

Simulacije ENVI-met za oceno vpliva vegetacijskih tipov na mikroklimo v urbanem okolju

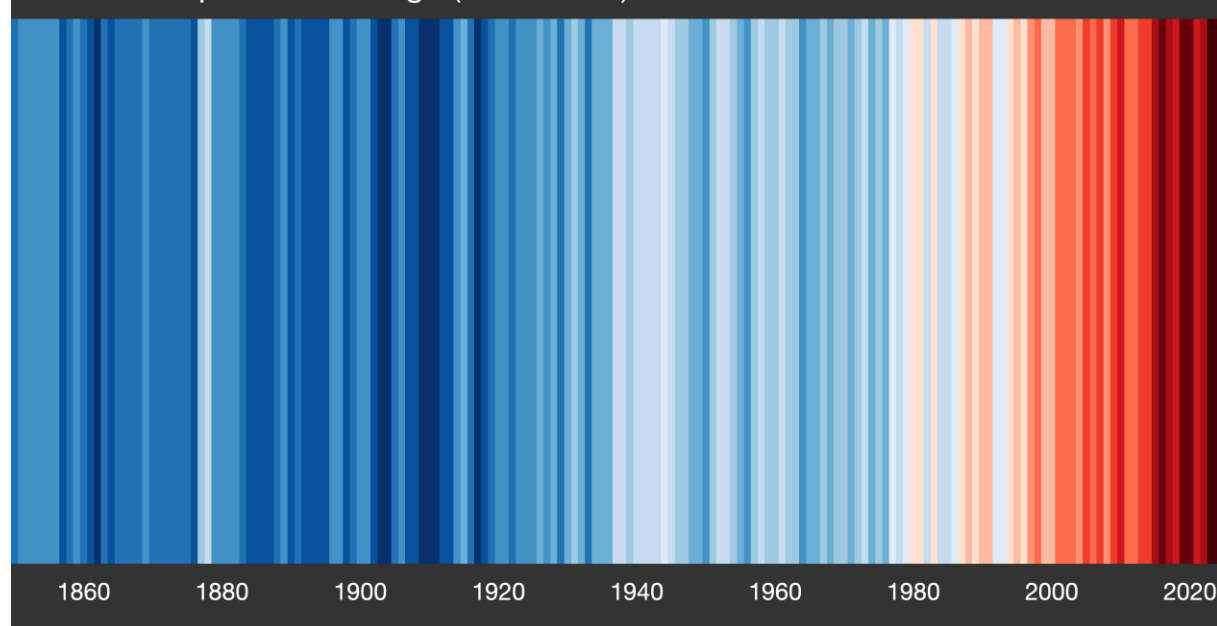
Urška Didovič, mag. inž. kraj. arh., IPoP – Inštitut za politike prostora

Sodobni pristopi ozelenjevanja in rastlinski izbor za zmanjšanje učinkov toplotnega
otoka v mestih, Ljubljana, 8. 1. 2026

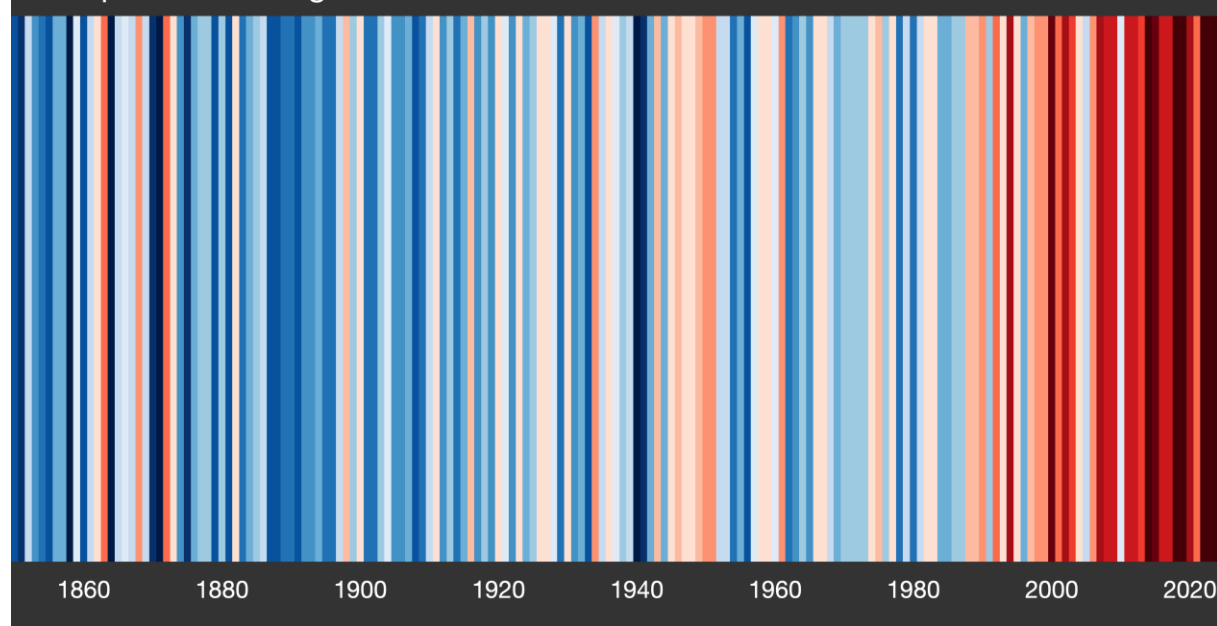
Uvod

- Splošen dvig povprečnih temperatur in večji ekstremi
- Slovenija se segreva hitreje, kot ostale države
 - Geografska lega
 - Trajanje sončnega obsevanja
 - Manj padavin spomladi
 - Manjša količina snega, trajanje

Global temperature change (1850-2024)

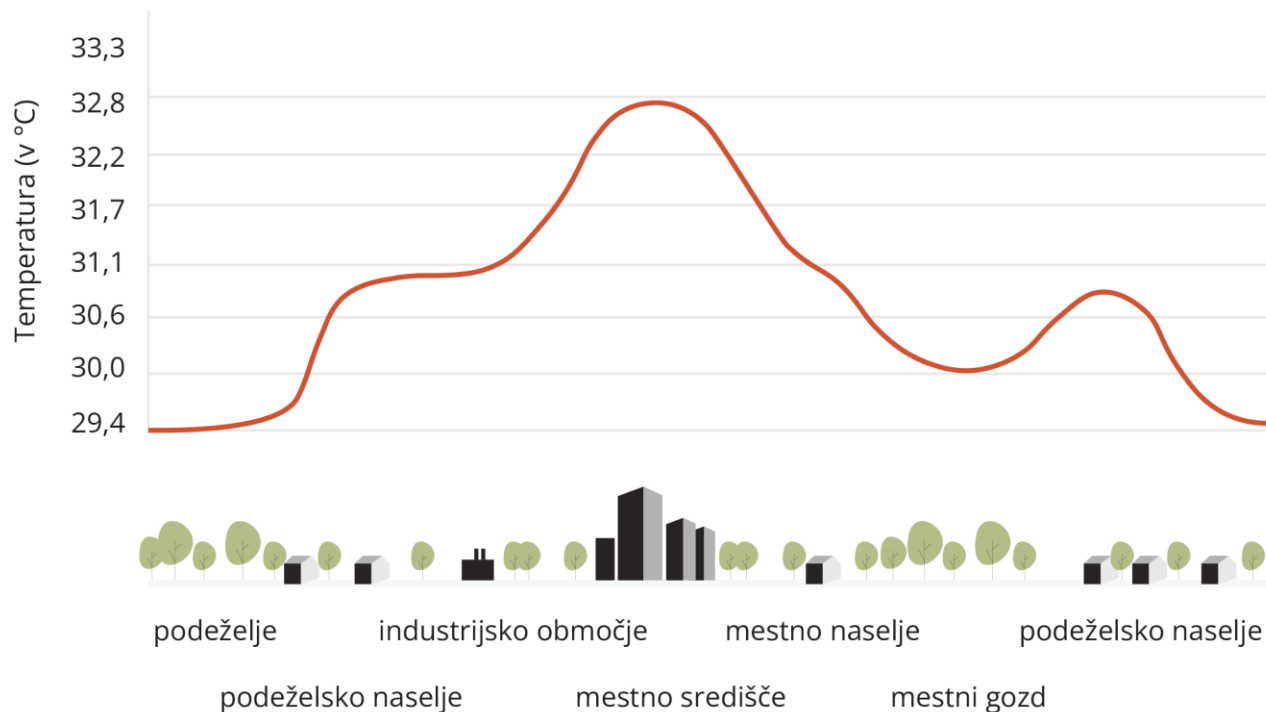


Temperature change in Slovenia since 1850

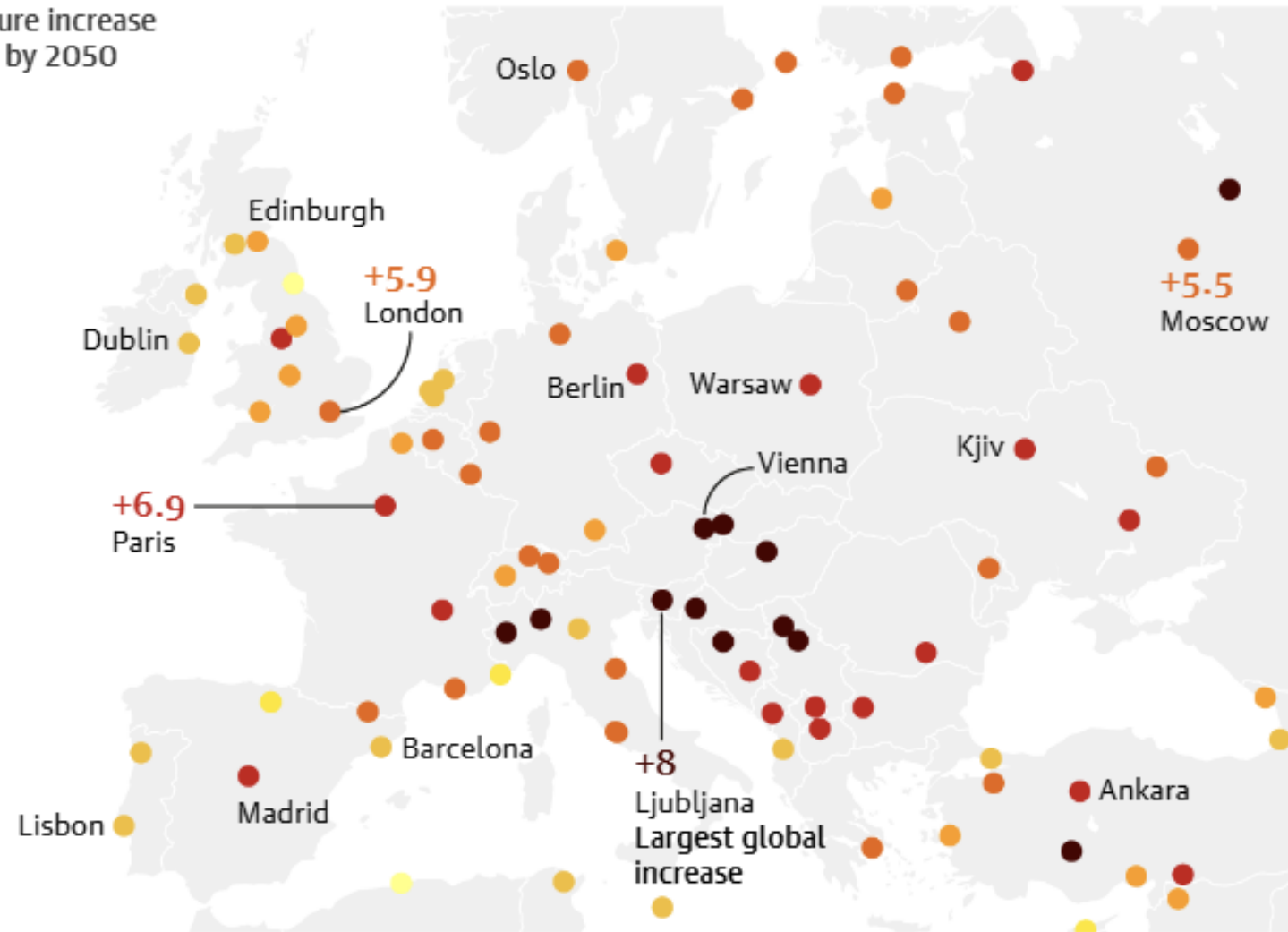
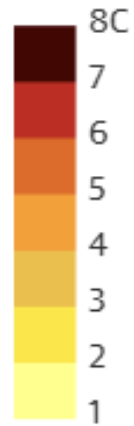


Urbani toplotni otok (UTO)

- Pojav povišanja T zaradi kopičenja sončne energije, tudi 3-12 °C glede na okolico (WHO, 2021)
- Gosta pozidanost, način poselitve, uporaba materialov, dejavnosti
- Izginjanje kakovostnih zelenih površin (in biotske raznovrstnosti)



Forecast temperature increase
of warmest month by 2050



Guardian graphic. Source: Plos One

https://www.theguardian.com/environment/2019/jul/10/global-heating-london-similar-climate-barcelona-2050?CMP=share_btn_url

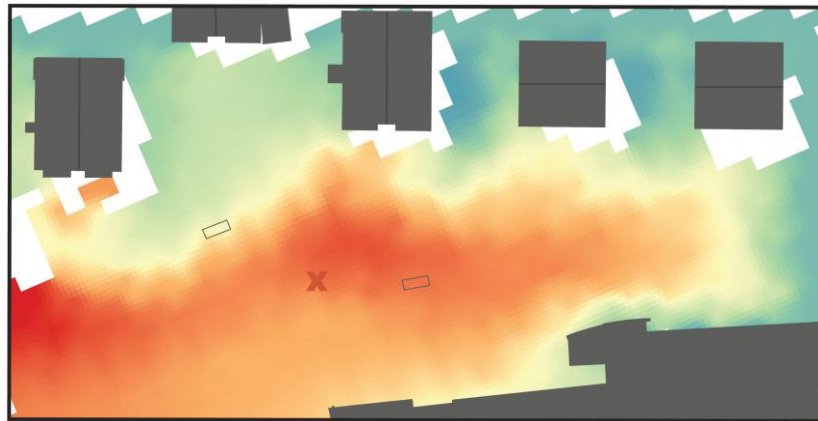
Negativni vplivi UTO

- **Stanje okolja** (segrevanje zraka, kakovost zraka, tal, vode, vpliv na ekosisteme)
- **Zdravje in počutje ljudi** (toplotna obremenitev, slabše počutje, hospitalizacije, smrti)
- **Poraba energije in vode** (za hlajenje – klimatske naprave)
- **Družbena neenakost** (območja z UTO, dostop do hlajenja, zavetja)

Urbana mikroklima

- Temperatura zraka
- Sončno sevanje in oddajanje toplote
- Vlažnost
- Veter (smer)
- Fizična geografija
- Morfologija stavbnega tkiva
 - Prevetrenost
 - Osončenost
- Raba tal

Meritve urbane mikroklimе



Ura: 14.00

X Lokacija meritve s sondo

Temperatura zraka (° C)

38,1
31,8



Temperatura zraka

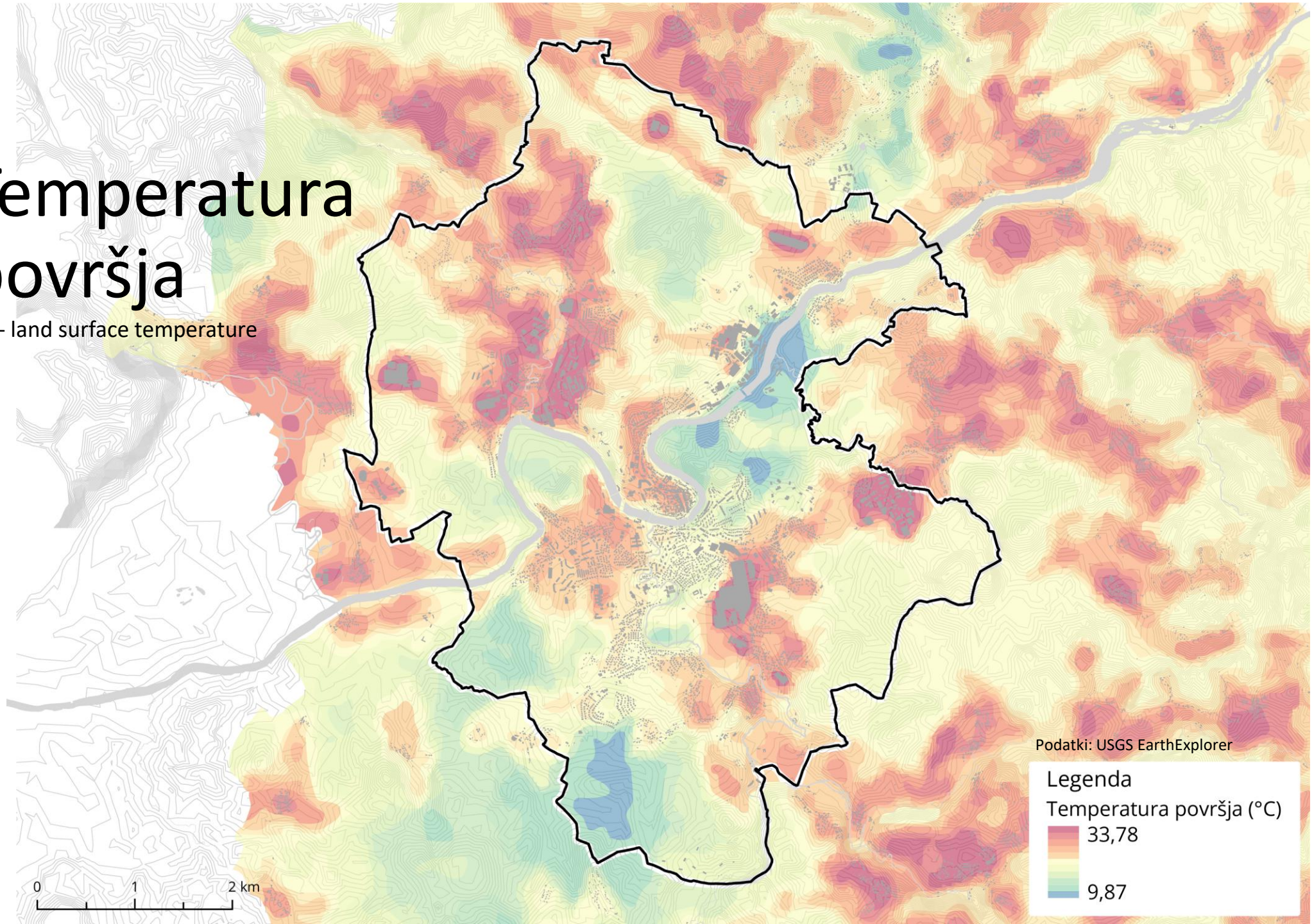
- Oteženo pridobivanje podatkov: meteorološke postaje (standardni podatki), mobilni senzorji/sonde (višina človeka)

Temperatura površja

- Podatki prosto dostopni s satelitov
- Odvisna od materiala in osenčenosti
- Posreden vpliv na človeka

Temperatura površja

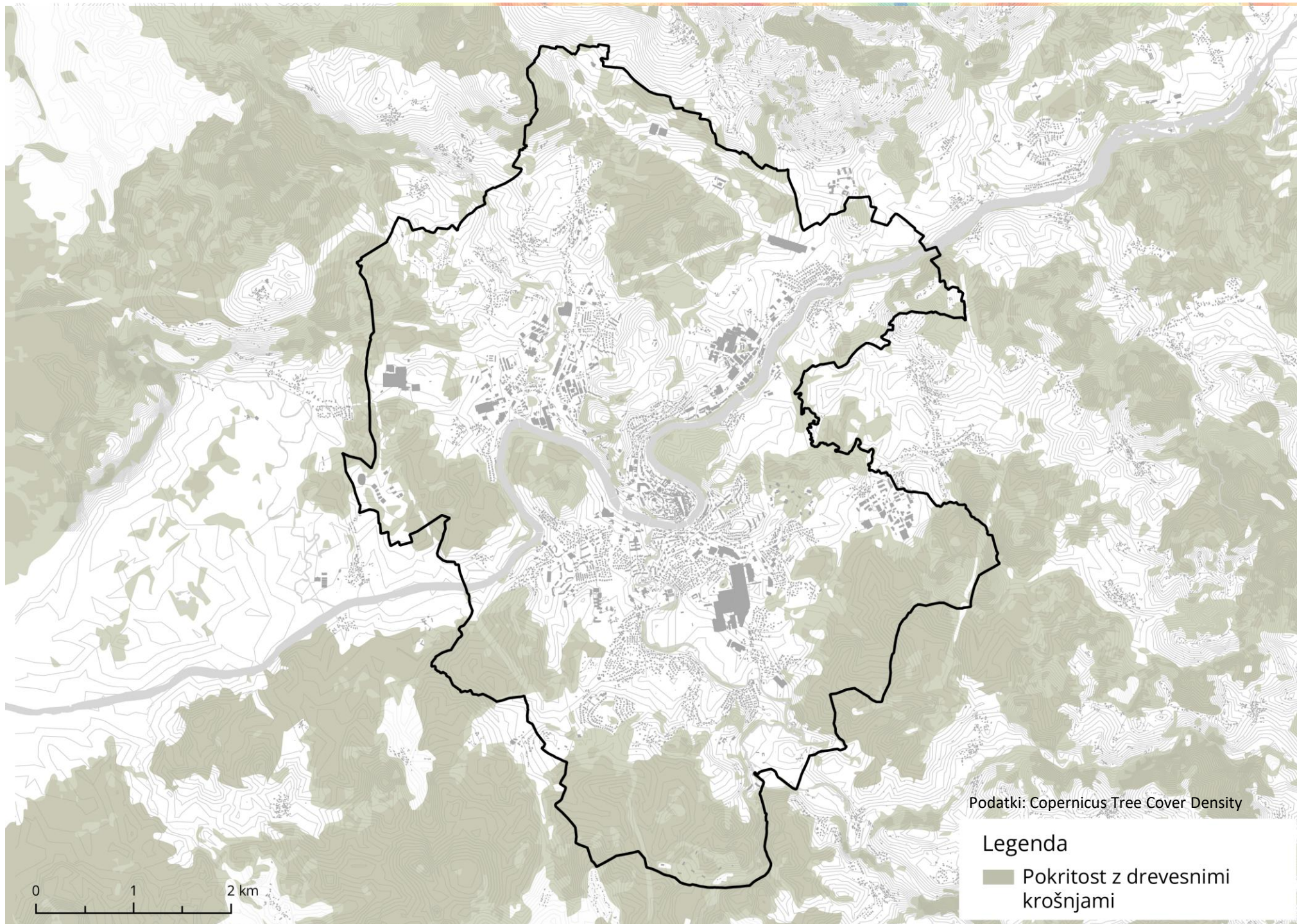
LST- land surface temperature



Podatki: USGS EarthExplorer

Legenda
Temperatura površja (°C)

33,78
9,87



Podatki: Copernicus Tree Cover Density

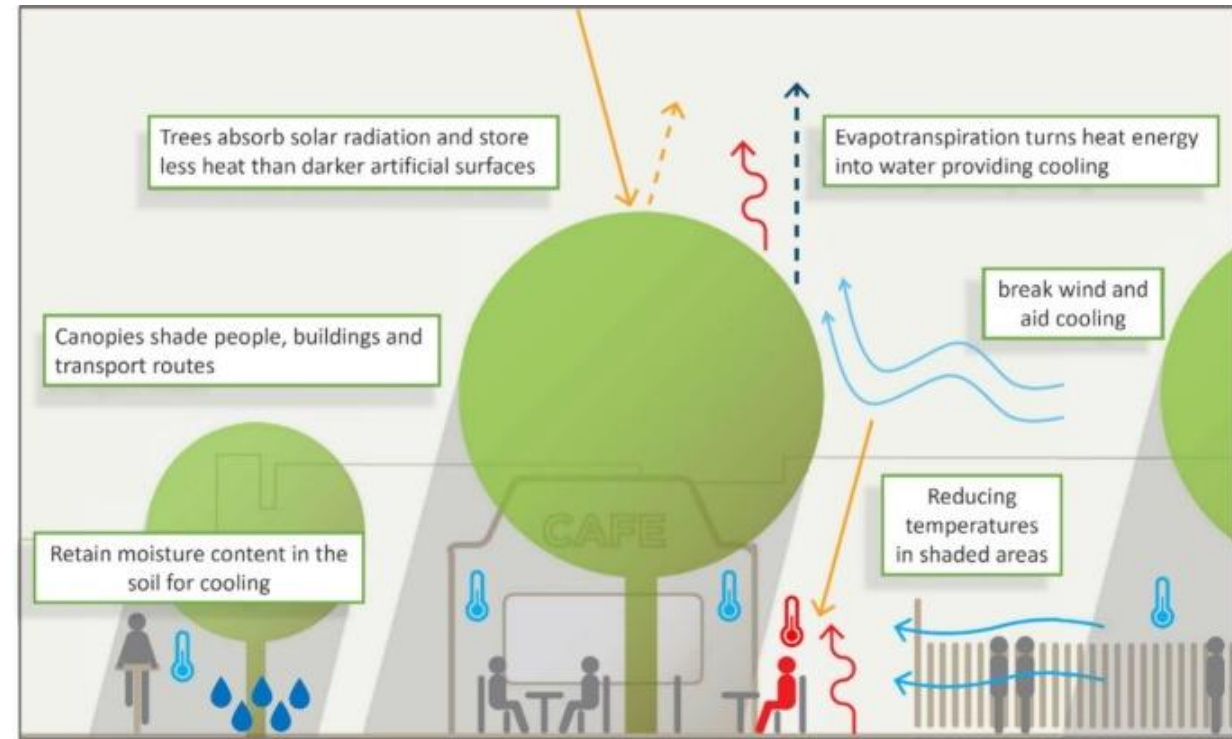
Legenda

■ Pokritost z drevesnimi krošnjami

0 1 2 km

Vloga vegetacije pri uravnavanju mikroklimе

- Senčenje (krošnje, vertikalna ozelenitev, ozelenitev nadstrešnic)
- Evapotranspiracija
- Vpliv na pretok zraka
- Merilo človeka – toplotno udobje



Shaamala in sod., 2024: Strategic tree placement for urban cooling: A novel optimisation approach for desired microclimate outcomes

Učinkovitost vegetacije pri blaženju UTO

- Razlike med tipi vegetacije:
 - Travne površine
 - Grmovnice
 - Drevesa (habitus)
 - Zelene strehe
 - Zelene fasade

ENVI-met



- 3D mikroklimatski simulacijski model (metodologija po Bruse, 1998)
- Model na podlagi fizikalnih osnov – termodinamika, atmosferska fizika, fluidna mehanika
- Interakcije med površino, objekti, rastlinami, zrakom
- Proučevanje vpliva zelene infrastrukture na urbano mikroklimo in toplotno udobje ljudi

Priprava simulacije ENVI-met

- Prostorski podatki (območje, zamejitev, višine objektov, topografija)
- Meteorološki podatki (**T zraka °C**, relativna vlažnost %, hitrost vetra m/s, smer vetra °, oblačnost %),
- Raba tal (tip površine, materiali) / katalog ali ...
- Vegetacija (tip, vrsta, višina, premer, gostota in velikost listov ...) / katalog ali lastne opredelitve, prilagoditve (raziskave)

- Za vsak parameter definiranje ID – šifre površine, vegetacije ...
- Obdobje (ure)



Manage Projects



Import from QGIS



Edit model area



Simulation Settings



Start Simulation



Simulate Thermal Comfort



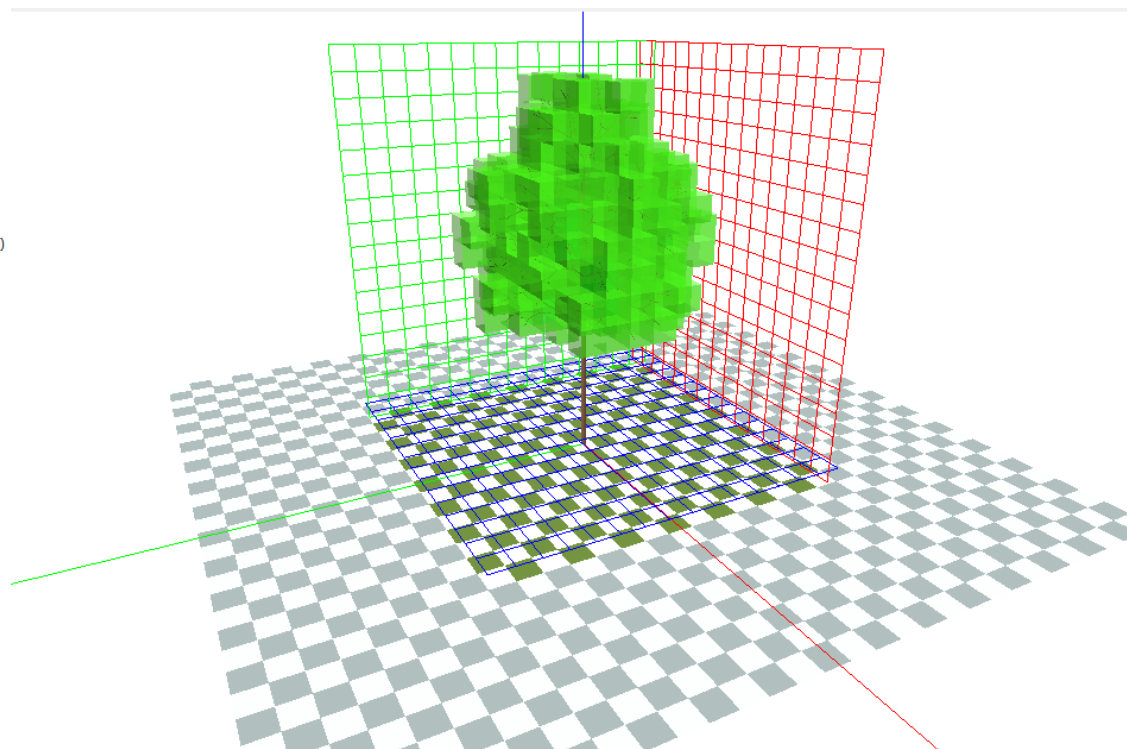
Visualize Results

Materials and
Objects Library

Tree Library

ENVI-met 5
ENVI-met 2[Check for the latest Version](#)

- User 3D Plants
- System 3D Plants
 - Abstract
 - Conifers
 - Deciduous Trees
 - Large
 - dense canopy
 - DL Cylindric, large trunk, dense, large (25m)
 - DL Cylindric, medium trunk, dense, large (25m)
 - DL Cylindric, small trunk, dense, large (25m)
 - DL Heart-shaped, large trunk, dense, large (25m)
 - DL Heart-shaped, medium trunk, dense, large (25m)
 - DL Heart-shaped, small trunk, dense, large (25m)
 - DL Spherical, large trunk, dense, large (25m)
 - DL Spherical, medium trunk, dense, large (25m)
 - DL Spherical, small trunk, dense, large (25m)
 - sparse canopy
 - Medium
 - dense canopy
 - sparse canopy
 - SM Cylindric, large trunk, sparse, medium (15m)
 - SM Cylindric, medium trunk, sparse, medium (15m)
 - SM Cylindric, small trunk, sparse, medium (15m)
 - SM Heart-shaped, large trunk, sparse, medium (15m)
 - SM Heart-shaped, medium trunk, sparse, medium (15m)
 - SM Heart-shaped, small trunk, sparse, medium (15m)
 - SM Spherical, large trunk, sparse, medium (15m)
 - SM Spherical, medium trunk, sparse, medium (15m)
 - SM Spherical, small trunk, sparse, medium (15m)
 - Small
 - Palm Trees
 - Specific
 - Alder
 - American Sweet Gum
 - Apple Tree
 - Ash
 - Beech
 - Birch
 - Bird Cherry
 - Bluebell Tree
 - DemoTree
 - Elm
 - Englisch Hawthorn
 - Field Maple
 - 20 (Q) Field Maple (middle)
 - 20 (Q) Field Maple (old)
 - 20 (Q) Field Maple (young)
 - Field Maple Elegant



General Information

ID:	020020	Color:	<input type="color" value="#008000"/>
Name:	Field Maple (middle)		
Alternative Name:	<i>Acer campestre</i>		
Leaf Type:	Deciduous		
Author:	<i>(Enter Author of Tree Model)</i>		
Cost per plant:	0,00		

Primer: Območje v Atenah

- Poletje, max T 37,4 °C (39-41°C)



Element type	Albedo
[C5] Concrete wall (cast dense)	0.3
[ST] Asphalt Road	0.2
[PP] Pavement (Concrete)	0.4
[PG] Concrete pavement gray	0.5
[KK] Brick road (red stones)	0.3
[LO] Loamy Soil	0.0

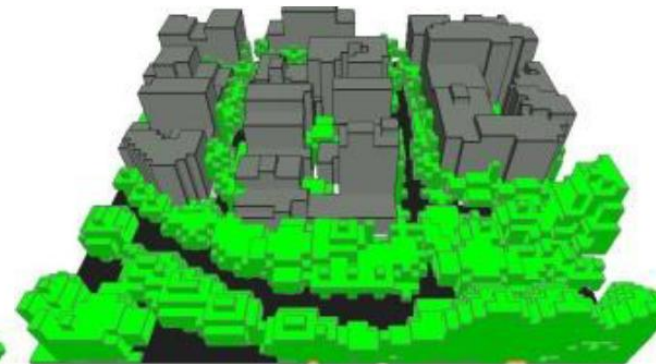
Current Conditions (M1)



Roof Greening (M2)



Roadside Vegetation (M3)



Vir: Chatziniolaou in sod., 2018: URBAN MICROCLIMATE IMPROVEMENT USING ENVI-MET CLIMATE MODEL

Definirani materiali na območju obravnave, 2D pogled

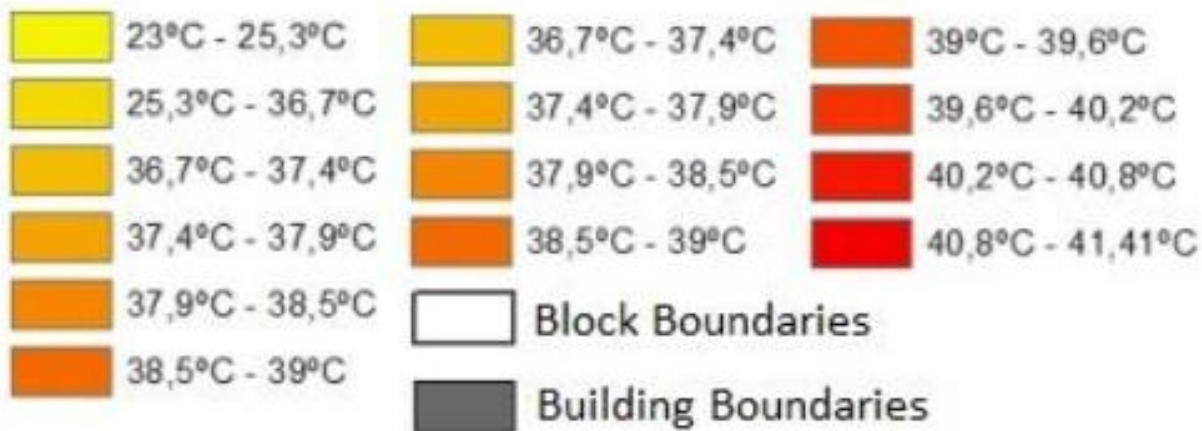


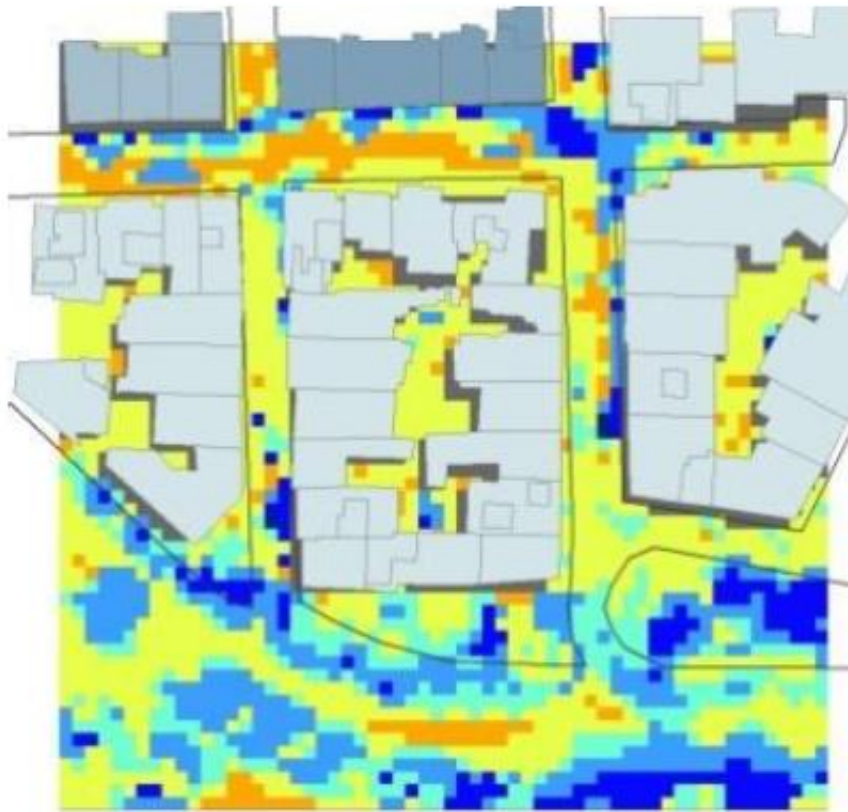
M1 – obstoječe stanje



M3 – dodana obcestna vegetacija

Temperatura zraka (°C)
na višini 0,2 m

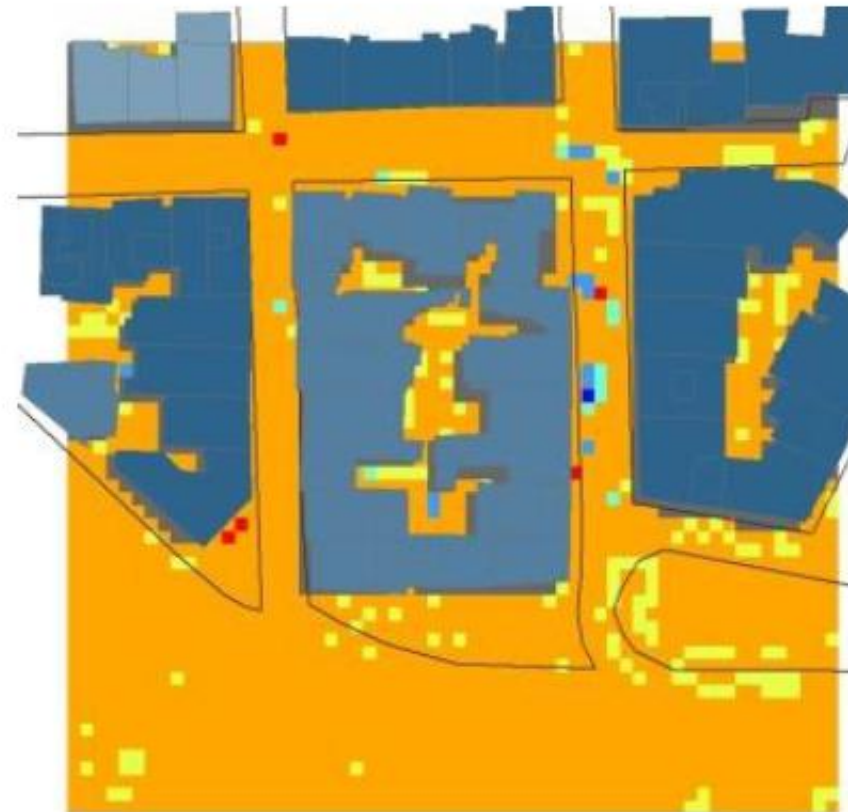
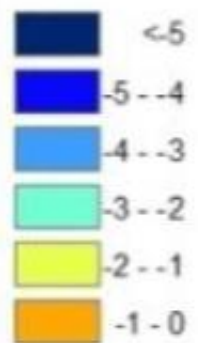




**Primerjava M1-M3
(obstoječe-dodatna ulična ozelenitev)**

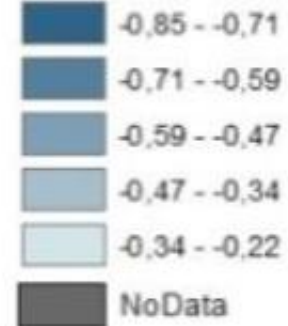
Razlike v vrednostih toplotnega udobja (PMV indeks) in temperature stavb za višino 0,4 m od tal

PMV Change



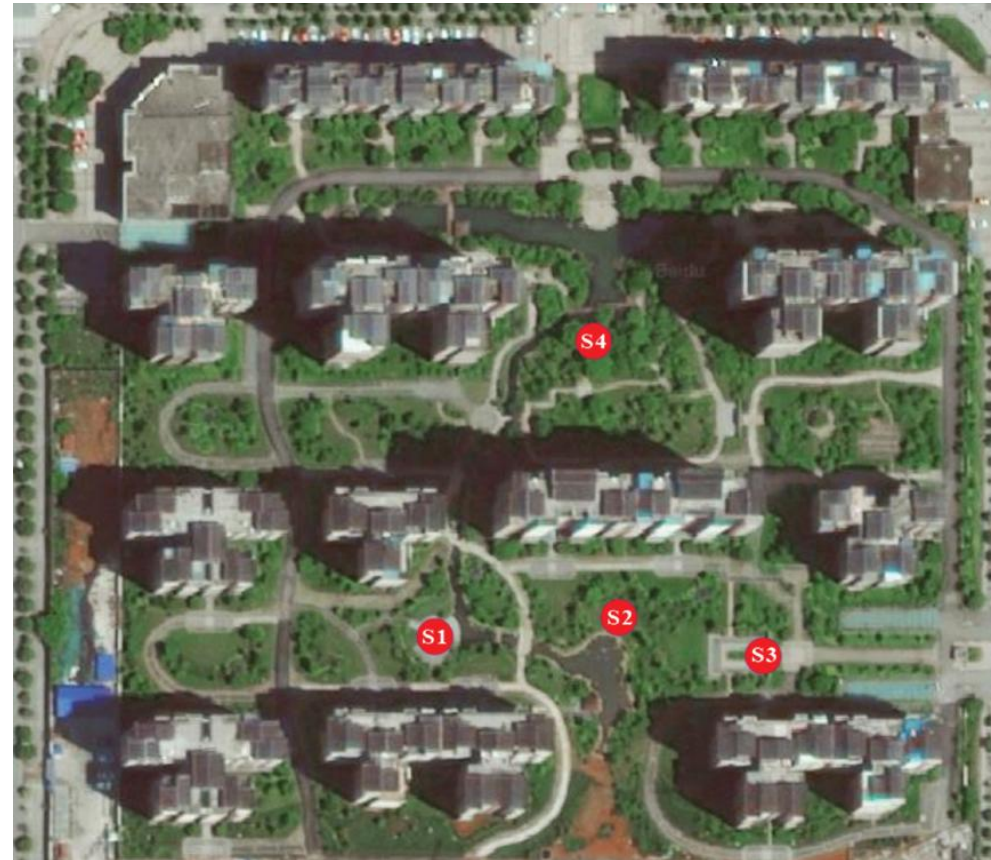
Primerjava M1-M2 (obstoječe-zelena streha)

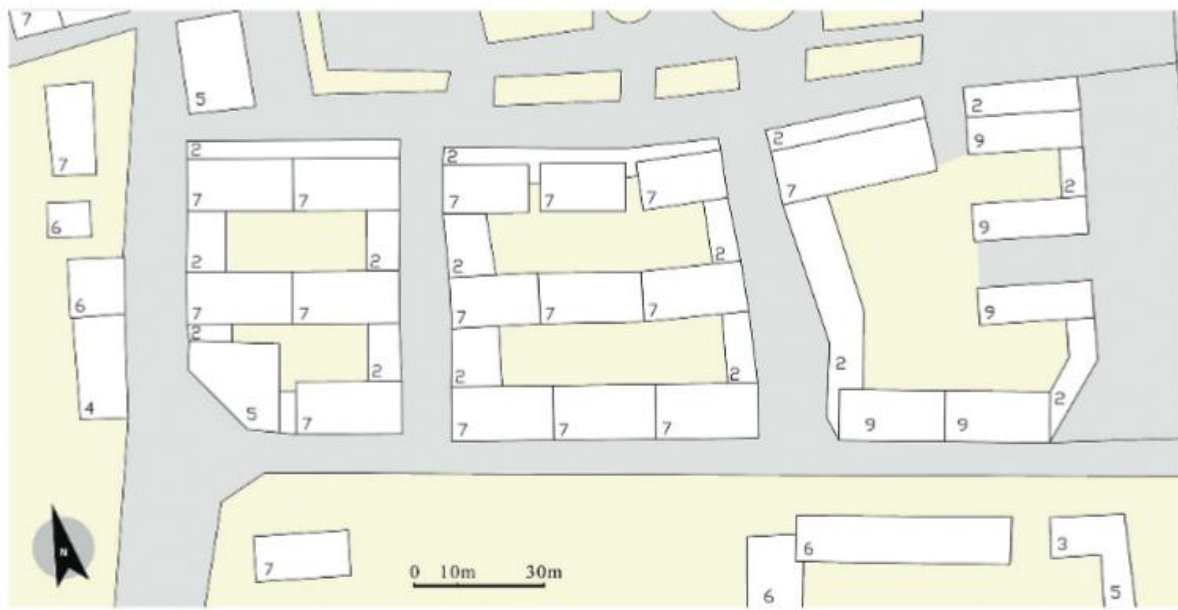
Building Temperature Change



Primer: Soseska v Hong Kongu

- Metodološko zanimiv pristop
- Manj relevanten za direkten prenos sporočil – druga klima





The control scenario



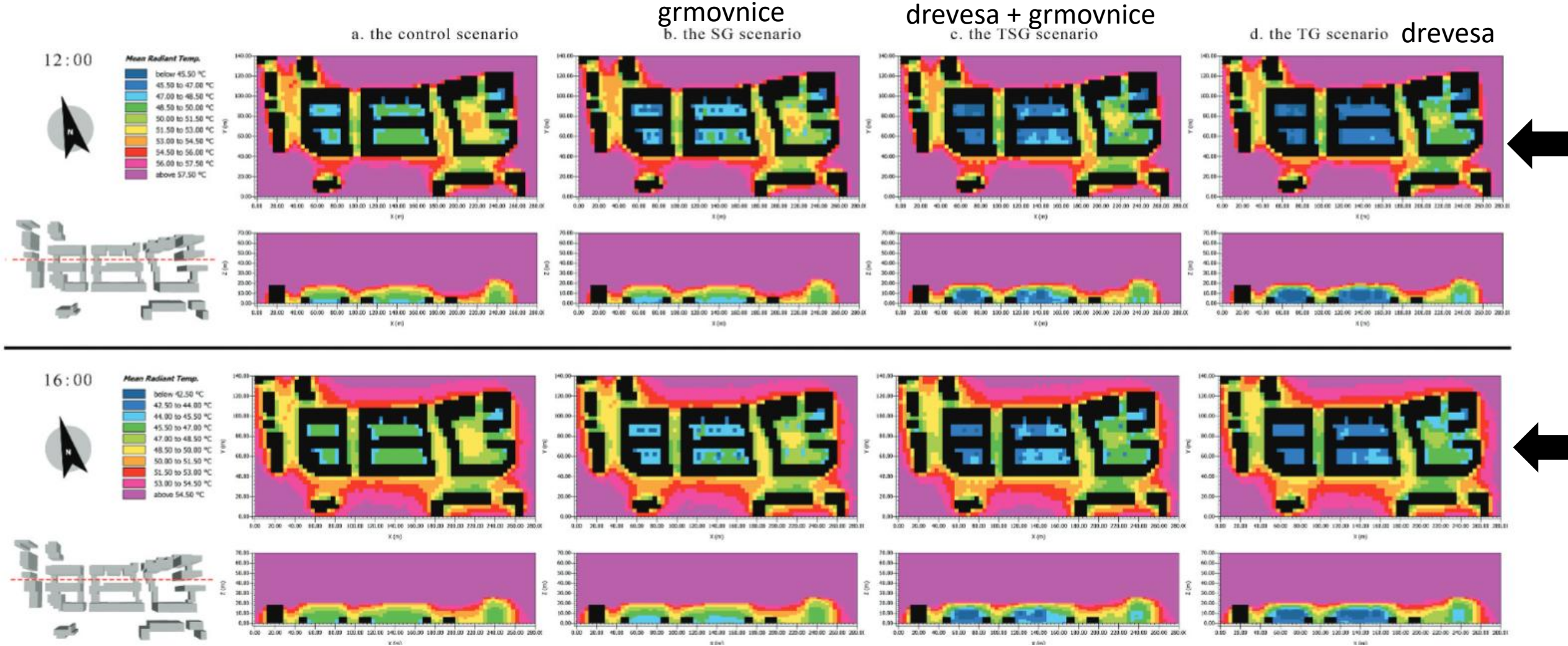
scenario TG - drevesa



Scenario TSG - drevesa + grmovnice

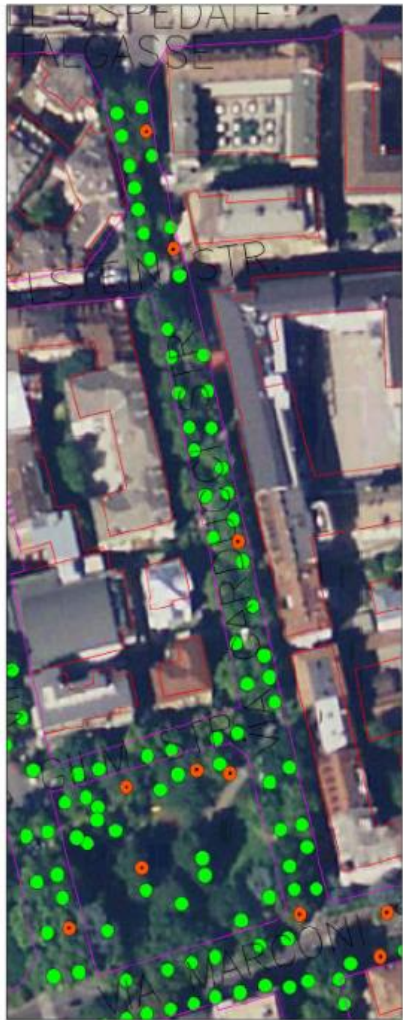


Scenario SG - grmovnice

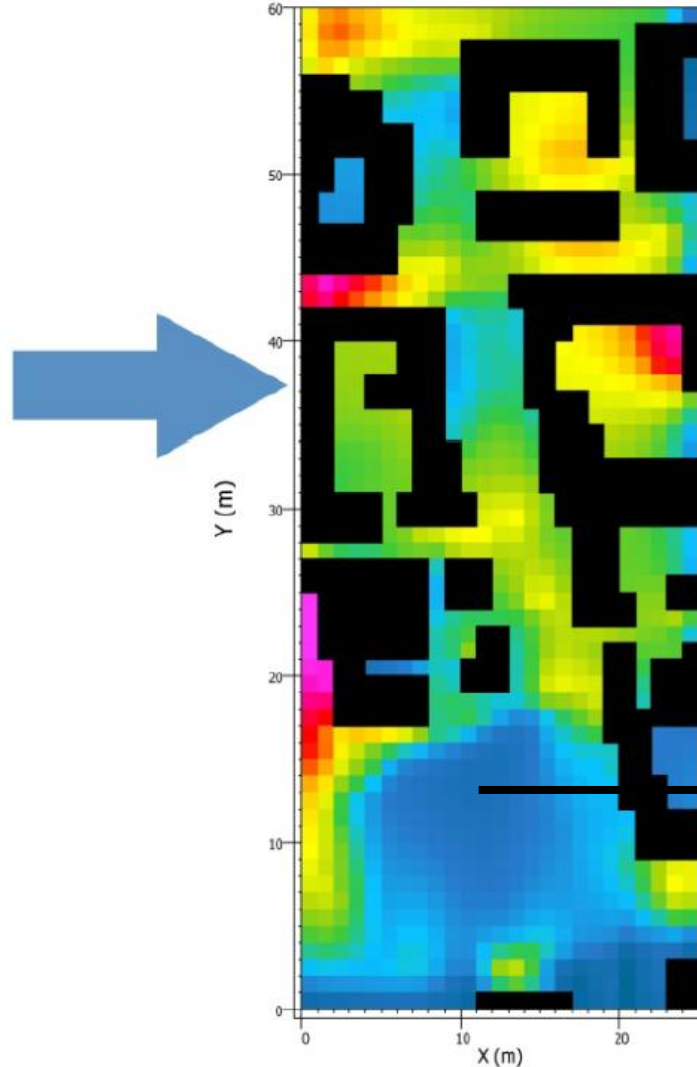


- Predlagan ukrep z drevesi (TG) bolj uspešen pri hlajenju
- Majhna razlika med ukrepom z drevesi (TG) in z drevesi in grmovnicami (TSG)
- Upoštevanje višine objektov – 3D merjenje učinkovitosti hlajenja (9 m)

Primer: Ulica s trgom v Bolzanu, Italija



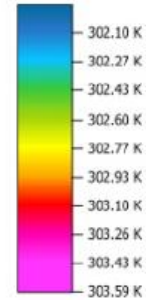
Existing situation Obstoječe stanje



ENVI-met simulation

Simulation 1, 16 Jul. 2010,
4:00 pm
x/y cut at z=2

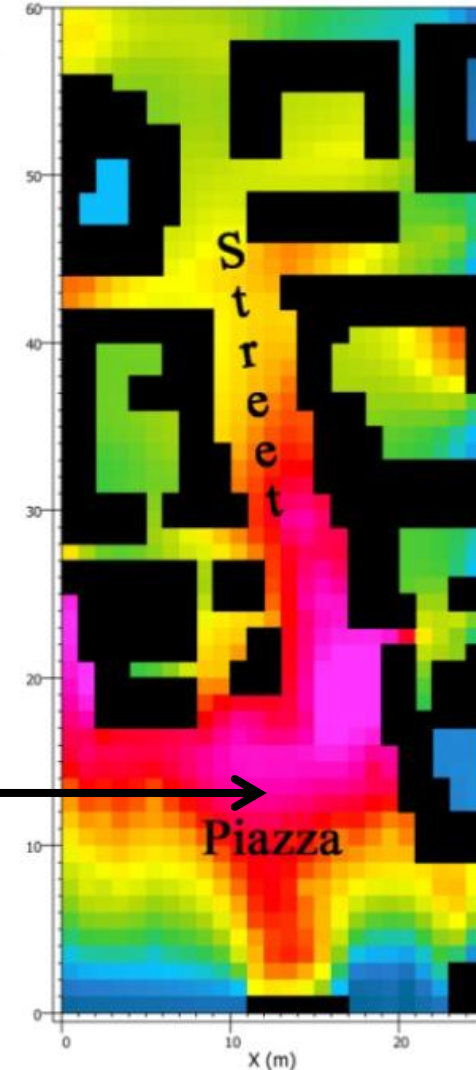
Pot. Temperature



Classed LAD and Shelters

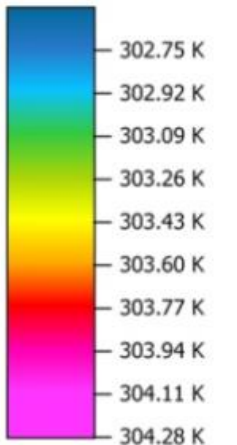
Buildings

+ 2 °C



Scenarij brez dreves

Pot. Temperature



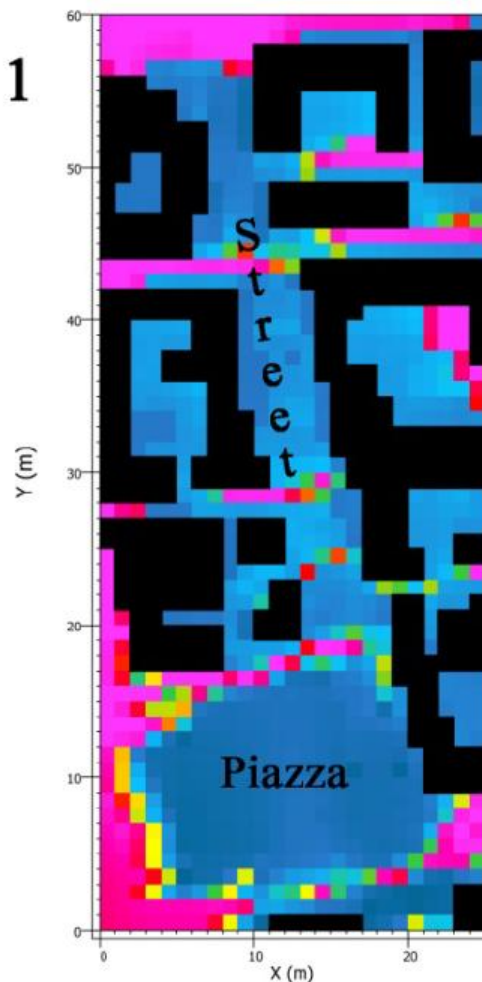
Buildings

Indeks toplotnega občutka, PMV

PMV (predicted mean vote)

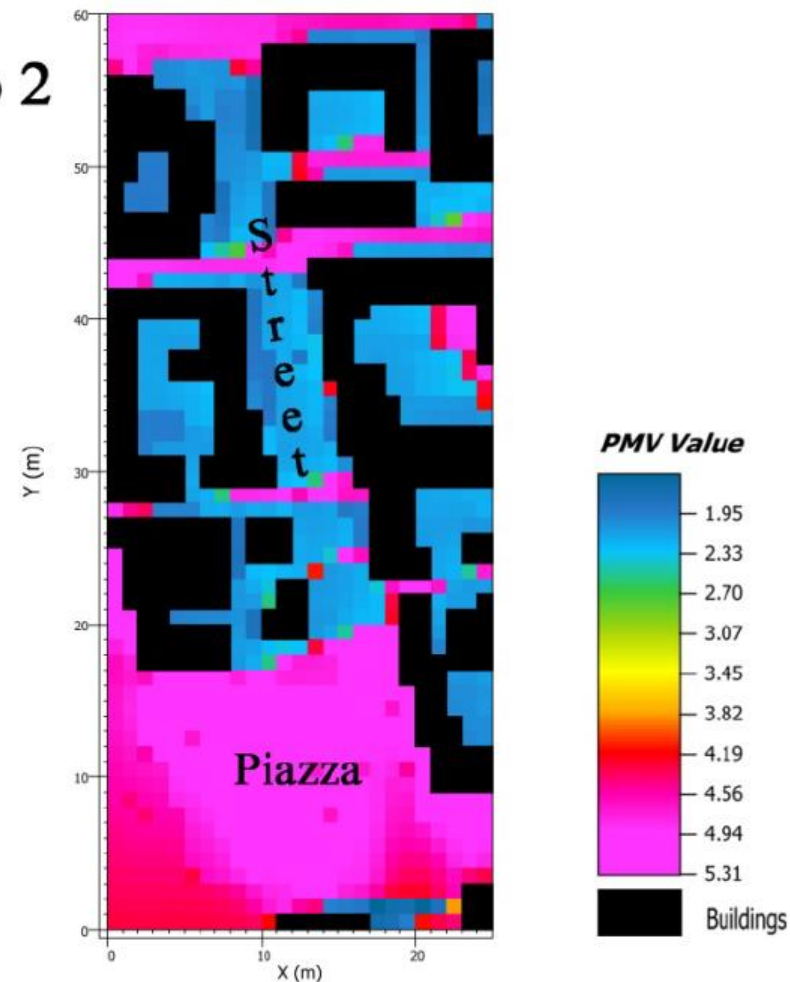
+3	Hot
+2	Warm
+1	Slightly Warm
0	Neutral
-1	Slightly Cool
-2	Cool
-3	Cold

Scenario 1



Obstoječe stanje

Scenario 2



Scenarij brez dreves

Območje v Novem mestu, magistrska naloga



Novi trg



pri TPV



pri avtobusni postaji



pri knjižnici Mirana Jarca



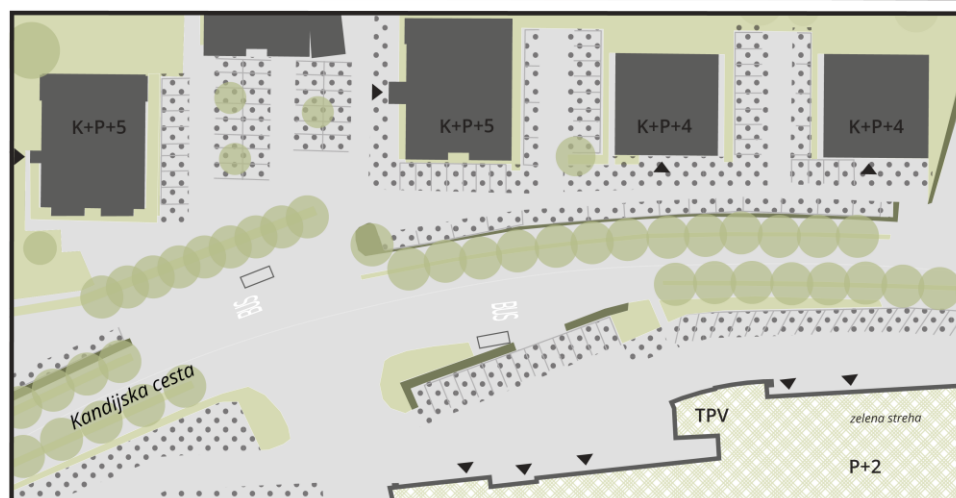
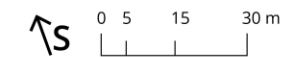
Območje v Novem mestu, magistrska naloga

- Max T= 38,5 °C (7/2022)
- Primerjava z gozdnim območjem, +2,4 °C
- Predlagana zasnova:
 - Dvig prepustnosti tal +20 %
 - Prekritost z drevesnimi krošnjami +30 %
 - Zelena streha na gospodarskem objektu (1400 m²)
 - Dodatne grmovnice



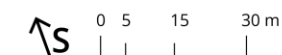
Legenda

- Krošnje dreves
- Stavbe
- Neprepustna površina (asfalt)
- Nizka vegetacija
- ✗ Lokacija meritve s sondo

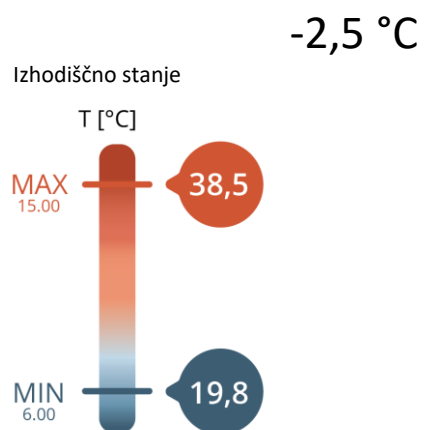


Legenda

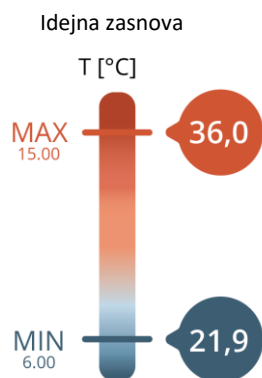
- Krošnje dreves
- Stavbe
- Neprepustna površina (asfalt)
- Prepustna površina
- Srednje visoka vegetacija
- Nizka vegetacija
- Zelena streha



- Nižja najvišja dnevna T za – 2,5 °C
- Razumevanje mikroklimе



-2,5 °C



Vpliv na prevetrenost –
pojav tropske noči

Izhodiščno stanje



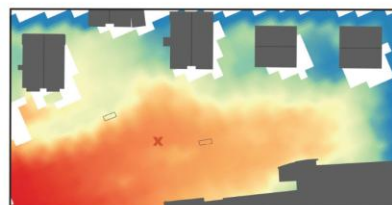
Vhodni podatek

- ✗ Lokacija meritve s sondo
- Krošnje dreves
- Nizka vegetacija
- Stavbe
- Neprepustne površine (asfalt)



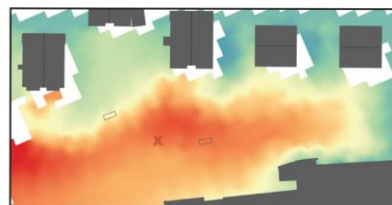
Ura: 7.00

✗ Lokacija meritve s sondo
Temperatura zraka (°C)
24,7
21,5



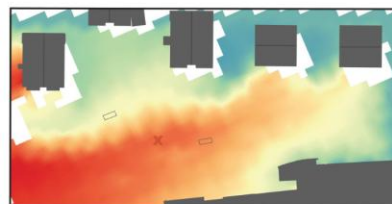
Ura: 10.00

✗ Lokacija meritve s sondo
Temperatura zraka (°C)
33,7
26,7



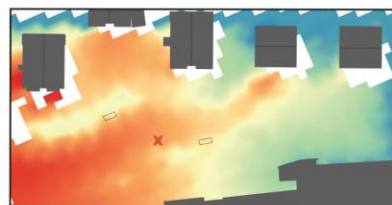
Ura: 14.00

✗ Lokacija meritve s sondo
Temperatura zraka (°C)
38,1
31,8



Ura: 18.00

✗ Lokacija meritve s sondo
Temperatura zraka (°C)
34,6
30,8



Ura: 21.00

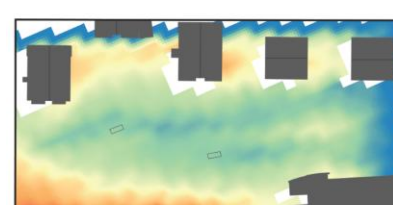
✗ Lokacija meritve s sondo
Temperatura zraka (°C)
28,7
27,7

Idejna zasnova



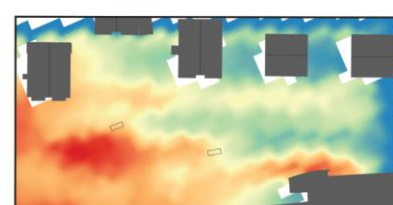
Vhodni podatek

- Krošnje dreves
- Srednje visoka vegetacija
- Nizka vegetacija
- Zelena streha
- Stavbe
- Prepustne površine
- Neprepustne površine (asfalt)



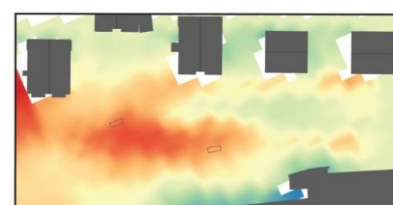
Ura: 7.00

Temperatura zraka (°C)
23,8
21,6



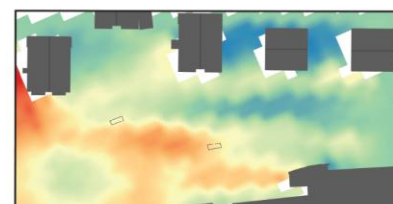
Ura: 10.00

Temperatura zraka (°C)
29,5
26,7



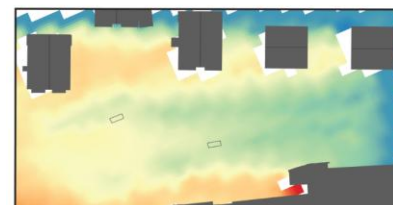
Ura: 14.00

Temperatura zraka (°C)
35,3
31,8



Ura: 18.00

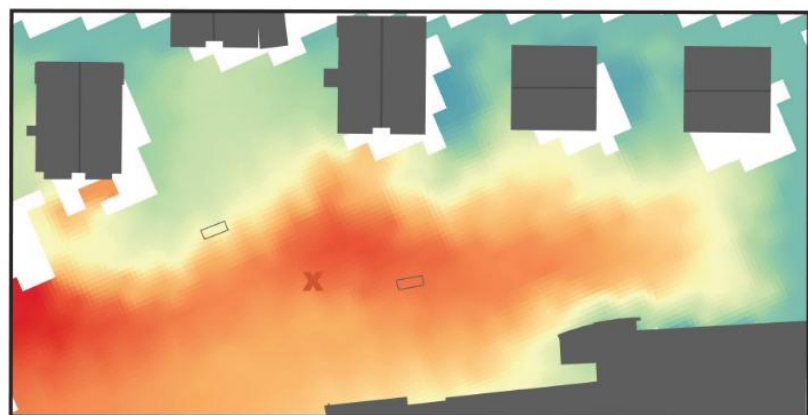
Temperatura zraka (°C)
32,5
31,1



Ura: 21.00

Temperatura zraka (°C)
28,4
27,8

Izhodiščno stanje



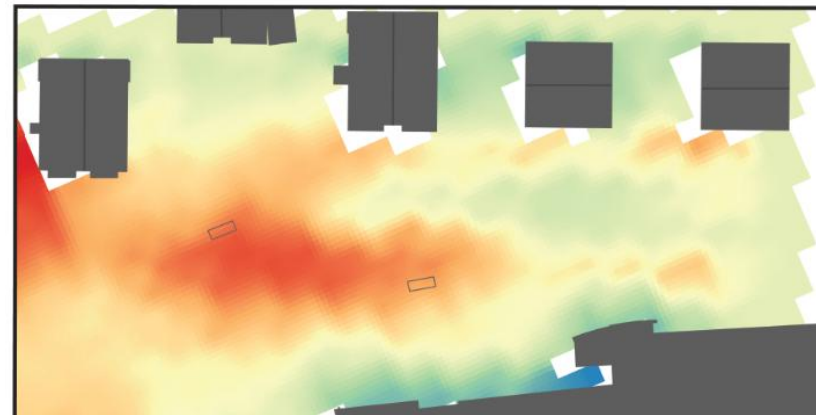
Ura: 14.00

x Lokacija meritve s sondo

Temperatura zraka (° C)



Idejna zasnova



Ura: 14.00

Temperatura zraka (° C)



Skupne ugotovitve

- Ozelenjena streha **nižja temperaturo stavbe** (energetska učinkovitost)
 - **Gosta senca dreves** preprečuje sončno sevanje in je uspešnejša pri hlajenju od grmovnic
 - Najbolj učinkovita rešitev za blaženje T na uličnem nivoju je **kombinacija ukrepov:** drevesa + grmovnice + prepustne površine (trata, povezane sadilne jame, peščene utrjene prepustne površine)/albedo površin
 - Učinkovitost hlajenja je najuspešnejša z dvigom prekritosti z drevesnimi krošnjami do + 50 %, potem linearno.
-
- Goste zasaditve lahko vplivajo na slabšo prevetrenost prostora – potrebno načrtovanje na regionalnem nivoju

Pomanjkljivosti ENVI-met

- Oteženo pridobivanje vhodnih podatkov – meritve na terenu in kataster dreves
- Modeliranje ob predpostavki, da drevesa in ostala vegetacija dosežejo željeno velikost
- Katalog rastlin ni zelo bogat in ni za različne klimatske pasove
- Ne omogoča modeliranja ozelenjenih nadstrešnic/pergol
- Ni še veliko rezultatov in naukov iz simulacij z območji in različnimi scenariji v Sloveniji
- Možne napake in odstopanja pri izvajanju simulacij – kompleksne zasnove z veliko elementi, napake zaznavanja senčenja
- Najbolj uporabljen in raziskan vidik T zraka poleti, ostalo ni zelo raziskano – možnost raziskave temperature na listih – obremenitev vegetacije?

Ugotovitve pregleda študij virov:

- Hladilni učinek odvisen od **gostote** (drevesne) **sence** (odrasla, velika drevesa) in **pokritosti tal**.
- Gosta **vegetacija v več slojih** zadržuje vodo in je z oddajanjem vlage **uspešnejša** pri hlajenju.
- **Listna masa dreves** (v parku) igra pomembno vlogo pri hlajenju (vrste s širokimi listi)
- V **kombinaciji zelenih površin s** (tekočimi) **vodami** je lahko učinek hlajenja večji.
- Na temperaturo vplivajo tudi barva listov rastlin in njihova hrapavost (odbojnost energije).
- Ljudje so zelo strpni do vročinskega stresa, če imajo na **izbiro** različne mikroklimatske razmere.
- **Učinkovito hlajenje ustvarjajo zdrava drevesa** – več listja, gostejša senca, brez stresa (sajenje v tlak).



Urška Didovič

urska.didovic@ipop.si / www.ipop.si

f  **in**  @ipopinstitute

IPOP

Inštitut za politike prostora
Institute for Spatial Policies
ipop.si