kot najmanj zeleno mesto. Koper ima v primerjavi z Novim mestom za 0,1 nižjo povprečno vrednosti NDVI in kar za 14 % manjši delež zelenih površin. Vsa mesta si tako po stopnji zelenost, kot po deležu zelenih površin sledijo v enakem vrstnem redu.

Nato smo med seboj primerjali tudi najbolj poseljene ljubljanske četrtne skupnosti: Šiško, Bežigrad, Center in Moste. Rezultati so pokazali, da je najbolj poseljena mestna četrt – Šiška – hkrati tudi najbolj zelena. Po povprečni vrednosti NDVI in deležu zelenih površin si četrti ne sledijo po enakem vrstnem redu. Druga najmočnejše zelena četrt je Center, ki pa ima hkrati najmanjši delež zelenih površin. Sledita še četrtni skupnosti Moste in Bežigrad.

V zadnji, tretji analizi, nas je zanimalo, kako se je spremenila zelenost glavnega mesta Republike Slovenije, Ljubljane. Kot obdobje primerjave smo obravnavali triintrideset let, od leta 1984 do 2017 z enim vmesnim obdobjem, letom 2000. Ljubljana se je v tem času razširila, veliko se je zgradilo, nekaj objektov pa tudi podrlo. Delež zelenih površin v mestu je, od leta 1984 do leta 2017, upadel za 3 %, vendar lahko vidimo, da se je glede na leto 2000 zvišal za 1 %. Intenzivnost zelenosti vegetacije je upadla za 0,05. Danes je osveščenost družbe o pomenu trajnostnega razvoja in ohranitvi zelenih površin vse večja, kot pa je bila pred nekaj desetletji, zato tudi v prihodnje ne pričakujemo upada zelenih površin.

Opazimo lahko razliko v rezultatih med posnetki satelita Sentinel-2A in Landsatovimi sateliti. Posamezni rezultati Sentinelovih satelitov so med seboj primerljivi in tudi rezultati Landsatovih satelitov so med seboj primerljivi. Če pa primerjamo rezultate s satelita Sentinel in satelita Landsat, pa le teh med seboj ne moremo primerjati. Rezultati bi načeloma morali priti podobni, zakaj do te napake pride pa težko obrazložimo in bi bila potrebna nadaljnja študija, saj razlogov nismo zasledili niti v razpoložljivi literaturi.

VIRI

ArcMap. 2018.

<https://www.dataone.org/software-tools/esri-arcmap> (Pridobljeno 29. 7. 2018.)

Copernicus. 2018.

<http://www.copernicus.eu/main/overview> (Pridobljeno 30. 6. 2018.)

Černe, T. 2009. Informacijski sistem za gospodarjenje z javnimi zelenimi površinami v urbanem okolju. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 3, 4, 26, 27, 28.

Gärtner, P., 2017. European capital greenness evaluation.

<https://philippgaertner.github.io/2017/10/european-capital-greenness-evaluation/> (Pridobljeno 20. 11. 2017.)

Landsat 8. 2018.

<https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/> (Pridobljeno 3. 7. 2018.)

NDVI. 2018.

https://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php (Pridobljeno 28. 7. 2018.)

Oštir, K., 2006. Daljinsko zaznavanje. Ljubljana: Založba ZRC: 250 str.

Prosen, A., Zavodnik Lamovšek, A., Žaucer, T., Drobne, S., Soss, K., 2008. Pomen majhnih in srednje velikih mest za razvoj urbanih območij: zaključno poročilo s predlogom meril za razmejitev mest in odprtega prostora : CRP "Konkurenčnost Slovenije 2006-2013". Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 16, 17, 22.

QGIS SCP. 2018.

<https://plugins.qgis.org/plugins/SemiAutomaticClassificationPlugin/> (Pridobljeno 29. 7. 2018.)

QGIS. 2018.

<https://qgis.org/en/site/about/index.html> (Pridobljeno 29. 7. 2018.)

Sentinel-4. 2018.

<https://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/FutureSatellites/CopernicusSatellites/Sentinel4/index.html> (Pridobljeno 2. 7. 2018.)

Sentinel-6. 2018.

<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-6> (Pridobljeno 2. 7. 2018.)

Simoneti, M., 2017. Prostorsko načrtovanje – zapiski predavanj. (neobjavljeno besedilo)

Veljanovski, T., Švab Lenarčič, A., Oštir, K., 2014. Sateliti Sentinel – vesoljska komponenta Evropskega programa za opazovanje Zemlje Copernicus. Geodetski vestnik 58, 3: str. 583-588.

Vrhovšek, P. 2017., Analiza podatkov Landsat daljšega časovnega obdobja. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 9.

Xue, J. in Su, B., 2017. Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. <https://www.hindawi.com/journals/js/2017/1353691/> (Pridobljeno 28. 7. 2018.)

Zakon o urejanju prostora. Ur.l. RS št. 61/2017, Ljubljana. <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2017-01-2915> (Pridobljeno 10. 7. 2018.)