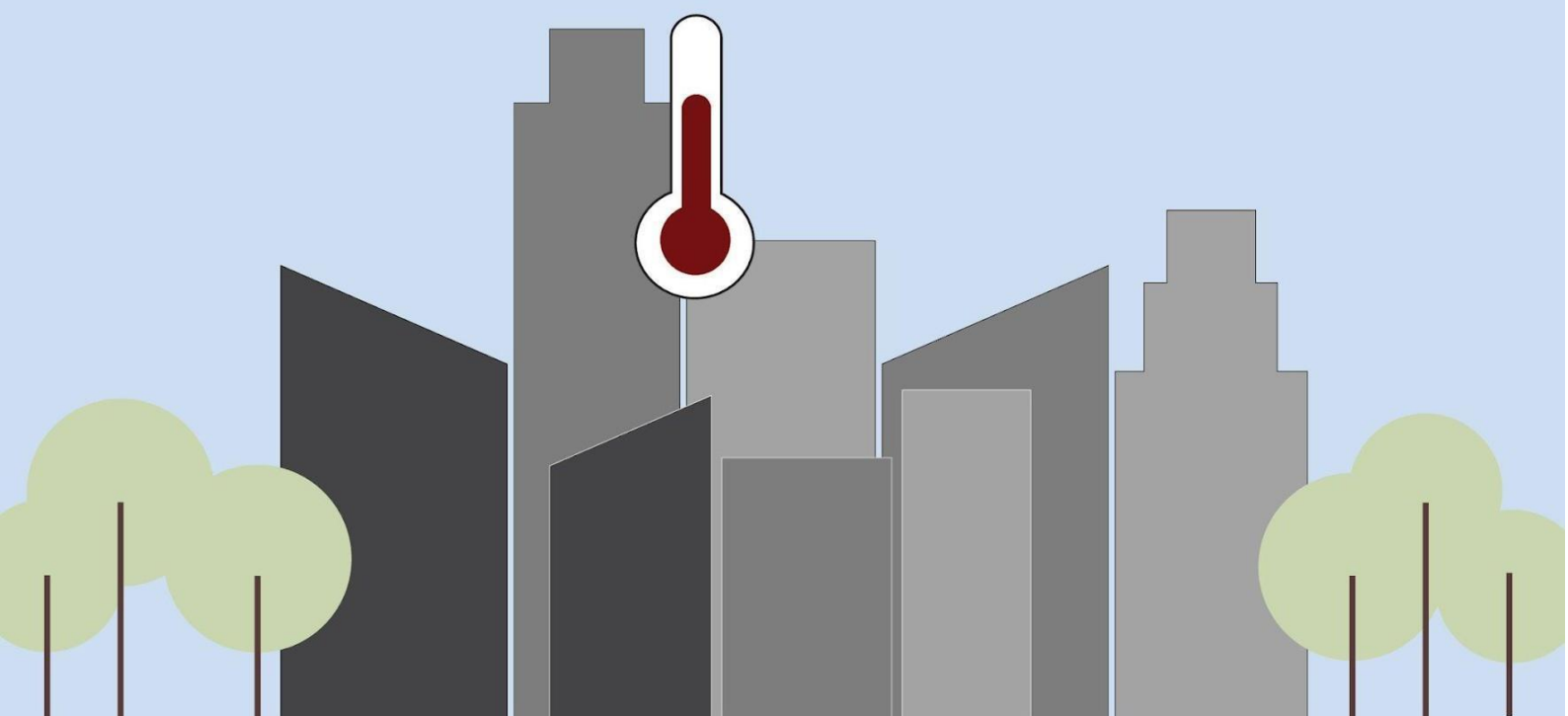


**METODOLOGIJA  
ZA  
IDENTIFIKACIJU I  
KARTIRANJE  
URBANIH  
TOPLINSKIH  
OTOKA**





**REPUBLIKA HRVATSKA**  
Ministarstvo prostornoga uređenja,  
graditeljstva i državne imovine

Ovaj dokument izrađen je u sklopu projekta „Potpora provedbi mjera zelene tranzicije u području obnove zgrada oštećenih potresima u okviru Nacionalnog plana oporavka i otpornosti“ (engl. Support for Implementing Green Transition Measures under Croatia’s NRRP in Reconstructing Earthquake-Damaged Buildings project).

Projekt je financiran od strane Europske unije putem Instrumenta tehničke podrške (TSI), a zajednički se provodi s Europskom bankom za obnovu i razvoj (EBRD) i Glavnom upravom Europske komisije za potporu strukturnim reformama (DG REFORM).

Tehnička podrška pruža se Ministarstvu prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine u Republici Hrvatskoj.

<b>UVOD .....</b>	<b>6</b>
POJMOVNIK .....	7
<b>URBANI TOPLINSKI OTOCI .....</b>	<b>9</b>
OSNOVNE INFORMACIJE.....	9
STANJE U HRVATSKOJ.....	10
KLIMATSKI ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA UČINKE URBANIH TOPLINSKIH OTOKA .....	12
UTJECAJ PROSTORNOG PLANIRANJA I GRADNJE NA UČINKE URBANIH TOPLINSKIH OTOKA .....	16
UČINAK URBANIH TOPLINSKIH OTOKA NA OKOLIŠ, ZDRAVSTVENO STANJE STANOVNIKA TE DRUŠTVENO-EKONOMSKE OKOLNOSTI .....	22
<b>IDENTIFIKACIJA I KARTIRANJE .....</b>	<b>27</b>
KRATKI PREGLED STRUČNE LITERATURE S NAGLASKOM NA STUDIJE SLUČAJA IDENTIFIKACIJE URBANIH TOPLINSKIH OTOKA.....	27
PREGLED METODA IDENTIFIKACIJE URBANIH TOPLINSKIH OTOKA .....	31
PRIJEDLOG OSNOVNE METODOLOGIJE ZA IDENTIFIKACIJU I KARTIRANJE URBANIH TOPLINSKIH OTOKA.....	33
TEORIJSKI OKVIR.....	33
Opis metodologije .....	35
DODATNE MOGUĆNOSTI METODA IDENTIFIKACIJE I KARTIRANJA URBANIH TOPLINSKIH OTOKA.....	37
Korištenje podataka meteoroloških postaja .....	37
Klasifikacija lokalnih klimatskih zona .....	37
Integriranje lokalnih klimatskih zona i površinske temperature .....	40
Urbani atlas.....	42
Ostale mogućnosti nadogradnje i alternativnih pristupa metodologije .....	47
<b>PRAĆENJE PROMJENA INTENZITETA.....</b>	<b>49</b>
VREMENSKI INTERVALI ZA PRAĆENJE - PREPORUKE.....	49
Kratkoročno praćenje (dnevno do mjesečno) .....	49
Srednjoročno praćenje (sezonsko do godišnje).....	49
Dugoročno praćenje (višegodišnje).....	49
PRILAGODBA KONTEKSTU HRVATSKE.....	49
Obalna urbana područja.....	49
Kontinentalna urbana područja.....	49
<b>MJERE UBLAŽAVANJA UČINAKA URBANIH TOPLINSKIH OTOKA .....</b>	<b>51</b>
ZELENA INFRASTRUKTURA .....	52
Uklapanje i njega stabala i biljaka u urbanim prostorima .....	62
PLAVA INFRASTRUKTURA.....	64
METODE PLANIRANJA PROSTORA KOJE UBLAŽAVAJU URBANE TOPLINSKE OTOKE .....	66
TEHNOLOŠKE MJERE .....	69
ZAKLJUČAK – IMPLEMENTACIJA MJERA .....	71
<b>ZAKLJUČNE NAPOMENE .....</b>	<b>73</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>76</b>

## SADRŽAJ

### Popis slika:

Slika 1 Klimatske zone Republike Hrvatske (adaptirano Žgela i sur., 2024.)	10
Slika 2 Kombinirani učinak klimatskih promjena (a) i UTO-a (b) rezultira još višim temperaturama u gradu	13
Slika 3 Promjena broja toplih dana za razdoblje 2041. – 2070. u odnosu na razdoblje 1981. – 2010. prema scenariju RCP 4,5. Godišnja promjena (GOD; gore lijevo), promjena u proljeće (MAM; gore desno), ljeti (JJA; dolje lijevo) i u jesen (SON; dolje desno)	14
Slika 4 Promjena trajanja toplih razdoblja za razdoblje 2041. – 2070. u odnosu na razdoblje 1981. – 2010. za scenarij RCP 4,5. Promjena zimi (DJF; gore lijevo), promjena u proljeće (MAM; gore desno), ljeti (JJA; dolje lijevo) i u jesen (SON; dolje desno)	14
Slika 5 Vremenske serije klimatskih indeksa ljetnih dana (SU) i tropskih noći (TR) za scenarije RCP 4,5 (plavo) i RCP 8,5 (crveno). Prikazani su rezultati za grad Dubrovnik dobiveni kombinacijom regionalnih (RCM DHMZ-RegCM4) i globalnih klimatskih modela (GCM EC). Trendovi koji su statistički značajni odnosno beznačajni na razini od 95% označeni su punom odnosno isprekidanom linijom. Sažeto prema: Agapito i sur., 2023.	15
Slika 6 Hijerarhija odlučivanja o promjenama u urbaniziranom krajoliku (adaptirano prema: Oke i sur., 2017.)	17
Slika 7 Visoke temperature zraka mogu ozbiljno ugroziti zdravlje ljudi, uzrokujući dehidraciju i toplinsku iscrpljenost	23
Slika 8 Prosječna ljetna temperatura zraka pri tlu za područje grada Dubrovnika u razdoblju 2001. – 2010. na temelju podataka satelita LANDSAT5 (a) te prikaz prosječne temperature tla u odnosu na kategorije zemljišta (b). Sažeto prema: Boras i sur. (2022.)	27
Slika 9 Karta osjetljivosti na urbane toplinske otoke za grad Dubrovnik. Sažeto prema Mesarić i sur., 2019.	28
Slika 10 Satelitske snimke područja grada Dubrovnika i kategorije zemljišta prema klasifikaciji Zemljišta prema namjeni i pokrovu. Sažeto prema Boras i sur., 2022.	30
Slika 11 Urbana energetska bilanca (USEPA, 2008.)	34
Slika 12 Lokalne klimatske zone u devet hrvatskih gradova (Žgela i sur., 2024.)	38
Slika 13 Klasifikacija lokalnih klimatskih zona (Stewart i Oke, 2012.)	39
Slika 14 Odabir vremensko-prostornog obuhvata istraživanja	40
Slika 15 Pregled i preuzimanje podataka o površinskoj temperaturi	40
Slika 16 Primjer karte učinaka UTO-a za Zagreb s pripadajućima kategorijama UTO-a prema Urbanom atlasu i prema Registru zelene infrastrukture	45
Slika 17 Pozitivan primjer uklapanja velikih stabala na prostor parkirališta, Dubrovnik	62

### Popis tablica

Tablica 1 Intenzitet UTO-a prema podacima mjernih postaja zimi, ljeti, u siječnju te prema srednjim godišnjih vrijednostima za razdoblje od 2013. do 2017. Sažeto prema: Žgela, 2018.	28
Tablica 2 Temperature površine po kategorijama korištenja zemljišta i po godišnjim dobima za Maribor. Sažeto prema: Žiberna i Ivanjšič, 2022. Napomena: bez područja luka u skladu s Urbanim atlasom	30
Tablica 3 Podaci o sensorima za prikupljanje prostornih podataka Corine land cover – izvod	32
Tablica 4 Klasifikacija tipologija zelene infrastrukture iz Priručnika o primjeni zelene infrastrukture. Sažeto prema: Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine, 2023.	35
Tablica 5 Opisi kategorija pokrova i namjene zemljišta prema TTB-u	36
Tablica 6 Nomenklatura kategorija zemljišta prema namjeni iz baze Urban Atlas na engleskome jeziku. Sažeto prema EEA, 2021.	42
Tablica 7 Učinak UTO-a ljeti prema kategorijama Urbanog atlasa i Tipologije zelene infrastrukture	44
Tablica 8 Kategorija tipologije ZI-ja i popis mjera unutar vrsta ZI-ja za ublažavanje učinaka UTO-a	54

### Popis matrica

Matrica 1 Okvir za planiranje otpornosti gradova na učinke UTO-a adaptiran prema specifičnim nacionalnim potrebama i izvorima (Ladd, Meerow, 2022.)	18
---	----

# UVOD



## UVOD

Cilj je ovog dokumenta analizirati učinke urbanih toplinskih otoka (UTO), istražiti čimbenike koji pridonose njihovom nastanku te procijeniti njihov utjecaj na stanovnike i korisnike urbanih prostora.

Posebna pažnja posvećena je literaturi koja se bavi regionalnim i nacionalnim istraživanjima o nastanku, posljedicama i metodama ublažavanja utjecaja UTO-a.

Ovaj dokument obuhvaća četiri glavna poglavlja:

- **URBANI TOPLINSKI OTOCI** – definicija pojma, analiza nastanka i utjecaja UTO-a
- **IDENTIFIKACIJA I KARTIRANJE** – pregled stručne literature vezane uz tematiku UTO-a, važnost daljinskih istraživanja u identifikaciji UTO-a, prijedlog metodologije identifikacije i kartiranja prilagođene situaciji u Hrvatskoj
- **PRAĆENJE PROMJENA INTENZITETA** – definiranje smjernica za praćenje promjena intenziteta UTO-a
- **MJERE UBLAŽAVANJA UČINAKA UTO-a** – prijedlog mjera ublažavanja učinaka UTO-a; mjere su grupirane kao prostorno-planske, infrastrukturne i tehnološke.

## POJMOVNIK

### Pojmovnik najvažnijih izraza/termina

Engleski termin	Hrvatski prijevod	Opis
Albedo effect	Efekt albeda	Sposobnost površine da reflektira sunčevu svjetlost (albedo je fizikalna veličina za svjetlost reflektiranu s površine tijela koje samo ne svijetli)
Atmospheric urban heat island (AUHI)	Atmosferski urbani toplinski otok	Povišena temperatura atmosferskog sloja iznad urbanog područja u odnosu na istu temperaturu u okruženju grada
Boundary layer urban heat island (BUHI)	Urbani toplinski otok prizemnog sloja atmosfere	Povišena temperatura atmosferskog sloja do visine 2000 metara u gradu u odnosu na okolna ruralna područja
Canopy layer urban heat island (CUHI)	Urbani toplinski otok u razini krošanja drveća	Povišena temperatura u krošnjama drveća (ispod razine krovova) u urbanom području u odnosu na istu temperaturu u okruženju grada
Climate sensitive urban design (CSUD)	Klimatski osviješten urbanistički dizajn	Prostorno planiranje gradova koje uzima u obzir učinke UTO-a
Global warming level (GWL)	Razina globalnog zatopljenja	Razina porasta globalne temperature do kraja 21. stoljeća
Land surface temperature (LST)	Temperatura površine tla (TPT)	Temperatura površine tla/Zemljine kore mjeri se direktno ili satelitski
Land use/Land cover (LULC)	Zemljišta prema namjeni i pokrovu	Klasifikacija zemljišta prema njihovoj namjeni i tipu pokrova (npr. urbano područje, šuma, poljoprivredno zemljište, vodena površina itd.)
Representative concentration pathways (RCP)	Predviđena koncentracija stakleničkih plinova	Scenariji klimatskih promjena koji predviđaju četiri moguće koncentracije (ne emisije) stakleničkih plinova kao njihov rezultat
Shared Socioeconomic Pathways (SSPs)	Globalni pravci društveno-ekonomskih promjena	Skup scenarija vjerojatnih društveno-ekonomskih promjena prouzročenih klimatskim promjenama do 2100. godine
Urban heat island (UHI)	Urbani toplinski otok (UTO)	Urbanizirano područje koje je znatno toplije od svog ruralnog okruženja zbog umjetne infrastrukture i ljudskih aktivnosti
Urban heat resilience planning matrix	Okvir za planiranje otpornosti gradova na vrućine	Okvir za planiranje niza aktivnosti s ciljem postizanja otpornosti gradova na učinke UTO-a kroz strategije smanjenja i kontrole topline

# URBANI TOPLINSKI OTOCI





# URBANI TOPLINSKI OTOCI

## OSNOVNE INFORMACIJE

UTO je mikroklimatski fenomen koji se javlja u urbanom okruženju i manifestira povišenim temperaturama u urbanim izgrađenim područjima u odnosu na okolna neizgrađena, tj. zelena područja. Razumijevanje učinaka UTO-a i njegovih izraženih učinaka može biti korisno za otkrivanje područja sa specifičnim utjecajem ekonomske aktivnosti, potrošnje energije, zdravstvenih faktora, ekosustava itd.<sup>1</sup>

Stanovnici gradova izloženi su višim temperaturama zraka u odnosu na stanovnike ruralnih područja zbog učinka UTO-a koji podrazumijeva razliku u temperaturi zraka između urbanih područja i njihova ruralna okruženja. Naime, gledano po broju dana, trajanje toplinskih valova u europskim gradovima dvostruko je dulje nego u ruralnim područjima koja ih okružuju.<sup>2</sup> UTO uzrokuju čimbenici koji ograničavaju evaporacijsko hlađenje, poput velikog toplinskog kapaciteta gradova, antropogenih izvora topline i nepropusnosti površina.<sup>3</sup> Unutar europskih gradova stvara velike razlike u temperaturi (npr. noćne temperature u središtu Pariza tijekom toplinskih valova razlikuju se za 9 °C),<sup>4</sup> a njegovi se učinci pojačavaju u vrućim razdobljima.<sup>5</sup>

S obzirom na svoj nastanak, UTO je mikroklimatski fenomen koji karakteriziraju više temperature prostora, što je moguće ublažiti adekvatnim planiranjem i uključivanjem zelene infrastrukture unutar urbanog prostora. Trenutačno oko 40 % površine europskih gradova čine zelene površine, s prosječno 18,2 m<sup>2</sup> javno dostupnih zelenih površina po stanovniku. Osim toga, samo 44 % urbane populacije Europe živi na pješačkoj udaljenosti (300 m) od gradskoga parka.<sup>6</sup>

Antropogene modifikacije prirodnog prostora unutar urbaniziranih područja uvjetovale su promjene u vremenskim uvjetima koji se prate u sklopu proučavanja učinaka UTO-a. Negativan utjecaj UTO-a primjećuje se u svim urbanim prostorima, ali značajnije u većima. Praćenjem navedenih promjena moguće je prepoznati te povezati glavne utjecaje na UTO na temelju kojih se mogu preporučiti najučinkovitije mjere za ublažavanje negativnih učinaka.

---

<sup>1</sup> Mesarić i sur., 2019.

<sup>2</sup> Hooyberghs i sur., 2017; Wouters i sur., 2017.

<sup>3</sup> Lauwaet i sur., 2016.

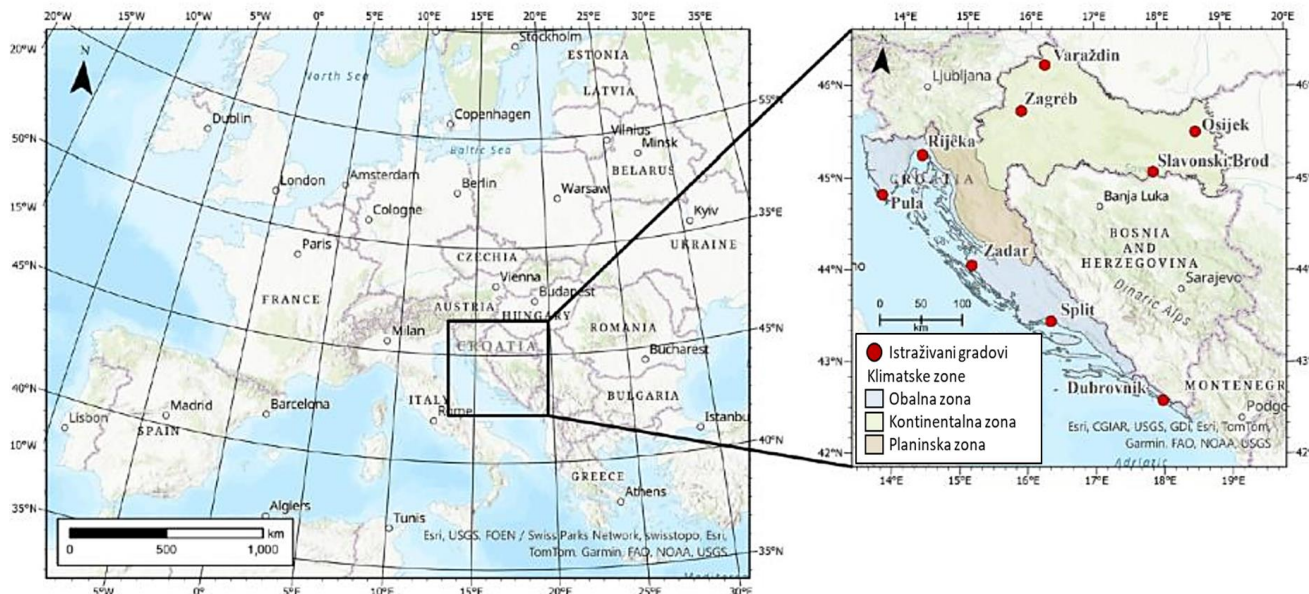
<sup>4</sup> Tzavali i sur., 2015.

<sup>5</sup> Dodman i sur., 2022.

<sup>6</sup> Maes i sur., 2019.

## STANJE U HRVATSKOJ

Hrvatska je srednjoeuropska, ali i sredozemna zemlja na čiju klimu značajno utječe njezin položaj u umjerenim geografskim širinama sjeverne hemisfere. Najvažniji regionalni klimatski čimbenici su Sredozemno more, dinarski reljef i Panonska nizina pa se Hrvatsku prema tome dijeli na tri glavna klimatska područja: kontinentalno, planinsko i primorsko<sup>7</sup> (Slika 1).



Slika 1 Klimatske zone Republike Hrvatske (adaptirano Žgela i sur., 2024.)

Najveće urbano područje u Hrvatskoj je Zagreb, čije metropolitansko područje naseljava oko milijun ljudi, a slijede Split i Rijeka kao jedini preostali gradovi u državi s više od sto tisuća stanovnika. Većina ostalih urbanih područja u europskim je razmjerima malena. Mnogi hrvatski obalni gradovi ljeti postaju jaka turistička središta, zbog čega raste broj ljudi koji su u opasnosti od vrućine, na što ukazuju visoke prosječne ljetne temperature zraka uz manje količine oborina u usporedbi s gradovima u unutrašnjosti. Također, Mediteran je označen kao jedno od svjetskih klimatskih žarišta, što znači da je to područje iznimno izloženo negativnim učincima klimatskih promjena, u kombinaciji s učincima UTO-a. To je još jedan razlog zašto je potrebno planirati ublažavanja tih učinaka u cilju klimatski ugodnije budućnosti.

O učincima UTO-a često se govori samo u kontekstu milijunskih gradova. Međutim, do njihove pojave može doći i u manjim gradovima jer toplinski otoci nastaju u prvom redu kao rezultat koncentracije umjetnih materijala poput betona, asfalta, stakla i dr. Stoga je važno naglasiti kako mogućnost UTO-a postoji i u manjim urbanim sredinama, kojih je u Hrvatskoj mnogo, što može imati negativne posljedice na zdravlje velikog dijela stanovništva. Međutim, veći gradovi trpe više negativnih učinaka UTO-a jačeg intenziteta jer je u njima razlika između temperature u središtu grada i okolice izraženija nego u manjim gradovima.

Nadalje, urbana morfologija odabranih gradova znatno se razlikuje i na nju uvelike utječu fizičko-geografski modifikatori. Primjerice, obalni gradovi često su gušće naseljeni od kontinentalnih, dijelom zbog prirodne osnove, a dijelom zbog gospodarskih i ekonomskih razloga koji uvjetuju litoralizaciju, zbog čega se šire na uskom obalnom pojasu. Velik broj obalnih gradova u zaleđu ograničen je nekom planinskom preprekom koja ne dozvoljava širenje u unutrašnjost, a litoralizacija istodobno održava jaku vezu većine stanovništva s obalnim pojasom. Posljedica toga je da obalni gradovi u Hrvatskoj imaju znatno heterogeniju urbanu morfologiju od kontinentalnih gradova, koji pokazuju znatno manju složenost topografije i često se nalaze u riječnim ravnicama. Urbana struktura gradova u unutrašnjosti stoga je pravilnija jer se širenje grada moglo provesti uz određenu razinu planiranja. Nadalje, u gradovima uz rijeke postoji efekt hlađenja zbog prisutnosti vodene površine koja smanjuje toplinsko opterećenje.

Planiranje i provedba mjera za ublažavanje toplinskog opterećenja u različitim gradovima zahtijeva promišljen pristup koji uzima u obzir njihove geografske, klimatske i urbanističke specifičnosti.

<sup>7</sup> Zaninović i sur., 2008.

Negativan utjecaj UTO-a na stanovništvo i posjetitelje gradova posebno je izražen u većim hrvatskim gradovima i turističkim destinacijama u ljetnoj sezoni. Problem pojačavanja negativnih učinaka toplinskih otoka uslijed klimatskih promjena mnogo je izraženiji u mediteranskom priobalnom području nego u gorskom i nizinskom dijelu države. Osim svojim vremenskim obrascima, navedena područja razlikuju se i reljefom, morfologijom gradova te tradicijskim materijalima korištenima u gradnji, a to su sve elementi koji pridonose jačanju ili slabljenju negativnih učinaka UTO-a. Stoga je nužno prepoznati sve pozitivne i negativne elemente te njima prilagoditi mjere za ublažavanje negativnih učinaka UTO-a.

## KLIMATSKI ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA UČINKE URBANIH TOPLINSKIH OTOKA

Klimatski čimbenici poput temperature zraka, relativne vlažnosti, vjetra i oborina igraju ključnu ulogu u nastanku, razvoju i intenzitetu UTO-a. Povišene temperature zraka i površina u urbanim područjima rezultat su antropogenih aktivnosti poput prometa, industrije i grijanja, a dodatno učinak UTO-a može pojačati niska relativna vlažnost zraka u gradovima jer su tla manje vlažnosti te nepropusne površine skloniji zagrijavanju<sup>8</sup>. Sporije strujanje zraka u gradovima otežava disperziju topline, a promjene razina vlage mogu povećati toplinski stres stanovnika.<sup>9</sup> Tijekom toplinskih valova učinci UTO-a intenziviraju se, a njihov opseg varira ovisno o lokaciji i dobu dana.<sup>10</sup>

Opasnosti od toplinskih valova za gradove i infrastrukturu u budućnosti se mogu samo povećavati.<sup>11</sup> Do 2100. godine, ovisno o predviđanju koncentracije stakleničkih plinova (RCP), između polovice (RCP 2,6) i tri četvrtine (RCP 8,5) ljudske populacije moglo bi, zbog povezanih utjecaja vrućine i vlage, biti izloženo razdobljima klimatskih uvjeta opasnih za život.<sup>12</sup> Prema svim RCP predviđanjima do 2050. godine, gradovi u srednjim geografskim širinama potencijalno će biti izloženi dvostruko jačem toplinskom stresu od svog ruralnog okruženja.<sup>13</sup>

U šestome izvješću Međuvladinog povjerenstva za klimatske promjene (IPCC)<sup>14</sup> u poglavlju za Europu navodi se kako opasnost od toplinskog stresa, uključujući smrtnost i nelagodu, ovisi o razini socio-ekonomskog razvoja. Stope smrtnosti i oboljenja povezanih s povišenim temperaturama, prema istome izvoru, bit će najviše u jugoistočnoj Europi.<sup>15</sup>

Klimatske promjene već imaju značajan utjecaj na UTO, a u idućim desetljećima više temperature zraka i promijenjeni vremenski obrasci samo će pogoršati taj problem. Složen utjecaj klimatskih promjena na UTO uključuje brojne interakcije meteoroloških, ekoloških i urbanističkih čimbenika.<sup>16</sup>

### PORAST TEMPERATURE ZRAKA

U posljednjih nekoliko desetljeća prosječne temperature u urbanim područjima Europe već su porasle za otprilike 1 - 3 °C. Klimatske promjene uzrokuju više prosječne temperature tijekom svih godišnjih doba, što rezultira povećanim toplinskim opterećenjem gradova (Slika 2) zbog jačeg zagrijavanja urbanih površina poput asfalta, betona i krovova.

### ČEŠĆI I INTENZIVNIJI TOPLINSKI VALOVI

U srednjoj i južnoj Europi porastao je broj dana s izrazito visokim maksimalnim temperaturama zraka (iznad 35 °C), što pridonosi češćim i intenzivnijim toplinskim valovima koji se javljaju ranije, već u lipnju, a mogući su čak i u rujnu. Osim toga, više ne traju nekoliko dana, već tjedan dana ili dulje, a njihov intenzitet raste i tijekom dana i noći. Toplinski valovi uzrokovani klimatskim promjenama dodatno povećavaju temperaturne razlike između gradova i njihove okolice, a učinke UTO-a čine izraženijima, što može imati ozbiljne posljedice za stanovnike gradova.

<sup>8</sup> Dodman i sur., 2022.

<sup>9</sup> Arnfield, 2003.

<sup>10</sup> Dodman i sur., 2022.

<sup>11</sup> Dodman i sur., 2022.; Leal Filho i sur., 2021.; Arias i sur., 2021.

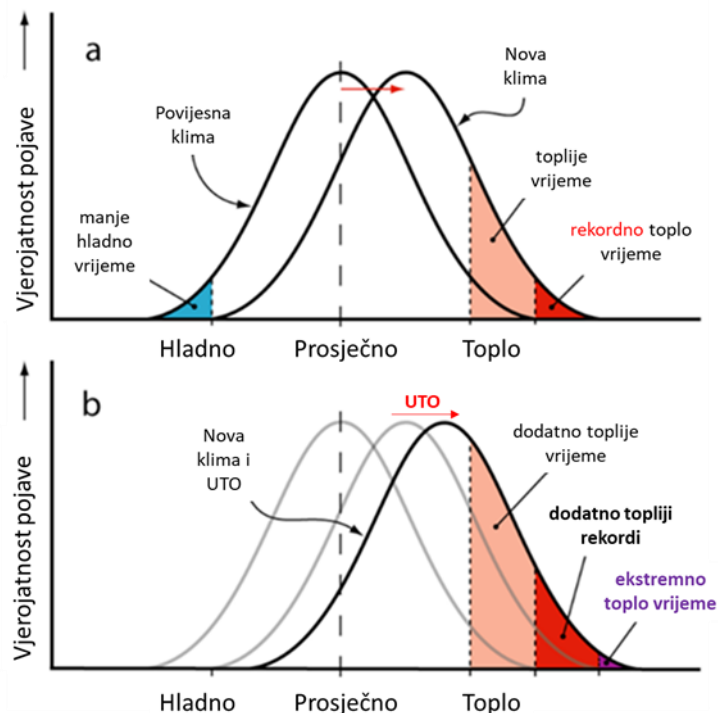
<sup>12</sup> Dodman i sur., 2022.; Mora i sur., 2017.; Zhao i sur., 2021.

<sup>13</sup> Wouters i sur., 2017.

<sup>14</sup> Bednar-Friedl i sur., 2022.

<sup>15</sup> Bednar-Friedl i sur., 2022.

<sup>16</sup> Žibera i sur., 2021.



Slika 2 Kombinirani učinak klimatskih promjena (a) i UTO-a (b) rezultira još višim temperaturama u gradu

## PROMJENE U OBRASCIMA OBORINA

Klimatske promjene donose promjene i u obrascima oborina, što može utjecati na dostupnost vode u urbanim područjima. Dulja sušna razdoblja ljeti će dodatno pojačati učinke UTO-a jer će zelene površine poput travnjaka i parkova biti pogođene fiziološkim stresom. Nedostatak oborina također može ograničiti mogućnosti hlađenja i utjecati na vodoopskrbu gradskog stanovništva.

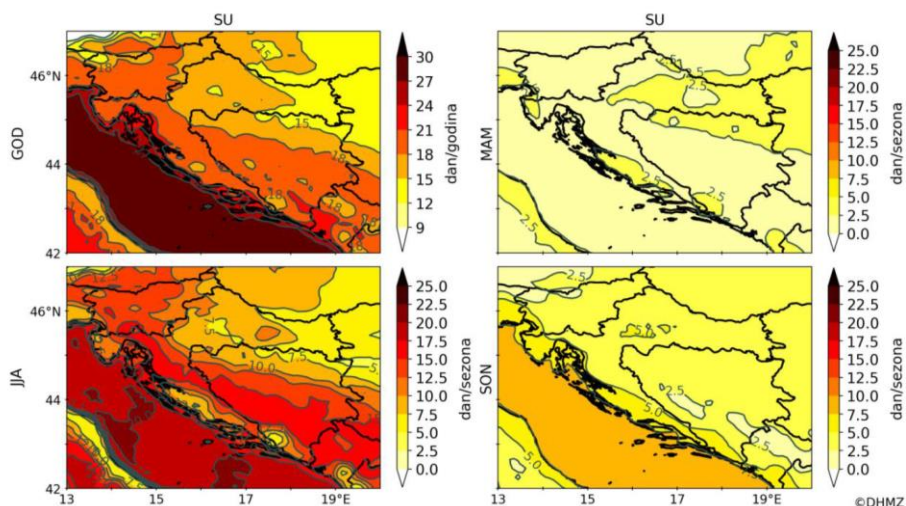
Posredno, klimatske promjene mogu utjecati na određene vrste biljaka u obliku pojačanog razmnožavanja kohabitantnih organizama te pojave bolesti koje smanjuju količinu i kvalitetu zelenog pokriva u gradovima, što rezultira smanjenom zasjenom gradskih površina i sposobnošću hlađenja. Klimatske promjene također nose povećanu opasnost od prirodnih nepogoda poput požara.

## PROJEKCIJE UTJECAJA KLIMATSKIH PROMJENA NA POJAVU UTO-a U HRVATSKOJ

Analize koje je proveo Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske jasno ukazuju na problem UTO-a uzrokovanog klimatskim promjenama. Zatopljenje u Hrvatskoj bilježi se u svim indeksima temperaturnih ekstrema. Značajan je porast broja toplih dana u proljeće i ljeti, kao i ljetnih toplih noći na Jadranu. Temperaturne promjene u unutrašnjosti Hrvatske karakterizira izraženo zagrijavanje na području Zagreba, što upućuje na snažan efekt zagrijavanja.<sup>17</sup> Osobito je izražen porast broja toplih noći zbog povećanog zagrijavanja betonskih površina.

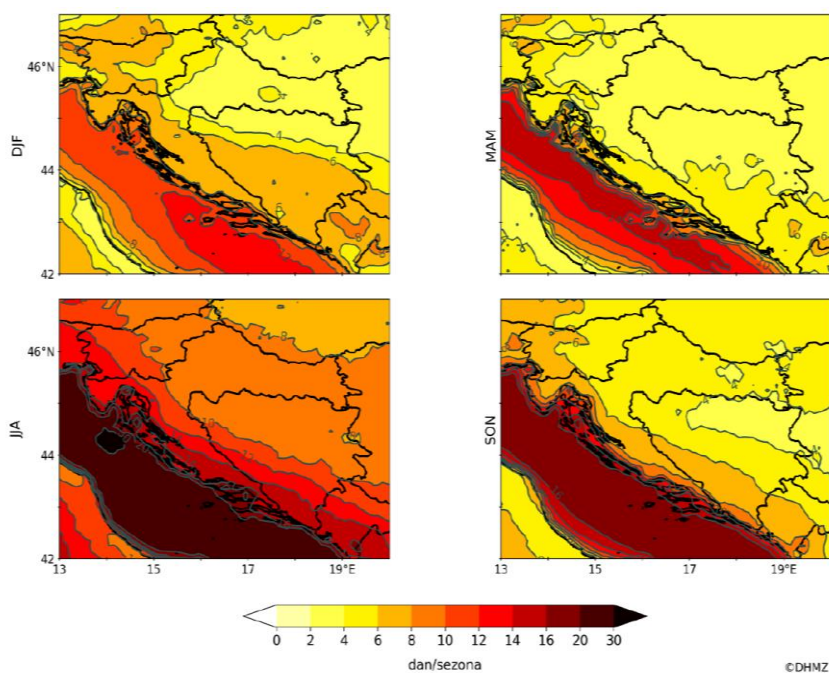
Na godišnjoj razini se na području cijele Hrvatske u razdoblju 2041. – 2070. očekuje najmanje 12 toplih dana više nego u razdoblju 1981. – 2010. Krajnji istok zemlje očekuje porast za 12 – 15 dana, a područje središnje Hrvatske 15 – 18 dana. Područje gorske Hrvatske te unutrašnjosti Dalmacije i Istre imat će do 21 topli dan više, a usko će obalno područje u razdoblju 2041. – 2070. imati i do 24 topla dana više u odnosu na razdoblje 1981. – 2010. Ljetna sezona najviše pridonosi godišnjem povećanju broja toplih dana, a zanimljivo je da se najveći proljetni porast (2 - 5 dana) može očekivati u područjima gdje je ljeti porast toplih dana u odnosu na 1981. – 2010. najmanji (dijelovi središnje i istočne Hrvatske i područja Dalmacije). Najveće povećanje broja toplih dana u jesenskoj sezoni (između 5 i 7,5 dana) očekuje se u obalnom području Jadrana, a taj se broj smanjuje prema unutrašnjosti.

<sup>17</sup> Nimac i sur., 2021.



Slika 3 Promjena broja toplih dana za razdoblje 2041. – 2070. u odnosu na razdoblje 1981. – 2010. prema scenariju RCP 4,5. Godišnja promjena (GOD; gore lijevo), promjena u proljeće (MAM; gore desno), ljeti (JJA; dolje lijevo) i u jesen (SON; dolje desno)

Godišnje promjene tijekom toplih razdoblja (broj dana u razdobljima od najmanje 6,0 uzastopnih dana s maksimalnom temperaturom zraka višom od 25 °C, prikazano na Slici 3) u skladu su s promjenom broja toplih dana. Ta razdoblja postupno se produljuju od istoka Hrvatske (za 17,5 – 20,0 dana), preko središnjih i gorskih predjela (20,0 – 32,5 dana) i dosežu maksimum u obalnom području (50,0 dana). Ovaj porast od istoka prema obali karakterističan je za sve četiri sezone, ali najizraženiji je ljeti, a najmanje izražen zimi. Proljetna i jesenska topla razdoblja najviše će se produljiti u priobalju – za 10,0 i više dana u obje sezone.



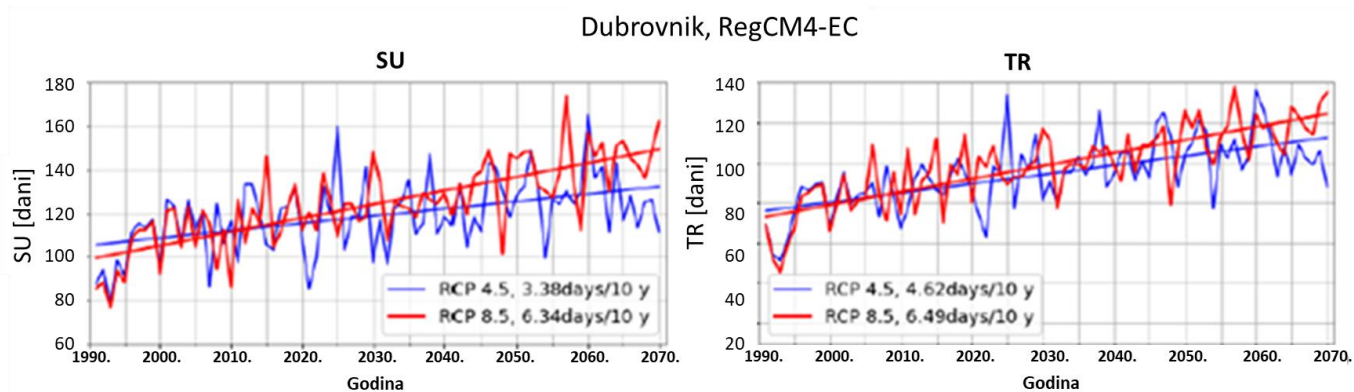
Slika 4 Promjena trajanja toplih razdoblja za razdoblje 2041. – 2070. u odnosu na razdoblje 1981. – 2010. za scenarij RCP 4,5. Promjena zimi (DJF; gore lijevo), promjena u proljeće (MAM; gore desno), ljeti (JJA; dolje lijevo) i u jesen (SON; dolje desno)

Za identifikaciju UTO-a znanstvenici koriste direktne i indirektno metode, numeričko modeliranje i procjene temeljene na empirijskim modelima. Daljinsko očitavanje često se primjenjuje za procjenu površinskih temperatura. Na temelju prikupljenih podataka nastaju termografske snimke poput onih na Slici 4.

Agapito i suradnici proveli su analizu za očekivano toplinsko opterećenje u 21. stoljeću u Dubrovniku, Osijeku, Rijeci, Zadru i Zagrebu.<sup>18</sup> U njoj je za sve analizirane gradove primijećen značajan porast

<sup>18</sup> Agapito i sur., 2023.

prosječnih, maksimalnih i minimalnih temperatura u svim kombinacijama regionalnih i globalnih klimatskih modela. U toplijim klimatskim uvjetima broj dana s maksimalnom temperaturom zraka iznad 25 °C povećava se u svim razmatranim gradovima (naročito u Dubrovniku), kao i broj dana s minimalnom temperaturom zraka iznad 20 °C (naročito u Rijeci i Zadru)<sup>18</sup>. Broj dana s maksimalnom temperaturom zraka u Dubrovniku iznad 25 °C (ljetni dani - SU) i broj dana s minimalnom dnevnom temperaturom zraka iznad 20 °C (tropske noći – TR) prikazani su na Slici 5.



Slika 5 Vremenske serije klimatskih indeksa ljetnih dana (SU) i tropskih noći (TR) za scenarije RCP 4,5 (plavo) i RCP 8,5 (crveno). Prikazani su rezultati za grad Dubrovnik dobiveni kombinacijom regionalnih (RCM DHMZ-RegCM4) i globalnih klimatskih modela (GCM EC). Trendovi koji su statistički značajni odnosno beznačajni na razini od 95% označeni su punom odnosno isprekidanom linijom. Sažeto prema: Agapito i sur., 2023.

Klimatski čimbenici s najvećim doprinosom negativnim učincima UTO-a su porast temperature, dulja vruća razdoblja i promjene u obrascima oborina te oni dodatno negativno utječu na osjet topline te toplinski stres gradskog stanovništva.

## UTJECAJ PROSTORNOG PLANIRANJA I GRADNJE NA UČINKE URBANIH TOPLINSKIH OTOKA

U smislu revitalizacije urbanih područja međunarodna znanstvena zajednica klimatske promjene smatra velikim izazovom za razvoj i održivost svijeta u 21. stoljeću.<sup>19</sup> Dva su glavna aspekta tog izazova: (I) poteškoće u postizanju dogovora o smanjenju emisija stakleničkih plinova u međunarodnim pregovorima i (II) potreba hitne izrade strategija prilagodbe klimatskim promjenama na nacionalnim, regionalnim i lokalnim razinama.<sup>20</sup>

Klimatske prognoze za budućnost proizlaze iz različitih scenarija utemeljenih na emisijama stakleničkih plinova, koje ovise o porastu broja stanovništva, obrascima ponašanja potrošača, gospodarstvu i politici.<sup>21</sup> Najveći porast temperature tijekom toplinskih valova očekuje se u središnjoj Europi, a s toplinskim valovima znatno će se češće suočavati gradovi kao što su Ljubljana, Prag i Zagreb.<sup>22</sup> S obzirom na to da je svako prognoziranje buduće klime izrazito nesigurno, ne treba ga shvatiti kao prognozu, nego kao mogući klimatski scenarij.<sup>23</sup>

Postoje istraživanja koja ukazuju na to da socijalno i ekonomski ugroženi članovi društva češće nastanjuju toplije dijelove gradova, koji su obično povezani s većom gustoćom naseljenosti i višom stopom izgrađenosti. Prema rezultatima tih istraživanja radi se o slabije toplinski izoliranim stambenim jedinicama izgrađenim od starijih materijala lošije kvalitete.<sup>24</sup> Smanjena toplinska ugodnost i pojačana opasnost od pregrijavanja u velikoj mjeri ovise o tehničkim karakteristikama zgrada koje uključuju toplinsku otpornost, mogućnost zasjene, toplinsku masu, sustave ventilacije, orijentaciju zgrade te njen geografski položaj.

Urbana područja u Europi u kojima se utjecaj toplinskih valova na zdravlje dodatno pogoršava zbog nepovoljnih mikroklimatskih uvjeta u zgradama, negativnog utjecaja infrastrukture, UTO-a te zagađenja zraka nastanjuje 74 % populacije.<sup>25</sup>

Iz perspektive prilagodbe na klimatske promjene, grad koji je adekvatno planiran i projektiran ima sljedeće značajke<sup>26</sup> (Slika 6):

- učinkovito koristi resurse (prostor, energiju, materijale, vodu itd.) kako bi minimizirao svoj globalni i regionalni utjecaj na okoliš (npr. emisijama štetnih čestica i stakleničkih plinova, onečišćenjem vode, stvaranjem otpada)
- njegovi dijelovi planirani su i izgrađeni tako da poboljšaju mikroklimu oko zgrada i njihove okoline (ili barem izbjegnu pogoršanje te mikroklimu)
- ljudi i infrastruktura zaštićeni su od ekstremnih vremenskih događaja uzimajući u obzir sadašnju i buduću klimatsku varijabilnost i ekstreme.

<sup>19</sup> UNDP 2005., 2010.; OECD 2009.; Svjetska banka 2012.; UN-Habitat 2011a, b, 2014.

<sup>20</sup> Musco i Magni, 2014.

<sup>21</sup> IPCC 2007, 2012.

<sup>22</sup> Guerreiro i sur., 2018.

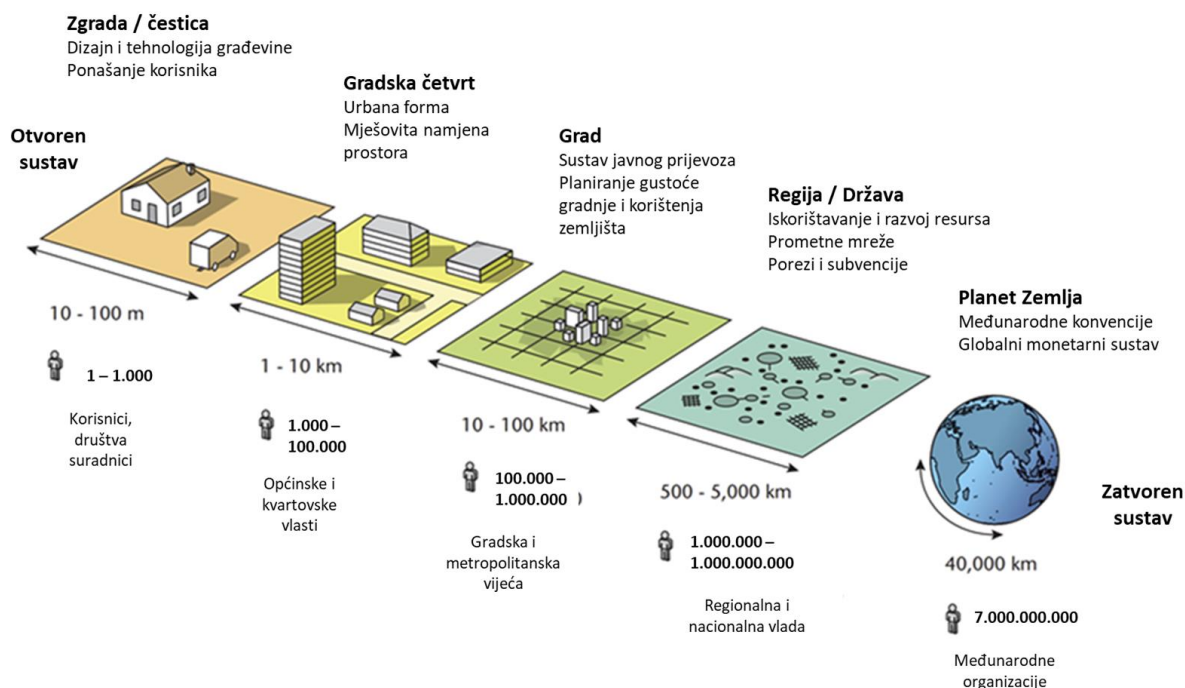
<sup>23</sup> Brandenburg i sur., 2018.

<sup>24</sup> Dodman i sur., 2022.; Oke i sur., 2017.; Chow i sur., 2014.; Susca i Pomponi, 2020.

<sup>25</sup> Smid i sur., 2019.

<sup>26</sup> Oke i sur., 2017.





Slika 6 Hijerarhija odlučivanja o promjenama u urbaniziranom krajoliku (adaptirano prema: Oke i sur., 2017.)

Nakon prirodnih nepogoda održivost, ublažavanje, prilagodba, obnovljiva energija, prelazak na niskouglično gospodarstvo, planiranje ekosustava i planiranje oporavka neki su od novih ključnih pojmova u raspravama o prostornom planiranju i upravljanju.<sup>27</sup> Posljednjih nekoliko godina vidljiv je porast broja nepogoda, a naglasak u planiranju sve se više stavlja na jačanje otpornosti, posebno na UTO. To je područje prakse koja se brzo razvija, a urbanistička struka dobro je pozicionirana za preuzimanje vodeće uloge.<sup>28</sup>

Planiranje otpornosti gradova na UTO obuhvaća sedam holističkih i praktičnih koraka:<sup>29</sup>

1. postavljanje jasnih planskih ciljeva za sprečavanje urbanog zagrijavanja i pripadajućih mjera za uspjeh
2. izgradnju sveobuhvatne baze podataka o toplinskim rizicima
3. razvoj niza strategija za ublažavanje i kontrolu topline
4. upravljanje rizicima
5. koordinaciju aktivnosti pri urbanističkom planiranju
6. uključivanje drugih sudionika u procese planiranja
7. učinkovitu provedbu, praćenje i evaluacije.

Sažimanjem strategija za upravljanje toplinskim učincima te procesa, dokumenata i aktivnosti za primjenu u praksi moguće je stvoriti Okvir za planiranje otpornosti gradova na vrućine koji prikazuje Matrica 1 (dalje u tekstu: Okvir).<sup>30</sup> On zahtijeva prilagodbu lokalnim procesima, a služi kao alat pri donošenju planskih odluka i osmišljavanju projekata te kao podloga za raspravu o mogućim aktivnostima na različitim razinama upravljanja. Takav okvir potencijalno je koristan svim dionicima procesa implementacije.

<sup>27</sup> Musco i sur., 2016.

<sup>28</sup> Ladd, Meerow i Wagner, 2020.

<sup>29</sup> Meerow i Woodruff, 2019.

<sup>30</sup> Ladd i Meerow, 2022.

	Strategije smanjenja topline					Strategije kontrole topline				
	Korištenje zemljišta	Klimatski osviješteno urbanističko projektiranje	Zelena infrastruktura	Plava infrastruktura	Bijela infrastruktura	Energetika	Otpad	Izloženost osoba	Javno zdravstvo	Hitne službe
Angažman, vizija i potrebe zajednice										
Angažman, vizija, mogućnosti i prioriteti lokalne samouprave										
<b>PROSTORNO I STRATEŠKO PLANIRANJE</b>										
Strategija prostornog razvoja Republike Hrvatske (NN 106/2017)										
Program razvoja zelene infrastrukture u urbanim područjima za razdoblje od 2021. do 2030. godine										
Program razvoja kruznoga gospodarenja prostorom i zgradama za razdoblje 2021. do 2030. godine										
Prostorni planovi uređenja gradova i općina										
Generalni urbanistički planovi										
Urbanistički planovi uređenja										
Strategije zelene urbane obnove										
Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u R. Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu										
Akcijski planovi energetske i klimatske održivosti (SECAP)										
Strategija upravljanja rizicima od katastrofa do 2030. godine										
Akti strateškog planiranja od značaja za jedinice lokalne i područne samouprave										
<b>ZAKONSKI OKVIR</b>										
Zakon o gradnji (NN 153/13, 20/17, 39/19, 125/19)										
Zakon o prostornom uređenju (NN 153/13, 65/17, 114/18, 39/19, 98/19, 67/23)										
Zakon o energetske učinkovitosti (NN 127/14, 116/18, 25/20, 32/21, 41/21)										
<b>JAVNA ULAGANJA</b>										
Zelena i plava infrastruktura										
Ostale otvorene površine										
Prometna infrastruktura										
Infrastruktura za upravljanje rizicima i katastrofama										
Javne zgrade										

Matrica 1 Okvir za planiranje otpornosti gradova na učinke UTO-a adaptiran prema specifičnim nacionalnim potrebama i izvorima (Ladd, Meerow, 2022.)

Strategija prostornog razvoja Republike Hrvatske (NN 106/2017) ističe potrebu jačanja prirodnog kapitala razvojem zelene infrastrukture te za uvođenje takve infrastrukture kao prioritetna izdvaja upravo područja najizloženija učincima UTO-a. Dva nacionalna programa relevantna za temu UTO-a su:

- Program razvoja zelene infrastrukture u urbanim područjima za razdoblje 2021. do 2030. godine (Program razvoja ZI) i
- Program razvoja kružnog gospodarenja prostorom i zgradama za razdoblje 2021. do 2030. godine (Program razvoja KG).

Program razvoja ZI kao jednu od svojih ekoloških koristi navodi snižavanje temperature i smanjenje učinaka UTO-a, a ekonomska korist zelene infrastrukture sastoji se od smanjenih troškova grijanja i hlađenja u stambenim i poslovnim prostorima. Što se tiče koristi za društvo, ona može ublažiti zdravstvene probleme povezane s toplinskim valovima te općenito poboljšati život u gradovima. Navedene koristi rezultirale su definiranjem posebnog cilja 1: poboljšana, proširena, povezana i lako dostupna zelena infrastruktura u gradovima koja rješava različite probleme, među ostalim i pojavu UTO-a. S obzirom na dokazanu vezu UTO-a i izgrađenosti zemljišta, pri prostornom planiranju i gradnji potrebno je razmatrati smanjenje izgrađenosti, odnosno mogućnosti obnove i regeneracije neiskorištenih ili nedovoljno iskorištenih postojećih prostora i zgrada. Programom razvoja KG definiran je posebni cilj 2: kružna obnova nekorištenih prostora i zgrada koja uključuje napuštene pojedinačne zgrade i monofunkcionalne i polifunkcionalne zone napuštenih prostora.

Trenutačno je na razini Hrvatske u tijeku proces transformacije sustava prostornog planiranja, tj. digitalizacija sustava prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine koja uključuje i izradu prostornih planova nove generacije, zbog čega je donesen i Pravilnik o prostornim planovima (NN 152/2023). Budući da proces transformacije još traje, nije moguće predvidjeti utjecaj novog sustava na UTO, ali novim Pravilnikom omogućeno je definirati i označiti Područje u sustavu zelene infrastrukture kao Područja posebnih ograničenja. U svrhu učinkovitog i usmjerenog planiranja zelene infrastrukture jedinicama lokalne samouprave bit će omogućeno korištenje Registra zelene infrastrukture u kojemu će se identificirati i kartirati postojeće stanje zelenih i drugih javnih otvorenih površina sukladno tipologiji iz Metodologije razvoja zelene infrastrukture.<sup>31</sup>

<sup>31</sup> Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine, 2023.

## KLIMATSKI OSVIJEŠTENO URBANISTIČKO PROJEKTIRANJE

Klimatski osviješteno urbanističko projektiranje koristi rješenja koja su nadahnuta prirodom. U povijesti su poznati brojni pristupi i mjere koji omogućavaju koegzistenciju čovjeka i prirodnog okoliša na najbolje prilagođen i najmanje destruktivan način. Pod nazivom „Design with climate“ u literaturi je populariziran koncept bioklimatske gradnje gradova i kuća uz niz dostupnih mjera.<sup>32</sup>

Zelene površine u urbanim sredinama imaju sposobnost apsorpcije toksičnih zagađivača, čime pridonose pročišćavanju zraka i očuvanju ekosustava, a mogu poboljšati i mikroklimatske uvjete te pomoći u suočavanju s ekološkim izazovima urbanizacije i izgradnje.<sup>33</sup>

Kreiranje gradskih parkova i drugih zelenih površina jedna je od mogućnosti stvaranja uvjeta za ugodan boravak u urbanim prostorima. Klimatski osviješteno urbanističko projektiranje takav pristup proširuje na razinu cijeloga grada.<sup>34</sup> Kvalitetno zamišljeno i izvedeno, takvo projektiranje trebalo bi urbanom stanovništvu omogućiti dulji boravak na otvorenom implementacijom sljedećih mjera<sup>35</sup>: (ibid.)

- materijali i oblikovanje koji su otporni i održivi (sadnja listopadnih vrsta stabala, pametni materijali, nadstrešnice, vodeni raspršivači, uvažavanje faktora insolacije)
- oblikovanje prilagođeno lokalnim uvjetima (oblikovanje koje uzima u obzir raznolikost mikroklimatskih uvjeta unutar gradskih četvrti kako bi stanovnicima pružilo više mogućnosti boravka na zraku u različitim vremenskim uvjetima i godišnjim dobima; na primjer, kreirane mikroklimatske zone mogu pružati zaklon od vjetra, sunca ili oborina).

Nadalje, tijekom prometno najintenzivnijih razdoblja nužno je djelovati u smjeru smanjenja emisije štetnih lebdećih čestica i stakleničkih plinova iz prometa i toplinske energije motoriziranih vozila na fosilna goriva, kao i prisutnosti automobila u prostorima izloženim direktnom sunčevom zračenju. Istodobno ili čak i prije nego što se uvedu takve mjere (isprva u centru grada) potrebno je promicati održivu urbanu mobilnost. Od samoga početka treba raditi na učinkovitom i lako dostupnom javnom prijevozu, pristupačnoj mreži gradskih bicikala, dobroj biciklističkoj infrastrukturi i sustavu dijeljenja vozila bez fosilnih goriva, a pješake treba zaštititi od sunca.

Znanstvena zajednica uložila je velik trud u definiranje potencijalnih strategija za ublažavanje klimatskih promjena, no često ih nije moguće primijeniti u kulturno-povijesnim cjelinama i na pojedinačnim kulturnim dobrima zbog brojnih ograničenja u očuvanju baštine,<sup>36</sup> npr. arhitektonske ili urbanističke modifikacije često nisu dopuštene. Ponovna uporaba povijesnih zgrada danas je uobičajena, ali primjena aktivnih ili pasivnih rješenja za poboljšanje unutarnjeg uređenja nije uvijek izvediva zbog arhitektonskih ograničenja.<sup>37</sup>

Povezivanje arhitektonskog nasljeđa i mjera za ublažavanje učinaka UTO-a zahtijevat će dijalog i određene modifikacije, no potencijal za razvoj takvih rješenja je velik. Kulturno i prirodno nasljeđe ključni su elementi održivih i otpornih urbanih zajednica zato što stvaraju zajedničke vrijednosti i povezuju ljude s prošlošću i prirodom. Treba napraviti korak naprijed i istražiti prilike za integriranje zelenih inicijativa u praksu očuvanja kulturnog nasljeđa i gospodarenja njime, kako u kontekstu pojedinačnih kulturnih dobara, tako i kulturnih krajolika.

**Proces planiranja mjera za ublažavanje negativnih učinaka UTO-a zahtijeva koordinaciju između različitih razina, tj. nacionalne razine i jedinica lokalne samouprave** te angažiranje dionika zajednice kako bi taj proces bio uspješan. Aktivnosti za ublažavanje UTO-a uključivat će stručnjake za planiranje, arhitekturu, građevinu, krajobraznu arhitekturu, šumarstvo, klimatologiju, energetiku i druge; upravne odjele jedinica lokalne samouprave za urbanizam, prostorno uređenje, izgradnju, komunalnu infrastrukturu, promet, zaštitu okoliša i dr.; komunalna poduzeća; neprofitne organizacije usmjerene na rješenja nadahnuta prirodom i okolišnu problematiku te privatne investitore. Aktivnosti za kontrolu topline zahtijevaju koordinaciju odjela za javno zdravstvo i upravljanje hitnim situacijama, interventnih službi, distributera energije i organizacija lokalne zajednice. Znanje koje posjeduje neka lokalna zajednica može

<sup>32</sup> Victor Olgay, 1963.

<sup>33</sup> Zellweger i sur., 2020.

<sup>34</sup> Oke i sur., 2017.

<sup>35</sup> Ibid

<sup>36</sup> Castaldo i sur., 2017.

<sup>37</sup> Leijonhufvud i Henning, 2014.

biti korisno u planiranju mjera za UTO pružajući novu perspektivu, nove ideje i uvide o raspodjeli rizika<sup>38</sup> pa je poželjna uska suradnja s planerima. To će ojačati svijest članova zajednice o mjerama za otpornost na učinke UTO-a te unijeti više ravnoteže u lokalne okolnosti povezane s mikroklimom, resursima i materijalima. Pristup arhitektonskom nasljeđu treba se bazirati na inovativnoj reinterpetaciji razloga koji su stoljećima „prirodno“ poticali gradnju.<sup>39</sup>

Mnogi autori su već prepoznali velik utjecaj urbanističkog planiranja i projektiranja na izloženost učincima UTO-a. S obzirom na očekivano povećanje gradskog stanovništva, naglasak u planiranju prostora treba staviti na uvođenje dobrih praksi i inovativnih mjera za ublažavanje negativnih učinaka UTO-a. Između prostornog planiranja, građevinske prakse i UTO-a postoje direktne veze i posljedice. Prostorno-planska dokumentacija i pravilnici te građevinski standardi moraju uključivati mjere koje će ublaživati i sprečavati negativne učinke UTO-a, kako u zgradama tako i u izgrađenom urbanom okolišu. U faze planiranja i gradnje urbanog prostora moraju biti uključene i znanstvene spoznaje o UTO-u, a na umu treba imati i vrlo kompleksne odnose između različitih utjecaja koji zahtijevaju multidisciplinarni pristup i suradnju s različitim stručnjacima te predstavnicima javnosti.

---

<sup>38</sup> Corburn, 2003.

<sup>39</sup> Musco i sur., 2016.

## UČINAK URBANIH TOPLINSKIH OTOKA NA OKOLIŠ, ZDRAVSTVENO STANJE STANOVNIKA TE DRUŠTVENO-EKONOMSKE OKOLNOSTI

Utjecaj koji UTO ima na okoliš i zdravstveno stanje stanovnika predstavlja važan izazov u urbanim područjima diljem svijeta. Posljedica pojačane urbanizacije je sve više UTO-a ondje gdje su gradske temperature znatno više nego u izvangradskim područjima. Intenzitet i izraženost UTO-a rastu s povećanjem temperature prostora te širenjem gradova.<sup>40</sup> To može imati niz štetnih posljedica, od promjena u ekosustavima, preko povećane potrošnje energije za hlađenje do zdravstvenih problema stanovništva. Povišene temperature UTO-a mogu izazvati različite zdravstvene probleme, kao što su toplinski udar, dehidracija, respiratorne bolesti te pogoršanje kroničnih zdravstvenih stanja poput astme i kardiovaskularnih bolesti.<sup>41</sup>

### POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

UTO igra veliku ulogu u potrošnji energije u zgradama s obzirom na to da uzrokuje pojačanu uporabu klima-uređaja. Ljeti ukupna potrošnja električne energije i vršno energetske opterećenje mogu porasti čak za petinu. Potražnja za električnom energijom za klimatizaciju ili hlađenje povećava se za 3 do 4 % za svaki Celzijev stupanj porasta temperature zraka između 20 i 25 °C. Grad može trebati oko 5 do 10 % više električne energije radi kontrole učinaka UTO-a. Potrošnja je obično najveća tijekom vrućih ljetnih popodneva radnih dana, kada uredi i domovi koriste klima-uređaje, rasvjetu i ostale uređaje. Tijekom ekstremnih vrućina koje pojačavaju učinke UTO-a povećana upotreba klima-uređaja može opteretiti elektroenergetske sustave ili čak dovesti do prekida isporuke električne energije.

Istraživanja koja su provedena u talijanskoj Modeni<sup>42</sup> pokazuju da se primjenom novih materijala i tehničkih rješenja površinska temperatura krovova može spustiti za do 6 °C, što upućuje i na mogućnost uštede energije za rashlađivanje te smanjenja toplinskog zagađenja urbanih prostora.

Jedan od rijetkih pozitivnih učinaka UTO-a je smanjena potrošnja energije za grijanje stambenih prostora u hladnom razdoblju godine. Na to ukazuju rezultati studije provedene u kineskim gradovima,<sup>43</sup> koja zaključuje da smanjena potreba za grijanjem ne rezultira samo smanjenom potrošnjom ugljena, nego i boljom kvalitetom zraka te smanjenom razinom onečišćenja u gradovima. Utjecaji klimatskih promjena i UTO-a analizirani su i u sve tri hrvatske regije<sup>44</sup> te je evidentirana povezanost potrošnje energije i klimatskih promjena u toplijem i hladnijem dijelu godine.

### POVIŠENE EMISIJE STAKLENIČKIH PLINOVA I ŠTETNIH LEBDEĆIH ČESTICA

Povećana potrošnja električne energije za potrebe rashlađivanja dovodi do većih emisija zagađivača zraka i stakleničkih plinova s obzirom na to da fosilna goriva još uvijek imaju velik udio u energetskom miksu. Ti zagađivači štetno djeluju na ljudsko zdravlje pogoršavajući kvalitetu zraka stvaranjem niskog ozona (smoga), sitnih čestica i kiselih kiša.

### UGROŽAVANJE ZDRAVLJA, PRODUKTIVNOSTI I UGODNOSTI ŽIVOTA GRADSKOGA STANOVNIŠTVA

Toplinski stres povezan je s nizom zdravstvenih problema stanovnika urbanih područja, pri čemu su njegovi zdravstveni učinci nejednako raspoređeni među gradskim stanovništvom. UTO pridonosi višim dnevnim temperaturama, smanjenom noćnom hlađenju i većoj zagađenosti zraka, a ti faktori mogu pridonijeti smrtnim slučajevima od vrućine i zdravstvenim stanjima povezanim s toplinskim valovima, kao što su opća nelagoda, respiratorne tegobe, toplinski grčevi, toplinska iscrpljenost i toplinski udar (Slika 7). Stariji su među najosjetljivijima na velike vrućine zbog fizioloških, psiholoških i društveno-ekonomskih razloga. Starija populacija, posebice žene, često je lošeg zdravstvenog stanja, osjetljivija je na visoke temperature, slabo pokretna, izolirana i ima niže prihode. Osjetljivoj skupini pripadaju i djeca

<sup>40</sup> IPCC, 2023.

<sup>41</sup> Santamouris, 2020.

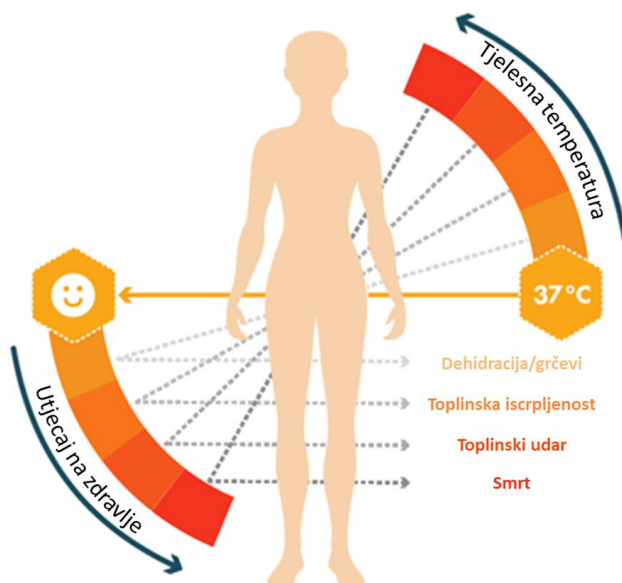
<sup>42</sup> Magli i sur., 2015.

<sup>43</sup> Ding i sur., 2018.

<sup>44</sup> Cvitan i Sokol-Jurković, 2016.

zbog male tjelesne mase i drugih čimbenika vezanih uz dob. Na primjer, kombinacija njihova ubrzanog ritma disanja, duljeg boravka na otvorenom te dišnog sustava koji je još u razvoju povećava opasnost od pogoršanja simptoma astme i drugih plućnih bolesti prouzročenih lošom kvalitetom zraka tijekom toplinskih valova. Stanovništvo s nižim prihodima također je u većoj opasnosti zbog loših uvjeta stanovanja, uključujući nedostatak klima-uređaja. Tijekom toplinskih valova posebno su ugroženi ljudi s dijabetesom, tjelesnim oštećenjima i kognitivnim nedostacima.

Postoje jasni dokazi o povećanim opasnostima za zdravlje starijih ljudi u gradovima, posebno o povećanoj smrtnosti pod utjecajem UTO-a tijekom toplinskih valova.<sup>45</sup> Istraživanja provedena u europskim gradovima pokazuju povezanost intenziteta učinaka UTO-a s povećanom stopom mortaliteta,<sup>46</sup> što je potvrđeno i u istraživanjima<sup>47</sup> stope mortaliteta tijekom toplinskih valova u Hrvatskoj. U usporedbi sa stabilizacijom na 2 °C, stabilizacija globalnog zagrijavanja na 1,5 °C u velikim bi europskim gradovima smanjila broj preranih smrti u ljetnim mjesecima za 15 – 22 %.<sup>48</sup>



Slika 7 Visoke temperature zraka mogu ozbiljno ugroziti zdravlje ljudi, uzrokujući dehidraciju i toplinsku iscrpljenost

Toplinski stres i dehidracija povezani su i s problemima ponašanja i učenja jer dehidracija ometa koncentraciju i kognitivne funkcije i kod odraslih i kod djece.<sup>49</sup> Prema literaturi o utjecaju vrućina na djecu, povećana je potreba za hitnom medicinskom skrbi zbog bolesti povezanih s toplinom, poremećaja u razini elektrolita, groznice, bolesti bubrega i respiratornih bolesti kod male djece.<sup>50</sup>

Istraživanja klimatskih čimbenika koji utječu na incidenciju epileptičkih napadaja, osim tlaka zraka te ostalih biometeoroloških čimbenika,<sup>51</sup> zabilježila su više negativnih događaja u toplijem dijelu godine.

Negativan utjecaj rasta temperature na ljudski organizam prepoznat je i u istraživanju na prostoru Hrvatske,<sup>52</sup> a s porastom temperature, posebno iznad 36 °C, uočena je češća pojavnost neurovegetativnih simptoma. U domaćim istraživanjima povezanosti klimatskih promjena<sup>53</sup> utvrđeno je da tijekom toplinskih valova, osim mortaliteta stanovništva, raste i broj oboljenja od infekcijskih bolesti zbog utjecaja na sudionike transmisijskog ciklusa.

Više temperature urbanih područja znače i ekonomsko opterećenje za stanovnike i kućanstva zbog veće potrošnje energije tijekom toplih razdoblja, ali i zbog medicinskih troškova povezanih sa stanjima

<sup>45</sup> Arias i sur., 2021.

<sup>46</sup> Huang i sur., 2023.

<sup>47</sup> Zaninović i Matzarakis, 2014.

<sup>48</sup> Mitchell i sur., 2018.

<sup>49</sup> Merhej, 2019.

<sup>50</sup> Winqvist i sur., 2016.

<sup>51</sup> Tomasović i sur., 2022.

<sup>52</sup> Zeninović, 2003.

<sup>53</sup> Zeninović i Gajić-Čapka, 2008.

prouzročeni vrućinom, više izostanaka s posla te zbog ostalih posljedica.<sup>54</sup> Postoji nerazmjer u porastu rizika za osobe nižeg društveno-ekonomskog statusa izložene gradskim vrućinama. Ti rizici povezani su s neadekvatnim uvjetima stanovanja, težim pristupom klima-uređajima i njihovoj rjeđoj uporabi, radom u intenzivnim zanimanjima te sakupljanjem otpada na otvorenom.<sup>55</sup>

### OSTALI OKOLIŠNI ASPEKTI: KOLIČINA I KVALITETA VODE, OPASNOST OD POŽARA, FRAGMENTACIJA STANIŠTA, ZELENA INFRASTRUKTURA

Pojava UTO-a ne utječe samo na kvalitetu zraka u gradu, nego i na urbani vodoopskrbni sustav. Zbog viših temperatura stabilnost zaliha vode, biokemijski ciklusi i biološka aktivnost mijenjaju se posredno i izravno. Visoke temperature površina cesta i krovova mogu zagrijati kišnicu koja otječe u odvodne kanale i zatim podiže temperaturu rijeke, jezera ili mora u koje je ispuštena. Temperatura vode utječe na sve aspekte slatkovodnog i morskog života, naročito na metabolizam i reprodukciju mnogih vodenih vrsta. Ako grad nema dovoljno zelenih infrastrukturnih elemenata poput kišnih vrtova, propusnih pločnika, zelenih parkirališta i zelenih krovova, nedostaje i mogućnosti za hlađenje oborinske vode pri otjecanju.

Negativni učinci UTO-a, koji će zbog klimatskih promjena biti još izraženiji, uvelike će utjecati i na potražnju te potrošnju vode u gradovima. Pretjerana potrošnja vode iz obližnjih izvora zbog povećane topline može opteretiti vodne resurse i dovesti do nestašice vode u gradovima, što može utjecati i na vodoopskrbu šireg područja.

Među različitim faktorima koji pridonose opasnosti od požara u gradu ili okolici je i UTO jer povećava isparavanje, isušuje tlo i dovodi do sušenja vegetacije koja onda djeluje kao gorivo za širenje požara. Takvi požari vjetrom se lako šire iz periferije u središte grada. UTO ima ulogu i u smanjenju biološke raznolikosti dodatno potičući gubitak i fragmentaciju staništa divljih životinja.

Ekstremna toplina otežavajući je faktor i u organizaciji te održavanju sportskih i kulturnih događanja na otvorenom jer može negativno utjecati na sportske rezultate,<sup>56</sup> ali i doživljaj te zdravstveno stanje gledatelja.<sup>57</sup>

Kako se urbanizacija intenzivira, tako se povećava intenzitet UTO-a potaknut faktorima poput povećanja nepropusnih površina, smanjenja udjela zelene infrastrukture i provođenja aktivnosti koje proizvode toplinu. Prosječne temperature utječu i na vrijednosti nekretnina, njihovu stopu korištenja i zauzetosti te opću atraktivnost ulaganja, a s višim temperaturama pada vrijednost nekretnina.<sup>58</sup> Uz to, nelagoda i zdravstveni rizici povezani s gradskim vrućinama povećavaju otkazivanje najмова te smanjuju atraktivnost stambenih prostora.<sup>59</sup> Zbog toga prostorni planeri, urbanisti i povezane struke sve više rade na ublažavanju UTO-a projektiranjem zelenih krovova, sadnjom stabala i ugradnjom tehnologija hlađenja kako bi poboljšali kvalitetu života i vrijednost nekretnina.<sup>60</sup> Te aktivnosti ne samo da pridonose otpornosti na klimatske promjene, nego jačaju i dugoročnu održivost i konkurentnost tržišta nekretnina u gradovima.

U Hrvatskoj, provedbom određenih mjera Programa razvoja ZI u urbanim područjima za razdoblje 2021. – 2030. godine, planira se, između ostalog, podići kvaliteta standarda zelene infrastrukture te njezina dostupnost, što će pridonijeti zdravlju i socijalnoj uključenosti svih skupina stanovništva. Jedna od mjera obuhvaća obnovu postojeće infrastrukture te izgradnju različitih tipova zelene infrastrukture, uz pristup koji kombinira mjere energetske učinkovitosti te kružnoga gospodarenja prostorom i zgradama.<sup>61</sup> Drugi dio mjera obuhvaća informiranje stanovništva o važnosti zelene infrastrukture u urbanim područjima i njezinu pozitivnom utjecaju na sve aspekte života – gospodarske, društvene, okolišne i kulturne. Cilj je podići svijest stanovništva o zelenoj infrastrukturi zbog važnosti zastupljenosti prirode u urbanoj svakodnevnici.<sup>61</sup>

<sup>54</sup> Jovanović i sur., 2015.; Liu i sur., 2019.; Schmelz, Petkova i Gamble, 2016.; Soebarto i Bennetts, 2014.; Zander i Mathew, 2019.; Zander i sur., 2015.

<sup>55</sup> Chu i Michael, 2018; Santha i sur., 2016.

<sup>56</sup> Brocherie, Girard i Millet, 2015.

<sup>57</sup> Aleksandria i sur., 2018, Grundstein i Williams, 2018.

<sup>58</sup> Oberoi i sur., 2019.

<sup>59</sup> Chakraborty i sur., 2019.

<sup>60</sup> Shi i sur., 2020.

<sup>61</sup> Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine, 2021.



## Metodologija za identifikaciju i kartiranje urbanih toplinskih otoka

Istraživanja utjecaja povećanja temperature na rast i razvoj stabala u europskim gradovima pokazala su da ono potiče raniji razvoj faza biološkog ciklusa (fenofaze).<sup>62</sup> Pritom je važno da se urbani prostor sagledava mozaički radi detaljnog definiranja intenziteta UTO-a koji varira i unutar grada.<sup>63</sup> Osim toga, porast temperature utječe na produljenje vegetacijske sezone u toplijem urbanom staništu u odnosu na iste vrste u okolnim ruralnim prostorima niže temperature zraka.<sup>64</sup>

Negativan učinak UTO-a na urbanu zelenu infrastrukturu očituje se u povećanom fiziološkom stresu pa i prekidima fizioloških procesa biljaka, što može umanjiti učinkovitost smanjenja temperatura u gradu pomoću zelene infrastrukture. Navedeni procesi skraćuju očekivani vijek biljaka,<sup>65</sup> posebno kod vrsta koje nisu prilagođene sušnim i toplim uvjetima.

---

<sup>62</sup> Chmielewski i Rötzer, 2001., Holz i sur., 2011.

<sup>63</sup> Celina, 2019.

<sup>64</sup> Zipper i sur., 2016.

<sup>65</sup> Roloff, 2013.

# IDENTIFIKACIJA I KARTIRANJE

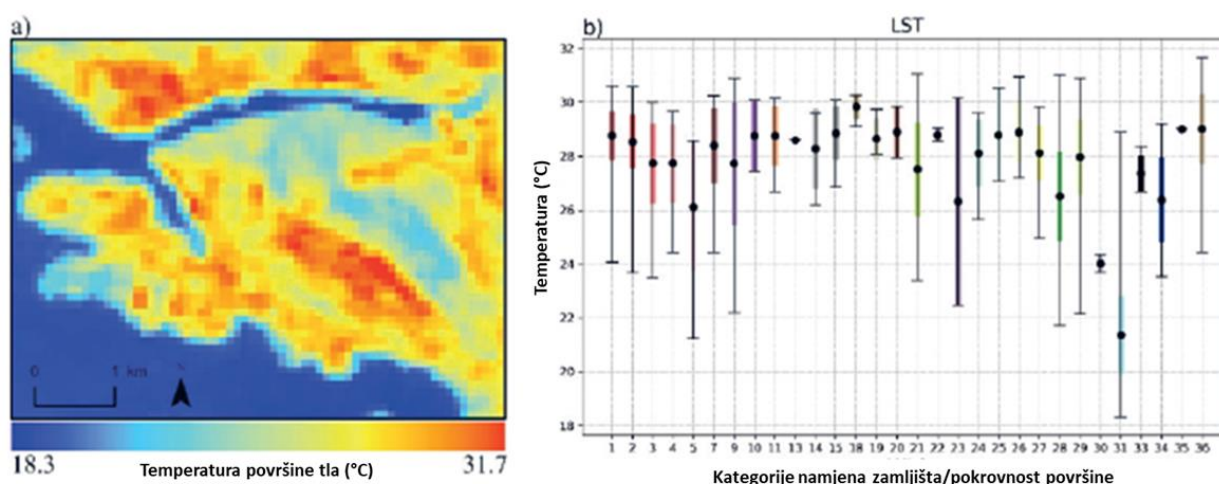


# IDENTIFIKACIJA I KARTIRANJE

## KRATKI PREGLED STRUČNE LITERATURE S NAGLASKOM NA STUDIJE SLUČAJA IDENTIFIKACIJE URBANIH TOPLINSKIH OTOKA

S obzirom na veliku važnost prilagodbe klimatskim promjenama, proveden je niz istraživanja intenziteta učinaka UTO-a ovisno o tipu zemljišta prema namjeni i pokrovu<sup>66</sup>, kao i u vezi s detaljnim kategorijama namjene zemljišta definiranim u Urbanom atlasu. Jedna od studija mjerila je temperature na području njemačkoga grada Karlsruhea.<sup>67</sup> Izmjerene vrijednosti uspoređene su s podacima daljinskih istraživanja i karakterističnim namjenama zemljišta za sva područja mjerenja.

Rezultati ranije navedene analize prikazani su na Slici 8,<sup>68</sup> gdje su autori izračunali prosječnu ljetnu temperaturu pri tlu u razdoblju 2001. – 2010. za 30 različitih tipova namjena zemljišta.



Slika 8 Prosječna ljetna temperatura zraka pri tlu za područje grada Dubrovnika u razdoblju 2001. – 2010. na temelju podataka satelita LANDSAT5 (a) te prikaz prosječne temperature tla u odnosu na kategorije zemljišta (b). Sažeto prema: Boras i sur. (2022.)

S obzirom na sličnosti s klimatskim i geografskim karakteristikama određenih područja Hrvatske, vrijedi istaknuti i analizu UTO-a u Ljubljani,<sup>69</sup> kojom se određivala temperatura tla na temelju snimki satelita Landsat. Rezultati analize ukazali su na pojavu UTO-a u proljeće, ljeto i jesen. Također je utvrđeno kako najviše temperature dosežu površine u industrijskim zonama i trgovačko-poslovnim centrima, posebice ljeti.

Što se tiče Hrvatske, za grad Zagreb izrađena je analiza UTO-a na temelju mjerenja devet meteoroloških postaja u mreži DHMZ-a i Pljuska (amaterske mreže automatskih meteoroloških postaja) u razdoblju od 2013. do 2017. godine<sup>70</sup>. Na temelju analize, najveći intenzitet UTO-a u Zagrebu zabilježen je tijekom zimskih mjeseci, dok je najmanji primijećen ljeti. Lokacija Zagreb-aerodrom istaknula se kao najhladnija postaja s prosječnom godišnjom temperaturom od 16,2 °C, dok su Dugave i Zagreb-Grič najtoplije postaje s 18,3 °C, odnosno 17,9 °C (Tablica 1).<sup>70</sup>

<sup>66</sup> Mohan i sur., 2003.; Unger i sur., 2001; Zou i sur., 2021.; Rendana i sur., 2023.

<sup>67</sup> Gangwisch i sur., 2023.

<sup>68</sup> Boras i sur., 2022.

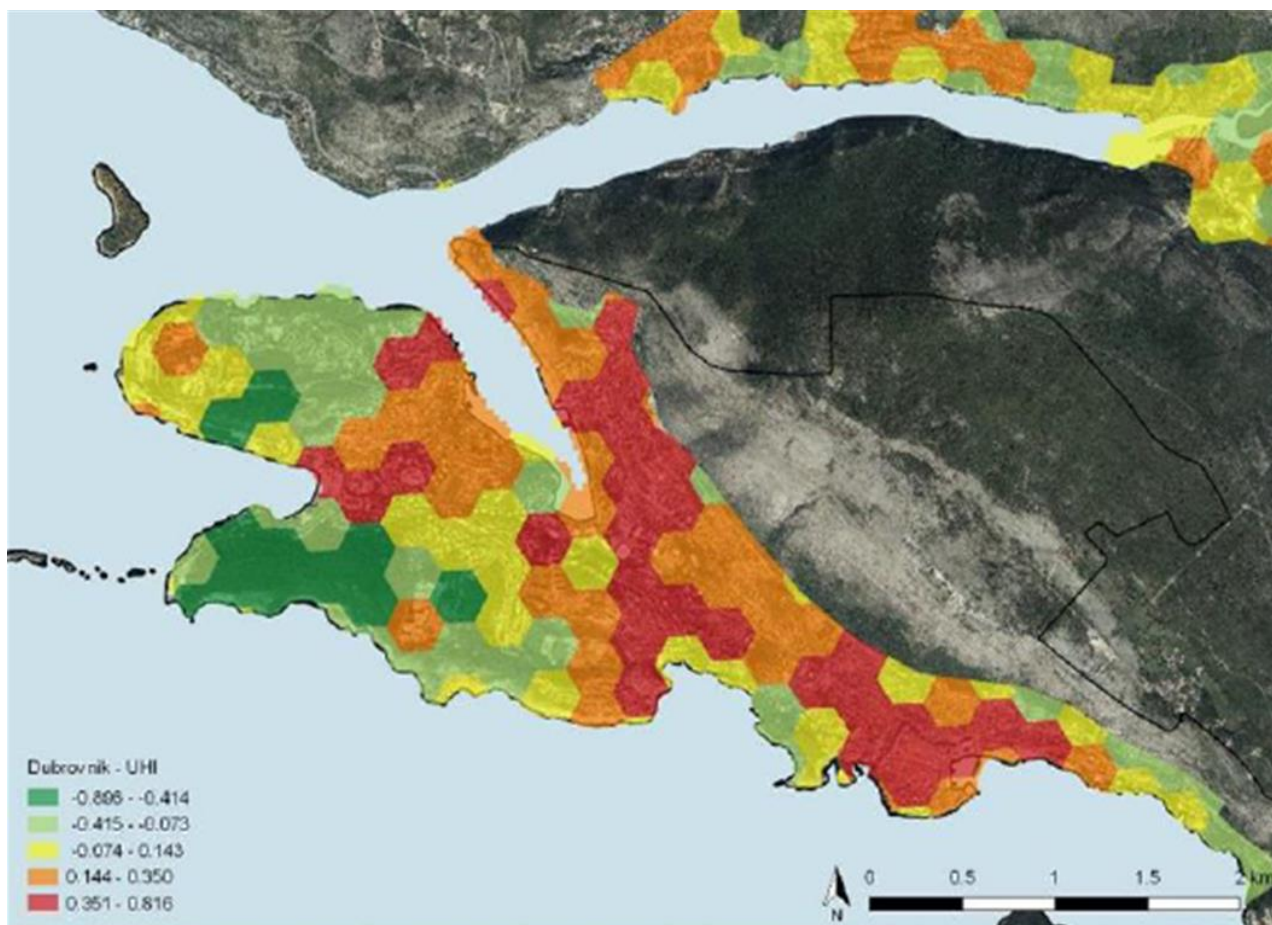
<sup>69</sup> Cedilnik, 2015.

<sup>70</sup> Žgela, 2018.

Postaja	Zima (°C)	Ljeto (°C)	Siječanj (°C)	Srednje godišnje (°C)
Dugave	1,5	2,8	1,5	2,1
Gornje Vrapče	0,9	1,9	1,1	1,5
Retkovec	0,8	0,9	0,9	1,0
Ferenšćica	1,2	1,6	1,3	1,5
Mlinovi	1,5	0,1	2,0	1,1
Zagreb-Grič	2,0	1,2	2,1	1,7
Zagreb-Maksimir	0,6	0,0	0,6	0,4
Zagreb-Rim	1,0	0,1	1,0	0,7

Tablica 1 Intenzitet UTO-a prema podacima mjernih postaja zimi, ljeti, u siječnju te prema srednjim godišnjih vrijednostima za razdoblje od 2013. do 2017. Sažeto prema: Žgela, 2018.

Slika 9 prikazuje rezultate analize UTO-a izrađene u sklopu Plana prilagodbe klimatskim promjenama grada Dubrovnika. Ta karta kombinira površine građevina, nepropusne površine i površinske temperature. Nepropusne površine (postotni udio unutar šesterokuta) i površinska temperatura (prosječna vrijednost unutar šesterokuta) čine pokazatelj osjetljivosti, a površina građevina unutar šesterokuta predstavlja vrijednost izloženosti.<sup>71</sup>



Slika 9 Karta osjetljivosti na urbane toplinske otoke za grad Dubrovnik. Sažeto prema Mesarić i sur., 2019.

<sup>71</sup> Mesarić i sur., 2019.

Iako su neke analize za Hrvatsku djelomično provedene,<sup>72</sup> nedostaje im integrirani pristup. Žgela i suradnici<sup>73</sup> razmatrali su samo nekoliko pojedinačnih točaka unutar grada pa njihovi rezultati nisu prikladni za izradu karte. Dobar primjer analiza pojave UTO-a u Zagrebu predstavlja studija autora Seletković i suradnici<sup>74</sup>, no koristili su podatke daljinske detekcije samo za pojedine dane, a ne za veći broj ljetnih dana za pojedinu godinu. Analiza rezultata na temelju mjerenja jednog dana ne može se smatrati reprezentativnim uzorkom. Plan prilagodbe klimatskim promjenama grada Dubrovnika<sup>75</sup> također predstavlja dobar primjer korištenja podataka daljinskih istraživanja, ali za potrebe naše metodologije nedostaje veza s vrstama namjene zemljišta. Isto tako, rezolucija šesterokuta u prikazu na Slici 9<sup>75</sup> samo je 160 m. Za analizu bi najprikladniji bili rezultati autora Boras i suradnici<sup>76</sup> koji su izračunali prosječnu temperaturu površine tla na terenu za različite vrste zemljišta prema namjeni u Dubrovniku. Međutim, ti podaci nisu dostupni u obliku tablice, već u obliku grafikona (Slika 10) pa se vrijednosti ne mogu izvesti s dovoljnom točnošću.

Autori Seletković i suradnici<sup>74</sup> izračunali su učinak UTO-a za Zagreb koristeći podatke daljinske detekcije Landsat 8, i to za po jedan dan u šest godina – 2013., 2015., 2017., 2019., 2020. i 2022. Granična vrijednost UTO-a bila je definirana prema sljedećoj jednadžbi:  $UTO > \mu + \sigma/2$ , gdje  $\mu$  i  $\sigma$  predstavljaju prosječnu temperaturu površine tla područja Zagreba i standardnu devijaciju te temperature.

Metodologija koju su koristili Žiberna i Ivanjšič<sup>77</sup> za grad Maribor temelji se na satelitskim podacima temperature površine zemljišta satelita Landsat s prostornom razlučivošću od 30 m, uz izračun prosječne sezonske temperature površina prema kategorijama Urbanog atlasa. Intenzitet UTO-a prema navedenoj metodologiji definiran je kao razlika između prosječne temperature pojedine kategorije zemljišta u određenom razdoblju i referentne temperature površine u istom razdoblju, pri čemu su autori kao referentnu temperaturu uzeli prosječnu temperaturu kategorije „pašnjaci“ (kategorije namjene zemljišta prema urbanom atlasu: 2300).

Analize za grad Maribor izvršene su od 12. travnja 2013. do 8. kolovoza 2020., tijekom tog razdoblja se namjena zemljišta u Mariboru nije značajno promijenila. Za izračun prosječnih sezonskih površinskih temperatura (Tablica 2) u obzir su uzeta meteorološka godišnja doba. Rezultati analize pokazali su da je površinski UTO najviše izražen u proljeće i ljeto. Naime, najviše temperaturne razlike za Maribor u tom razdoblju zabilježene su ljeti (6,6 °C) i u proljeće (6,2 °C). Jesenske temperaturne razlike iznosile su u prosjeku 4,3 °C, a najmanje su bile zimi, i to u prosjeku 1,7 °C. Ljeti su najveće temperaturne razlike u odnosu na referentnu vrijednost temperature za kategoriju pašnjaci zabilježene u sljedećim kategorijama: zatvorene, gusto izgrađene površine s nepropusnošću iznad 80 % (4 °C), industrijske, komercijalne, javne i vojne površine (3,7 °C) te željeznice i srodna zemljišta (3,3 °C). U odnosu na referentnu površinu, niže temperature zabilježene su za sljedeće kategorije: vodene površine (za 2,6 °C), šumske površine (1,8 °C) i samostalne građevine (0,2 °C), gdje okolni vrtovi i travnjaci utječu na snižavanje temperature (Tablica 2).

S obzirom na razlike u izraženosti UTO-a u velikim gradovima, koje su u sklopu svojih istraživanja dobili Žgela i suradnici te Žiberna i Ivanjšič, potrebno je naglasiti važnost metodologije istraživanja i prikupljanja podataka. Povećanje točnosti podataka moguće je ostvariti povećanjem broja rezultata izmjerene temperature na jedinici površine. Zbog toga je izvor podataka iz satelitskih snimaka koji su koristili Žiberna i Ivanjšič robusniji, odnosno upotrebljiviji od mjerenja pojedinačnim sensorima rijetko raspodijeljenim u prostoru. Također, bitno je razlikovati podatke dobivene mjerenjem temperature površine tla i mjerenjem temperature na visini od 2 m iznad tla, što je standardno mjesto za mjerenje temperature zraka u meteorološkim postajama, te mjerenja temperatura zraka iznad krošanja. Zbog toga razlikujemo različite pojave UTO-a – površinski (engl. SUHI) i atmosferski (engl. AUHI). Osim navedenog, na izraženost UTO-a mogu utjecati i drugi čimbenici poput gustoće izgrađenosti prostora, kao i korišteni građevinski materijal, pogotovo kod metodologija identifikacije s malim brojem mjernih mjesta.

<sup>72</sup> Boras i sur., 2022.; Mesarić i sur., 2019; Seletković i sur., 2023.; Žgela i sur., 2018.

<sup>73</sup> Žgela i sur., 2018.

<sup>74</sup> Seletković i sur., 2023.

<sup>75</sup> Mesarić i sur., 2019.

<sup>76</sup> Boras i sur., 2022.

<sup>77</sup> Žiberna i Ivanjšič, 2022.

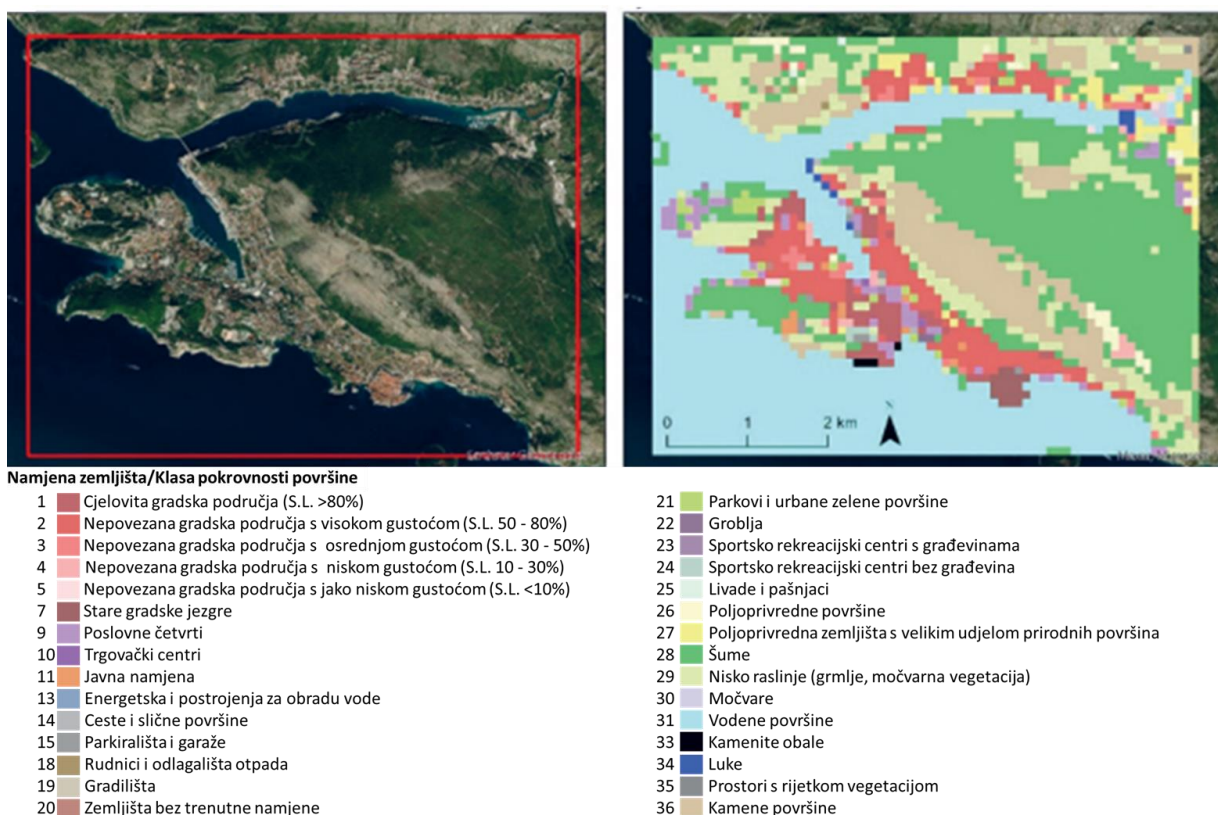
## Metodologija za identifikaciju i kartiranje urbanih toplinskih otoka

Kategorija korištenja tla prema Urbanom atlasu	Ljeto (°C)	Proljeće (°C)	Jesen (°C)	Zima (°C)
Cjelovita gradska područja (S.L. >80 %)	21,1	29,1	22,0	3,7
Nepovezana gradska područja s visokom gustoćom (S.L. 50 - 80 %)	20,8	28,2	21,5	3,5
Nepovezana gradska područja s osrednjom gustoćom (S.L. 30 - 50 %)	19,9	27,1	21,0	3,4
Nepovezana gradska područja s niskom gustoćom (S.L. 10 - 30 %)	18,9	25,7	20,1	3,4
Nepovezana gradska područja s jako niskom gustoćom (S.L. <10 %)	18,7	25,5	20,0	3,4
Samostalne građevine	18,2	24,9	29,6	3,5
Industrijske, komercijalne, javne i vojne površine	21,2	28,8	22,1	3,7
Brze ceste i slične površine	19,3	26,3	20,4	3,2
Druge ceste i slične površine	20,0	27,3	21,0	3,4
Željeznička infrastruktura i slične površine	20,9	28,4	21,9	3,6
Šljunčare	18,8	26,3	20,3	2,8
Nefunkcionalne površine	19,9	27,0	20,9	3,4
Urbane zelene površine	18,9	26,2	20,1	3,9
Područja za sport i rekreaciju	19,2	26,3	20,3	3,0
Obrađene površine	18,9	25,6	20,3	3,0
Trajni nasadi (vinogradi, maslinici)	19,2	25,6	20,2	4,0
Pašnjaci	18,5	25,1	19,8	3,6
Šume	16,0	23,3	18,2	2,3
Vodene površine	15,0	22,5	17,8	2,4

izvor: Landsat 8 TIRS [22], izvor vlastiti izračuni, 2021.

Tablica 2 Temperature površine po kategorijama korištenja zemljišta i po godišnjim dobima za Maribor. Sažeto prema: Žiberna i Ivanjšič, 2022. Napomena: bez područja luka u skladu s Urbanim atlasom

Važne analize učinka UTO-a za različite tipove korištenja zemljišta LULC (eng. Land use/Land cover types) predstavljaju i radovi autora Boras<sup>75</sup> i suradnici i Žiberna<sup>76</sup> i suradnici. Kako je prikazano na Slici 10, Boras i suradnici procijenili su učinak UTO-a metodom daljinskog istraživanja tako što su proučavali temperature različitih dijelova grada tijekom ljeta te navedene podatke povezali s podacima o korištenju zemljišta.<sup>75</sup>



Slika 10 Satelitske snimke područja grada Dubrovnika i kategorije zemljišta prema klasifikaciji Zemljišta prema namjeni i pokrovu. Sažeto prema Boras i sur., 2022.

Budući da podaci o temperaturi nisu uvijek dostupni, preporučuje se korištenje kategorija intenziteta UTO-a prema postojećoj literaturi, koja navodi povezanost između kategorija namjena zemljišta Urbanog atlasa i kategorija intenziteta UTO-a (primjerice Tablica 2).

## PREGLED METODA IDENTIFIKACIJE URBANIH TOPLINSKIH OTOKA

U literaturi postoje brojne metode i tehnike za određivanje opsega i svojstava UTO-a, a razlikuju se prema cilju istraživanja, ulaznim podacima, preciznosti i razini složenosti. Najčešće korištene metode su numeričko modeliranje, analiza daljinskim istraživanjima i mjerenja na terenu.

### Numeričko modeliranje

Korištenjem mikroklimatskih modela moguće je simulirati toplinske karakteristike gradova, uzimajući u obzir čimbenike poput izgradnje, zelenih površina i urbane matrice. Nadalje, ti modeli uključuju mogućnost različitih vremenskih i prostornih skala te provođenje testova osjetljivosti. Međutim, njihovi rezultati ovise o postavkama samog modela (rezolucije, parametrizacije, fizikalnim procesima malog razmjera itd.) te stoga samo približno opisuju urbane toplinske karakteristike.

### Daljinska istraživanja

Analiza daljinskog istraživanja uvelike ovisi o toplinskim senzorima koji se nalaze na satelitima (primjer vrsta senzora u Tablici 3). Ti senzori mjere površinsku temperaturu koja se razlikuje od temperature zraka koju mjere meteorološke postaje. Površinska temperatura je zapravo temperatura podloge. Ona se razlikuje ovisno o materijalu i najčešće je niža kod prirodnih materijala. Tehnika daljinskih istraživanja omogućuje preuzimanje podataka u različitim prostornim i vremenskim rezolucijama te pomaže u uspostavljanju prostornog uzorka površinskog UTO-a (SUHI). SUHI ovisi o toplinskim svojstvima površina i procjenjuje se varijacijama između površinskih temperatura (ne temperatura zraka) urbanih i ruralnih područja. Podaci o površinskim temperaturama dostupni su iz različitih izvora, primjerice iz satelitskih snimaka Landsat-8 i Sentinel-3. Rezolucija satelitskih snimaka za Landsat-8 je 30 m, a za Sentinel-3 20 m. Tablica 3 prikazuje karakteristike uređaja za daljinsko prikupljanje podataka, a ostali se podaci mogu pronaći na poveznici.<sup>78</sup> Osim toga, dostupni su i drugi izvori podataka, kao što su [MODIS](#)<sup>79</sup> (niske prostorne, ali visoke vremenske rezolucije) i [ECOSTRESS](#)<sup>80</sup> (visoke prostorne i vremenske rezolucije).

<sup>78</sup> Copernicus, CORINE: <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>

<sup>79</sup> MODIS: <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod11.php>

<sup>80</sup> ECOSTRESS: <https://lpdaac.usgs.gov/products/eco2lsteve001/>

Značajke	CLC 1990	CLC 2000	CLC 2006	CLC 2012	CLC 2018
Satelitski podaci	Landsat-5 MSS/TM, jedan datum	Landsat-7 ETM, jedan datum	SPOT-4/5 i IRS P6 LISS III, dvostruki datum	IRS P6 LISS III, i RapidEye dvostruki datum	Sentinel-2 i Landsat-8 za popunjavanje praznina
Razdoblje	1986 - 1998	2000 +/- 1 godina	2006 +/- 1 godina	2011 - 2012	2017 - 2018
Geometrijska preciznost satelitskih podataka	≤ 50 m	≤ 25 m	≤ 25 m	≤ 25 m	≤ 10 m (Sentinel – 2)
Min. jedinica mapiranja/ širina	25 ha/100 m	25 ha/100 m	25 ha/100 m	25 ha/100 m	25 ha/100 m
Geometrijska preciznost, CLC	100 m	preciznije od 100 m	preciznije od 100 m	preciznije od 100 m	preciznije od 100 m
Tematska preciznost, CLC	≤ 85 % (vjerojatno ne ostvareno)	≤ 85 % (ostvareno)	≤ 85 %	≤ 85 % (vjerojatno ostvareno)	≤ 85 %
Tematska preciznost, CHA	-	nije provjereno	≤ 85 % (ostvareno)	≤ 85 %	≤ 85 %

Tablica 3 Podaci o senzorima za prikupljanje prostornih podataka Corine land cover – izvod

### Terenska mjerenja

Ova metoda uključuje podatke službenih meteoroloških postaja ili mreže temperaturnih senzora diljem grada, kao i mobilnih mjerenja, primjerice automobilima ili biciklima za mjerenje temperature zraka na različitim lokacijama u gradu. Često se koristi za analizu nižeg sloja urbane atmosfere (engl. CUHI). CUHI se odnosi na razlike u temperaturi zraka u nižem sloju urbane atmosfere i neurbanih/ruralnih područja. Standardna točkasta meteorološka mjerenja nude kontinuirane podatke različitih parametara, ali ne omogućuju detaljno istraživanje prostorne raspodjele toplinskog opterećenja u gradu zbog ograničenog broja postaja, što rezultira oskudnošću podataka. Primjerice, Državni hidrometeorološki zavod Hrvatske ima podatke za samo tri postaje na području grada Zagreba, što je korisno za dugotrajno istraživanje UTO-a, ali ne i za detaljno razumijevanje prostorne raspodjele topline u gradu.

Ostale metode uključuju:

- termografsko snimanje infracrvenim kamerama za mjerenje temperatura na lokalnoj razini
- mjerenja balonima ili bespilotnim letjelicama za određivanje temperature na različitim visinama iznad urbanih područja
- ankete i druge oblike društvenih istraživanja koji pružaju uvid u izloženost stanovnika visokim temperaturama u urbanim područjima.



## PRIJEDLOG OSNOVNE METODOLOGIJE ZA IDENTIFIKACIJU I KARTIRANJE URBANIH TOPLINSKIH OTOKA

Identifikacija UTO-a proces je prepoznavanja i kvantifikacije temperaturnih razlika koje ukazuju na učinke UTO-a, a glavni joj je cilj utvrditi prisutnost i intenzitet tih učinaka. Kartiranje uključuje vizualno prikazivanje tih učinaka pomoću kartografskih prikaza i Geografskog informacijskog sustava (GIS).

### Identifikacija – informacije o prisutnosti i intenzitetu UTO-a

Kartiranje – olakšava prostornu analizu i donošenje odluka vizualnim prikazivanjem uzoraka i distribucije UTO-a

## TEORIJSKI OKVIR

### Sunčevo zračenje

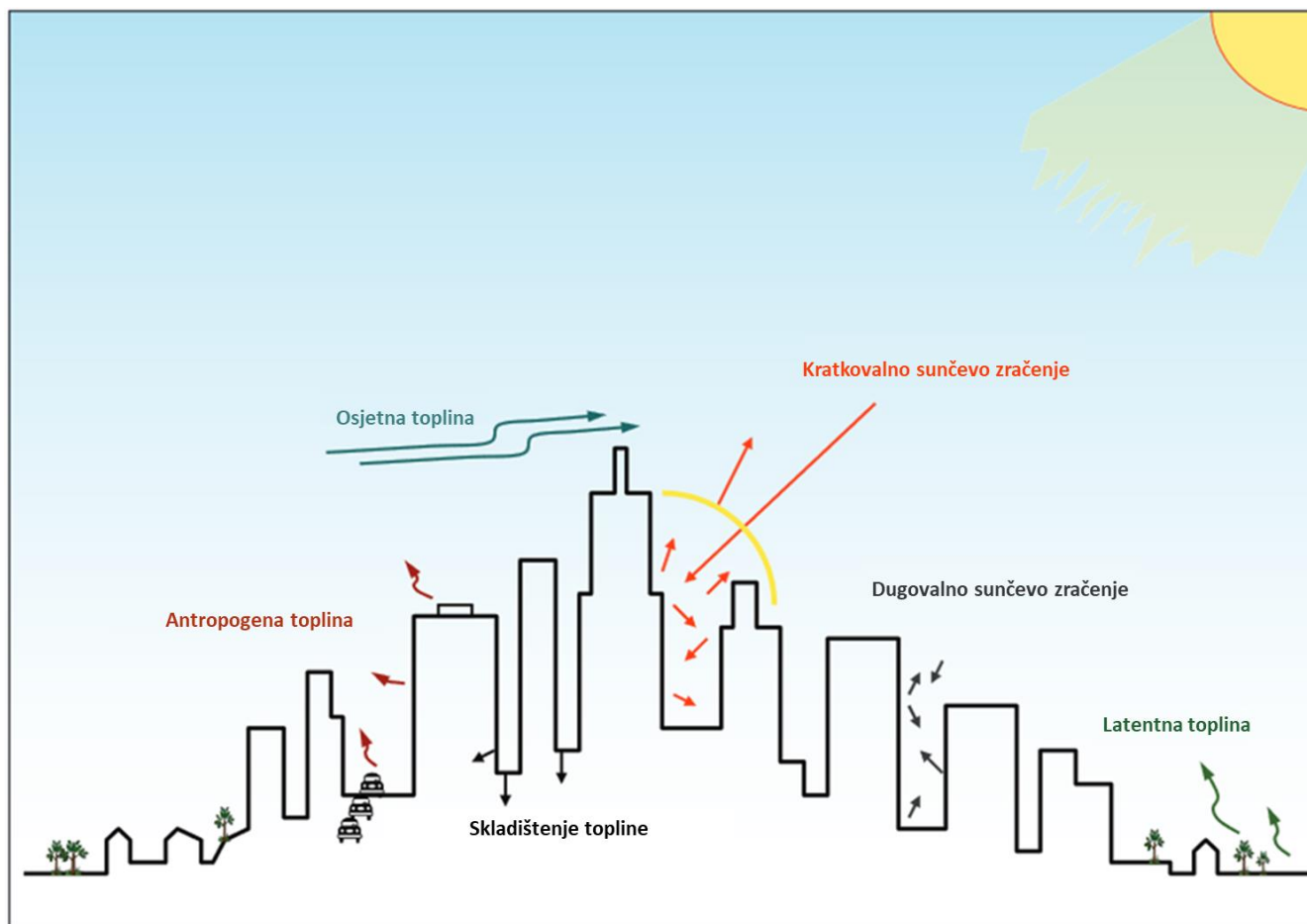
Razumijevanje obrazaca prostorne raspodjele sunčeve svjetlosti posebno je važno za kvalitetnu analizu UTO-a. Kako bi se razumjeli ključni aspekti preporučene metodologije, opisane u idućim poglavljima, u nastavku su predstavljeni teorijski okvir i glavni termini koji povezuju sunčevo zračenje i UTO.

Čovjekovo djelovanje najvažniji je uzrok pojave UTO-a jer upravo ono dovodi do njegova nastanka. Međutim, glavni prirodni pokretač je sunčevo zračenje, tj. toplinska energija koja dopire do gradskih površina. Različite lokacije grada primaju različitu količinu sunčeve svjetlosti, ovisno primarno o zasjenjujućim objektima kao što su zgrade i stabla. Dobra ilustracija toga je česta navika pješaka da u vrijeme velikih vrućina za kretanje biraju zasjenjenu, a ne osunčanu stranu ulice.

Upravo urbana struktura utječe na ograničavanje ili omogućavanje izloženosti sunčevim zrakama. U brojnim svjetskim gradovima urbano planiranje uzima u obzir orijentaciju zgrada kako bi se utjecalo na količinu sunčeve energije koju zgrada, tj. pojedine urbane površine primaju tijekom dana. To uključuje određeni skup pravila i odluka kojima je cilj maksimiziranje energetske učinkovitosti i smanjena potrošnja energije.

Za početak, bitno je naglasiti kako energetska bilanca grada ovisi o dolaznim i odlaznim fluktuacijama topline, čiji je izvor isključivo sunčevo zračenje. Međutim, postoje značajne razlike između grada i njegove ruralne okolice upravo zbog velikog broja antropogenih elemenata koji mijenjaju tu bilancu. To je jasno pojašnjeno na Slici 11. Sva dolazna sunčeva energija kratkovalno je sunčevo zračenje. Ono zagrijava površine te može biti direktno ili difuzno. Difuzno zračenje reflektira se od čestica u atmosferi ili prirodnih, tj. izgrađenih objekata na Zemljinoj površini. U gradovima djeluju i razni drugi procesi kretanja energije koje je potrebno imati na umu. Za početak, urbane površine, koje reflektiraju manje dolazne energije u odnosu na prirodne površine, pohranjuju više topline. Dakle, u odnosu na ruralna područja, veći postotak topline ostaje zarobljen u gradu. Ovdje je posebno važno naglasiti kako urbana geometrija ima ulogu u zadržavanju te energije u urbanoj atmosferi. Naime, ulični kanjoni ne dozvoljavaju energiji da napusti to područje, već se ona zadržava i povećava temperature u gradu. Još jedan izvor topline koji ima važnu ulogu je antropogena toplina, odnosno toplina koja nastaje iz ispušnih plinova automobila te rashladnih uređaja, čime se intenziviraju učinci UTO-a.

Noću su učinci UTO-a naglašeniji jer su umjetne površine tijekom dana apsorbirale sve dolazno sunčevo zračenje te ga noću ispuštaju u obliku dugovalnog zračenja. Stoga su neugodno visoke noćne temperature u gradovima česte tijekom ljetnih mjeseci, što povećava toplinski rizik, posebice za osjetljive skupine kao što su djeca i starije osobe.



Slika 11 Urbana energetska bilanca (USEPA, 2008.)

### Osnovna polazišta za odabir metodologije identifikacije i kartiranja UTO-a:

- Metodologija u prvoj fazi treba biti relativno jednostavna i ne bi trebala uključivati dodatna satelitska ili druga složenija mjerenja, a u fazi nadogradnje ili u slučajevima dostupnosti na lokalnoj razini može uključivati i dodatne podatke (iz lokalnih postaja, satelitske snimke i sl.).
- Metodologija treba omogućiti analize postojećeg stanja pokrova zemljišta i toplinskog opterećenja za sve jedinice lokalne samouprave u Hrvatskoj, što podrazumijeva dostupnost podataka na nacionalnoj razini.
- Način određivanja intenziteta i kartiranja trebao bi biti prikladan i kompatibilan za upotrebu u Registru zelene infrastrukture RH (Tablica 4), odnosno trebao bi omogućiti pregled UTO-a s ciljem definiranja i implementacije mjera za suzbijanje UTO-a (posebice onih mjera koje se odnose na razvoj zelene infrastrukture u gradovima).

Klasifikacija tipologija zelene infrastrukture	
1	Park
2	Gradska/urbana šuma
3	Površine za sport i rekreaciju
4	Travnjak
5	Botanički vrt/arboretum/zoološki vrt
6	Perivoj
7	Zeleni konstruktivni elementi na zgradama
8	Produktivna zelena infrastruktura- urbani vrtovi, urbane farme, rasadnici i javni voćnjaci
9	Integrirani sustav urbane odvodnje
10	Urbana močvara
11	Krajobrazno uređena groblja
12	Browfield površina
13	Vodotoci, poplavna područja i površinske kopnene vode
14	Trg
15	Morska obala
16	Zone za turizam
17	Zelene površine uz stambene zgrade
18	Zelene površine uz zgrade javne, društvene i gospodarske namjene
19	Tematski park
20	Arheološki park
21	Zelene površine uz prometnice
22	Sadnja stabala

Tablica 4 Klasifikacija tipologija zelene infrastrukture iz Priručnika o primjeni zelene infrastrukture. Sažeto prema: Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine, 2023.

## OPIS METODOLOGIJE

S obzirom na navedena osnovna polazišta, predlaže se **metodologija koja objedinjuje dostupne podatke o korištenju zemljišta, podatke zračnog snimanja i matematičko modeliranje sunčeva zračenja.**

Kao osnovni prostorni podatak za kartiranje UTO-a moguće je korištenje karte vegetacije i vrste zemljišta dostupne u obliku Temeljne topografske baze (TTB) koja je izrađena po CROTIS metodologiji i u ingerenciji je Državne geodetske uprave. Navedeni podaci dostupni su na zahtjev i kartirani u mjerilu 1:10.000, što je trenutačno jedini podatak te vrste i detaljnosti dostupan za cjelokupni teritorij Republike Hrvatske. Satelitskim mjerenjima bilo bi moguće kartirati kategorije iz TTB-a s kategorijama učinaka UTO-a.

TTB sadrži opis pokrova zemljišta u bilo kojoj točki površine te tako određuje područja s prirodnim pokrovom i ona s izgrađenim objektima. Ta baza također specificira namjenu/vrstu ljudskog djelovanja. Kao što je već navedeno, čovjekova aktivnost ima najveći utjecaj na nastanak UTO-a pa je razumijevanje površina koje smo izgradili te našeg djelovanja u prostoru krucijalno kako bismo zaključili koji antropogeni elementi više pridonose povećanom toplinskom riziku od drugih.

Pokrov i namjena zemljišta prema TTB-u (Tablica 5) obuhvaća sljedeće kategorije:

- Poljoprivredno zemljište
- Šumsko područje
- Stablo
- Drvored i živica
- Ostala prirodna područja
- Gospodarsko područje
- Javne površine
- Površine posebne namjene
- Uporaba zemljišta.

Kategorija prema TTB-u	Doprinos nastanku UTO-a
Poljoprivredno zemljište	Iako je riječ o prirodnim površinama, zbog velike izloženosti sunčevu zračenju poljoprivredne površine često imaju slične ili čak više temperature u odnosu na urbana područja. Također, tijekom godine nisu kontinuirano pokriveno zelenilom, već je riječ o golom zemljištu koje pridonosi porastu temperatura. Razumijevanje ovih područja iznimno je važno jer poljoprivrednici mnogo vremena provode na otvorenom, izloženi vrućini.
Šumsko područje, stablo, drvored i živica, ostala prirodna područja	Visoka vegetacija omogućava prirodno hlađenje površina procesima poput evapotranspiracije. Stabla i prirodne površine apsorbiraju sunčevu energiju, a isparavaju vodu kroz listove, što pomaže u hlađenju okoliša. Stoga su područja pod prirodnim pokrovom hladnija od urbanih područja.
Gospodarsko područje	Gradske površine kao što su industrijske zone karakterizira visok udio asfalta, betona, metala i drugih umjetnih materijala te nizak udio zelenila. Uz to, emisije topline iz industrijskih procesa dodatno pojačavaju toplinski rizik ovih područja. To su najčešće dijelovi grada s najvišim temperaturama te ih je potrebno pažljivo analizirati jer u njima radi i boravi velik broj građana.
Javne površine	Javne površine najbitnija su kategorija jer se na njima građani u slobodno vrijeme najviše okupljaju. One u pravilu imaju umjetno napravljene ili uređene površine, najčešće s čvrstim pokrovom poput asfalta i betona. To su trgovi, komercijalne površine, površine za sport i rekreaciju, dvorišta itd. Riječ je o prilično raznovrsnoj kategoriji te se svaki njezin element treba analizirati posebno.
Površine posebne namjene	Uglavnom ih čine objekti koji se koriste u obrambene svrhe.
Uporaba zemljišta	Kategorija koja obuhvaća područja specifičnog ljudskog djelovanja, npr. autobusne i željezničke kolodvore, odmorišta, lokacije za sport i rekreaciju te druga područja gdje stanovništvo često provodi vrijeme.

Tablica 5 Opisi kategorija pokrova i namjene zemljišta prema TTB-u

Što se tiče zračnih snimaka, moguća je uporaba digitalnog modela površine nastalog iz Multisenzorskog zračnog snimanja Republike Hrvatske, a koji je rezultirao LiDAR snimkama.

Korištenjem algoritma za izračun solarnog zračenja moguće je matematički definirati količinu zračenja po jedinici površine. Jedan od mogućih alata je *Modeling solar radiation*<sup>81</sup> kojim se izračunava zbroj direktnog i difuznog zračenja, a u obzir uzima topografiju terena, izgrađenost i prisutnost određenih elemenata koji utječu na količinu zračenja.

**Preklapanjem slojeva pokrova i namjena zemljišta prema TTB-u s izračunom sunčeva zračenja te korištenjem GIS alata za prostornu analizu moguće je identificirati područja s potencijalnom pojavom UTO-a.**

Navedena metoda ima određene nedostatke, poput vremenskog ažuriranja TTB-a te nedovoljne razine detaljnosti, no predlaže se kao osnovna metodologija s obzirom na dostupnost podataka u Hrvatskoj. U slučaju dostupnosti drugih podataka na razini jedinica lokalne samouprave (dalje: JLS), poput onih iz mreže temperaturnih senzora, moguće je provesti detaljniji postupak identifikacije.

Nadalje, moguće je i korištenje javno dostupnih i usporedivih podataka na razini EU-a, za one JLS-ove za koje su takvi podaci dostupni. Jedan od primjera je Urbani atlas zemljišta prema pokrovu i namjeni (Urban Atlas Land Cover/Land Use) iz 2021. godine koji postoji u sklopu programa Copernicus.<sup>82</sup> Moguće dodatne metode detaljnije su opisane u nastavku dokumenta.

<sup>81</sup> Tool reference: Modeling solar radiation: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/3.1/tool-reference/spatial-analyst/modeling-solar-radiation.htm>

<sup>82</sup> Urban Atlas Land Cover-CLSM, 2021.: <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2018>

## DODATNE MOGUĆNOSTI METODA IDENTIFIKACIJE I KARTIRANJA URBANIH TOPLINSKIH OTOKA

Ovisno o dostupnosti, moguće je kao nadogradnju osnovne metodologije identifikacije i kartiranja UTO-a koristiti i ostale metode objašnjene u nastavku.

### KORIŠTENJE PODATAKA METEOROLOŠKIH POSTAJA

Prvi korak je korištenje podataka službenih meteoroloških postaja Državnoga hidrometeorološkoga zavoda. Međutim, nema svaki JLS meteorološku postaju unutar svojih administrativnih granica, a često nisu smještene unutar izgrađenih površina, nego na rubovima grada, zbog čega nije moguće registrirati učinak UTO-a. Kako bi se nadomjestio nedostatak službenih postaja, preporučljivo je da JLS uložiti sredstva u postavljanje privremene mreže meteoroloških instrumenata kako bi se tijekom određenog razdoblja prikupili iznimno važni podaci o raspodjeli topline u gradu. Točnije, definirale bi se lokacije koje su iznimno vruće i gdje je potrebno provesti mjere prilagodbe. Izbor instrumenata dostupnih na tržištu je velik, a omjer kvalitete dobivenih podataka i uloženi financijskih sredstava vrlo dobar. Primjer takvog mjerenja uključuje postaje građanskih meteoroloških stanica (eng. Citizen Weather Stations) koje postavljaju amaterski promatrači, na primjer, u vlastitom vrtu. Vlasnici mogu unijeti rezultate svojih promatranja na online platformama, čime oni postaju dostupni različitim aplikacijama.<sup>83</sup>

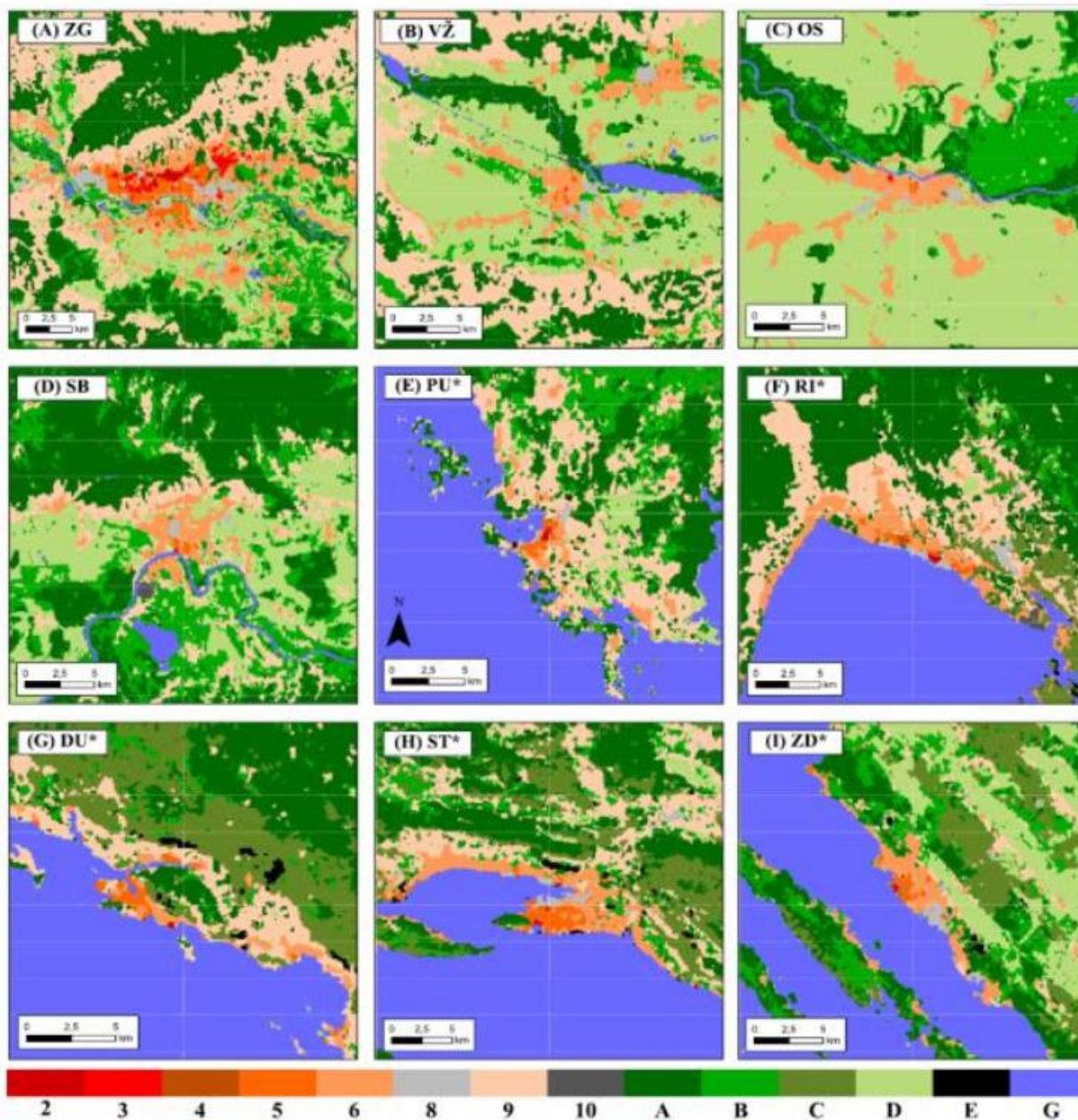
### KLASIFIKACIJA LOKALNIH KLIMATSKIH ZONA

Prikupljanjem i analizom podataka visoke rezolucije moguće je dobiti uvid u prostornu raspodjelu površinske temperature na području cijelog JLS-a. Bitno je naglasiti kako se površinska temperatura razlikuje od temperature zraka koju mjere meteorološke postaje. Svakako je potrebno provesti i analizu veze između izmjerene temperature (temperatura zraka ili površinska temperatura) i pokrova te namjene korištenja zemljišta. U tu svrhu moguće je koristiti lokalne klimatske zone (LKZ). Budući da se toplinske karakteristike pojedinih dijelova grada mogu razlikovati zbog različite izgrađenosti, osmišljen je tip klasifikacije koji uzima u obzir lokalne karakteristike pojedinih dijelova grada. LKZ su područja ujednačenog zemljišnog pokrova, urbane strukture, građevinskog materijala i slične ljudske aktivnosti koja se protežu na horizontalnoj skali od nekoliko stotina metara do nekoliko kilometara.<sup>84</sup> Ovaj tip klasifikacije definira deset klasa izgrađenosti (tri klase kompaktne izgradnje ovisno o visini zgrada, područja s jednokatnicama, raspršena izgradnja u prirodnom okolišu, industrijska područja) i sedam klasa zemljišnog pokrova (područja s gustom visokom vegetacijom, područja s rijetkom visokom vegetacijom, područja s grmovitom vegetacijom, područja s travnatom i zeljastom vegetacijom, kamena ili popločana područja, zemljana ili pješčana područja, vodene površine) – vidi Sliku 13. Riječ je o klasifikaciji koja definira ista obilježja za pojedine klase te je njezina najveća prednost što je primjenjiva neovisno o lokaciji grada i omogućava njihovu usporedbu. Podaci o LKZ-ovima (Slika 12) dostupni su za cijeli svijet, a time obuhvaćaju i područja jedinica lokalne samouprave u Hrvatskoj.<sup>85</sup> Podaci su dostupni u TIFF podatkovnom formatu koji je kompatibilan za korištenje s GIS alatima uz provedbu daljnjih analiza.






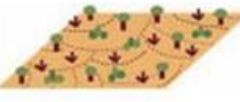











<sup>83</sup> World Bank, 2020.

<sup>84</sup> Stewart i Oke, 2012.

<sup>85</sup> Lokalne klimatske zone dostupno na: <https://zenodo.org/records/8419340>



Slika 12 Lokalne klimatske zone u devet hrvatskih gradova (Žgela i sur., 2024.)

Tip gradnje	Definicija	Tip pokrova	Definicija
<p>1. Kompaktna visokogradnja</p> 	<p>Gusta gradnja visokih zgrada do nekoliko desetaka katova. Stabla su malobrojna ili nisu prisutna. Površine su većinom nepropusne. Građevinski materijali uključuju beton, čelik, kamen i staklo.</p>	<p>A. Gusta šuma</p> 	<p>Krajobraz s velikim brojem listopadnih i/ili zimzelenih stabala. Većinom propusna površina (niska raslinje). Namjena prostora je prirodna šuma, pošumljene površine ili urbani park.</p>
<p>2. Kompaktne zgrade srednje visine</p> 	<p>Gusta gradnja srednje visokih zgrada 3 - 9 katova. Stabla su malobrojna ili nisu prisutna. Površine su većinom nepropusne. Građevinski materijali uključuju betonske konstrukcije, ciglu, kamen i pločice.</p>	<p>B. Rijetka šuma</p> 	<p>Krajobraz s manjim brojem listopadnih i/ili zimzelenih stabala. Većinom propusna površina (niska raslinje). Namjena prostora je prirodna šuma, pošumljene površine ili urbani park.</p>
<p>3. Kompaktne niske zgrade</p> 	<p>Čista gradnja niskih zgrada 1 - 3 kata. Stabla su malobrojna ili nisu prisutna. Površine su većinom nepropusne. Građevinski materijali uključuju betonske konstrukcije, ciglu, kamen i pločice.</p>	<p>C. Šikare i makije</p> 	<p>Krajobraz s gromolikom pokrovoom i niskim stablima. Većinom propusna površina (golo tlo ili pijesak). Namjena prostora poljoprivredna proizvodnja ili šikara.</p>
<p>4. Razmaknuta visokogradnja</p> 	<p>Razmaknute visoke zgrade do nekoliko desetaka katova. Obilno prisutne propusne površine (nisko raslinje i razmaknuta stabla). Građevinski materijali uključuju beton, čelik, kamen i staklo.</p>	<p>D. Travnjaci</p> 	<p>Krajobraz kojim dominiraju travnjaci. Stabla izostaju ili su malobrojna. Namjena prostora je travnjak, poljoprivredna proizvodnja ili urbani park.</p>
<p>5. Razmaknute zgrade srednje visine</p> 	<p>Razmaknute srednje visoke zgrade 3 - 9 katova. Obilno prisutne propusne površine (nisko raslinje i razmaknuta stabla). Građevinski materijali uključuju beton, čelik, kamen i staklo.</p>	<p>E. Kamenjar ili asfaltiranje površine</p> 	<p>Krajobraz kojim dominira kamenjar. Vegetacija i stabla izostaju ili su malobrojna. Namjena prostora kamena pustinja ili prometna infrastruktura.</p>
<p>6. Razmaknuta niskogradnja</p> 	<p>Razmaknute niske zgrade 1 - 3 kata. Obilno prisutne propusne površine (nisko raslinje i razmaknuta stabla). Građevinski materijali uključuju drvo, beton, ciglu, pločice i kamen.</p>	<p>F. Golo tlo ili pijesak</p> 	<p>Vegetacija i stabla izostaju ili su malobrojna. Namjena prostora je pješčane površine ili poljoprivredna proizvodnja.</p>
<p>7. Razmaknuti montažni objekti</p> 	<p>Gusta gradnja prizemnica. Stabla su malobrojna ili nisu prisutna. Površine su većinom nepropusne. Građevinski materijali uključuju drvo, slamu i valovite metale.</p>	<p>G. Vodene površine</p> 	<p>Velike vodene površine kao što su mora ili jezera ili manja jezera rijeke ili lagune.</p>
<p>8. Velike niske zgrade</p> 	<p>Razmaknute niske zgrade (1 - 3 kata). Stabla su malobrojna ili nisu prisutna. Građevinski materijali uključuju beton, čelik i kamen.</p>	<p><b>Varijabilne površine pokrovnosti</b></p>	
<p>9. Rijetka izgrađenost</p> 	<p>Razmaknute prizemnice i niske u prirodnom krajoliku. Obilje propusnih površina (nisko raslinje, malobrojna stabla).</p>	<p>b. Stabla bez lišća</p>	<p>Stablo bez lisne mase (npr. zimi). Povećana vidljivost neba. Reduciran albedo.</p>
<p>10. Teška industrija</p> 	<p>Niska i srednje visoka industrijska postrojenja (tornjevi i rezervoari). Bez ili sa malo stabala. Nepropusne ili sabijene površine. Građevni materijal metal, čelik i beton.</p>	<p>s. Snježni pokrov</p>	<p>Snježni pokrov dublji od 10 cm. Limitirani pristup. Visoki albedo.</p>
		<p>d. Suho tlo</p>	<p>Isušeno tlo. Limitirani pristup. Visoki albedo.</p>
		<p>w. Vlažno tlo</p>	<p>Tlo zasićeno vodom. Visoki pristup. Reducirani albedo.</p>

Slika 13 Klasifikacija lokalnih klimatskih zona (Stewart i Oke, 2012.)

## Integriranje lokalnih klimatskih zona i površinske temperature

Budući da lokalne klimatske zone opisuju mikroklimatske uvjete u gradovima i njihovim okruženjima, optimalne su za određivanje učinaka UTO-a. Njihovom primjenom moguće je izračunati zonalne karakteristike specifičnih dijelova grada, tj. prostornu raspodjelu topline.

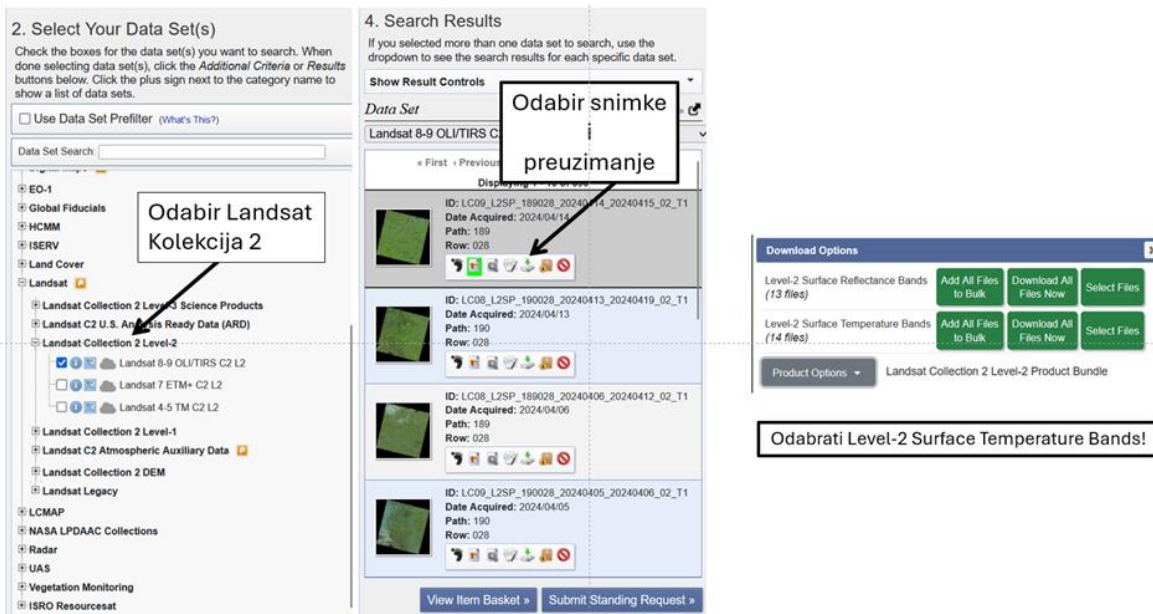
Podaci o površinskoj temperaturi javno su dostupni za područje cijelog svijeta i Hrvatske od 1980-ih do danas u visokoj prostornoj rezoluciji. Pomoću njih moguće je odrediti vremensko-prostorne promjene topline pojedinog urbanog područja. Podaci su dostupni na stranici američke geološke službe (United States Geological Service, USGS).<sup>86</sup> Preuzimanje podataka jednostavno je i prilagođeno korisnicima.

### Koraci za preuzimanje podataka



Slika 14 Odabir vremensko-prostornog obuhvata istraživanja

1. Registrirati se na web stranici <https://earthexplorer.usgs.gov/>
2. U izborniku odabrati „World features“ te upisati naziv JLS-a (Slika 14).
3. Odabrati razdoblje za koje želimo podatke



Slika 15 Pregled i preuzimanje podataka o površinskoj temperaturi

4. Odabrati „Data sets“ (Slika 15)

<sup>86</sup> United States Geological Service, USGS; dostupno na: <https://earthexplorer.usgs.gov/>



- - a. Ovdje preuzimamo podatke visoke prostorne rezolucije Landsat satelitske misije koja nudi informacije o površinskoj temperaturi od 1984. do danas. Moguće je odabrati bilo koji od tri ponuđena satelita jer svaki nudi podatke za različito razdoblje
  - b. Nakon odabira satelita pritisnuti „Results“
- 5. Odabrati željenu satelitsku snimku
  - a. Potrebno je provjeriti prekrivaju li oblaci JLS. U slučaju da prekrivaju, neće biti podataka o površinskoj temperaturi pa treba odabrati drugu satelitsku snimku bez oblaka.
  - b. Nakon pretraživanja kliknuti na preuzimanje „Download options“, čime se otvara novi prozor
  - c. Odabrati „Level-2 Surface Temperature Bands“
    - i. Odabrani podaci preuzimaju se u TIFF podatkovnom obliku koji je moguće otvoriti u bilo kojem GIS softveru, primjerice ArcGIS ili QGIS
    - ii. Sloj s površinskom temperaturom nazvan je po nazivu satelitske scene te završava sa *ST\_Band10.tif*. Budući da su podaci u pitanju „sirovi“, treba napraviti jednostavan izračun vrijednosti u Celzijevim stupnjevima, što je moguće putem opcije Raster Calculator u GIS softveru

$$\text{LST (}^{\circ}\text{C)} = (\text{LST (sirovi)} * 0.00341802 + 149) - 273.15$$

Zadnji korak je prikaz površinske temperature u GIS softveru u odabranoj skali boja, što omogućava uočavanje lokacija s visokim temperaturama. Drugo, preklapanjem slojeva lokalnih klimatskih zona i površinske temperature moguće je izračunati učinak UTO-a putem alata „Zonal statistics“.<sup>87</sup> Rezultat je tablica sa statističkim vrijednostima površinske temperature po klasama lokalnih klimatskih zona.

---

<sup>87</sup> Alat: Zonal statistics; dostupno na: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/zonal-statistics.htm>

## URBANI ATLAS

Europski Urbani atlas<sup>88</sup> pruža uvid u morfološka obilježja gradova, primjerice gustoću zgrada ili namjenu zemljišta, a njegova tipologija prikazana je u Tablici 6. Važno je naglasiti da podaci Urbanog atlasa obuhvaćaju šest urbanih područja u Hrvatskoj pa se on trenutačno ne može koristiti za sve JLS-ove.

Kod klase	Nomenklatura
11100	Cjelovita gradska područja (S.L. > 80%)
11210	Nepovezana gradska područja s visokom gustoćom (S.L. 50 - 80 %)
11220	Nepovezana gradska područja s osrednjom gustoćom (S.L. 30 - 50 %)
11230	Nepovezana gradska područja s niskom gustoćom (S.L. 10 - 30 %)
11240	Nepovezana gradska područja s jako niskom gustoćom (S.L. <10 %)
11300	Samostalne građevine
12100	Industrijske, komercijalne, javne i vojne površine
12210	Brze ceste i slične površine
12220	Druge ceste i slične površine
12230	Željeznička infrastruktura i slične površine
12300	Morske luke
12400	Zračne luke
13100	Rudnici i odlagališta otpada
13300	Gradilišta
13400	Površine bez trenutne namjene
14100	Urbane zelene površine
14200	Sportske i rekreacijske površine
20000	Poljoprivredne površine + poluprirodne površine + močvare
30000	Šume
50000	Vodene površine

Tablica 6 Nomenklatura kategorija zemljišta prema namjeni iz baze Urban Atlas na engleskome jeziku. Sažeto prema EEA, 2021.

U nastavku se nalazi pregled metodologije u slučaju dostupnosti podataka Urbanog atlasa, koja uključuje daljinsko snimanje temperature tla uz potrebnu prilagodbu specifičnoj situaciji u Hrvatskoj prema definiranim preduvjetima za razvoj metodologije. Naime, podatke o površinskoj temperaturi treba povezati s podacima o namjeni i korištenju zemljišta prema kategorijama Urbanog atlasa. Za svaku definiranu kategoriju potrebno je napraviti izračun prosječne temperature. Također je potrebno izračunati prosječne temperature za pojedinačne kategorije prema definiranoj Tipologiji zelene infrastrukture. Kategorije zelene infrastrukture moraju se nadopuniti kategorijama izgrađenog prostora koje su obuhvaćene metodologijom klasifikacije površina izgrađenog prostora koje koristi Atlas.

Za precizan izračun učinaka UTO-a na različitim lokacijama u gradu treba precizno izmjeriti temperaturu na odabranim lokacijama. Budući da satelitski podaci (poput onih koje daje Landsat-5) s temperaturnim kartama dovoljno visoke rezolucije nisu bili dostupni za naše potrebe, predlaže se korištenje referentnih vrijednosti temperature za pojedine tipove zemljišta, tj. korištenje rezultata koji su izračunali učinak UTO-a za različite tipove zemljišta po pokrovu i namjeni u Mariboru. Dobivene referentne kategorije učinaka za različite tipove zemljišta u Mariboru mogu se (uz svjesnost ograničenja ove metodologije) koristiti za kartiranje učinaka UTO-a i u hrvatskim gradovima.<sup>89</sup> Nadalje, podaci o korištenju zemljišta u trenutačnoj fazi temelje se i na Registru zelene infrastrukture<sup>90</sup> pa se nadopunjuju relevantnim detaljnijim kategorijama izgrađenog zemljišta, poput onih u Urbanom atlasu<sup>91</sup>.

Budući da učinak UTO-a predstavlja razliku u temperaturi gradskog područja i okolnih ruralnih područja, u sklopu ove metodologije predlaže se identifikacija UTO-a na sljedeći način: **učinak UTO-a na određenoj lokaciji unutar grada postoji ako je razlika između temperature te lokacije i temperature izvan grada veća od ili jednaka 2 °C ( $\Delta T \geq 2 \text{ °C}$ ).**

Kartiranje UTO-a podrazumijeva prostorni prikaz njihovih zabilježenih učinaka. To je više od pukog prepoznavanja prisutnosti i intenziteta UTO-a kako bi se vizualno prikazala njihova raspoređenost u

<sup>88</sup> EEA, 2021.

<sup>89</sup> Žibera i Ivanjšić, 2022.

<sup>90</sup> Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine, 2023.

<sup>91</sup> Copernicus Land Monitoring Service, 2021.

prostoru i opseg temperaturnih varijacija unutar urbanog krajolika. Za kartiranje se koristi Geografski informacijski sustav i kartografske tehnike radi vizualnog predočavanja obrazaca i pojavnosti UTO-a. Kartiranje pruža sveobuhvatnu perspektivu omogućujući dionicima da razumiju prostorne odnose i implikacije učinaka UTO-a na urbano okruženje i njegovo stanovništvo.

## TEORIJSKE OSNOVE, PRETPOSTAVKE I OGRANIČENJA METODOLOGIJE KARTIRANJA:

- Ulazni podaci s kojima radimo podaci su Registra zelene infrastrukture. Na temelju postojećeg Registra, kartiranje učinaka UTO-a prije svega nije moguće jer zelena infrastruktura sama po sebi umanjuje te učinke. Morfološki elementi, odnosno kategorije koje uzrokuju UTO, nisu dovoljno precizno navedeni u Registru.
- Da bi se Registar zelene infrastrukture mogao koristiti za identifikaciju i kartiranje učinaka UTO-a, potrebno ga je dopuniti podacima o gustoći urbanizacije. U tu svrhu moguće je koristiti različite izvore prostornih podataka, poput Corine Land Cover<sup>92</sup> ili Urbanog atlasa<sup>91</sup>. Za što preciznije kartiranje poželjno je da je prostorna rezolucija kategorije zemljišta prema namjeni što veća, npr. baza Corine Land Cover ima prostornu rezoluciju od 100 m, a Urbani atlas ima najvišu moguću rezoluciju od 10 m.
- Kako bismo mogli provesti kartiranje UTO-a na temelju podataka trenutačno dostupnih za Hrvatsku, predlaže se korištenje postupka predstavljenog u nastavku. Registar zelene infrastrukture, koji je dovoljno precizno definiran za 22 tipologije otvorenih prostora, zelenih i plavih površina, povezuje se s mrežom Urbanog atlasa. U daljnjim istraživanjima na tom području moguće je koristiti prostorno-rezolucijsku ljestvicu koja je preciznija od one u Urbanom atlasu. U idealnom slučaju, karta bi bila dostupna za pojedinačne elemente infrastrukture uz prostornu rezoluciju od 10 m ili jaču.

## POSTUPAK KARTIRANJA URBANIH TOPLINSKIH OTOKA

Kartiranje UTO-a provodi se pomoću ulaznih podataka o namjeni zemljišta, pri čemu se prvo koriste tipologije iz Registra zelene infrastrukture. Kao što sam naziv govori, taj se Registar u prvom redu odnosi na zelene površine. Kako bi se identificirali učinci UTO-a prema tipologiji zelene infrastrukture, predlaže se nadopuna te tipologije odgovarajućim klasama izgrađenih površina iz Urbanog atlasa, a koje nisu definirane u postojećoj tipologiji zelene infrastrukture. U tu se svrhu kao referentna vrijednost koriste kategorije učinaka UTO-a kako je prikazano u Tablici 6.<sup>89</sup>

**Napomena 1:** Tipologija zelene infrastrukture u svojoj osnovi predstavlja detaljnije razvrstavanje određenih kategorija otvorenih površina u odnosu na Urbani atlas i stoga ih ne zamjenjuje jednoznačno. Ipak, želimo predstaviti utjecaj UTO-a u različitim kategorijama zelene infrastrukture. Za tu svrhu koristi se službena uputa Urbanog atlasa (Urban Atlas Mapping Guide<sup>93</sup>) u kojoj su kategorije zelene infrastrukture smještene unutar kategorija Urbanog atlasa.

**Napomena 2:** Važno je bilo primijeniti drugačiji pristup za te kategorije Urbanog atlasa s obzirom na to da za određene kategorije nisu postojali izračuni vrijednosti učinaka UTO-a.<sup>89</sup> Kako bi se klasificirale kategorije koje nedostaju prema njihovu doprinosu učincima UTO-a, korišteni su rezultati analize.<sup>94</sup> Kategorije koje su klasificirane samo prema veličini doprinosa učincima UTO-a prikazane su u Tablici 7 pod oznakom "/" u stupcu "Učinak UTO-a".

Kategorije namjene zemljišta prema Urbanom atlasu	Kategorije namjene zemljišta prema tipologiji Registra zelene infrastrukture	Učinak UTO-a [°C]
1110 Zatvorene, gusto izgrađene površine (S.L. > 80 %)	14 Trg	4
1210 Industrijske, komercijalne, javne i vojne površine	9 Integrirani sustav urbane odvodnje	3,7
1223 Željeznice i povezane površine	/	3,3

<sup>92</sup> Europska agencija za okoliš, 2018.

<sup>93</sup> Copernicus Land Monitoring Service, 2020.

<sup>94</sup> Boras i sur., 2022.

1121 Nezatvorene izgrađene površine s visokom gustoćom (S.L.: 50 % - 80 %)	/	3,1
1222 Druge ceste i povezane površine	/	2,2
1122 Nezatvorene izgrađene površine s umjerenom gustoćom (S.L.: 30 % - 50 %)	/	2
1340 Neupotrebljiva zemljišta	12 Brownfield površina	1,9
1330 Gradilišta	/	/
1310 Šljunčare	/	1,2
1221 Brze tranzitne ceste i povezane površine	21 Zelene površine uz prometnice	1,2
1420 Područja za sport i rekreaciju	03 Površine za sport i rekreaciju, 16 Zone za turizam, 19 Tematski park	1,2
1410 Zelena urbana područja	01 Park, 05 Botanički vrt/ arboretum/ zoološki vrt	1,1
1240 Zračne luke	/	/
1230 Lučka područja	/	/
1123 Nezatvorene izgrađene površine s niskom gustoćom (S.L. : 10 % - 30 %)	07 Zelene konstruktivni elementi na zgradama, 17 Zelene površine uz stambene zgrade	0,6
2100 Obradive površine	/	0,5
2500 Voćnjaci na rubu urbanih klasa	08 Produktivna zelena infrastruktura – urbani vrtovi, urbane farme, rasadnici i javni voćnjaci	/
2200 Trajni nasadi (vinogradi, voćnjaci)	22 Sadnja stabala	0,5
1124 Nezatvorene izgrađene površine s vrlo niskom gustoćom (S.L. < 10 %)	06 Perivoj, 11 Krajobrazno uređena groblja, 18 Zelene površine uz zgrade javne, društvene i gospodarske namjene, 20 Arheološki park	0,4
3300 Otvoreni prostori s malo ili bez vegetacije (plaže, dine, gole stijene, ledenjaci)	15 Morska obala	/
2400 Složeni i mješoviti obrasci uzgoja	/	/
3200 Zajednice zeljaste vegetacije (prirodni travnjaci, močvare...)	/	/
2300 Pašnjaci	04 Travnjak	0
1130 Samostalne građevine	/	-0,2
3100 Šumske površine	02 Gradska/urbana šuma	-1,8
4000 Močvarno područje	10 Urbana močvara	/
5000 Vodene površine	13 - Vodotoci, poplavna područja i površinske kopnene vode	-2,6

Tablica 7 Učinak UTO-a ljeti prema kategorijama Urbanog atlasa i Tipologije zelene infrastrukture

Postupak kartiranja: korisnik u programu GIS preuzima potrebne ulazne podatke, poput kategorija zemljišta po namjeni iz Urbanog atlasa i elemente zelene infrastrukture te potom bilježi navedene kategorije prema kategorijama učinaka UTO-a iz Tablice 7.

## Metodologija za identifikaciju i kartiranje urbanih toplinskih otoka

U nastavku se nalazi primjer rezultata karte učinaka UTO-a za grad Zagreb (Slika 16). Vidljivo je kako su kategorije s najvećim učinkom ( $\Delta T \geq 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) sljedeće:

- zatvorene, gusto izgrađene površine (S.L. > 80 %) (UTO = 4 °C)
- industrijske, komercijalne, javne i vojne površine (UTO = 3,7 °C)
- željeznice i povezane površine (UTO = 3,3 °C)
- izgrađene površine s visokom gustoćom (S.L.: 50 % - 80 %) (UTO = 3,1 °C)
- druge ceste i povezane površine (UTO = 2,2 °C)
- izgrađene površine s umjerenom gustoćom (S.L.: 30 % - 50 %) (UTO = 2 °C).

S druge strane, kategorije koje zapravo imaju učinak ublažavanja UTO-a su sljedeće:

- vodene površine (-2,6 °C u usporedbi s pašnjacima)
- močvarna područja, šumske površine (-1,8 °C u usporedbi s pašnjacima)
- samostalne građevine (-0,2 °C u usporedbi s pašnjacima)



### UHI Green Infrastructure

UHI = 4,0 °C:	14 Trg / 1110 Zatvorene gusto izgrađene površine (S.L. > 80 %)
UHI = 3,7 °C:	09 Integrirani sustav urbane odvodnje / 1210 Industrijske, komercijalne, javne i vojne površine
UHI = 3,3 °C:	1223 Željeznice i povezane površine
UHI = 3,1 °C:	1121 Nezatvorene izgrađene površine s visokom gustoćom (S.L.: 50 % - 80 %)
UHI = 2,2 °C:	1222 Druge ceste i povezane površine
UHI = 2,0 °C:	1122 Nezatvorene izgrađene površine s umjerenom gustoćom (S.L.: 30 % - 50%)
UHI = 1,9 °C:	12 Brownfield površina / 1340 Neupotreblija zemljišta
1330	Gradilišta
UHI = 1,2 °C:	1310 Štjunčare
UHI = 1,2 °C:	21 Zelene površine uz prometnice / 1221 Brze tranzitne ceste i povezane površine
UHI = 1,2 °C:	03 Površine za sport i rekreaciju, 16 Zone za turizam, 19 Tematski park / 1420 Područja za sport i rekreaciju
UHI = 1,1 °C:	01 Park, 05 Botanički vrt/arboretum/zoološki vrt / 1410 Zelena urbana područja
UHI = 0,6 °C:	07 Zelene konstruktivni elementi na zgradama, 17 Zelene površine uza stambene zgrade / 1123 Nezatvorene izgrađene površine s niskom gustoćom (S.L. : 10 % - 30 %)
UHI = 0,5 °C:	2100 Obradive površine
UHI = 0,4 °C:	06 Perivoj, 11 Krajobrazno uređena grobja, 18 Zelene površine uza zgrade javne, društvene i gospodarske namjene, 20 Arheološki park / 1124 Nezatvorene izgrađene površine s vrlo niskom gustoćom (S.L. < 10 %)
15	Morska obala / 3300 Otvoreni prostori s malo ili bez vegetacije (plaže, dine, gole stijene, ledenjaci)
2400	Složeni i mješoviti obrasci uzgoja
3200	Zajednice zeljaste vegetacije
UHI = 0,0 °C:	04 Travnjak / 2300 Pašnjaci
UHI = -0,2 °C:	1130 Samostalne građevine
UHI = -1,8 °C:	02 Gradska/urbana šuma / 3100 Šumske površine
10	Urbana močvara / 4000 Močvarno područje
UHI = -2,6 °C:	13 - Vodotoci, poplavna područja i površinske kopnene vode / 5000 Vodene površine

Slika 16 Primjer karte učinaka UTO-a za Zagreb s pripadajućima kategorijama UTO-a prema Urbanom atlasu i prema Registru zelene infrastrukture

Karte koje prikazuju prostornu raspodjelu učinaka UTO-a omogućuju nam bolje razumijevanje varijacija temperature u urbanim područjima. Kao što je već spomenuto, karte je moguće izraditi pomoću GIS programa i Tablice 7 za pridruživanje učinka UTO-a različitim kategorijama zelene infrastrukture, nadopunjenim kategorijama Urbanog atlasa.

Za potrebe predstavljanja učinaka UTO-a unutar Informacijskog sustava prostornog uređenja (ISPU) preporučuje se stvaranje novog sloja pod nazivom „Učinak toplinskog urbanog otoka“, koji bi uključivao karte poput one prikazane na Slici 16.

Karte učinaka UTO-a omogućuju korisnicima analizu i interpretaciju prostornih podataka o učincima UTO-a te njihovu uporabu pomoću softvera GIS. One su izvor važnih podataka o temperaturnim razlikama unutar grada, što može biti korisno u procesu urbanističkog planiranja, usvajanja mjera za prilagodbu klimatskim promjenama te ublažavanju opasnosti od vrućina.

## Potencijalna ograničenja u korištenju Urbanog atlasa i preklapanju s Registrom zelene infrastrukture

- Urbani atlas za područje Hrvatske uključuje šest urbanih područja, točnije Osijek, Rijeku, Slavonski Brod, Split, Zadar i Zagreb, što podrazumijeva navedene gradove i jedinice lokalne samouprave koje ih okružuju odnosno zajednički čine urbana područja. U skladu s tim, kao unapređenje osnovne metodologije, dostupan je samo određenim JLS-ovima.
- Nadalje, potpuno preklapanje kategorija prema Registru zelene infrastrukture i kategorija definiranih Urbanim atlasom nije moguće jer tipologija Urbanog atlasa detaljnije razrađuje zelene i druge otvorene površine, a Registar navodi samo površine unutar građevinskog područja naselja.
- Minimalna širina kartiranja u Urbanom atlasu, npr. za kategorije 14100 Zelene urbane površine i 14200 Površine za sport i rekreaciju, iznosi 10 m, a u Registru je minimalna širina kartiranja veća jer predstavlja detaljniju bazu podataka na razini pojedinog JLS-a. Isto vrijedi i za minimalnu površinu kartiranja koja u Urbanom atlasu varira od 0,25 do 1 ha.
- Iako pojedine kategorije Urbanog atlasa nazivom odgovaraju pojedinim tipologijama Registra, one u naravi ne predstavljaju iste površine te se jedan tip površine u Registru može odnositi na nekoliko kategorija u Atlasu. Na primjer, 14200 Površine za sport i rekreaciju obuhvaćaju nekoliko tipova i/ili podtipova u Registru, kao što su Površine za sport i rekreaciju, Zone za turizam tj. kampovi, urbani vrtovi i dr.
- Djelomično je moguće uvrstiti pojedine tipologije iz Registra u kategorije Atlasu, no treba imati na umu kako razina detalja, način kartiranja i kategorizacija nisu jednaki. Nekoliko primjera s napomenama:
  - 14100 Zelene urbane površine – Park, Botanički vrt/arboretum/zoološki vrt, Perivoj, Krajobrazno uređena groblja, Površine za sport i rekreaciju (podtip dječje igralište), Arheološki park
  - NAPOMENA – Površine pod vegetacijom manje od 0,25 ha u Urbanom atlasu spajaju se s okolnim kategorijama, a površine od 0,25 do 1 ha razvrstavaju se u kategoriju 13400 Neiskorišteno zemljište. U Registru se pak predviđa detaljnije kartiranje – površina i manjih od 0,25 ha.
  - 14200 Površine za sport i rekreaciju – Površine za sport i rekreaciju, Produktivna zelena infrastruktura – urbani vrtovi, urbane farme, rasadnici i javni voćnjaci<sup>95</sup>, Tematski park, Zone za turizam
  - 31000 Šume - Gradska/urbana šuma
  - Napomena 1 - Urbani atlas u kategoriji 31000 uključuje i rasadnike, a u Registru su oni odvojena kategorija (Produktivna zelena infrastruktura – urbani vrtovi, urbane farme, rasadnici i javni voćnjaci).
  - Napomena 2 – Prema Urbanom atlasu, šume koje se nalaze u urbanim područjima kategorizirane su kao 14100 Zelene urbane površine.
  - Napomena 3 – Minimalna jedinica kartiranja za urbane šume je 1 ha.
  - 23000 Pašnjaci – Navedena kategorija prema Urbanom atlasu obuhvaća pašnjake i livade koji se koriste u poljoprivredne svrhe, a prema Registru travnjaci obuhvaćaju ukrasne i uporabne travnjake na javno dostupnim površinama.

Ograničenje u direktnom povezivanju kategorija zemljišta iz Urbanog atlasu i kategorija iz Registra zelene infrastrukture posebno je očito za privatne površine s obzirom na to da u Atlasu privatni vrtovi nisu evidentirani kao zelene površine, nego predstavljaju dio kategorija koje prikazuju urbano tkivo (npr. kontinuirano i diskontinuirano urbano tkivo). Registar sadrži npr. Zelene površine uz zgrade javne, društvene i gospodarske namjene te zelene površine uz stambene zgrade. Direktno preklapanje i kartiranje UTO-a bez uzimanja ove činjenice u obzir vjerojatno će rezultirati pogrešnim rezultatima, tj. pogrešnom interpretacijom podataka.

<sup>95</sup> Urbani atlas definira gradske povrtnjake kao komplekse od nekoliko do stotina zemljišnih parcela namijenjenih stanovništvu, u kojima većina parcela sadrži pojedinačne poljoprivredne površine s voćem ili povrćem, kao i spremište za alate i sklonište te ih kao takve svrstava u kategoriju 1.4.2. - Površine za sport i rekreaciju.

## Ostale mogućnosti nadogradnje i alternativnih pristupa metodologije

- Za daljnji rad preporučuje se plansko precizno mjerenje temperature na različitim lokacijama unutar hrvatskih gradova. To bi omogućilo ažuriranje kategorija intenziteta učinaka UTO-a koje su proveli Žibera i Ivanjšič,<sup>96</sup> a koje koristimo u trenutnoj verziji metodologije, s kategorijama veličine učinaka UTO-a mjerenim za hrvatske gradove. Unatoč tome, izračun učinaka UTO-a za različite tipove zemljišta prema namjeni u Mariboru trenutno je najbolji izvor podataka koji imamo.
- Također, sljedeća faza razvoja metodologije, koja je predstavljena u ovom dokumentu, mogla bi uključivati korištenje klasifikacije zemljišta veće prostorne rezolucije (ograničenje prostorne rezolucije u Urbanom atlasu trenutno je na 10 m). U konačnoj fazi razvoja metodologije kartiranje je potrebno temeljiti na pojedinačnim elementima unutar kategorija korištenja zemljišta.
- Nadalje, nadogradnja metodologije mogla bi uključiti dodatan skup podataka iz baze podataka Copernicus Land Monitoring Service, točnije podatke o visini zgrada u gradovima.<sup>97</sup> Sada su dostupni samo podaci za 2012. godinu pa bi bilo potrebno pričekati ažuriranu verziju.
- Zbog izrazito negativnog učinka toplinskih emisija rashladnih uređaja, pogotovo rashladnih uređaja velikih kompleksa i mjesta javnih okupljanja, kao što su trgovački centri, preporuka je da se uvede kartiranje rashladnih tijela u cilju preciznijeg predviđanja nastanka i pojačavanja UTO-a.

Zaključno, moguće je konstatirati da postoji niz metoda koje se na različite načine bave proučavanjem UTO-a. One se razlikuju svojim fokusom/ciljem istraživanja, ulaznim podacima, preciznošću te složenošću. Tri najčešće korištene metode su numeričko modeliranje, analiza podataka dobivenih daljinskim istraživanjima i mjerenja na terenu.

Uzimajući u obzir sve specifičnosti prostora Hrvatske te izvore, dostupnost i strukturu dostupnih podataka, predložena je metodologija koja objedinjuje podatke o korištenju zemljišta (Temeljna topografska baza, TTB), podatke multisenzorskog zračnog snimanja Hrvatske te matematičko modeliranje sunčeva zračenja.

Kao mogućnost daljnjeg razvoja, predlaže se razmatranje modeliranja na temelju korištenja podataka daljinskih istraživanja o površinskoj temperaturi te njihova usporedba s podacima o namjeni i korištenju zemljišta.

---

<sup>96</sup> Žibera i Ivanjšič, 2023.

<sup>97</sup> EEA, 2022.

# PRAĆENJE PROMJENA INTENZITETA





## PRAĆENJE PROMJENA INTENZITETA

U Hrvatskoj kratkoročno, srednjoročno i dugoročno praćenje promjena intenziteta UTO-a zahtijeva sustavno istraživanje prilagođeno specifičnostima različitih regija i naselja. U nastavku se predlažu smjernice za istraživanje koje omogućava učinkovito praćenje učinaka UTO-a u Hrvatskoj.

### VREMENSKI INTERVALI ZA PRAĆENJE - PREPORUKE

#### KRATKOROČNO PRAĆENJE (DNEVNO DO MJESEČNO)

- Prikupljati dnevne podatke o temperaturi iz meteoroloških stanica kako bi se pratile kratkoročne fluktuacije u intenzitetu UTO-a.
- Analizirati satelitske snimke s podacima o prosječnoj površinskoj temperaturi na mjesečnoj razini kako bi se identificirali sezonski trendovi u njoj promjeni i nastanku UTO-a.
- Provoditi periodična mobilna istraživanja kako bi se identificirale dinamičke promjene u intenzitetu UTO-a unutar urbanih područja.

#### SREDNJOROČNO PRAĆENJE (SEZONSKO DO GODIŠNJE)

- Objediniti dnevne podatke o temperaturi tijekom godišnjih doba kako bi se procijenile sezonske varijacije u intenzitetu UTO-a.
- Izvršiti kvartalnu analizu satelitskih snimaka kako bi se pratile promjene u karakteristikama površine tla i opsegu UTO-a.
- Provoditi godišnje analize urbane morfologije kako bi se pratile dugoročne modifikacije u namjeni zemljišta te obliku i rasporedu izgrađenog prostora.

#### DUGOROČNO PRAĆENJE (VIŠEGODIŠNJE)

- Komprimirati višegodišnje skupove podataka o temperaturi kako bi se identificirali dugoročni trendovi u intenzitetu UTO-a.
- Koristiti prijašnje satelitske snimke kako bi se analizirale desetljetne promjene u urbanim toplinskim obrascima i dinamici korištenja zemljišta.
- Implementirati periodične ankete o percepciji ugodnosti života stanovnika svakih nekoliko godina kako bi se procijenila učinkovitost mjera ublažavanja UTO-a i urbanističkih intervencija.

### PRILAGODBA KONTEKSTU HRVATSKE

#### OBALNA URBANA PODRUČJA

- Fokusirati se na praćenje intenziteta UTO-a u gusto izgrađenim obalnim gradovima, uzimajući u obzir utjecaj morskih strujanja zraka na lokalne temperaturne obrasce.
- Staviti naglasak na kratkoročno praćenje tijekom ljetnih mjeseci, kada su učinci UTO-a najizraženiji.
- Uključiti srednjoročno praćenje kako bi se procijenili utjecaji turizma i sezonskog priljeva stanovništva na promjene karakteristika UTO-a.

#### KONTINENTALNA URBANA PODRUČJA

- Naglasak staviti na dugoročno praćenje kako bi se otkrile postupne promjene u intenzitetu UTO-a zbog urbanizacije i razvoja infrastrukture.
- Provoditi srednjoročno praćenje tijekom zimskih mjeseci kako bi se razumjele varijacije učinaka UTO-a uzrokovane grijanjem.
- Razmotriti utjecaj okolnog poljoprivrednog zemljišta na nastanak i širenje UTO-a.

**MJERE  
UBLAŽAVANJA  
UČINAKA  
URBANIH  
TOPLINSKIH  
OTOKA**



## MJERE UBLAŽAVANJA UČINAKA URBANIH TOPLINSKIH OTOKA

Negativni učinci širenja izgrađenih naselja, poput povećanja temperatura urbanih prostora te češćih i dugotrajnijih toplinskih valova, povećavat će se pa je nužno provoditi mjere kako bi se smanjila potrošnja energije te zaštitili okoliš i zdravlje ljudi u gradovima.<sup>98</sup> Navedene su teme obrađene kroz znanstvena istraživanja Rojas-Fernández i suradnici, Santamouris i Yun te mnoga druga.<sup>99</sup> Među različitim strategijama urbanističkog planiranja i projektiranja za otpornije gradove U znanstvenoj literaturi<sup>100</sup> najproučavanije su teme uporabe evaporativnih sustava, zasjenjivanja površina tla, uvođenje zelene infrastrukture, izmjenjivača topline zraka i tla te reflektivne tehnologije. Pri uvođenju strategija i mjera ublažavanja učinaka UTO-a potrebno je orijentirati se na rješenja po uzoru na prirodu. Nadalje, ublažavanju učinaka UTO-a značajno mogu pomoći edukacijske aktivnosti na svim razinama. Međutim, još mnogi građani nisu dovoljno upoznati s okolišnim problemima koji se pojavljuju u uvjetima visokog toplinskog opterećenja. Ulaganjem u obrazovanje i edukaciju građanstva potiče se njihovo aktivno djelovanje u krugu vlastitog doma, ali i jačanje integriteta zajednice.

U kontekstu razvoja kvalitetnih i klimatski neutralnih naselja i prilagodbe na klimatske promjene, prostorno planiranje i gradnja trebali bi uključivati:

- sigurnost od opasnosti klimatskih promjena (suše, požari, poplave, klizišta)
- osiguravanje potreba za vodom i održivo gospodarenje vodom (mjere zadržavanja vode, ponovna upotreba oborinskih voda, deregulacija reguliranih vodotoka i sl.)
- osiguravanje zelenih površina s raznovrsnim uslugama ekosustava (planiranje i razvoj visokokvalitetnih, dostupnih, povezanih zelenih površina i drugih rješenja temeljenih na prirodi, uključujući elemente plave infrastrukture)
- rashlađivanje naselja, urbanih prostora i zgrada (morfološki oblik izgrađenih dijelova naselja, ventilacija, gustoća izgradnje, odnos između izgrađenog i neizgrađenog)
- kružno gospodarenje prostorom i zgradama (utjecaj na smanjenje potražnje za novim građevinskim prostorom i prirodnim materijalima)
- elemente održive mobilnosti (smanjenje udjela motoriziranog prometa, višenamjenska uporaba parkirališta i prostora, učinkovita pješačka i biciklistička infrastruktura)
- korištenje obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitost.

Slijede dijelovi dokumenta s prijedlozima mjera ublažavanja učinaka UTO-a prema sljedećim kategorijama:

- **Zelena i plava infrastruktura**
- **Elementi urbanističkog projektiranja**
- **Tehnološke mjere.**

<sup>98</sup> Carnielo i Zinzi, 2013.

<sup>99</sup> Rojas-Fernández, Galán-Marín i Fernández-Nieto, 2017.; Santamouris i Yun, 2020.

<sup>100</sup> Santamouris i sur., 2017.; M. Taleghani, 2018.

## ZELENA INFRASTRUKTURA

Primjena urbane zelene infrastrukture (UZI) može djelomično ublažiti učinke UTO-a, povećavajući otpornost urbanih prostora na klimatske promjene. Kako bi se to postiglo, potrebno je sustavno integrirati UZI u urbanističko planiranje i zakonodavstvo, no navedeni proces ovisi o dostupnosti široko primjenjivih, lako dostupnih i kvantitativnih dokaza.

UZI se pokazuje kao pozitivan čimbenik koji utječe na rashlađivanje europskih gradova, u prosjeku za 1,07 °C, a taj učinak može dosegnuti čak 2,9 °C. Kako bi se ostvario pad urbanih temperatura za 1 °C, potrebno je postići zasjenjenost površine krošnjama stabala od barem 16 %. Regulacija mikroklimе uglavnom ovisi o količini vegetacije unutar grada te o stopama transpiracije krošnja i evaporacije vlage iz tla. Nadalje, u gotovo 40 % europskih zemalja više od polovice stanovništva ne koristi prednosti regulacije mikroklimе koje pruža urbana vegetacija. Široka implementacija UZI-ja, posebno u sušnim regijama te u gradovima s nedovoljnom zasjenjenosti krošnjama stabala, ključna je za osiguranje zdravih životnih uvjeta gradskog stanovništva.

Korištenje rješenja po uzoru na prirodu (engl. NBS) ima pozitivan utjecaj na ublažavanje UTO-a, ali i na niz drugih povezanih čimbenika, kao što su očuvanje bioraznolikosti, utjecaj na zdravlje i kognitivne sposobnosti građana, uštede energije te mnoge druge. Također, interakcija okoliša i različitih tipova NBS-a, osim svoje prostorne, ima i temporalnu komponentu, što dodatno upućuje na kompleksnost mjerenja i evaluacije učinkovitosti ulaganja u takva rješenja. Stoga je potrebno, uz razvoj novih metoda uključivanja NBS-a, standardizirati pouzdane metode za evaluaciju učinkovitosti ulaganja u skladu s lokalnim specifičnostima.

Kada govorimo o učinkovitosti u umanjenju negativnih učinaka UTO-a, treba svakako naglasiti i učinak staništa tj. urbanog tla kao neizostavnog dijela kompleksa sustava NBS-a. Karakteristike staništa mogu imati značajan negativan utjecaj na stope transpiracije vode kroz nadzemne biljne organe, što ima dvostruko negativan utjecaj i na UTO, ali i na opstanak i otpornost samih biljaka. Navedeni utjecaj, iako poznat, ignorira se zbog povećane cijene podizanja NBS-a korištenjem metode podzemnih jama, no kompenzacija sadnjom većih broja jedinki iste vrste samo će dugoročno pogoršati situaciju u smislu značajnog povećanja troška održavanja te poticanja međusobne kompeticije za zauzimanje podzemnog i nadzemnog prostora, kao i biogenih elemenata i dostupne vlage između elemenata urbanog zelenila. Drugim riječima, uz prostornu komponentu zasjenjenosti krošnjama, treba dovesti u fokus i temporalnu komponentu dugoročnog razvoja zasjenjenosti prostora i održivosti strategija razvoja UZI-ja.

S obzirom na navedene ograničavajuće čimbenike, u nastavku dajemo pregled interakcije okoliša i rješenja po uzoru na prirodu, u obliku u kojem ih nalazimo u tipologiji UZI-ja. Zatim slijede smjernice za ublažavanje učinaka UTO-a.

Mjere za uspješno ublažavanje učinaka UTO-a potrebno je prilagoditi specifičnoj namjeni kategorija i specifičnom smještaju individualnih lokaliteta. Zato je važno multidisciplinarno razmotriti i ostale čimbenike koji se primarno ili sekundarno pojavljuju u prostoru.

U jednostavne elemente UZI-ja uključeni su:

### 2.1. Parkovi i urbane šume

- Proširivanje površina parkova i urbanih šuma pomaže u smanjenju učinaka UTO-a kroz zasjenjivanje, snižavanje površinskih temperatura i pojačano hlađenje okoliša efektima evaporacije i transpiracije.
- Sadnja stabala i širenje površina zasjenjenih krošnjama unutar urbanih šuma i parkova smanjuje apsorpciju sunčevih zraka i posljedično temperaturu okoliša.

### 2.2. Široke avenije i ulice sa stablima

- Sadnja stabala uz široke avenije i ulice pomaže u smanjenju učinaka UTO-a snižavanjem površinskih temperatura i hlađenjem okoliša evaporacijom i transpiracijom. Osim toga, poboljšava se opća kvaliteta zraka.

- Sadnja vrsta otpornih na vrućine uz avenije i ulice omogućuje bolju prilagodbu urbanog zelenila na urbane ekološke uvjete te povećava učinkovitost ublažavanja negativnih učinaka UTO-a.
- Integracija urbanih stabala, ali i grmova i trajnica te sličnih elemenata unutar sustava za oborinsku odvodnju, u kombinaciji s urbanim rashladnim koridorima, povećava učinkovitost UZI-ja u smanjenju učinaka UTO-a.

### 2.3. Zeleni krovovi, zeleni zidovi i urbani vrtovi

- Zeleni krovovi zgrada, zasađeni zelenilom koje apsorbira sunčevo zračenje, smanjuju prodor topline u objekte i temperaturu neposrednog okoliša.
- Zeleni zidovi podrazumijevaju pokrivanje vertikalnih površina zelenilom koje zasjenjuje površine i reducira toplinsku apsorpciju zgrade, poboljšava općenitu kvalitetu zraka i smanjuje učinak UTO-a.
- Osnivanje urbanih vrtova i ozelenjenih prostora potiče uklapanje elemenata zelene infrastrukture u gradsko tkivo, daje pozitivne učinke evapotranspiracije i reducira nagomilavanje toplinske energije, što ima pozitivan učinak na smanjivanje učinaka UTO-a.
- Žive zelene ograde su grmovi, stabla, biljke penjačice i sl. koji funkcioniraju kao odijeljene cjeline, a njihova sadnja pozitivno utječe na povećanje i transfer temperature, zasjenjivanje gradskih prostora, kvalitetu zraka te opći estetski ugođaj i doživljaj prostora.

### 2.4. Zeleni trgovi i ulična stabla

- Izgradnja i uklapanje zelene infrastrukture unutar postojećih gradskih trgova uključuje sadnju stabala na mjestima neizgrađenih urbanih prostora radi smanjivanja apsorpcije toplinske energije, proširenja zasjenjenih površina te poboljšanja općih ekoloških uvjeta za korisnike prostora.
- Sadnja stabala uz prometnice pomaže smanjenju učinaka UTO-a zasjenjivanjem površina, reduciranjem površinskih temperatura, unapređenjem kvalitete zraka i estetske percepcije urbanog okoliša te smanjenjem buke.

### 2.5. Mali parkovi i dvorišta

- Odlikuju se manjom površinom u odnosu na trgove, parkove i urbane šume, što ima za posljedicu relativno mali učinak u smanjivanju učinaka UTO-a, no mogu se učinkovito koristiti s drugim elementima kao poveznice urbanih zelenih prostora.
- Propusne površine i posebni materijali koji utječu na smanjenje apsorbirane toplinske energije mogu dati dodatni pozitivan doprinos ublažavanju učinaka UTO-a.
- S obzirom na veličinu, to su prostori prikladni za manja stabla i grmove uskog, uspravnog habitusa krošnje te penjačice i pokrivače tla.

### 2.6. Zeleni otoci uz prometnice

- Predstavljaju uske pojase zelene infrastrukture koji sadrže različite elemente urbanog zelenila, ponajprije travnate površine, no mogu sadržavati i grmove i stabla užeg habitusa.
- Imaju razmjerno mali utjecaj na smanjenje učinaka UTO-a, no uz pažljivo projektiranje i smještanje u prostor mogu zasjenjivati veće površine prostora te time reducirati količinu apsorbirane energije i smanjenje lokalnih temperatura površina prostora.
- Ako se pazi na izbor vrsta, mogu imati značajan pozitivan utjecaj na poboljšanje kvalitete zraka te smanjenje buke i svjetlosnog onečišćenja.

### 2.7. Kišni vrtovi

- Kišni vrtovi jedno su od rješenja po uzoru na prirodu i služe za privremeno prikupljanje, filtriranje i prihvatanje oborinskih voda s izgrađenih nepropusnih površina. Često su osmišljeni kao elementi zelene infrastrukture niskog intenziteta održavanja pa se moraju odlikovati specifičnim odabirom vrsta koje mogu podnijeti i povremena zasićenja tla vodom i povremena sušna razdoblja.
- Njihova uloga u prihvatu vode rasterećuje sustave urbane odvodnje i pomaže smanjenju opasnosti od poplava.
- Mogu zasjenjivati i rashlađivati neposredan okoliš, kao i poboljšati kvalitetu zraka uklanjanjem polutanata na površinama biljaka

## 2.8. Posude za sadnju stabala i urbane sadne jame

- To su hibridna rješenja u slučaju da se kombiniraju s elementima sive infrastrukture te predstavljaju točkaste elemente zelene infrastrukture. Mogu imati stalan ili privremen karakter.
- Najveći doprinos daju zasjenjivanjem površina koje lako upijaju velike količine toplinske energije te smanjenjem temperature površina utječu na smanjenje učinaka UTO-a.
- Preporuka ih je koristiti isključivo na mjestima gdje sadnja nije moguća zbog postavljene podzemne infrastrukture. Takve posude ne bi smjele imati zapreminu manju od 1250 litara.
- S obzirom na ograničenost prostora, preporuka za izbor kultivara za sadnju pada na niska stabla s intenzivno održavanom i oblikovanom krošnjom.
- Zbog njihove prilagodljivosti prostoru moguće ih je koristiti za povezivanje zelene infrastrukture u kontinuirane zasjenjene prostore, što ima značajan utjecaj na poboljšanje kvalitete ekoloških karakteristika prostora.
- Adekvatnim uklapanjem i investiranjem u urbane sadne jame moguće je značajno poboljšati uvjete za rast i razvoj urbanih stabala, čime se produljuje njihov uporabni vijek, povećava otpornost na izvale, smanjuju troškovi održavanja i njege stabala te se znatno utječe na smanjenje gubitaka vode uz zadržavanje normalnih fizioloških funkcija, što uvelike premašuje monetarne vrijednosti implementacije takvih načina sadnje urbanih stabala.

Navedena podjela predstavlja najjednostavniju klasifikaciju elemenata UZI-ja s istaknutim pozitivnim učincima na učinke UTO-a te najvažnijim okolišnim čimbenicima. Oni mogu samostalno ili u različitim kombinacijama činiti sastavne dijelove jedinstvenih kategorija zelene infrastrukture koju je preporučljivo definirati s posebnim uvažavanjem specifičnosti određenog prostora. Pozitivan primjer takve jedinstvene tipizacije napravljen je klasificiranjem kategorija zelene infrastrukture (ZI) u Hrvatskoj.

Tablica 8 Kategorija tipologije ZI-ja i popis mjera unutar vrsta ZI-ja za ublažavanje učinaka UTO-a

Kategorija tipologije zelene infrastrukture	Prijedlog aktivnosti
<p><b>Park</b> Parkovi su cjelovito uređene, otvorene i jasno prepoznatljive zelene površine koje su rezervirane za javne potrebe građana i namijenjene su primarno za rekreaciju. To su višefunkcionalni prostori u kojima uobičajeno dominira vegetacija te vodeni elementi, staze, oprema za druženje, sport, spomenici i dr. Funkcionalno oblikovanje parka određuju prirodne karakteristike prostora, ciljane namjena i potrebe stanovnika. Parkovi su u gradskim centrima vrlo često uređeni kao šetnice s planski zasađenim travnatim površinama, najčešće s manjom prisutnosti drveća.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prikladne površine za sadnju različitih vrsta stabala, grmova i trajnica radi povećanja zasjenjenosti površina krošnjama i povećanja potencijala održavanja lokalne bioraznolikosti</li> <li>- poboljšanje uvjeta staništa s ciljem veće apsorpcije vode</li> <li>- smanjenje područja nepropusnih površina</li> <li>- povezivanje s ostalim elementima UZI-ja radi uspostavljanja rashladnih i pješačkih koridora</li> </ul>
<p><b>Gradska/urbana šuma</b> Gradska ili urbana šuma jest prirodna ili zasađena šuma koja se nalazi u urbanome području; odnosno uklopljena je ili smještena uz izgrađeni prostor te je većinom okružena stambenim zonama. Može se oblikovati kao parkovna površina, a smislenim gospodarenjem zadržava se izvorna struktura šume. Funkcionalno-oblikovne karakteristike određene su prirodnim obilježjima; sastoje se od drveća i grmolike vegetacije te prizemnog raslinja i trave. Unutar gradske šume mogu biti izdvojeni dijelovi za rekreaciju sa stazama za hodanje, bicikliranje, igralištima za djecu, prostorima za slobodnu</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prikladne površine za sadnju različitih vrsta stabala, grmova i trajnica radi povećanja zasjenjenosti površina krošnjama i povećanja potencijala održavanja lokalne bioraznolikosti</li> <li>- poboljšanje uvjeta staništa s ciljem veće apsorpcije vode</li> <li>- ograničavanje pristupa vozilima s ciljem smanjenja sabijanja tla izvan koridora prometnica</li> <li>- povezivanje s ostalim elementima UZI-ja radi uspostavljanja rashladnih i pješačkih koridora</li> </ul>

Kategorija tipologije zelene infrastrukture	Prijedlog aktivnosti
<p>šetnju kućnih ljubimaca i prostorima za javna događanja.</p>	
<p><b>Površine za sport i rekreaciju</b>                      Uobičajeno su samostalne površine koje su namjenski uređene i opremljene za sport i rekreaciju. U oblikovanju počesto sadržavaju elemente krajobrazne vrijednosti. Uključuju otvorena sportska igrališta te prateće sportske građevine. U strukturi moraju prevladavati prirodne zelene površine na tlu namijenjene za različite sportove na otvorenome, npr. nogomet, atletiku, streličarstvo, golf, jahački sport, vanjske bazene; kao i za rekreaciju sa spravama za vježbanje na otvorenome, igrališta za djecu i mlade, igrališta i poligone za trening ili boravak pasa a služe i za druge namjene. Svi su vanjski prostori cjelovito uređeni, javno dostupni i često se nalaze u blizini stanica javnoga prijevoza.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prikladne površine za sadnju različitih vrsta stabala, grmova i trajnica radi povećanja zasjenjenosti površina krošnjama i povećanja održavanja lokalne bioraznolikosti</li> <li>- mogućnost korištenja propusnih površina</li> <li>- mogućnost korištenja materijala s utjecajem na smanjenje učinaka UTO-a</li> </ul>
<p><b>Travnjak</b>                      Zelene površine čiji biljni pokrov pretežito tvore trave; sadrže vrlo malo drveća i grmova i nastali su antropogeno. Prisutni su kao samostalna zelena površina i najčešća su forma u otvorenim prostorima. Tvore jasno omeđen prostor bez kompleksne strukture i njima dominira razmjerno jednolična tekstura i boja. U urbanim područjima ovisno o namjeni mogu zaživjeti kao ukrasni travnjaci uz značajne građevine javne namjene, stambene zgrade i dio parkova, sportski travnjaci i travnjaci za golf terene; a u navedenu se tipologiju svrstavaju upotrebnii ili ukrasni travnjaci na javnim površinama za koje nije ograničen slobodan pristup.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- poboljšanje uvjeta staništa s ciljem veće apsorpcije vode</li> <li>- ograničavanje pristupa vozilima s ciljem smanjenja sabijanja tla izvan koridora prometnica</li> </ul>
<p><b>Botanički vrt, arboretum, zoološki vrt</b>                      Botanički se vrtovi, arboretumi i zoološki vrtovi ne svrstavaju u javne parkove, već se smatraju muzejima na otvorenome. Samostalna su zelena površina. Prostor je jasno omeđen s prepoznatljivim ulazima. Unutarnja struktura je kompleksna, i kombinacija je različitih elemenata, slobodnog krajobraznog oblikovanja i geometrijskog pristupa; spomenuto uključuje brojne elemente odgovarajuće oblikovne vrijednosti, opremu kao i potrebne građevine. Ovi prostori imaju istaknutu ulogu kao destinacija za opuštanje, odmor i šetnju unutar urbanoga tkiva. Zbog samih karakteristika prostora i često povijesne važnosti, ističu se kao lokacije za kulturna događanja te inspirativni prostor za umjetnost i brojna događanja a imaju i izraženu edukativnu ulogu.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prikladne površine za sadnju različitih vrsta stabala, grmova i trajnica radi zasjenjenosti površina krošnjama i povećanja potencijala održavanja lokalne bioraznolikosti</li> <li>- mogućnost korištenja propusnih površina</li> <li>- mogućnost korištenja materijala s utjecajem na smanjenje učinaka UTO-a</li> <li>- povezivanje s ostalim elementima UZI-ja radi uspostavljanja rashladnih i pješačkih koridora</li> </ul>
<p><b>Perivoj</b>                      Perivoj se razlikuje od parka i vrta po umjetničkoj i kreativnoj ambiciji – perivoj je doslovno arhitektura u organskome materijalu. Perivoj predstavlja visoko kultivirani vanjski prostor koji je samostalan ili vrlo često smješten uz povijesne</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prikladne površine za sadnju različitih vrsta stabala, grmova i trajnica radi povećanja zasjenjenosti površina krošnjama i povećanja potencijala održavanja lokalne bioraznolikosti</li> <li>- mogućnost korištenja propusnih površina</li> </ul>

Kategorija tipologije zelene infrastrukture	Prijedlog aktivnosti
<p>građevine, dvorce, plemićke posjede, crkve i ljetnikovce. U urbanome prostoru prisutni su javni gradski perivoji, lječilišni perivoji i biskupski perivoji. Uređenje perivoja ovisi o povijesnome razdoblju osnutka i vrlo je često krajobraznoga stila. Kompozicija se sastoji od četiriju osnovnih elemenata – terena, vegetacije, vode i stijene. Dominira izmjena drveća i grmlja s travnatim površinama; dok je cvijeće zastupljeno u manjoj mjeri. Sadrže brojne funkcionalne i estetske elemente poput paviljona, mostića, sjenica, vodenih elemenata te definiranih staza i vrtne plastike; a ponekad i dekorativne vrtove i voćnjake. Inspirativna su mjesta svrhovitih ili pak rekreativnih okupljanja stanovnika, održavanja kulturnih i drugih događanja -a tom se namjenom postiže socijalna uključenost i osjećaj pripadnosti zajednici.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mogućnost korištenja materijala s utjecajem na smanjenje učinaka UTO-a</li> <li>- povezivanje s ostalim elementima UZI-ja radi uspostavljanja rashladnih i pješačkih koridora</li> <li>- ograničavanje pristupa vozilima s ciljem smanjenja sabijanja tla izvan koridora prometnica</li> </ul>
<p><b>Zeleni konstruktivni elementi na zgradama</b> Zeleni su krovovi najčešće ravnih ploha, a rjeđe su kosi/nagibni. Prekriveni su vegetacijom - a sam sastav zelenoga krova čini nekoliko različitih funkcionalnih slojeva, drenaža, filtera, supstrata te završnog sloja vegetacije. Razlikuju se ekstenzivni zeleni krovovi koji se sastoje poglavito od otpornih trajnica poput sukulenata i trava otpornih na sušu; te intenzivni zeleni krovovi koji su složeniji te sadrže kombinaciju različitih biljaka poput trajnica, grmlja, trava i stabala a mogu biti namijenjeni i za uzgoj povrća i voća. Zeleni su zidovi okomito izgrađene samostalne strukture prekrivene vegetacijom; često su izgrađeni od modularnih ploča ili drugih konstruktivnih okvira koje služe za smještaj različitih vrsta medija za uzgoj, o čemu pak ovisi odabir vegetacije koja posljedično nalaže i modalitete potreba za održavanjem.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prikladne površine za sadnju različitih vrsta stabala, grmova i trajnica radi povećanja zasjenjenosti površina krošnjama i povećanja potencijala održavanja lokalne bioraznolikosti</li> <li>- mogućnost korištenja materijala s utjecajem na smanjenje učinaka UTO-a</li> <li>- povezivanje s ostalim elementima UZI-ja radi uspostavljanja rashladnih koridora</li> </ul>
<p><b>Produktivna zelena infrastruktura- urbani vrtovi, urbane farme, rasadnici, javni voćnjaci</b> Produktivna je zelena infrastruktura smještena u gradskim naseljima i održavaju je žitelji dotičnih naselja. Radi se ili o neplanskim zajedničkim vrtovima koji su nastali na slobodnome javnom zemljištu, a koji su zaživjeli na temelju neformalnih inicijativa stanara obližnjih zgrada i udruga civilnog društva; ili pak o formalnim gradskim vrtovima koji su pokrenuti javnim pozivom upućenim gradovima i općinama, gdje građani imaju mogućnost ostvariti besplatno korištenje parcele ili je dopušteno koristiti ju uz minimalnu godišnju naknadu. U formalnim urbanim vrtovima prostor je jasno krajobrazno oblikovan s izraženom podjelom na pojedinačne parcele u redovima koji su međusobno povezani puteljcima. Na pojedinačnim parcelama uzgaja se povrće i voće (jagodasto voće), začinsko bilje</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prikladne površine za sadnju različitih vrsta stabala, grmova i trajnica radi povećanja zasjenjenosti površina krošnjama i povećanja potencijala održavanja lokalne bioraznolikosti</li> <li>- mogućnost korištenja propusnih površina</li> <li>- mogućnost korištenja materijala s utjecajem na smanjenje učinaka UTO-a</li> <li>- povezivanje s ostalim elementima UZI-ja radi uspostavljanja rashladnih i pješačkih koridora</li> <li>- ograničavanje pristupa vozilima s ciljem smanjenja sabijanja tla izvan koridora prometnica</li> </ul>



Kategorija tipologije zelene infrastrukture	Prijedlog aktivnosti
<p>te cvijeće za osobne potrebe. Ostali tipovi produktivne zelene infrastrukture kao što su urbane farme, rasadnici i javni voćnjaci imaju izraženiju gospodarsku funkciju i predstavljaju pridruženi tip elementa zelene infrastrukture.</p>	
<p><b>Integrirani sustavi urbane odvodnje</b>                      Najčešće rješenje za integrirani sustav urbane odvodnje jest kišni vrt ili bioretencija. To je biljem zasađena depresija koja omogućuje prikupljanje oborinske vode s nepropusnih površina poput krovova, pješačkih i kolnih površina te aktivira njezino upijanje u podzemlje. Najčešće su trapezoidne forme s plitko oblikovanom depresijom. U naravi zatječemo nekoliko osnovnih tipova: klasični kišni vrt, kišni vrt na nepropusnoj podlozi i kišni vrt u posudama. Sastoji se od donje (nepropusne) podloge, drenažnog sloja s perforiranom cijevi, granulacijskog materijala i biljaka (trajnice, grmlje i drveće). Zbog zamjetne vegetacije kišni vrt može poboljšati vizualnu i estetsku percepciju prostora grada. Kada je u blizini infrastrukture za odmor - može se rabiti za pasivni odmor i neformalno druženje građana.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prikladne površine za sadnju različitih vrsta stabala, grmova i trajnica radi povećanja zasjenjenosti površina krošnjama i povećanja potencijala održavanja lokalne bioraznolikosti</li> <li>- mogućnost korištenja propusnih površina</li> <li>- mogućnost korištenja materijala s utjecajem na smanjenje učinaka UTO-a</li> <li>- povezivanje s ostalim elementima UZI-ja radi uspostavljanja rashladnih i pješačkih koridora</li> <li>- ograničavanje pristupa vozilima s ciljem smanjenja sabijanja tla izvan koridora prometnica</li> </ul>
<p><b>Urbana močvara</b>                      Urbana močvara jest oblikovana plitka depresija gusto zasađena biljnim materijalom, a smještena je unutar ili oko urbanog područja. Može biti prirodno ili umjetno oblikovana. Umjetno izgrađeni močvarni sustav funkcionalno je namijenjen pročišćavanju oborinskih voda, uz trajno zadržavanje određenog volumena vode, a sastoji se od više sekcija različitih dubina korita, i to obično do šest metara dubine. Oblikuje se tako da oponaša prirodni močvarni sustav te je dimenzijama često dominantan element u prostoru. Močvarni sustav ima izraženu ulogu u smanjenju urbanih poplava i suša, pročišćavanju oborinske vode, prilagodbi na klimatske promjene, smanjenju utjecaja urbanog toplinskog otoka i smanjenju erozije tla. Također se može rabiti kao mjesto za odmor i rekreaciju te druge edukativne aktivnosti harmonično povezane s boravkom u prirodi.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prikladne površine za sadnju različitih vrsta stabala, grmova i trajnica radi povećanja zasjenjenosti površina krošnjama i povećanja potencijala održavanja lokalne bioraznolikosti</li> <li>- mogućnost korištenja propusnih površina</li> <li>- povezivanje s ostalim elementima UZI-ja radi uspostavljanja rashladnih koridora</li> </ul>
<p><b>Krajobrazno uređeno groblje</b>                      Groblje je ograđeni prostor zemljišta na kojem se nalaze grobna mjesta, komunalna infrastruktura i prateće građevine. Klasificira se kao komunalna građevina u vlasništvu grada ili općine na čijem se području nalazi. Pojedina su groblja zbog parkovnih obilježja i značajki proglašena spomenicima parkovne arhitekture. Upravo se parkovna groblja te hibridna parkovno – arhitektonska groblja ističu kao sastavnice zelene infrastrukture. Parkovni tipovi groblja formirani su travnatim elementima s pravilnim nizovima stabala; planirani su u ortogonalnome</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prikladne površine za sadnju različitih vrsta stabala, grmova i trajnica što omogućuje lako povećanje zasjenjenosti površina krošnjama i povećanja potencijala održavanja lokalne bioraznolikosti</li> <li>- mogućnost korištenja propusnih površina</li> <li>- mogućnost korištenja materijala s utjecajem na smanjenje učinaka UTO-a</li> <li>- povezivanje s ostalim elementima UZI-ja radi uspostavljanja rashladnih i pješačkih koridora</li> </ul>

Kategorija tipologije zelene infrastrukture	Prijedlog aktivnosti
<p>sustavu s pravilno raspoređenim grobnim mjestima. U primorskome dijelu Hrvatske parkovna groblja karakteriziraju i brojne nanizane kapele. U arhitektonskom tipu groblja dominiraju građevine različitog tipa i oblika, a najčešće su omeđene trijemovima.</p>	
<p><b>Brownfield površine</b> Brownfield površine su napuštene površine nekadašnjih industrijskih i vojnih kompleksa, većih kompleksa druge namjene ili su to pak neizgrađene površine a koje su tijekom niza godina izgubile svoju osnovnu funkciju. U kontekstu urbane obnove ove su površine od velike važnosti jer su vrlo često smještene u užoj urbanoj jezgri. Za ovakve površine mogu se predvidjeti dva načina korištenja: kao privremena ili trajna namjena za zelenu infrastrukturu. Za svaku brownfield površinu potrebno je definirati način korištenja u skladu s inventarizacijom vegetacije nastale prirodnom sukcesijom i važnosti postojećeg stanja u kontekstu širega razvoja zelene infrastrukture. Spomenuti tip površina okarakteriziran je zatvorenosću i često je omeđen prema okolnom prostoru i vizualno je zaštićen te ima ograničen pristup. Oblikovanje treba prilagoditi potrebama novih korisnika i infrastrukturi prethodne namjene.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prikladne površine za sadnju različitih vrsta stabala, grmova i trajnica radi povećanja zasjenjenosti površina krošnjama i povećanja potencijala održavanja lokalne bioraznolikosti</li> <li>- mogućnost korištenja propusnih površina</li> <li>- mogućnost korištenja materijala s utjecajem na smanjenje učinaka UTO-a</li> <li>- povezivanje s ostalim elementima UZI-ja radi uspostavljanja rashladnih i pješačkih koridora</li> <li>- ograničavanje pristupa vozilima s ciljem smanjenja sabijanja tla izvan koridora prometnica</li> </ul>
<p><b>Vodotoci, poplavna područja, riparijske zone i površinske kopnene vode</b> Vodotoci obuhvaćaju vodna i sva javno dostupna obalna područja s pretežitim udjelom prirodnih elemenata. Karakterizira ih linijski oblik i u pravilu imaju primijenjene protupoplavne i druge vodoprivredne mjere. Nekoliko je tipova vodotoka u građevinskim područjima: rijeke, potoci, bujični vodotoci, oteretni kanali, plovni kanali, kanali za navodnjavanje, jezera i ribnjaci, koji zajedno s kišnim vrtovima čine mrežu urbanoga vodnog sustava. Inundacijska područja predstavljaju veliki potencijal za upravljanje oborinskim vodama i za oblikovanje prostora rekreacije i boravka na otvorenome prostoru te su sigurna utočišta biljnih i životinjskih vrsta plavnih područja.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prikladne površine za sadnju različitih vrsta stabala, grmova i trajnica radi povećanja zasjenjenosti površina krošnjama i povećanja potencijala održavanja lokalne bioraznolikosti</li> <li>- mogućnost korištenja propusnih površina</li> <li>- povezivanje s ostalim elementima UZI-ja radi uspostavljanja rashladnih koridora</li> </ul>
<p><b>Trg</b> Trg je otvoreni gradski prostor potpuno ili djelomično omeđen zgradama ili ulicama. Može biti u potpunosti popločan i bez zelenih površina, te je ovisno o lokaciji i namjeni različitih veličina - od malih urbanih platoa do velikih gradskih trgova. U kontekstu zelene infrastrukture, trg može služiti kao značajan element u stvaranju ekološki održivoga grada, ako sadrži elemente zelenila i vode što može pozitivno utjecati na kvalitetu zraka, smanjenje buke i razinu stresa te također može doprinijeti općem osjećaju ugodnosti boravka na otvorenome prostoru. Na</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prikladne površine za sadnju različitih vrsta stabala, a posebno korištenja urbanih sadnih jama</li> <li>- mogućnost korištenja propusnih površina</li> <li>- mogućnost korištenja materijala s utjecajem na smanjenje učinaka UTO-a</li> <li>- povezivanje s ostalim elementima UZI-ja radi uspostavljanja rashladnih i pješačkih koridora</li> <li>- ograničavanje pristupa vozilima s ciljem smanjenja sabijanja tla izvan koridora prometnica</li> </ul>

Kategorija tipologije zelene infrastrukture	Prijedlog aktivnosti
<p>gradskim trgovima vegetacija treba biti otporna na specifične uvjete količine padalina, zbijenost tla i zahtjevnosti održavanja.</p>	
<p><b>Morska obala</b>                      Antropogeni oblici pojavnosti morske obale uključuju luke, marine, plovne putove i pristaništa, obalne ceste, gradske plaže i plaže uz turističke komplekse; a u tu kategoriju potpadaju i rive, kao mjesta najčešćeg okupljanja stanovnika. U okviru ove tipologije sadržane su i gradska obala, šetnica i plaža. Gradovi smješteni uz morsku obalu, prilikom planiranja zelene infrastrukture, trebaju ostvariti zaštitu prirodnog obalnog područja u funkciji zaštite okoliša, ali i očuvanju specifičnog identiteta lokacije. Način oblikovanja gradske obale i plaže ovisi o primarnoj funkciji prostora, postojećem stupnju izgrađenosti i definiranim mjerama upravljanja okolišem i prostorom.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prikladne površine za sadnju različitih vrsta stabala, grmova i trajnica radi povećanja zasjenjenosti površina krošnjama i povećanja potencijala održavanja lokalne bioraznolikosti</li> <li>- mogućnost korištenja materijala s utjecajem na smanjenje učinaka UTO-a</li> <li>- povezivanje s ostalim elementima UZI-ja radi uspostavljanja rashladnih i pješačkih koridora</li> </ul>
<p><b>Zone za turizam</b>                      Zone za turizam jesu površine koje su prostornim planiranjem namijenjene isključivo za turizam, a to su hotelski kompleksi, kampovi i pripadajuća morska ili druga obala uz vodene površine. Elementi zelene infrastrukture u sklopu zona za turizam imaju višestruku korist. Osim poticanja bioraznolikosti, ublažavanja UTO-a, ublažavanja mikroklimatskih promjena - ove su zone itekako korisne za zdravlje korisnika budući da pružaju razonodu, ugodne vizure, boravak na otvorenome zraku i suncu te snaže poticaj na fizičku aktivnost. Rekreativne sadržaje na otvorenome prostoru treba nastojati ostaviti dostupnima lokalnome stanovništvu tijekom cijele godine.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prikladne površine za sadnju različitih vrsta stabala, grmova i trajnica radi povećanja zasjenjenosti površina krošnjama i povećanja potencijala održavanja lokalne bioraznolikosti</li> <li>- mogućnost korištenja propusnih površina</li> <li>- mogućnost korištenja materijala s utjecajem na smanjenje učinaka UTO-a</li> <li>- povezivanje s ostalim elementima UZI-ja radi uspostavljanja rashladnih i pješačkih koridora</li> <li>- ograničavanje pristupa vozilima s ciljem smanjenja sabijanja tla izvan koridora prometnica</li> </ul>
<p><b>Zelene površine uz stambene zgrade</b>                      Privatni vrtovi uz obiteljske kuće, javne i polu-javne površine otvorenoga prostora (unutar stambenih naselja i između višestambenih zgrada) mogu značajno doprinijeti funkcijama i dobiti zelene infrastrukture, a odgovarajućim oblikovanjem mogu formirati urbane koridore. U prostornim planovima uvjeti za izgradnju površina stambene namjene nedostavno definiraju smjernice za uređenje i funkcije koje bi slobodni dio građevne čestice trebao ostvariti – mada su ovi prostori počesto oaze u kojima ljudi provode najveći dio svakodnevnoga života, s kojima se poistovjećuju i od posebne su važnosti za ostvarivanje kvalitete življenja. Istovremeno je itekako razvidno da u svakodnevnome životu manjka takvih zelenih površina te da su oblikovane bez potrebnih standarda zelene infrastrukture.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prikladne površine za sadnju različitih vrsta stabala, grmova i trajnica radi povećanja zasjenjenosti površina krošnjama i povećanja potencijala održavanja lokalne bioraznolikosti</li> <li>- mogućnost korištenja propusnih površina</li> <li>- mogućnost korištenja materijala s utjecajem na smanjenje učinaka UTO-a</li> <li>- povezivanje s ostalim elementima UZI-ja radi uspostavljanja rashladnih koridora</li> </ul>
<p><b>Zelene površine uz zgrade javne, društvene i gospodarske namjene</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prikladne površine za sadnju različitih vrsta stabala, grmova i trajnica radi povećanja</li> </ul>

Kategorija tipologije zelene infrastrukture	Prijedlog aktivnosti
<p>Otvorene površine uz javne ustanove, zdravstvene ustanove, domove za starije i nemoćne, obrazovne ustanove, dječje vrtiće, kampuse i trgovačko - poslovne centre i zgrade u gospodarskim zonama - u kontekstu zelene infrastrukture važan su element održivog urbanog razvoja i formiranja koridora zelene infrastrukture. U prostornim planovima uvjeti za izgradnju površina javne, društvene i gospodarske namjene nedostatno definiraju smjernice za uređenje i funkcije koje bi slobodni dio građevne čestice trebao ostvariti pa je potrebno posvetiti dodatnu pozornost njihovu oblikovanju i stvaranju kontinuiranih zelenih površina. Osim ambijentalno-vizualne kvalitete, značajna uloga zelenih površina leži u poboljšanju mikroklimatskih uvjeta i mogućnosti za odvijanje dijela aktivnosti vezanih uz osnovnu namjenu na otvorenome prostoru.</p>	<p>zasjenjenosti površina krošnjama i povećanja potencijala održavanja lokalne bioraznolikosti</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- mogućnost korištenja propusnih površina</li> <li>- mogućnost korištenja materijala s utjecajem na smanjenje učinaka UTO-a</li> <li>- povezivanje s ostalim elementima UZI-ja radi uspostavljanja rashladnih koridora</li> <li>- ograničavanje pristupa vozilima s ciljem smanjenja sabijanja tla izvan koridora prometnica</li> </ul>
<p><b>Tematski park</b></p> <p>Tematski park je generalno jedno-funkcionalni prostor čije su aktivnosti, oprema i sveukupna struktura vođeni jednom prepoznatljivom temom ili konceptom. Tematski parkovi u mediteranskim područjima mogu imati morsku ili tropsku temu, u planinskim područjima istraživačku ili avanturističku, a područja s brojnim vodnim tijelima temu vodenih sportova ili istraživanja područja vodne flore i faune. Struktura i izgled parka krajobrazno su oblikovani, moraju biti prilagođeni klimatskim karakteristikama područja te pružati zaštitu od nepovoljnih vremenskih uvjeta i promjena. U gradskim područjima uloga im je počesto kulturološka, znanstvena, obrazovna, rekreativna, zabavna i estetska. Stalnog su karaktera i nude smještajne i gastronomske sadržaje koji omogućuju dulji boravak posjetitelja.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prikladne površine za sadnju različitih vrsta stabala, grmova i trajnica radi povećanja zasjenjenosti površina krošnjama i povećanja potencijala održavanja lokalne bioraznolikosti</li> <li>- mogućnost korištenja propusnih površina</li> <li>- mogućnost korištenja materijala s utjecajem na smanjenje učinaka UTO-a</li> <li>- povezivanje s ostalim elementima UZI-ja radi uspostavljanja rashladnih koridora</li> <li>- ograničavanje pristupa vozilima s ciljem smanjenja sabijanja tla izvan koridora prometnica</li> </ul>
<p><b>Arheološki park</b></p> <p>Arheološki park jest tip krajobraza koji svjedoči o čovjekovoj dugogodišnjoj nazočnosti u prostoru, a ima umjetničku, povijesnu i antropološku vrijednost pa je često evidentiran kao kulturno dobro. U prostoru se može pojaviti kao travnjak ili livada s rijetkom vegetacijom koja ima arheološke ostatke, graditeljske sklopove, zone s linijskim obrisima građevina ili točkasto raspršenim elementima u prostoru. Također može biti smješten u sklopu uskih urbanih matrica. Ovisno o stupnju istraženosti i definiranim mjerama zaštite lokacije - uređenjem, prezentacijom i promocijom moguće je primjereno valorizirati arheološko nalazište te atraktivnim kulturno-turističkim i edukativnim sadržajima povećati broj posjetitelja i ostvariti atraktivan prostor za suodnos tradicije, okoliša i čovjeka.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prikladne površine za sadnju različitih vrsta stabala, grmova i trajnica radi povećanja zasjenjenosti površina krošnjama i povećanja potencijala održavanja lokalne bioraznolikosti</li> <li>- mogućnost korištenja propusnih površina</li> <li>- mogućnost korištenja materijala s utjecajem na smanjenje učinaka UTO-a</li> <li>- povezivanje s ostalim elementima UZI-ja radi uspostavljanja rashladnih i pješačkih koridora</li> </ul>

Kategorija tipologije zelene infrastrukture	Prijedlog aktivnosti
<p><b>Zelene površine uz prometnice</b>                      Prometni koridori su linijske infrastrukturne građevine i oni su definirani u prostornim planovima. Sastoje se od prometne površine i pratećih strukturnih sadržaja kao što su pješačke i biciklističke staze i parkirališta; mada se ovi sadržaju mogu pojavljivati i kao pojedinačne prometne površine, posebice u uskim gradskim sklopovima i središtima. U kontekstu zelene infrastrukture važan su prateći sadržaj u obliku zelene površine, drvoreda, uskih travnjaka kao i površina s niskom i visokom vegetacijom. Takvo zaštitno zelenilo ostvaruje vizualnu zaklonjenost kolnika od ostalog izgrađenog prostora, usmjerava vizuru, štiti od buke, prašine, bliještanja i naleta vjetra te smanjuje intenzitet zagrijavanja popločanih i asfaltiranih ploha. Dodatno, manji razmak između stabala može utjecati na smanjenu brzinu vožnje i bolju sigurnost u prometu, a ozelenjeni su prometni koridori manje izloženi nastanku urbanih poplava i zadržavanju oborinskih voda na kolniku.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- prikladne površine za sadnju različitih vrsta stabala, grmova i trajnica radi povećanja zasjenjenosti površina krošnjama i povećanja potencijala održavanja lokalne bioraznolikosti</li> <li>- mogućnost korištenja propusnih površina</li> <li>- povezivanje s ostalim elementima UZI-ja radi uspostavljanja rashladnih i pješačkih koridora</li> <li>- ograničavanje pristupa vozilima s ciljem smanjenja sabijanja tla izvan koridora prometnica</li> </ul>
<p><b>Sadnja stabala</b>                      Tipologija se odnosi na pojedinačna stabla koja će biti posađena do 2030. godine unutar svih ostalih tipologija navedenih u priručniku. Ova tipologija donosi horizontalni pristup; evidentirat će se pojedinačna sadnja na javnim i privatnim površinama, neovisno o načinu sadnje; točkasto, linearno i sl. Evidentirat će se sadnja stabala organizirana kroz inicijative lokalne samouprave, inicijative udruga civilnog društva i drugih ustanova i organizacija koje u svojim strateškim ciljevima imaju definirano smanjenje emisija CO<sub>2</sub> i povećanje kvalitete življenja u zajednici u svojoj neposrednoj blizini.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- povezivanje s ostalim elementima UZI-ja radi uspostavljanja rashladnih i pješačkih koridora</li> <li>- ograničavanje pristupa vozilima s ciljem smanjenja sabijanja tla izvan koridora prometnica</li> <li>- osigurati dovoljan volumen nadzemnog i posebno podzemnog dijela stabla. Minimalni preporučeni volumen nesabijenog tla</li> </ul>

## UKLAPANJE I NJEGA STABALA I BILJAKA U URBANIM PROSTORIMA

Tijekom svojeg filogenetskog razvoja, biljke su se prilagodile na specifične stanišne niše koje zauzimaju u prostoru u kohabitaciji s drugim živim bićima. Prilikom uklapanja biljnog materijala u urbani prostor, osim estetskog izgleda i fizičkog smještanja u prostor, potrebno je sagledati i stanišne uvjete u koje treba uklopiti biljke, kao i specifične odnose koji mogu proizaći interakcijom drugih živih bića i ljudi koji obitavaju u navedenom prostoru. Posebna pozornost pri odabiru vrsta posvećuje se analizi tla i dostupnog volumena jer se, ovisno o vrsti, pola živog organizma nalazi i razvija u tlu te je prilagođeno određenim uvjetima.

S obzirom na često vrlo ograničen prostor za razvoj korijena u tlu, razvijene su metode koje omogućavaju neometan razvoj korijena (Slika 17) te ograničavaju i sprečavaju negativne interakcije korijena s podzemnom infrastrukturom. Od ostalih koristi ovakve metode sadnje, izdvaja se i adekvatan volumen nesabijenog tla koji omogućuje razvoj zdravih i otpornih stabala, gotovo neograničen pristup na prostor vozilima – nosivost konstrukcije od minimalno 25 t/m<sup>2</sup>, veća otpornost stabla na vjetroizvale, zone privremenog prihvata oborina itd.

U kontekstu mjera prilagodbe na ublažavanje efekata UTO-a, moguće je na mjestima koja su tradicionalno velik izvor apsorpcije sunčeva zračenja, primjerice velika parkirališta oko trgovačkih centara, gotovo u potpunosti zasjeniti prostor krošnjama stabala, i to bez gubitaka parkirnih mjesta, što smanjuje SUHI.

Bitno je naglasiti potrebu adekvatnog individualnog dimenzioniranja volumena nesabijenog tla za razvoj korijena, što se radi prema dimenzijama krošnje odraslog stabla, no u načelu preporuka je osigurati za velika stabla (visina 25 – 30 m) volumen 35 – 40 m<sup>3</sup>, stabla srednje veličine (visina 15 – 25 m) volumen 18 – 35 m<sup>3</sup> te mala stabla (visina 4 – 15 m) volumen 10 – 18 m<sup>3</sup>, što uvelike premašuje sadašnje gabarite i negativno se očituje narušenim fiziološkim stanjem populacije naših urbanih stabala i smanjenim površinama zasjenjenih krošnjama.

S obzirom na projekcije promjene klimatskih uvjeta, pogotovo u sezoni rasta nadzemnih dijelova stabala, u kontekstu odabira vrsta urbanih stabala potrebno je posebnu pozornost posvetiti vrstama koje se planiraju posaditi uz ulice i druga mjesta s velikim udjelom nepropusnih površina. Takva stabla moraju biti posebno prilagođena rastu u sušnim uvjetima i izloženosti intenzivnoj sunčevoj radijaciji. Budući da se radi o prostorima s intenzivnim korištenjem, preporuka je odabrati vrste koje su otpornije na negativan utjecaj mehaničkih opterećenja udarima vjetra koji mogu biti dodatno pojačani efektom urbanih kanjona. Uvažavanjem navedenih karakteristika, potrebno je izaći iz domene selekcije striktno autohtonih i udomaćenih vrsta te potražiti prikladne vrste u okruženju. S obzirom na vrlo raznolike mikroklimatske uvjete, može doći do značajnih komplikacija izdvoji li se nekoliko vrsta pa se preporučuje da se izradi projekata uklapanja zelenila u urbanim prostorima pristupi multidisciplinarno uz krajobrazne arhitekta i obavezno uključivanje stručnjaka iz domene urbanog šumarstva i arborikulture. Pri izboru klimatski adaptiranih i biomehanički prikladnih novih vrsta te nakon istraživanja o potencijalnoj invazivnosti u novom okolišu te kompatibilnosti s postojećim živim svijetom u okolišu, a prije masovne sadnje, preporuka je provesti testove monitoringa prikladnosti vrsta u prostoru.



prostor parkirališta, Dubrovnik

Neke od vrsta koje bi trebalo razmotriti svakako su posebno selekcionirane vrste za urbana staništa, primjerice *Ulmus* 'resista' 'New Horizon' i drugi kultivari resista brijestova, kao i vrste *Alnus x sphaetii*, *Quercus texana* 'New Madrid', *Zelkova serrata* 'Green Vase', *Gleditsia triachanthos* 'Skyline', *Acer rubrum* cvs., *Pyrus calleryana* 'Aristocrat', *Parotia persica*, *Jacaranda mimosifolia*, *Nyssa sylvatica*, *Fagus orientalis* 'Iskander', *Platanus orientalis* 'Minaret' i sl. Od autohtonih vrsta svakako treba razmotriti veću mogućnost korištenja *Acer campestre* cvs., *Acer monspessulanum*, *Quercus frainetto*, *Celtis australis* (topliji kontinentalni dio RH), *Cercis siliquastrum*, *Corylus collurna*, *Fraxinus ornus*, *Vitex agnus-castus*, *Quercus coccifera* i slično.

Osim primjerenog procesa selekcije, važno je osigurati provođenje i nadzor kvalitete izvođenja radova. Najveći izazov, uz izbor vrste, trenutačno je kontrola kvalitete dostavljenog sadnog materijala, čime se značajno narušavaju pozitivni efekti sadnje te se smanjuje efikasnost u interakciji stabala s okolišem smanjenjem zasjenjenosti površina krošnje. Na to najviše negativno utječu visok mortalitet i znatno produljeno razdoblje prilagodbe sadnica na novo stanište. Daljnji negativan utjecaj na smanjenje efikasnosti umanjivanja negativnih učinaka UTO-a ima i njega ovršavanjem stabala, tj. uklanjanjem svih tanjih grana s lisnom masom. Preporuka je istražiti mogućnosti definiranja zakonskih okvira s ciljem zabrane navedenog zahvata – osim u slučajevima kada je on propisan kao jedna od sanacijskih preporuka na temelju naprednih biomehaničkih dijagnostičkih metoda u kontroli stabala ili u sklopu održavanja specijalnih uzgojnih habitusnih formi krošanja stabala. S ciljem dugoročne zaštite zasjenjenih površina preporučuje se uvesti i kompenzacijske naknade za prekomjeran gubitak zasjenjenih površina zbog agresivnih i nestručnih zahvata njege stabala njihovim ovršavanjem uz navedene iznimke.

S obzirom na klimatske izazove, sve veća važnost u planiranju prostora pridaje se uklapanju ZI-ja primjenom rješenja temeljenih na prirodi. Navedena praksa nalaže potrebu za sve intenzivnijim istraživanjima, razradama i standardizacijama metodologija za ublažavanje efekata UTO-a. Inicijative koje se bave uklapanjem UZI-ja dobivaju na važnosti i u percepciji javnosti zbog niza pozitivnih učinaka kako na urbani prostor, tako i na ljude koji borave u gradu.

Jedna od takvih standardizacija je i tzv. pravilo „3-30-300“ koje podrazumijeva pogled na tri vidljiva stabla iz blizine doma, radnog mjesta ili mjesta učenja, barem 30% zasjenjenosti površine krošnjama te boravište unutar 300 metara od velikog i kvalitetno planiranog javnog zelenog prostora. Navedeno pravilo predstavio je Cecil Konijnendijk, čime su postavljeni temelji standarda integracije zelene infrastrukture u urbanim prostorima, naglašavajući važnost vidljivosti stabala, zasjenjenosti površina krošnjama te jednostavan i brz pristup javnim zelenim prostorima unutar 300 metara. Ovo pravilo usvojeno je u raznim gradovima širom svijeta te su ga podržale međunarodne organizacije, a cilj mu je promicati jednak pristup prirodi za mentalno i fizičko blagostanje, prilagodbu na klimatske uvjete te općenito poboljšati urbani životni standard.

## PLAVA INFRASTRUKTURA

Kao mjera ublažavanja negativnih učinaka UTO-a, plava infrastruktura može se kombinirati sa zelenom infrastrukturom. Time se kreiraju rješenja temeljena na prirodi koja, osim što ublažavaju učinke UTO-a, podržavaju jednostavne i kompleksne odnose među elementima zelene i plave infrastrukture te kohabitantnim organizmima koji su ključan dio funkcioniranja prirode unutar urbanih cjelina. Elementi plave infrastrukture najučinkovitiji su kada djeluju sinergijski, povećavajući evaporativno hlađenje, poboljšavajući prirodne vodene cikluse te uključujući manje elemente zelene infrastrukture poput stabala, grmova, trajnica i drugih, koji ublažavaju nakupljanje topline u urbanim okruženjima.

Njihova učinkovitost prvenstveno je određena mehanizmima hlađenja koji pokazuju dnevnu i sezonsku varijabilnost i ovisе o pozadinskim klimatskim uvjetima te karakteristikama okolnih urbaniziranih područja. Situacijski prikladna kombinacija različitih vrsta plave i zelene infrastrukture te njihova povezanost povećava potencijal ublažavanja UTO-a.

Osnovni elementi plave infrastrukture su:

**Prirodne** (rijeke, jezera i sl.) i **umjetne vodene površine** (umjetna jezera, rezervoari i sl.). Umjetne vodene površine nastale su radi zadovoljavanja specifičnih potreba u prostoru i predstavljaju važan dio plave infrastrukture. Mogu služiti za skladištenje vode, kontrolu poplava, rekreativne svrhe, kao i za ublažavanje učinaka UTO-a tako što:

- djeluju kao spremnici topline apsorbirajući višak topline tijekom dana; pohranjena topline polako se oslobađa noću, ublažavajući temperature u okolnim područjima
- isparavanje vodene pare s tih vodenih tijela pruža hlađenje, dodatno smanjujući temperature jer dio sunčeva zračenja nije utrošen na zagrijavanje prostora nego na poticanje isparavanja vode s vodene površine.

Načelne smjernice s ciljem smanjenja učinaka UTO-a:

- razmatranje restauracije vodotoka rijeka te održavanja vegetacije uz vodotoke
- razmatranje ponovna otvaranja zatvorenih potoka uklanjanjem nepropusnih materijala
- krajobrazno oblikovanje vodotoka kao dijela mreže rashladnih koridora.

**Močvare i poplavna područja** oblikuju ekosustav koji karakterizira voda zasićena tlama i prisutnost specifično adaptiranih biljaka. Močvare i poplavna područja djeluju kao prirodne spužve (*buffer zone*) te ih karakterizira velika moć upijanja oborinskih voda, a na smanjenje učinaka UTO-a djeluju:

- kao prirodne površine za upijanje velikih količina vode, upijajući oborinske vode s nepropusnih površina, te tako preuzimaju dio topline s popločenih površina odvođeni je u hladnije prostore
- evapotranspiracijom iz vegetacije močvare pridonosi se hlađenju okolnog zraka; dio emitiranog sunčeva zračenja nije utrošen na zagrijavanje prostora, nego na poticanje isparavanja vode iz tla i biljke.

Načelne smjernice s ciljem umanjenja negativnih efekata UTO-a:

- oblikovanje vodenih elemenata s vegetacijom prilagođenom za rast u staništu zasićenom vodom u postojećim javnim prostorima
- uređenje novih javnih zelenih površina s vodenim elementima s biljkama koje su prilagođene životu u staništu zasićenom vodom (hidrofilna vegetacija).

**Kanali** izrađeni za prijenos vode u svrhu hlađenja, poput industrijskih procesa ili proizvodnje energije, također utječu na smanjenje učinaka UTO-a tako što:

- olakšavaju prijenos vode u svrhu hlađenja i formiraju koridore za strujanje zraka; protok vode kroz ove kanale pomaže u raspršivanju topline generirane industrijskim aktivnostima
- evapotranspiracija iz vegetacije močvare također pridonosi hlađenju okolnog zraka dodatno smanjujući temperature tako da vodena para reflektira dio emitiranog sunčeva zračenja.



**Sustave za obradu i odvodnju oborinskih voda** čini infrastruktura za odvodnju oborinskih voda s nepropusnih površina (primjerice cesta, krovova, parkirališta i dr.). Načini smanjenja efekata UTO-a povezani s ovim tipom infrastrukture uključuju:

- prihvat i odvodnju oborinske vode s nepropusnih površina
- odvođenje zagrijane vode, čime sudjeluju u transferu toplinske energije s prostora izgrađenih površina na prostor hladnijih prirodnih površina
- poticanje infiltracije i evapotranspiracije, čime se reflektira dio toplinske energije
- manje komponente zelene infrastrukture unutar sustava za obradu oborinskih voda poput kišnih vrtova, koje poboljšavaju hlađenje putem evaporacije i transpiracije uslijed fizioloških aktivnosti biljnih organizama.

Načelne smjernice s ciljem ublažavanja učinaka UTO-a:

- integracija sustava održive oborinske odvodnje u postojećim zelenim pojasevima ulične mreže
- planiranje i razvoj sustava održive oborinske odvodnje prilikom planiranja novih prometnica
- razvoj oblikovnih elemenata za privremeno zadržavanje vode kao mjere rashlađivanja u područjima s karakterističnim pojavama ekstremnih temperatura nakon ekstremnih padalina u ljetnim mjesecima (primjerice kišnih vrtova ili retencija za privremeno zamočvarivanje prostora).

**Plavi krovovi** su prostori izgrađeni radi kontrole odvodnje oborinskih voda, a mogu biti u obliku ribnjaka ili kao integrirani dio sustava zelenih krovova. Plavi krovovi mogu pomoći u smanjenju učinaka UTO-a jer:

- privremeno zadržavanje vode na površini krova pomaže u hlađenju putem evaporacije i transfera dijela toplinske energije
- pružaju izolaciju i dodatno pridonose smanjenju površinskih temperatura putem evapotranspiracije kroz fiziološke funkcije uklopljene zelene infrastrukture koja može biti njihov integrirani dio.

Načelne smjernice s ciljem smanjenja negativnih učinaka UTO-a:

- poticanje razvoja vodnih elemenata u sklopu zelenih krovova (primjerice mikrojezerca, fontane ili sustavi za pametno navodnjavanje).

## METODE PLANIRANJA PROSTORA KOJE UBLAŽAVAJU URBANE TOPLINSKE OTOKE

**1.1. Morfologija i orijentacija zgrada** imaju ključnu ulogu u ublažavanju učinaka UTO-a, naročito kroz mjere poput optimizacije rasporeda i orijentacije zgrada radi poboljšanja prirodnog strujanja zraka. Pažljivim rasporedom zgrada (1.1.1.) mogu se stvoriti koridori za cirkulaciju hladnijeg zraka, što omogućuje raspršivanje topline zarobljene unutar grada. Dodatno, projektiranje zgrada tako da su maksimalno izložene smjeru prevladavajućih vjetrova potpomaže procese prirodnog rashlađivanja i provjetravanja. Ove mjere zajedno smanjuju oslanjanje na energetski intenzivne sustave za hlađenje.

### 1.1.1. Morfologija

Morfologija grada, uključujući gustoću izgradnje te visinu zgrada i ZI, iznimno je važna u ublažavanju efekata UTO-a.<sup>100,101</sup> Niske i visoke vrijednosti faktora vidljivosti neba (engl. Sky View Factor, SVF) u kombinaciji s visokim urbanim stablima mogu pomoći u smanjenju intenziteta UTO-a.<sup>101</sup> Uz to, boljim razumijevanjem urbane morfologije i disperzije topline može se smanjiti utjecaj antropogenog toplinskog opterećenja na temperaturu zraka.<sup>102</sup> No ovisno o lokalnoj mikroklimi i urbanoj geometriji učinkovitost specifičnih strategija ublažavanja, poput zelenih ili hladnih krovova, može varirati.<sup>103</sup>

### 1.1.2. Orijetacija

Orijetacija zgrada također ima važnu ulogu u ublažavanju učinaka UTO-a utjecajem na strujanje zraka i smanjenje površinskih temperatura, a time i na osjet optimalne termalne ugodnosti iz perspektive pješaka.<sup>104,105</sup> Također, znatno ublažavanje negativnih učinaka UTO-a i smanjenja radijacije s fasada istočnih i zapadnih pročelja zgrada moguće je ostvariti korištenjem hladnih materijala što ima izrazito povoljan utjecaj na mikroklimu prostora.<sup>106</sup> S obzirom na demonstrirane pozitivne učinke, Loh u svom istraživanju ide korak dalje te predlaže odgovore na promjenjive klimatske uvjete utemeljene na specifičnom dizajnu i oblikovanju za razvoj morfologije zgrada i fasada koje minimiziraju negativne učinke UTO-a.<sup>107</sup>

## 1.2. Otvoreni prostori

Otvoreni prostori veoma su važni u ublažavanju učinaka UTO-a, a posebno se ističe uloga hlađenja prostora koja je generirana zasjenjivanjem krošnjama te potencijal urbanih vrtova za smanjenje efekata UTO-a.<sup>108,109</sup> Također, bitan utjecaj na rashlađivanje prostora iskorištavanjem prirodnih temperaturnih gradijenata imaju korištenje zemljišta i otvorenih prostora<sup>110</sup>, te metodologija planiranja otvorenih prostora.<sup>111</sup>

### 1.2.1 Urbani kanjoni

Urbani kanjoni, prostori s visokim zgradama i uskim ulicama, igraju ključnu ulogu u ublažavanju efekata UTO-a. Inovativni hladni materijali, poput onih s visokim albedom (omjer svjetlosti koja se reflektira od neke površine i svjetlosti koju neka površina upije, obično iskazan kao postotak), mogu se primijeniti na površine zgrada kako bi se smanjila dodatna zagrijavanja prostora i pogoršanja lokalne mikroklimе.<sup>112</sup> Fasade s reflektirajućim karakteristikama, posebno bijeli hladni difuzni materijali, također mogu znatno smanjiti temperature unutar urbanih kanjona.<sup>113</sup> Zeleni krovovi i zidovi dodatno snižavaju temperaturu

<sup>101</sup> Liu, 2023.

<sup>102</sup> Yuan, 2021.

<sup>103</sup> Ambrosini, 2014.

<sup>104</sup> Hong, 2015.

<sup>105</sup> Taleghani, 2021.

<sup>106</sup> Rosso, 2015.

<sup>107</sup> Loh, 2021.

<sup>108</sup> Szkordilis, 2014.

<sup>109</sup> Humaida, 2023.

<sup>110</sup> Fowler, 2009.

<sup>111</sup> Irie, 2006.

<sup>112</sup> Rosso, 2018.

<sup>113</sup> Morini, 2018.

smanjujući apsorpciju energije iz sunčeva zračenja te povećavaju ugodnost prostora djelovanjem transfera topline vodom.<sup>114</sup> Optimizacija protoka zraka i strateški smještaj visokih zgrada u prostoru dodatno utječu na smanjenje temperature zraka u urbanim kanjonima.<sup>115</sup>

### 1.2.2. Ulični profili

Istraživanja su pokazala da je i profil ulica važan u ublažavanju efekata UTO-a. Strategije ublažavanja zagrijavanja gradova, poput implementacije novih tehnologija i površinskih materijala koji upijaju manje sunčeva zračenja (hladne površine), uključujući reflektirajuće površine i postavljanje solarnih kolektora, pokazale su se učinkovitima u smanjenju površinskih temperatura.<sup>116</sup> Upotreba zelene infrastrukture i nadstrešnica za zasjenjivanje, poput drveća i solarnih ploča, može pridonijeti ublažavanju negativnih čimbenika zagrijavanja.<sup>117</sup> Ove strategije, kada se integriraju u profile ulica, mogu pomoći u smanjenju ukupnog učinka UTO-a u urbanim prostorima.

### 1.2.3. Parkirna mjesta i parkirališta

Parkirana mjesta i parkirališta također imaju važnu ulogu u ublažavanju učinaka UTO-a kroz različite interakcije i učinke. Konverzija parkirnih prostora prekrivenih asfaltom u parkirna mjesta prekrivena travnatom površinom može smanjiti površinske temperature i kruženje topline.<sup>118,119</sup> Nadalje, povećanjem albeda parkirališta može se znatno smanjiti temperatura zraka i poboljšati toplinska ugodnost za pješake<sup>120</sup>, a značajan iskorak u smanjenju temperature zraka i površine pokazala je integracija radijacijski reflektirajućih površina cesta sa zelenom infrastrukturom.<sup>121</sup>

**1.3. Urbani namještaj i materijali** imaju važnu ulogu u ublažavanju učinaka UTO-a nudeći različite mjere za suzbijanje njegovih učinaka. Strukture i elementi za zasjenjivanje prostora pružaju zaklon od izravnog sunčeva svjetla smanjujući površinske temperature i pružajući olakšanje od prekomjernog zagrijavanja i toplinskog stresa. Hladne klupe uključuju materijale s visokom termalnom vodljivošću ili mehanizme hlađenja kako bi pružile udobna sjedala, raspršujući toplinu površina na kojima se sjedi. Dodatno, vodeni elementi poput fontana ili ribnjaka pridonose hlađenju evaporacijom. Materijali i boje svojom sposobnošću smanjene apsorpcije i zadržavanja topline mogu bitno pridonijeti smanjenju učinaka UTO-a. Upotreba materijala i boja visokog albeda pomaže u snižavanju površinskih temperatura i ublažavanju zadržavanja toplinske energije. Slično tome, korištenje materijala za popločavanje izrađenih za reflektiranje topline umjesto apsorpcije može dodatno smanjiti učinak UTO-a. Ove strategije ublažavanja ne samo da pridonose stvaranju hladnijih urbanih prostora, nego i smanjuju potražnju za energijom za hlađenje, potičući održivost i otpornost u urbanim okruženjima.

#### 1.3.1 Urbani namještaj, fontane i vodeni elementi

Istraživanja su pokazala da urbani namještaj s fontanama i vodenim elementima može pomoći u ublažavanju efekata UTO-a. Iako istraživanja pokazuju da vodena tijela mogu u maloj mjeri povećati dnevni maksimum UTO-a, što je u istraživanjima zaključio Steeneveld<sup>122</sup>, vodeni elementi poput fontana i kanala pokazali su se kao sredstvo smanjenja topline i povećanja toplinske ugodnosti u urbanim područjima<sup>123</sup>. Integracija močvarnih područja u izgradnju gradskih četvrti također je pokazala smanjenje površinskih i zračnih temperatura.<sup>124</sup> Ova istraživanja sugeriraju da prisutnost vodenih elemenata u urbanim područjima može imati značajnu ulogu u ublažavanju neželjenih učinaka UTO-a.

<sup>114</sup> Djedjig, 2015.

<sup>115</sup> Priyadarsini, 2008.

<sup>116</sup> Xu, 2021.; Cheela, 2021.

<sup>117</sup> Bozonnet, 2015.; Peluso 2022.

<sup>118</sup> Onishi, 2010.

<sup>119</sup> Takebayashi, 2009.

<sup>120</sup> Sen, 2020.

<sup>121</sup> Peluso, 2022.

<sup>122</sup> Steeneveld, 2014.

<sup>123</sup> Moosavi, 2017.

<sup>124</sup> Ruiz-Aviles, 2020.

### 1.3.2. Materijali i boje

Različiti materijali i boje također se mogu uporabiti kako bi se ublažio učinak UTO-a. U građevinarstvu se posebno ističe potencijal hlađenja prirodnih materijala sa visokom toplinskom otpornošću kao što su bambus i nabijena zemlja.<sup>125</sup> Razvoj hladnih i superhladnih materijala, uključujući one niskih površinskih temperatura s ciljem što manje apsorpcije urbane topline također predstavlja važan iskorak u umanjivanju negativnih učinaka UTO-a.<sup>126</sup> Značajnu ulogu u smanjenju temperature površine izgrađenih prostora imaju materijali visokog albeda i niskog potencijala upijanja topline te niskog kapaciteta za pohranu toplinske energije koji se koriste za pločnike i krovne obloge<sup>127128</sup>.

Dodatno, albedo efekt je pojava koja predstavlja udio sunčeve svjetlosti koja se difuzno reflektira od površine. Mjeri se na ljestvici od 0 (što odgovara crnom tijelu koje upija svu radijaciju) do 1 (što odgovara tijelu koje reflektira svu radijaciju). Bijele površine, poput snježnih brežuljaka, imaju visoki *albedo time* i relativno manju temperaturu jer se većina sunčeve svjetlosti koja padne na površinu reflektira od površine tla, dok tamne površine poput asfalta imaju nizak albedo i relativno višu temperaturu.

---

<sup>125</sup> Kandya, 2018.

<sup>126</sup> Santamouris, 2020.

<sup>127</sup> Pratiwi, 2018.

<sup>128</sup> Radhi, 2014.

## TEHNOLOŠKE MJERE

S ciljem smanjenja negativnih učinaka urbanog zagrijavanja pokrenuta su istraživanja i razvoj novih tehnologija koje se mogu implementirati u urbano okruženje. Te tehnologije dijelimo prema njihovoj interakciji s negativnim čimbenicima i načinom rashlađivanja prostora.

Slijede opisi mjera uštede energije prema vrsti tehnologije:

**1. Fotonaponski sustavi** pretvaraju sunčevu svjetlost u električnu energiju pomoću solarnih ćelija. U kontekstu učinaka UTO-a imaju dvostruku ulogu – moguće ih je implementirati radi ublažavanja učinaka postojećih UTO-a, ali i sprečavanja nastanka novih. Uključivanjem fotonaponskih sustava u urbanu infrastrukturu gradovi mogu štedjeti na energiji potrebnoj za grijanje. Nadalje, mogu pridonijeti energetske otpornosti urbanih područja jer decentraliziraju opskrbu energijom i smanjuju opterećenje na centralizirane mreže tijekom razdoblja vršne potražnje.

- Ugradnjom fotonaponskih sustava za proizvodnju čiste, obnovljive energije smanjuje se ovisnost o fosilnim gorivima i emisije topline generirane uobičajenim sustavima proizvodnje energije.
- Integriranjem fotonaponskih sustava u zgrade omogućuje se zasjenjivanje površina i smanjenje solarnog toplinskog opterećenja, čime se snižavaju temperature u unutrašnjosti zgrada.
- Osim u zgradarstvu, uporaba solarnih panela moguća je i u javnim otvorenim prostorima, primjerice na stajalištima javnog prijevoza ili kao dio urbane opreme (strukture za zasjenjivanje, klupe i dr.), čime se istodobno korisnicima pruža zaštita od sunčeva zračenja i proizvodnja energije.

**2. Visoko reflektirajući premazi** posebno su formulirani da reflektiraju sunčevu svjetlost umjesto da je apsorbiraju. Naneseni na površine poput krovova i pločnika, oni smanjuju količinu sunčeva zračenja koje su apsorbirale zgrade i ostale urbane infrastrukture, što rezultira smanjenjem površinskih temperatura. Tako pomažu u ublažavanju učinaka UTO-a jer sprečavaju nakupljanje topline. Nadalje, izvor su uštede energije, ali i financijskih ušteda smanjivanjem potreba za klimatizacijom i sustavima rashlađivanja. Dodatno, visoko reflektirajući premazi mogu pridonijeti poboljšanju kvalitete zraka smanjenim stvaranjem ozona pri tlu (kao nusprodukt fizičke interakcije sunčeve svjetlosti i zagađivača zraka).

**3. Tehnologije toplinske izolacije** osmišljene su kako bi minimizirale prijenos topline između unutrašnjosti i vanjskih dijelova zgrada, čime se smanjuje potreba za grijanjem i hlađenjem. U urbanim okruženjima, gdje su zgrade gusto grupirane, učinkovita izolacija ključna je za ublažavanje učinaka UTO-a. Navedeno je moguće provoditi energetske obnovom zgrada s obzirom na to da je ojačanje zaštitne ovojnice zgrade jedna od mjera energetske učinkovitosti.<sup>129</sup> Pobljšavajući toplinsku učinkovitost zgrada, izolacija smanjuje količinu apsorbirane topline i pomaže u održavanju ugodnijih temperatura u unutrašnjosti. Uobičajeni materijali za izolaciju uključuju stakloplastiku, pjenu i reflektirajuću foliju, koje se postavljaju u zidove, krovove i podove kako bi stvorile barijeru protiv toplinskog toka. Dodatno, inovativne tehnologije izolacije, poput aerogela i panela za vakuumske izolacije, nude veće razine toplinske otpornosti u tanjim profilima omogućujući učinkovitije korištenje prostora. U kontekstu zgrada gotovo nulte potrošnje energije optimalna debljina toplinske izolacije za kontinentalnu Hrvatsku iznosi 16 cm, a za primorsku 8 cm. Važno je naglasiti i utjecaj projektiranja zgrada na učinkovitost toplinske zaštite (kompaktnije zgrade imaju veću uštedu energije), utjecaj vrste ostakljenja, kao i mogućnost korištenja naprava za zaštitu od sunčeva zračenja (naprave s unutrašnje strane ili između stakala, naprave s vanjskih strana, lođe, strehe, markize i sl.).<sup>130</sup>

**4. Tehnologije hlađenja** obuhvaćaju niz strategija i sustava usmjerenih na smanjenje temperatura u urbanoj sredini. U kontekstu ublažavanja učinaka UTO-a tehnologije hlađenja igraju ključnu ulogu u smanjenju apsorpcije topline prouzročene urbanizacijom i ljudskim aktivnostima. Pasivne strategije hlađenja koriste prirodne pojave poput vjetrova i termalnih fizičkih čimbenika kako bi potaknule protok zraka te premjestile i raspršile toplinu generiranu aktivnostima iz sektora zgradarstva i prometa. S druge strane, aktivni sustavi hlađenja oslanjaju se na mehaničke ili tehnološke metode za snižavanje temperatura,

<sup>129</sup> Zakon o energetske učinkovitosti, NN br. 127/14, 116/18, 25/20, 41/21

<sup>130</sup> Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine, 2019.

poput ciklusa hlađenja ili sustava raspršivanja. Kombinirajući pasivne i aktivne pristupe hlađenju, u gradovima je moguće unaprijediti otpornost i kvalitetu prostora, istodobno smanjujući potrošnju energije i negativne utjecaje na okoliš. U tom kontekstu, u sektoru zgradarstva važno je razvijati sustave učinkovitog hlađenja, tj. one koji mjerljivo smanjuju utrošak primarne energije potrebne za opskrbu jedne jedinice isporučene energije unutar relevantne granice sustava na troškovno učinkovit način, u skladu s procjenom iz analize troškova i koristi, sukladno zakonu kojim se uređuje tržište toplinske energije te uzimajući u obzir energiju potrebnu za ekstrakciju, pretvorbu, prijevoz i distribuciju.<sup>128</sup> Važno je napomenuti i potrebu za gradnjom zgrada gotovo nulte potrošnje energije, kojima se objedinjuje korištenje obnovljivih izvora energije i mjera energetske učinkovitosti, a što uključuje i učinkovito hlađenje prostora. U zgradarstvu energija potrebna za hlađenje ovisi o klimatskim uvjetima na lokaciji zgrade, arhitektonsko-građevinskim karakteristikama zgrade, načinu provjetravanja (prirodna ili mehanička ventilacija) i namjeni zgrade (obiteljska kuća, višestambena zgrada, uredska zgrada, zgrada za obrazovanje, zgrada trgovine, hotel i restoran, bolnica, sportska dvorana, ostale nestambene zgrade).<sup>129</sup> S obzirom na navedeno, moguće je primjenjivati mjere koje se odnose na poboljšanje arhitektonsko-građevinskih karakteristika, tj. projektirati i graditi zgrade s ovojnicama visoke kvalitete, prilagođavati oblik zgrade klimatskom kontekstu i okruženju u kojem se nalazi te voditi računa o orijentaciji otvora u odnosu na strane svijeta i izloženost sunčevu zračenju.

**5. Solarni ventilacijski sustavi** koriste solarnu energiju za napajanje ventilatora ili ventilacijskih otvora koji cirkuliraju zrak i tako uklanjaju toplinu iz zgrada. Iskorištavanjem obnovljive energije, ovi sustavi smanjuju ovisnost o konvencionalnim izvorima energije i pomažu u ublažavanju učinaka UTO-a. Solarni ventilacijski sustavi mogu biti posebno učinkoviti u vrućim klimama gdje su potrebe za hlađenjem visoke, a sunčeva svjetlost obilna. Integriranjem solarnih ventilacijskih sustava u dizajn zgrada gradovi mogu poboljšati kvalitetu zraka, povećati ugodnost korisnika i smanjiti troškove energije korištene klasičnim metodama rashlađivanja prostora. Osim toga, ovi sustavi mogu pridonijeti cjelokupnoj održivosti urbane infrastrukture smanjenjem emisija ugljika i ovisnosti o neobnovljivim resursima. Nadalje, solarni ventilacijski sustavi mogu se kombinirati s drugim pasivnim strategijama hlađenja, poput prirodne ventilacije i zasjenjivanja prostora, kako bi se maksimizirala učinkovitost rashlađivanja. Zaključno, solarni ventilacijski sustavi nude ekonomično i ekološki prihvatljivo rješenje za ublažavanje učinaka UTO-a i promicanje održivog urbanog razvoja.

## ZAKLJUČAK – IMPLEMENTACIJA MJERA

U svrhu ublažavanja učinaka UTO-a važno je implementirati mjere u procese prostornog planiranja i gradnje te koristiti dostupne instrumente kojima se omogućuje sveobuhvatni pristup ublažavanju negativnih posljedica. Prilikom izrade prostornih planova (ili njihovih izmjena i dopuna) potrebno je namjenu prilagoditi klimatskom kontekstu te pravilima provedbe definirati mjere za najkritičnije dijelove naselja, a to su oni u kojima je identifikacijom i kartiranjem utvrđeno postojanje UTO-a. Također je važno prilikom planiranja novih zahvata uzeti u obzir prostorne karakteristike koje pridonose stvaranju učinaka UTO-a te ih nastojati spriječiti. Navedeno se može odnositi na:

- morfologiju i orijentaciju zgrada i njihov međusobni odnos u svrhu formiranja rashladnih koridora, a koje je moguće definirati kroz smještaj građevine, izgrađenost građevinske čestice, koeficijent izgrađenosti, visinu i broj etaža
- detaljnije propisivanje tipologije, proporcija i oblika građevina u kontekstu učinkovitosti toplinske izolacije
- korištenje materijala visoke energetske učinkovitosti te boja i vrsta materijala za smanjenje učinaka UTO-a, koje je moguće definirati uvjetima za projektiranje građevine, tj. propisivanjem građevnih materijala i njihovih svojstava
- implementaciju rješenja po uzoru na prirodu (npr. zeleni krovovi i pročelja) u dijelovima naselja s većom gustoćom izgrađenosti, definiranjem uvjeta za projektiranje građevina
- povećanje udjela zelenih površina i pokrivenosti krošnjama propisivanjem uvjeta za uređenje **obuhvata** zahvata u prostoru (definiranje udjela prirodnog terena koji može utjecati na stvaranje ugodne mikroklike)
- razvoj raznovrsnih javnih zelenih površina te njihovo međusobno povezivanje u sustav zelene infrastrukture propisivanjem posebnih mjera za područja posebnih ograničenja
- integralno promišljanje i implementacija mjera za ublažavanje učinaka UTO-a u područjima prikladnim za sveobuhvatnu obnovu propisivanjem mjera za urbanu sanaciju i urbanu preobrazbu.

Osim samih prostornih planova, u kontekstu ublažavanja negativnih učinaka UTO-a i postizanja klimatske otpornosti urbanih područja važno je spomenuti druge dostupne instrumente i alate, kao što su:

- Strategije zelene urbane obnove (ZUO) kao strateške podloge koja za cilj, između ostaloga, ima prilagodbu klimatskim promjenama i jačanje otpornosti na opasnosti. U analitičkom dijelu Strategije ZUO važno je uvrstiti rezultate identifikacije i kartiranja UTO-a te na temelju rezultata definirati mjere i projekte čijom će se implementacijom u prostorne planove i direktnom provedbom osigurati povoljni mikroklimatski uvjeti za stanovnike.
- Demografske projekcije, prognoze i analize (stručni elaborati).
- Modeliranje scenarija za predviđanje učinaka klimatskih promjena; alati za modeliranje pregrijavanja, buke i kvalitete zraka i sl.
- Instrumenti za uključivanje javnosti i participativno upravljanje urbanim prostorima (radionice, fokus grupe, anketni upitnici i istraživanja).
- Ekonomski instrumenti (sufinanciranje projekata iz programa Konkurentnost i kohezija 2021. – 2027., Nacionalnog plana oporavka i otpornosti i dr.).
- Alati za upravljanje projektima (koordinacija višestrukih projekata i cjelovitost pojedinačnih).
- Edukacija, kontinuirani profesionalni razvoj i širenje svijesti (za administratore, donositelje odluka i širu javnost).

Zelena i plava infrastruktura u suodnosu s okolišem dokazano ublažavaju negativne učinke UTO-a. S obzirom na relativnu veličinu uklopljenih elemenata mogu imati zanemariv učinak, no povećanjem površina prostora koji je pod utjecajem zelene i plave infrastrukture moguće je proizvesti značajan pozitivan učinak na okolni prostor, što je potvrđeno mnogim istraživanjima. Uz implementaciju primjera pozitivne prakse, u planiranju urbanog prostora moguće je sinergijski pojačati efekte rashlađivanja urbanih prostora. Važnu ulogu u sinergijskom pristupu imaju evaluacija namjene prostora, korištenje informacija vezanih uz tipologiju zelene infrastrukture te izrada posebnih zakonskih i regulatornih okvira koji omogućavaju dugoročno očuvanje i stabilnost elemenata zelene infrastrukture.

Ublažavanje učinaka UTO-a u gradovima zahtijeva sveobuhvatan pristup koji uključuje različite urbane elemente, otvorene prostore, urbani namještaj i materijale, zelenu infrastrukturu i tehnologiju.

## Metodologija za identifikaciju i kartiranje urbanih toplinskih otoka

Projektiranje, struktura i orijentacija urbanih područja iznimno su važni u kontroli protoka zraka i izloženosti sunčevoj svjetlosti. To je posebno izraženo u uskim ulicama s adekvatnim položajem zgrada koji olakšava strujanje zraka i minimizira zadržavanje topline. Otvoreni prostori, poput urbanih kanjona, mogu se prilagoditi za bolji protok zraka i zasjenjivanje prostora, a veliki trgovački centri i zgrade javne namjene nude sigurno utočište tijekom ekstremnih vrućina. Urbani namještaj i materijali, kao što su zasjenjena mjesta za sjedenje, elementi plave infrastrukture i vodene površine koje reflektiraju svjetlost pomažu u hlađenju okoliša nudeći sjenu i reflektirajući toplinu. Zelena infrastruktura, uključujući parkove, zelene krovove i stabla, pomaže u hlađenju evapotranspiracijom i zasjenjivanjem površina prostora. Za poboljšanje učinka rashlađivanja urbanog prostora moguće je koristiti i napredne tehnologije poput hladnih krovova, inteligentnih sustava za navodnjavanje te metode pasivnog hlađenja i posebne materijale koji reagiraju na promjene meteoroloških uvjeta. Integracijom ovih strategija gradovi se mogu učinkovito suočiti s problemom UTO-a, stvarajući hladnije i otpornije gradske prostore za svoje stanovnike.



## ZAKLJUČNE NAPOMENE

### Općenito o fenomenu UTO

Antropogene modifikacije prirodnog prostora unutar urbaniziranih područja uvjetovale su promjene u vremenskim uvjetima koji se prate u sklopu proučavanja učinaka UTO-a. Iako se negativan utjecaj UTO-a očituje i u manjim urbanim prostorima, znatniji je u većima. Praćenjem promjena vremenskih obrazaca moguće je identificirati te povezati glavne utjecaje na UTO i na temelju toga preporučiti najučinkovitije mjere za ublažavanje negativnih učinaka UTO-a.

### UTO u kontekstu Hrvatske

Negativan utjecaj UTO-a na stanovništvo i posjetitelje gradova posebno je izražen u većim hrvatskim gradovima i turističkim destinacijama u ljetnim mjesecima. Kada je riječ o jačanju tog utjecaja zbog klimatskih promjena, posebno se izdvaja mediteranski dio priobalnog područja, gdje je taj proces najizraženiji. Osim klimom, priobalna, gorska i nizinska Hrvatska razlikuju se i reljefom, morfologijom gradova te materijalima koji su tradicionalno korišteni u gradnji, a to su sve faktori koji na specifičan način utječu na pojačavanje ili smanjivanje negativnih učinaka UTO-a. Stoga je prije definiranja mjera za ublažavanje potrebno dobro identificirati sve regionalno specifične faktore. Promišljen pristup planiranju i provedbi mjera za ublažavanje urbanog toplinskog opterećenja od izričite je važnosti te mora uzeti u obzir specifičnosti krajolika u kojem se nalazi grad, i to naročito geografske, klimatske i urbanističke.

### Klimatski čimbenici koji utječu na učinke UTO-a

Među klimatskim čimbenicima, najveći negativan doprinos učincima UTO-a daju porast temperature, dulje trajanje toplinskih valova i promjene oborinskih režima. Oni predstavljaju dodatni negativan utjecaj na osjet topline te toplinski stres stanovnika urbanih područja. To su sve vrlo dobri razlozi za planiranje i provođenje aktivnosti s ciljem smanjenja negativnih učinaka UTO-a u gradovima.

### Utjecaj prostornog planiranja i gradnje na učinke UTO-a

Znanstvena zajednica već je dokazala koliko su urbanističko planiranje i projektiranje važni za intenzitet UTO-a. S obzirom na očekivani porast gradskog stanovništva, naglasak u urbanističkom planiranju treba staviti na uvođenje dobrih praksi i inovativnih mjera za ublažavanja negativnih učinaka UTO-a. Prostorno planiranje i način gradnje izravno se odražavaju na manifestiranje UTO-a pa je nužno da ti procesi u fazi donošenja odluka uvažavaju rezultate istraživanja na temu UTO-a. Nadalje, prostorno-planska dokumentacija te pravilnici i standardi za gradnju također moraju uključivati mjere kojima će se ublažavati i sprečavati negativne učinke UTO-a i u zgradama i u izgrađenom urbanom okolišu. Kako bi uvažili svu kompleksnost međuodnosa i utjecaja u kontekstu UTO-a, procesi prostornog planiranja i gradnje zahtijevaju multidisciplinarni pristup te uključivanje široke palete stručnjaka i predstavnika javnosti.

### Utjecaj UTO-a na okoliš i zdravlje

Negativan utjecaj UTO-a proučava se kroz mnogobrojna znanstvena istraživanja u svijetu i Hrvatskoj. Svakako najvažniji negativni učinci odnose se na zdravlje ljudi, a na njih su posebno osjetljive socijalno ugrožene skupine, za što tek treba pronaći odgovarajuća rješenja. Među ostalim učincima ne treba zanemariti ni povećanu potrošnju energije (za hlađenje) i posljedice koje ona ima na zagađenje, zatim fragmentaciju staništa te povećanu opasnost od požara koji mogu dodatno pogoršati kvalitetu života u urbanim područjima. Zaključci studija hrvatskih istraživača u skladu su sa zaključcima globalnih istraživanja te značajno pridonose shvaćanju važnosti mjera za ublažavanje učinaka UTO-a.

### Identifikacija i kartiranje UTO-a

Postoji već niz metoda proučavanja UTO-a, a one se razlikuju po cilju istraživanja, ulaznim podacima, preciznosti te kompleksnosti. Tri najčešće korištene metode su numeričko modeliranje, analiza podataka dobivenih daljinskim istraživanjima i terenska mjerenja.

Uzimajući u obzir sve specifičnosti prostora Hrvatske te izvore, dostupnost i strukturu podataka, ovdje je predložena metodologija koja objedinjuje podatke o korištenju zemljišta iz Temeljne topografske baze (TTB), podatke Multisenzorskog zračnog snimanja Hrvatske te matematičko modeliranje solarnog zračenja.

Kao mogućnost daljnjeg razvoja metodologije, predlaže se modeliranje na temelju podataka daljinskih mjerenja površinske temperature tla te njihovo referenciranje s podacima o tipovima zemljišta prema pokrovu i namjeni.

### Implementacija mjere u planiranju prostora i tehnologiji materijala

Prilikom izrade prostornih planova (ili njihovih izmjena i dopuna) važno je namjenu zemljišta prilagoditi klimatskom kontekstu, a pravilima provedbe definirati mjere usmjerene na one dijelove naselja za koje je utvrđena najveća izloženost učincima UTO-a. Pri planiranju novih zahvata potrebno je uzeti u obzir prostorne karakteristike koje pridonose nastanku UTO-a, kako bi ih se izbjeglo, te one građevinske mjere koje je moguće zakonski uvjetovati, a mogu umanjiti učinke UTO-a. Pritom se misli na:

- morfologiju i orijentaciju zgrada te njihov međusobni odnos (poželjno je formiranje rashladnih koridora)
- tipologiju, proporcije i oblik građevina (u smislu toplinske zaštite)
- odabir materijala (preporučuje se uporaba materijala visoke energetske učinkovitosti te boja i materijala koji odbijaju toplinu)
- implementaciju rješenja po uzoru na prirodu (npr. zeleni krovovi i pročelja)
- povećanje/propisivanje udjela zelenih površina
- poticanje raznovrsnosti javnih zelenih površina te njihovo povezivanje u sustav zelene infrastrukture gdje vrijede posebna ograničenja
- sveobuhvatan pristup problematici UTO-a u područjima prikladnima za sveobuhvatnu obnovu (propisivanje mjera za urbanu sanaciju i urbanu preobrazbu).

U smislu ublažavanja negativnih učinaka UTO-a i jačanja otpornosti gradova na ekstremne vremenske uvjete na raspolaganju su još neki drugi instrumenti i alati, osim prostornog planiranja:

- Strategije zelene urbane obnove (ZUO; važno je uvrstiti rezultate identifikacije i kartiranja UTO-a)
- demografska predviđanja i analize
- razrada scenarija za predviđanje učinaka klimatskih promjena
- alati za modeliranje pregrijavanja, buke, kvalitete zraka i sl.
- modeli uključivanja javnosti radi participativnog upravljanja urbanim prostorima (radionice, fokus grupe, anketni upitnici i istraživanja)
- ekonomski instrumenti (sufinanciranje projekata iz programa Konkurentnost i kohezija 2021. – 2027., Nacionalnog plana oporavka i otpornosti i dr.)
- alati za upravljanje projektima
- edukacija, kontinuirano profesionalno usavršavanje i širenje svijesti (za administratore, donositelje odluka i širu javnost).

### Zelena i plava infrastruktura

Zelena i plava infrastruktura u interakciji s okolišem dokazano ublažavaju negativne učinke UTO-a. Pritom je njihova učinkovitost u ovisnosti o veličini prostora – što je veća zahvaćena površina, veći je i pozitivan učinak na okolni prostor, što je potvrđeno mnogim istraživanjima. Primjenom pozitivnih praksi u planiranju urbanog prostora moguće je sinergijski djelovati na pojačano rashlađivanje urbanih prostora. Pritom važnu ulogu imaju vrsta pokrova i namjena prostora, tipologija zelene infrastrukture te izrada posebnih zakonskih i regulatornih okvira koji će omogućiti dugoročno očuvanje i stabilnost elemenata zelene infrastrukture.

Ublažavanje učinaka UTO-a u gradovima zahtijeva sveobuhvatan pristup koji uključuje različite urbane elemente, otvorene prostore, urbani namještaj i materijale, zelenu infrastrukturu i tehnologiju. Projektiranje, struktura i orijentacija urbanih područja igraju ključnu ulogu u kontroli protoka zraka te izloženosti sunčevoj svjetlosti. Adekvatno pozicioniranje zgrada posebno je važno za uske ulice, otvoreni

## Metodologija za identifikaciju i kartiranje urbanih toplinskih otoka

prostore mogu poslužiti za bolji protok zraka i zasjenjivanje, a veliki trgovački centri i zgrade javne namjene nude sigurno utočište tijekom ekstremnih vrućina. Pomoć u rashlađivanju okoliša mogu pružiti urbani namještaj i materijali, elementi plave infrastrukture, vodene površine i zelena infrastruktura, ali i napredne tehnologije poput hladnih krovova, inteligentnih sustava navodnjavanja, metoda pasivnog hlađenja i posebnih alata koji reagiraju na promjene meteoroloških uvjeta. Usvajanjem ovih rješenja gradovi se mogu učinkovito pozabaviti urbanim toplinskim otocima, stvarajući ugodnije i otpornije prostore za svoje stanovnike.

## LITERATURA

1. Adams QH, Chan EMG, Spangler KR, Weinberger KR, Lane KJ, Errett NA, Hess JJ, Sun Y, Wellenius GA, Nori-Sarma A, 2023. Examining the Optimal Placement of Cooling Centers to Serve Populations at High Risk of Extreme Heat Exposure in 81 US Cities. *Public Health Rep.* 2023 Nov-Dec 138(6): 955-962. doi: [10.1177/00333549221148174](https://doi.org/10.1177/00333549221148174).
2. Herdt AJ, Brown RD, Scott-Fleming I, Cao G, MacDonald M, Henderson D, Vanos JK, 2018. Outdoor Thermal Comfort during Anomalous Heat at the 2015 Pan American Games in Toronto, Canada. *Atmosphere* 9(8): 321. <https://doi.org/10.3390/atmos9080321>.
3. Ambrosini D, Galli G, Mancini B, Nardi I, Sfarra S, 2014. Evaluating Mitigation Effects of Urban Heat Islands in a Historical Small Center with the ENVI-Met® Climate Model. *Sustainability* 6(10): 7013-7029. <https://doi.org/10.3390/su6107013>.
4. Arias PA, Bellouin N, Coppola E, Jones RG, Krinner G, Marotzke J, Naik V, Palmer MD, Plattner G-K, Rogelj J, 2021. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical Summary In *Climate Change 2021: [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press*
5. Bednar-Friedl B, Biesbroek GR, Schmidt DN, Alexander P, Børsheim KY, Carnicer J i sur Europe: from Chapters and Cross-Chapter Papers. In Pörtner HO, Roberts DC, Tignor M, Poloczanska ES, Mintenbeck K, Alegría A, Craig M, Langsdorf S, Löschke S, Möller V, Okem A, editors, *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. 2022. p. 1817–1927. doi: [10.1017/9781009325844.01](https://doi.org/10.1017/9781009325844.01)
6. Black-Ingersoll F, de Lange J, Heidari L, Negassa A, Botana P, Fabian MP, Scammell MK. A Literature Review of Cooling Center, Misting Station, Cool Pavement, and Cool Roof Intervention Evaluations. *Atmosphere*. 2022; 13(7): 1103. <https://doi.org/10.3390/atmos13071103>
7. Boras M, Herceg-Bulić I, Žgela M, Nimac I, 2023. Temperature characteristics and heat load in the City of Dubrovnik. *Geofizika*, 39(2). 259-279. <https://doi.org/10.15233/gfz.2022.39.16>
8. Bouyer, J. & Musy, M. (2009). MITIGATING URBAN HEAT ISLAND EFFECT BY URBAN DESIGN: FORMS AND MATERIALS.
9. Bozonnet E, Musy M, Calmet I, Rodriguez F, 2015. Modeling methods to assess urban fluxes and heat island mitigation measures from street to city scale, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 10(1): 62–77, <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctt049>.
10. Brocherie F, Girard O, Millet GP. Emerging Environmental and Weather Challenges in Outdoor Sports. *Climate*. 2015; 3(3):492-521. <https://doi.org/10.3390/cli3030492>
11. Cedilnik R, 2015. Določanje temperature tal iz satelitskih posnetkov Landsat: Magistrsko delo [Thesis, University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering]. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=32772>.
12. Chakraborty T., Ferreira C M, Corcoran, 2019. Urban Heat Island Effect and Its Impact on Residential Housing in St. Louis. *Urban Science* 3(1): 11.
13. Cheela VRS, John M, Biswas W, Sarker P, 2021. Combating Urban Heat Island Effect—A Review of Reflective Pavements and Tree Shading Strategies. *Buildings*. 2021; 11(3):93. <https://doi.org/10.3390/buildings11030093>.
14. Chmielewski FM, Rötzer T (2001). Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 108(2), 101-112.
15. Chow WTL, Salamanca F, Georgescu M, Mahalov A, Jeffrey M. Milne, Ruddell BL, 2014. A multi-method and multi-scale approach for estimating city-wide anthropogenic heat fluxes. *Atmospheric Environ.*, 99:64–76. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.09.053>
16. Copernicus Land Monitoring Service. (b. d.-a). Mapping guide—Urban Atlas Land Cover/Land Use and Street Tree Layer 2012 and 2018. Pridobljeno 20. februar 2024, s <https://land.copernicus.eu/en/products/urban-atlas/urban-atlas-2018>.

17. Copernicus Land Monitoring Service. (b. d.-b). Urban Atlas Land Cover/Land Use 2018 (vector), Europe, 6-yearly [dataset]. <https://doi.org/10.2909/fb4dffa1-6ceb-4cc0-8372-1ed354c285e6>.
18. Cvitan L, Sokol Jurković R, 2016. Secular trends in monthly heating and cooling demands in Croatia. *Theoretical and Applied Climatology* 125:565–581. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1534-7>
19. De Ridder K, Lauwaet D, Maihe, B, Vankerkom J, 2016. Assessment of the energy demand reduction potential of cool roofs in Europe. *Energy and Buildings*, 119: 270-279.
20. Ding F, Pang H, Guo W, 2018. Impact of the urban heat island on residents' energy consumption: a case study of Qingdao, doi: [10.1088/1755-1315/121/3/032026](https://doi.org/10.1088/1755-1315/121/3/032026).
21. Djedjig R, Bozonnet E, Belarbi R, 2015. Experimental study of the urban microclimate mitigation potential of green roofs and green walls in street canyons. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, Volume 10(1):34–44, <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctt019>.
22. Dodman D, Hayward B, Pelling M, Castan Broto V, Chow W, Chu E, Dawson R, Khirfan L, McPhearson T, Prakash A, Zheng Y, Ziervogel G, 2022. Cities, Settlements and Key Infrastructure. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 907–1040, doi:[10.1017/9781009325844.008](https://doi.org/10.1017/9781009325844.008).
23. European Environment Agency. (b. d.). CORINE Land Cover 2018 (vector/raster 100 m), Europe, 6-yearly [dataset]. preuzeto 11. ožujka 2024. <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018>
24. European Environment Agency. (b. d.). Urban Atlas Building Height 2012 (raster 10 m), Europe—Version 3, Oct. 2022. EEA geospatial data catalogue. Pridobljeno 12. marec 2024, <https://sdi.eea.europa.eu/catalogue/copernicus/api/records/42690e05-edf4-43fc-8020-33e130f62023>
25. Fowler T, Sadohara S, Yoshida S, 2009. Designing landuse patterns to mitigate the urban heat island phenomenon in consideration of ocean wind flow and openspace voids. *Journal of Architecture and Planning (transactions of Aij)* 74:2223-2229. doi:[10.3130/aija.74.222](https://doi.org/10.3130/aija.74.222).
26. Gangwisch M, Saha S, Matzarakis A, 2023. Spatial neighborhood analysis linking urban morphology and green infrastructure to atmospheric conditions in Karlsruhe, Germany. *Urban Climate*, 51, 101624.
27. Grundstein A, Williams C, 2018. Heat Exposure and the General Public: Heath Impacts, Risk Communication, and Mitigation Measures [10.1007/978-3-319-75889-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-75889-3_3), pp.29-43
28. Guo A, Yang J, Xiao X, Xia J, Jin C, Li X, 2020. Influences of urban spatial form on urban heat island effects at the community level in China. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101972.
29. Holz I, Franzaring J, Böcker R, Fangmeier A, 2011. Eintrittsdaten phänologischer Phasen und ihre Beziehung zu Witterung und Klima; LUBW: Karlsruhe, Germany.
30. Hong B, Lin B, 2015. Numerical studies of the outdoor wind environment and thermal comfort at pedestrian level in housing blocks with different building layout patterns and trees arrangement, *Renewable Energy* 73:18-27, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.05.060>.
31. Holz I, Franzaring J, Böcker R, Fangmeier A, 2011. Eintrittsdaten phänologischer Phasen und ihre Beziehung zu Witterung und Klima; LUBW: Karlsruhe, Germany.
32. Hooyberghs H, Lauwaet D, Lefebvre W, Driesen G, Van Looy S, Wouters H, ... & Hamdi R, 2017. Modelling the impact of urban heat islands on energy demand and electricity use in the Greater Paris region. *Energy and Buildings* 155:63-78.
33. Huang Q, Huang J, Yang X, Fang C, Liang Y, 2019. Quantifying the seasonal contribution of coupling urban land use types on Urban Heat Island using Land Contribution Index: a case study in Wuhan, China. *Sustain Cities Soc* 44:666–675.
34. Humaida N, Saputra H, Sutomo, Hadiyan Y, 2023. Urban gardening for mitigating heat island effect. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Volume 1133, International

- Conference on Modern and Sustainable Agriculture 2022 02/08/2022 - 03/08/2022 Online, DOI 10.1088/1755-1315/1133/1/012048
35. Ivajnsič D, Donša D, Grujić VJ, Pipenbaher N (2022). Primeri prostorskih analiz vplivov podnebnih sprememb: Monografija v okviru projekta Preprečevanje toplotnega stresa v urbanih sistemih v luči podnebnih sprememb (ARRS J7-1822). V Univerzitetna založba Univerze v Mariboru. Univerzitetna založba Univerze v Mariboru. <https://doi.org/10.18690/um.fnm.8.2022>.
  36. Kandya A, Mohan M, 2018. Mitigating the Urban Heat Island effect through building envelope modifications, *Energy and Buildings*, Volume 164:266-277. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.014>.
  37. Lauwaet D, Hooyberghs H, Maiheu B, Lefebvre W, Driesen G, Van Looy S. 2016. How relevant are urban heat island intensity measures considering the energy demand of different income groups? *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 60: 739-748.
  38. Leal Filho W, Wolf F, Castro-Díaz R, Li C, Ojeh VN, Gutiérrez N, Nagy GJ, Savić S, Natenzon CE, Al-Amin AQ, Maruna M Böneck, J, 2021. Addressing the urban heat islands effect: A cross-country assessment of the role of green infrastructure. *Sustainability* 13(2): 753. <https://doi.org/10.3390/su13020753>.
  39. Li D, Bou-Zeid E, 2013. Synergistic interactions between urban heat islands and heat waves: The impact in cities is larger than the sum of its parts. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 52(9): 2051-2064.
  40. Liu B, Guo X, Jiang J, 2023. How Urban Morphology Relates to the Urban Heat Island Effect: A Multi-Indicator Study. *Sustainability*.; 15(14):10787. <https://doi.org/10.3390/su151410787>.
  41. Loh N, Bhiwapurkar P, 2021. Urban heat-mitigating building form and façade framework. *Architectural Science Review* 65(10): 1–15. <https://doi.org/10.1080/00038628.2021.1924610>.
  42. Manoli G, Fatichi S, Bou-Zeid E, Sun T, Masselot P, Huang WT K, 2023. Assessing the impact of urban heat islands on the risks and costs of temperature-related mortality, EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 23–28 Apr 2023, EGU23-9892. <https://doi.org/10.5194/egusphere-equ23-9892>.
  43. Magli S, Lodi C, Lombroso L, Muscio A, Teggi S, 2015. Analysis of the urban heat island effects on building energy consumption. *International journal of energy and environmental engineering* 6(1): 91-99. doi: [10.1007/s40095-014-0154-9](https://doi.org/10.1007/s40095-014-0154-9).
  44. Merhej R, 2019. Stigma on mental illness in the Arab world: beyond the socio-cultural barriers. *International Journal of Human Rights in Healthcare* 12(4): 285-298. <https://doi.org/10.1108/IJHRH-03-2019-0025>
  45. Mesarić M, Rupčić M, Gudac I, Leljak M, Radaković M, Stojak J, 2019. Plan prilagodbe klimatskim promjenama grada Dubrovnika, IRES Ekologija, pp. 1-63
  46. Mitchell B, Chakraborty J, 2018. Thermal Inequity: The Relationship between Urban Structure and Social Disparities in an Era of Climate Change. In: *The Routledge Handbook of Climate Justice* [Jafry, T. (ed.)]. Routledge, Oxon, 330–346.
  47. Mohan M, Kikegawa Y, Gurjar, B R, Bhati S, Kolli NR, 2013. Assessment of urban heat island effect for different land use–land cover from micrometeorological measurements and remote sensing data for megacity Delhi. *Theor Appl Climatol* 112, 647–658. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0758-z>
  48. Moosavi FH, Mahdavi, M (2017). *Reducing Heat And Urban Discomfort With Water*.
  49. Mora C, Dousset B, Caldwell IR, Powell FE, Geronimo RC, Bielecki CR, Counsell CWW, Dietrich BS, Johnston, ET, Louis LV, Lucas MP, McKenzie MM, Shea AG, Tseng H, Giambelluca TW, Leon LR, Hawkins E, E. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9477-3677>, Trauernicht C, 2017. Global risk of deadly heat. *Nat. Clim. Change*, 7 (7):501-506. <https://doi.org/10.1038/nclimate3322>
  50. Morini E, Castellani, De Ciantis S, Anderini E, Rossi F, 2018. Planning for cooler urban canyons: Comparative analysis of the influence of façades reflective properties on urban canyon thermal behavior, *Solar Energy* 162:14-27. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.12.064>.

51. Mossel C, Ameling L, Zaradich M, Woody MA, Foley E, Mbaye S, Blake R A, Norouzi H, 2023. Quantifying the Cooling Impact of Urban Heat Island Mitigation Strategies at the Neighborhood Scale. IGARSS 2023: 2092-2094. doi: [10.1109/IGARSS52108.2023.10282652](https://doi.org/10.1109/IGARSS52108.2023.10282652)
52. MPGI - Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine (2021). Program razvoja zelene infrastrukture u urbanim područjima za razdoblje od 2021. do 2030. godine. Zagreb, 2021.  
[https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/Program\\_razvoja\\_zelene\\_infrastrukture\\_do\\_2030.pdf](https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/Program_razvoja_zelene_infrastrukture_do_2030.pdf)
53. Oberoi A, Mullan K, 2019. Urban Heat Island and Residential Property Values: A Systematic Review. Sustainability, 11(6): 1633.
54. Oke TR, Mills G, Christen A, Voogt JA, 2017: Urban Climates. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>.
55. Onishi A, Cao X, Ito T, Shi F, Imura H, 2010. Evaluating the potential for urban heat-island mitigation by greening parking lots. Urban Forestry & Urban Greening, 9(4):323-332. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2010.06.002>.
56. Peluso P, Persichetti G, Moretti L, 2022. Effectiveness of Road Cool Pavements, Greenery, and Canopies to Reduce the Urban Heat Island Effects. Sustainability 14(23):16027. <https://doi.org/10.3390/su142316027>.
57. Pramanik S, Punia, M, 2020. Land use/land cover change and surface urban heat island intensity: source–sink landscape-based study in Delhi, India. Environment, Development and Sustainability 22: 7331-7356. DOI:[10.1007/s10668-019-00515-0](https://doi.org/10.1007/s10668-019-00515-0).
58. Pratiwi SN, 2018. A review of material cover features for mitigating urban heat islands. International Journal on Livable Space, 3(2), 71–80. <https://doi.org/10.25105/livas.v3i2.3196>.
59. Priyadarsini R, Wong N, Cheong KWD, 2008. Microclimatic modeling of the urban thermal environment of Singapore to mitigate urban heat island. Solar Energy, 82(8):727-745, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.02.008>.
60. Quintana-Talvac C, Corvacho-Ganahin O, Smith P, Sarricolea P, Prieto M, Meseguer-Ruiz O, 2021. Urban Heat Islands and Vulnerable Populations in a Mid-Size Coastal City in an Arid Environment. Atmosphere, 12(7): 917. <https://doi.org/10.3390/atmos12070917>.
61. Radhi H, Assem E, Sharples S, 2014. On the colours and properties of building surface materials to mitigate urban heat islands in highly productive solar regions, Building and Environment 72:162-172. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.11.005>.
62. Rendana M, Idris WMR, Rahim SA, i sur 2023. Relationships between land use types and urban heat island intensity in Hulu Langat district, Selangor, Malaysia. Ecol Process 12, 33. <https://doi.org/10.1186/s13717-023-00446-9>
63. Roloff A, 2013. Bäume in der Stadt. 110, Ulmer Verlag: Stuttgart, Germany.
64. Rosso F, Castellani B, Presciutti A, Morini E, Filipponi M, Nicolini A, Santamouris M, 2015. Retroreflective façades for urban heat island mitigation: Experimental investigation and energy evaluations. Applied Energy 145:8-20. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.129>.
65. Rosso F, Golasi I, Castaldo VL, Piselli C, Pisello AL, Salata F, Ferrero M, Cotana F, de Lieto Vollaro A, 2018. On the impact of innovative materials on outdoor thermal comfort of pedestrians in historical urban canyons, Renewable Energy, Volume 118: 825-839. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.11.074>
66. Ruiz-Aviles V, Brazel A, Davis JM, Pijawka D, 2020. Mitigation of Urban Heat Island Effects through “Green Infrastructure”: Integrated Design of Constructed Wetlands and Neighborhood Development. Urban Sci. 4(4):78. <https://doi.org/10.3390/urbansci4040078>.
67. Sabrin S, Karimi M, Nazari R, 2020. Developing Vulnerability Index to Quantify Urban Heat Islands Effects Coupled with Air Pollution: A Case Study of Camden, NJ, ISPRS Int. J. of Geo-Inf. 9(6):349. <https://doi.org/10.3390/ijgi9060349>.
68. Santamouris M, 2020. Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change. Energy Build. 207, 109482. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109482>.

69. Schwarz N, Manceur AM, 2015. Analyzing the Influence of Urban Forms on Surface Urban Heat Islands in Europe. *Journal of Urban Planning and Development-ASCE*, 141(3). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000263](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000263).
70. Sen S, Fernandèz JPRM-R, Roesler J, 2020. Reflective Parking Lots for Microscale Urban Heat Island Mitigation. *Transportation Research Record*, 2674(8), 663-671. <https://doi.org/10.1177/0361198120919401>.
71. Seletković A, Kičić M, Ančić M, Kolić J, Pernar R, 2023. The Urban Heat Island Analysis for the City of Zagreb in the Period 2013–2022 Utilizing Landsat 8 Satellite Imagery. *Sustainability*. 15. 3963. 10.3390/su15053963
72. Shi L, Imhof ML, Zhang P, 2020. Spatial and Temporal Variations in the Cooling Effect of Urban Parks on the Urban Heat Island Effect in Phoenix, Arizona, USA. *Remote Sensing*, 12(1), 34.
73. Stanley C H, Helletsgruber C, Hof A, 2019. Mutual influences of urban microclimate and urban trees: an investigation of phenology and cooling capacity, *Forests (MDPI AG)* Vol. 10(7): 533.
74. Smid M, Russo S, Costa AC, Granell C, Pebesma E, 2019. Ranking European capitals by exposure to heat waves and cold waves. *Urban Clim*. 27:388–402. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.12.010> [Get rights and content](#).
75. Steeneveld GJ, Koopmans S, Heusinkveld BG, Theeuwes NE, 2014. Refreshing the role of open water surfaces on mitigating the maximum urban heat island effect, *Landscape and Urban Planning* 121: 92-96. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.09.001>.
76. Stewart ID, Oke TR, 2012. Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 1879–1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
77. Susca, T. Pomponi F, 2020. Heat island effects in urban life cycle assessment: Novel insights to include the effects of the urban heat island and UHI-mitigation measures in LCA for effective policy making. *J. Ind. Ecol*. 24(2): 410–423. <https://doi.org/10.1111/jiec.12980>.
78. Szkordilis F, 2014. Mitigation of urban heat island by green spaces. *Pollack Periodica*. 9(1): 91 -100. <https://doi.org/10.1556/pollack.9.2014.1.10>.
79. Taleghani M, Swan W, Johansson E, Ji Y, 2021. Urban cooling: Which façade orientation has the most impact on a microclimate?. *Sustainable Cities and Society*, Volume 64,102547. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102547>.
80. Teruaki I, 2006. Structure and Function in Urban Landscape in term of reduction of Heat island by green space.
81. Tomasović S, Sremec J, Koščak Lukač J, Sičaja G, Bačić Baronica K, Ostojić V, Raifi, Tomić Sremec N, Plačko-Vršnak D, Srnc L, Mikec K, 2022. Weather patterns and occurrence of epileptic seizures. *BMC Neurology* 22(1):33. <https://doi.org/10.1186/s12883-021-02535-8>
82. Tzavali A, Founda D, Santamouris M (2015). The Role of Urban Heat Island in Urban Heat Waves with a Case Study for Athens, Greece. *Sustainable Cities and Society*, 14, 42-51.
83. UYAMA M, ANDO T, 2020. Cooling effect of an urban park by enhanced heat transport efficiency. *Journal of Agricultural Meteorology* 76(3):148-153. <https://doi.org/10.2480/agrmet.D-20-00022>
84. Unger J, Sümeghy Z, Zoboki, 2001. Temperature cross-section features in an urban area. *Atmospheric research*, 58(2), 117-127. [10.1016/S0169-8095\(01\)00087-4](https://doi.org/10.1016/S0169-8095(01)00087-4).
85. U.S. Environmental Protection Agency. 2008. „Urban Heat Island Basics.“ In: *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*. Draft. <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>
86. World Bank, 2020. *Analysis of Heat Waves and Urban Heat Island Effects in Central European Cities and Implications for Urban Planning*. Washington, D.C.: World Bank
87. Wouters H i sur., 2017. Heat stress increase under climate change twice as large in cities as in rural areas: A study for a densely populated midlatitude maritime region. *Geophys. Res. Lett*, 44(17):8997–9007. <https://doi.org/10.1002/2017GL074889op>.
88. Xu L, Wang J, Xiao F, El-Badawy S, Awed A, 2021. Potential strategies to mitigate the heat island impacts of highway pavement on megacities with considerations of energy uses. *Applied Energy* 281, 116077, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116077>
89. Yuan C, Mei S, He W, Adelia AS, Zhang L, 2021. Mitigating Intensity of Urban Heat Island by Better Understanding on Urban Morphology and Anthropogenic Heat Dispersion, *EMS Annual Meeting 2021*, online, 6–10 Sep 2021, EMS2021-1, <https://doi.org/10.5194/ems2021-1>.



90. Zaninović K, Matzarakis A, 2014. Impact of heat waves on mortality in Croatia. *International Journal of Biometeorology* 58:1135-1145. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0706-3>.
91. Zaninović K, 2003. The influence of meteorological parameters on the acute neurovegetative disability, *ECAM* 2003, Roma, 15. –19. 9.
92. Zaninović K, Gajić-Čapka M, 2008. Klimatske promjene i utjecaj na zdravlje, *Infektološki glasnik* 28(1): 5–15.
93. Zaninović K, Gajić-Čapka M, Perčec Tadić M, Vučetić M, Milković J, Bajić A, Cindrić K, Cvitan L, Katušin Z, Kaučić D, Likso T, Lončar E, Lonča, Ž, Mihajlović D, Pandžić, K, Patarčić M, Srnec L, Vučetić, V, 2008. *Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961–1990., 1971–2000*. Državni hidrometeorološki zavod / Meteorological and Hydrological Service, Zagreb, p. 200.
94. Zellweger F, De Frenne P, Lenoir J, Vangansbeke P, Verheyen K, Bernhardt-Römermann M i sur., 2020. Forest microclimate dynamics drive plant responses to warming. *Science* 368(6492):772-775. <https://doi.org/10.1126/science.aba6880>.
95. Zhao L, Oleson K, Bou-Zeid E i sur., 2021: Global multi-model projections of local urban climates. *Nat. Clim. Chang.* 11(2): 152–157. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00958-8>.
96. Zipper SC, Schatz J, Singh A, Kucharik CJ, Townsend PA, Loheide II, S.P. Urban heat island impacts on plant phenology: Intra-urban variability and response to land cover. *Environ. Res. Lett.* 2016, 11, 1–12.
97. Zou Z, Yan C, Yu L, Jiang X, Ding J, Qin L, Wang B, Qiu G, 2021. Impacts of land use/land cover types on interactions between urban heat island effects and heat waves. *Building and environment*, 204:108138. DOI:[10.1016/j.buildenv.2021.108138](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108138).
98. Žgela M, 2018. Urbana klimatologija – Primjer toplinskog otoka grada Zagreba. *Geografski horizont*, 64(2), 33–42. <https://hrcak.srce.hr/220514>.
99. Žgela M, Herceg-Bulić I, Lozuk, J, Jureša P, 2024. Linking land surface temperature and local climate zones in nine Croatian cities. *Urban Climate*, 54. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101842>.
100. Žibera I. 2022. Sezonski režim površinskoga mestnoga toplotnoga otoka v Mariboru. V D. Ivajnsič, Primeri prostorskih analiz vplivov podnebnih sprememb: Monografija v okviru projekta Preprečevanje toplotnega stresa v urbanih sistemih v luči podnebnih sprememb (ARRS J7-1822). Univerzitetna založba Univerze v Mariboru. <https://doi.org/10.18690/um.fnm.8.2022>.
- 101.