

# Ekološko navodnjavanje urbanog drvenastog zelenila

---

**Gobec, Lea Katarina**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:786847>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



*Repository / Repozitorij:*

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE  
ŠUMARSKI ODSJEK**

**PREDIPLOMSKI STUDIJ  
URBANO ŠUMARSTVO, ZAŠTITA PRIRODE I OKOLIŠA**

**LEA KATARINA GOBEC**

**EKOLOŠKO NAVODNJAVANJE URBANOG DRVENASTOG ZELENILA**

**ZAVRŠNI RAD**

**ZAGREB, RUJAN, 2021.**

## PODACI O ZAVRŠNOM RADU

Zavod:	Zavod za ekologiju i uzgajanje šuma
Predmet:	Ekologija šumskog drveća
Mentor:	Prof. dr. sc. Ivica Tikvić
Asistent – znanstveni novak:	/
Studentica:	Lea Katarina Gobec
JMBAG:	0068232382
Akadska godina:	2020./2021.
Mjesto, datum obrane:	Zagreb, 24. 9. 2021.
Sadržaj rada:	Slika: 10 Navoda literature: 41
Sažetak:	Različiti nepovoljni čimbenici u urbanim područjima u novije su vrijeme još više naglašeni s klimatskim promjenama, što sve zajedno utječe na održanje, rast i razvoj urbanog drvenastog zelenila. Optimalna količina vode je jedan od najvažnijih životnih uvjeta o kojem ovisi urbano drvenasto zelenilo, pogotovo tijekom sušnih mjeseci. Navodnjavanjem urbanog drvenastog zelenila po ekološkim principima mogu se poboljšati uvjeti života biljaka. U radu će biti prikazani kriteriji ekološkog navodnjavanja urbanog drvenastog zelenila i uspoređeni sa klasičnim načinima navodnjavanja.
Ključne riječi:	Navodnjavanje, urbano drvenasto zelenilo, ekologija šumskog drveća, urbano zelenilo.

<b>Division:</b>	Department for Ecology and Silviculture
<b>Subject:</b>	Forest tree ecology
<b>Supervisor:</b>	Prof. Ivica Tikvić PhD
<b>Assistant</b>	–
<b>JMBAG:</b>	0068232772
<b>Student:</b>	Lea Katarina Gobec
<b>Academic year:</b>	2020./ 2021.
<b>Place and date:</b>	24. 9. 2021.
<b>Content of the thesis:</b>	Figures: 10 References: 41
<b>Abstract:</b>	<p>Various adverse factors in urban areas during recent times have been even more emphasized with climate change, which together affects the maintenance of, growth, and development of urban woody plants. Optimal amount of water is one of the most important living conditions on which depend urban woody plants, especially during dry months. Irrigation of urban woody plants according to ecological principals can improve the living conditions of plants. This paper will present the criteria of ecological irrigation of urban woody plants and compare it with traditional methods of irrigation.</p>
<b>Keywords:</b>	Irrigation, urban woody plants, ecology of forest tree species, urban greenery.

	<b>IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI</b>	<b>OB FŠDT 05 07</b>
		Revizija: 2
		Datum: 29.04.2021.

„Izjavljujem da je moj završni rad izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristila drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

U Zagrebu, 24.09.2021. godine

---

*vlastoručni potpis*

*Lea Katarina Gobec*

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	05
<b>1.1. Vrijednost urbanog zelenila</b> .....	05
<b>1.2. Važnost zahvata njege</b> .....	07
<b>1.3. Posljedice klimatskih promjena u urbanim sredinama</b> .....	09
<b>1.4. Cilj rada</b> .....	11
<b>1.5. Pregled literature</b> .....	11
<b>2. OBRADA TEME</b> .....	16
<b>2.1. Ekološki uvjeti u gradovima</b> .....	16
2.1.1. Utjecaj urbanih ekoloških uvjeta na urbano drvenasto zelenilo.....	17
2.1.2. Potrebe za vodom urbanog drvenastog zelenila.....	18
<b>2.2. Navodnjavanje</b> .....	20
2.2.1. Metode navodnjavanja.....	21
2.2.2. Voda za navodnjavanje.....	24
2.2.3. Raspored navodnjavanja.....	26
2.2.4. Rizici korištenja navodnjavanja.....	27
<b>2.3. Optimalan sustav navodnjavanja urbanog drvenastog zelenila</b> .....	29
2.3.1. Uvođenje navodnjavanja.....	29
2.3.2. Količina vode za navodnjavanje.....	30
2.3.3. Dodatne mjere.....	31
<b>3. ZAKLJUČAK</b> .....	33
<b>4. LITERATURA</b> .....	34
<b>4.1. Literatura sa interneta</b> .....	37

# 1. UVOD

Urbano drvenasto zelenilo se odnosi na šumsko drveće i grmlje koje se nalazi unutar gradskih područja gdje čini zelene površine koje pružaju niz usluga. Urbano drvenasto zelenilo omogućuje ostvarenje različitih funkcija ekosustava i usluga, odnosno pospješuje kruženje tvari, stvara stanište za razne druge žive organizme te osigurava različite ekološke, biološke, zdravstvene, socijalne i druge vrijednosti.

Životni uvjeti vegetacije u gradovima sve češće su nepovoljni te rezultiraju negativnim reakcijama biljaka. Urbani šumari, arboristi i ostali stručnjaci koji se bave sadnjom, njegom i održavanjem urbanog drvenastog zelenila, a u gradovima sve češće se susreću sa ograničavajućim čimbenicima pri uzgoju biljaka koje je teško neutralizirati. Razvoj biljaka je često poremećen, a rezultati uređenja novih zelenih površina su često nezadovoljavajući.

Jedan od glavnih problema je nedostatak vode koji uz djelovanje ostalih nepovoljnih čimbenika kao što su zbijeno tlo, onečišćenje, velike temperature zraka i veći intenzitet Sunčevog zračenja, dovode do narušavanja zdravlja i vitalnosti biljaka, promjene u fiziologiji biljaka, pojave bolesti, oštećenja i odumiranja. Klimatske promjene dodatno degradiraju urbane ekološke uvjete. Suše su duže i češće te imaju izravan nepovoljan utjecaj na biljke, koje se ne mogu oduprijeti tim nepovoljnijim čimbenicima.

Navodnjavanjem je moguće smanjiti stres biljaka uzrokovan nedostatkom vode, dužim sušnih razdobljima, velikim temperaturama zraka i većoj razini Sunčeva zračenja. Štoviše, navodnjavanjem se mogu imitirati prirodni ekološki uvjeti pojedinačnih vrsta uspostaviti optimalni vodni režim. Time se pospješuje njihov rast, razvoj, vitalnosti i dugovječnost te osigurava dugotrajno pružanje svih njihovih vrijednosti i usluga.

## 1.1. Vrijednost urbanog zelenila

Gradovi danas zauzimaju relativno malu površinu na svjetskoj razini, dok u njima živi vrlo velik broj ljudi. U 48 država SAD-a, urbane sredine zauzimaju oko 3% površine, a u njima živi 80% stanovništva, odnosno čak 220 milijuna ljudi (American forests, 2013). Pretpostavlja se da u čitavom svijetu postoji oko 3,8 milijardi stabala na urbanim zelenim površinama, čija je vrijednost oko 2,4 bilijuna dolara. U taj iznos nisu uračunate njihove ostali koristi. Urbane šume i urbano zelenilo godišnje veže oko 770 milijuna tona ugljika te oko 784 tisuće tona zračnog onečišćenja (American Forests, 2013). Urbano zelenilo se razvija u različitim oblicima, a najčešće kao stabala vrtovima, ulica, drvoredima, parkovima, uz prometnice i uz vodene površine.

Uloga urbanog drvenastog zelenila se tijekom godina znatno promijenila. Prije 17. stoljeća se primarno odnosila na estetske i ornamentalne učinke, dok u novije vrijeme do izražaja dolaze i druge funkcije zelenila, poput smanjenja onečišćenja.

Biološka vrijednost urbanog zelenila odnosi se na očuvanje biološke raznolikosti, stvaranje staništa za razne vrste životinja i predstavljanje prirodne i kulturne baštine. Stabilna i bogata bioraznolikost dovodi do stabilnosti ekosustava koja se očituje u većoj kvaliteti staništa, većoj kvaliteti tla, boljoj kontroli štetnika, uspješnijem oprašivanju, razmnožavanju i rasprostranjivanju te općenito većoj vitalnosti organizama i stabilnosti ekosustava čime se osigurava njihova puna vrijednost.

Urbana stabala, kao jedan od glavnih čimbenika urbanih ekosustava, osiguravaju pravilni tijek ekoloških procesa i pospješuju učinkovitost različitih kemijskih ciklusa spojeva i tvari poput kruženja vode, ugljičnog dioksida, dušika i drugih tvari. Efikasnije kruženje plinova utječe na smanjenje šteta od otpusnih plinova iz prometa.

U zadnjih nekoliko godina sve je veći naglasak naznačuju urbanog drvenastog zelenila za zraka i vode te osiguranje očuvanja kvaliteta tla u gradovima. Isto tako zelene površine pospješuju ublažavanje utjecaja Sunčevog zračenja. Količina infracrvenog zračenja u gradovima je manja zbog djelovanja zelenila čime se ublažava fenomen „toplinskog otoka“ u gradovima. Kvartovi koji imaju 40% površine prekrivene urbanim zelenilom imaju značajno manju temperaturu zraka od ostalih kvartova (Lovre, 2020). Uz to, zelene površine također pomažu u reguliranju oborinskih voda. Stabala mogu apsorbirati 30% oborinske vode čime se smanjuje preopterećenje sustava kanalizacije, a time i mogućnosti poplava (Burden, 2006).

Zbog navedenih ekoloških vrijednosti, urbano zelenilo također pruža i niz zdravstvenih pogodnosti za stanovnike gradova. Njemački gradovi su odlučili obnoviti oštećene zelene površine i šume nakon Drugog svjetskog rata kako bi se smanjila razina zračnog onečišćenja čime se ciljalo smanjiti razinu respiratornih bolesti koje su prijetile stanovnicima zbog velikih količina prašine od ruševina zgrada. Takav pristup je bio posebno važan za ljude koji su bile tijekom rata fizički i psihički oslabjeli (Dümpelmann, 2020). Zelenilo koje se koristi uz prometne putove određuje granicu između različitih površina, a posebno je važna granica između stambenih zona i cesta. Bolje određivanje prostora za pješake i vozila dovodi do sigurnijih uvjeta za šetanje, a definirani rubovi vode do boljeg praćenja prometa, više ljudi vozi primjerenim brzinama, a vozači pokazuju veću pažnju što pozitivno utječe na odvijanje prometa te stvara osjećaj bržeg protoka vremena prilikom vožnje, smanjene su štete i broj prometnih nesreća (Lovre, 2020).

Zelene površine su zanimljive i zbog svoje ekonomske vrijednosti koje pružaju gradu i njegovim stanovnicima. U sredinama sa zelenim površinama vrijednost nekretnina je veća, a tvrtke bilježe veći profit (Burden, 2006). Na nekim prostorima je omogućena urbana poljoprivreda čime se



ostvaruje određeni profit, smanjeni su troškovi hlađenja zbog nižih temperatura zraka naspram dijelova grada sa manje zelenila, te se povećava prepoznatljivost područja, odnosno ono postaje turistički atraktivno.

Vizualna privlačnost zelenih površina je najvažnija vrijednost urbanog zelenila, a ona se, između ostalog u novije vrijeme počinje koristiti za maskiranje određene gradske infrastrukture koja nije ugodna oku, poput dalekovoda. Atraktivni javni prostori se koriste za društvene događaje, rekreaciju, interakciju i edukaciju što dovodi do osjećaja jednakosti i pripadnosti zajednici, a time se povećava kvaliteta života. Prostor za odmor i rekreaciju vodi do manje umora, veće učinkovitosti, većeg zadovoljstva i smanjenja osjećaja tjeskobe. Zdravije stanovništvo i veća razina društvene interakcije između odraslih osoba dovodi do manje kriminala, a u obiteljima koja su u blizini zelenila prisutno je čak 25% manje agresije (American Forests, 2013).

Zbog navedenih razloga, svaki dolar uloženi u urbana stabla rezultira profitom od 2 do 4 dolara (American Forests, 2013). Urbano zelenilo ima veliku vrijednost sa različitih gledišta, međutim ono je pod sve većim pritiskom zbog nepovoljnih gradskih uvjeta koji uz klimatske promjene dovode do povećanog stresa kod svih biljaka, a posebno kod urbanog drvenastog zelenila. Manja vitalnost i veća podložnost bolestima i štetnicima uzrokuje odumiranje zelenila, koje nije u mogućnosti pružiti cijeli raspon svojih vrijednosti ili ne u onoj mjeri koliko bi moglo pružiti u punom zdravlju i sa svim zadovoljenim potrebama.

## **1.2. Važnost zahvata njege**

Urbani ekosustavi predstavljaju posebne uvjete za život. Ukoliko bi urbano zelenilo koristilo samo resurse koje samostalno može iskoristiti u gradovima i ukoliko bi na raspolaganju imalo samo one uvjete koje grad nudi, bez modifikacije i pomoći od strane čovjeka, ono ne bi imalo osigurane potrebne uvjete za život (Varga, 2016).

Iako je poznato kako su urbane prilike nepovoljne za rast i razvoj biljaka, još uvijek se javlja nedostatak znanja o broju i opsegu pogodnosti koje pruža urbani zeleni prostor. Nedostaje popis i objašnjenje svih koristi koje zelene površine pružaju te se zbog toga njima ne daje dovoljna briga, odnosno često se podcjenjuje njihova važnost, zbog čega izostaje adekvatna briga o njima. Urbano zelenilo se još uvijek tretira kao skulptura ili dio infrastrukture grada čime se odstupa od pojma biljaka kao živih bića, koje također žive u zajednici sa ljudima i drugim organizmima u urbanim sredinama.

Hortikultunisti, šumari, pejzažisti, građevinski inženjeri i drugi stručnjaci imaju ulogu u brizi za urbane zelene površine, a arboristi i urbani šumari se posebno usredotočuju na njegu urbanog drvenastog zelenila. Urbano šumarstvo se proširilo kao znanstveno polje relativno nedavno, 60ih godina prošlog stoljeća kada se prvi put kao pojam spominje u Sjedinjenim Američkim

Državama, a tijekom zadnjih pedesetak godina se oblikuje kao struka i primjenjuje diljem svijeta. Iz perspektive urbanog šumarstva potreban je holistički pristup pri brizi za urbano zelenilo jer ono osigurava zdrave i održive zajednice te ima veliku vrijednost za život u gradovima. Osim toga urbano šumarstvo se bavi problemima koji nastaju pri nekontroliranom rastu stabala, problemima oštećenja imovine i problemima povećanja troškova tijekom izgradnje, popravaka infrastrukture i zaštita zdravlja građana zbog suhih grana.

Uspostavljanje plana, programa i sustava monitoringa stanja urbanog drvenastog zelenila je bitno kako bi se osiguralo njegovo pravilno održavanje i njega. Preduvjet za to je odabir pravog sadnog materijala, a pri čemu se treba uzeti u obzir sljedeće: ograničenja staništa, ekofiziologiju drveća, potrebne uvjete za život, željenu estetiku i funkcionalna svojstva stabla (Johnston i Hiron, 2014).

Ograničenja staništa se moraju pažljivo analizirati, a za to se mogu koristiti različita ispitivanja, satelitske snimke, infracrvene snimke, meteorološki podaci i mnoge druge informacije čime se mogu jasnije definirati uvjeti koje prostor pruža i lakše odabrati adekvatnu vrstu drveća koja će se dobro razvijati na takvoj lokaciji. Estetska i funkcionalna svojstva bi trebala biti manje bitna jer nisu ograničavajući čimbenik pri uređenju zelenih površina, no ona često prevladavaju pri odabiru sadnog materijala. Lokalna vlast ima prednost pri definiranju kako bi prostor trebao izgledati, međutim važna je i komunikacija sa građanstvom i ostalim sudionicima. Plan, program ili skice koji se zatim izrađuju se pripremaju uz konzultacije, mišljenja i primjedbe. Na kraju realizacije zelenih površina provodi se monitoring, njega i održavanje, kako bi prostor zadržao onaj oblik i funkciju za koju se originalno izradio. Često u takvim projektima dolazi do problema sa dugoročnim financiranjem, pri čemu se velika financijska sredstva ulažu u realizaciju projekta, a premale se pažnje predaje daljem održavanju urbanih stabala koja zahtijevaju stalnu njegu.

Rast stabala u gradovima je često usporen, reduciran i ograničen (slika 1). Prosječni život urbanih stabala iznosi od 19 do 28 godina (Johnston i Hiron, 2014). Dugovječnost stabala u urbanim sredinama nije osigurana, ali se ona može pospješiti i produljiti pomoću arborikulturnih zahvata. Izbor vrsta, pažljiva sadnja te naknadna njega poput brige za krošnju i korijenski sustav dovode do zdravih zrelih stabala.

Pri sadnji se osim pravilnog izbora vrsta stabla treba zadovoljiti i sljedeće; stabla se moraju zalijevati neposredno nakon sadnje kako bi se korijenski sustav nastavio razvijati i kako bi se pospješilo njihovo primanje, potrebno je malčirati prostor oko sadnice te poduprijeti stabla kako bi se smanjilo njihovo oštećenje tijekom djelovanja dominantnih vjetrova. Monitoring i njega urbanog drvenastog zelenila treba biti planirana, sistematska i u intervalima, a pri radovima treba povezati sve sektore, odnosno volonterski sektor koji omogućuje sponzorstvo i potporu, javni sektor koji pruža financijsku i tehničku potporu, i privatni sektor koji omogućuje pristup privatnim, trgovačkim i industrijskim površinama te također pruža sponzorstvo.



Slika 1. Rov iskopan tijekom građevinskih radova u neposrednoj blizini starijih urbanih stabala. (Izvor: Full circle tree & shrub L.L.C., Construction damage: How to Preserve Your Landscape <https://fullcirtreelandshrub.com/blog/construction-damage-how-to-preserve-your-landscape/> (Pristupljeno: 18.9.2021.)

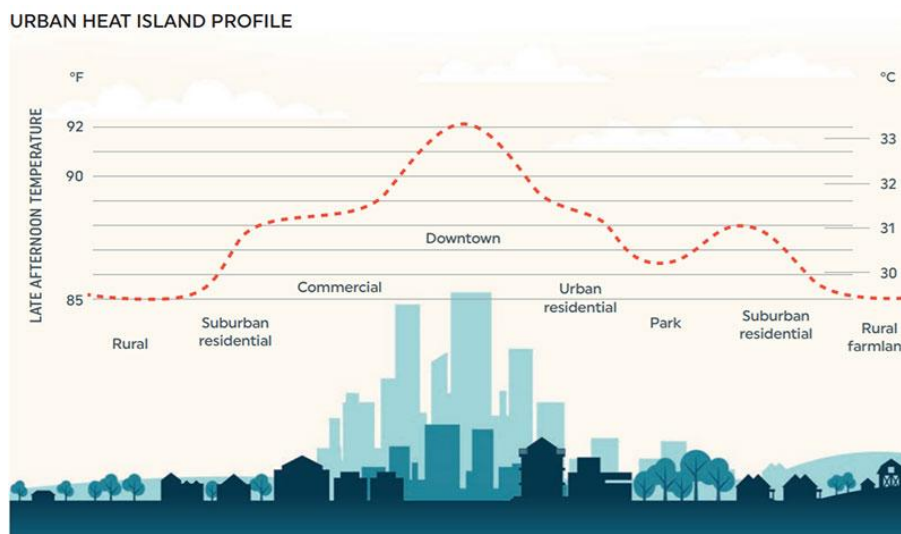
Pošto su starija stabala veće starosti i veličine, ona također imaju i mnogo veću vrijednost naspram mladih stabala, međutim tijekom njihovog života uvjeti u staništu se mogu značajno promijeniti što smanjuje njihovu vrijednost (Johnson i Belitz, 2012). Značajne štete javljaju se i zbog građevinskih radova pri kojima se ne predaje dovoljno pažnje obližnjim stablima pa dolazi do različitih vrsta oštećenja i dugotrajnih posljedica na stanje stabala (slika 1). Popločavanje, izgradnja sive infrastrukture i povećana razina prometa utječu na vitalnost stabala, a zamjenska stabala imaju slabije preživljavanje i slabiji rast u istim uvjetima. Zato je briga za odrasla stabla prijeko potrebna, no često nedovoljna.

### **1.3. Posljedice klimatskih promjena u urbanim sredinama**

Klimatske promjene predstavljaju ozbiljan problem čije posljedice tijekom posljednjeg desetljeća postaju sve vidljivije te uzrokuju štete na globalnoj i lokalnoj razini. One dovode do novih oblika stresova koji zatim utječu na urbano zelenilo. Još ne postoje precizne procjene posljedica takvih nepovoljnih uvjeta na gradskom zelenilu, no posljedice su već očigledne u gospodarskim šumama, stoga se određeni negativni učinci mogu očekivati i na urbanim površinama. Već od 1940ih godina prošlog stoljeća temperatura zraka u gradovima raste, a prema podacima iz 1990. godine prosječna temperatura zraka u gradovima u Sjedinjenim Američkim Državama povećala se od 0,45°C za manje gradove do 1,8°C za velike gradove poput Los Angelesa (Akbari et al., 1990).

U gradovima se također javlja fenomen „toplinskih otoka“, odnosno statistički većih vrijednosti temperature zraka u pojedinim djelovima urbanih sredina zbog velikih umjetnih površina

prekrivenih asfaltom i betonom koje ne mogu upiti toliko Sunčevog zračenja koliko mogu prirodne površine te ga više reflektiraju zbog čega se povećava temperatura zraka (slika 2). Efekt „toplinskih otoka“ najviše se osjeti u područjima sa puno cesta i zgrada, sa nepropusnim površinama i sa malom količinom zelenila. U zgradama se zbog toga sve češće koriste klima uređaji koji hlade prostor putem izbacivanja toplog zraka u vanjski prostor, čime se dodatno povećava temperatura zraka u gradovima. Međunarodna agencija za energetiku procjenjuje da će se potrebna energija za hlađenje zgrada utrostručiti već do 2050. godine (Yang i Wang, 2015).



Slika 2. Shematski prikaz efekta toplinskog otoka (Izvor: Foster, E. 2020: Four Approaches to Reducing the Urban Heat Island Effect. <https://urbanland.uli.org/sustainability/four-approaches-to-reducing-the-urban-heat-island-effect/> (Pristupljeno 10.9.2021.)

Veća temperatura zraka dovodi do češćih suša. Postoji nekoliko vrsta suša: meteorološka suša koja predstavlja pojavu kada se javlja manjak oborina u određenom razdoblju godine, agrometeorološka suša predstavlja manjak vode u površinskom sloju poljoprivrednih tla, te hidrološka suša se odnosi na smanjeni protok vode u rijekama i niže razine jezera i podzemnih voda. Prema Josipoviću i sur. (2013) pojam suše se definira kao vremensko razdoblje kada je zabilježen nedostatak oborine na nekom području, a ima negativan učinak na ekosustave, poljoprivredu, gospodarstvo i društvo u cjelini. Suše se najčešće javljaju tijekom ljeta, posebno tijekom srpnja i kolovoza, kada je i najveća potreba biljaka za vodom. Nedostatak vode izravno utječe na vitalnost stabala, a time i na njihovu fiziologiju.



Slika 3. Poplava izazvana jakim oborinama tijekom uragana Harvey u Teksasu primjer je ekstremnih vremenskih nepogoda koje su rezultat klimatskih promjena. (Izvor: Gramling, C. i Hamers, L. 2018: Here's how much climate change could cost the U.S. ScienceNews. <https://www.sciencenews.org/article/climate-change-economic-cost-united-states> (Pristupljeno: 10.9.2021.)

S druge strane, klimatske promjene također dovode do drugih češćih i jačih klimatskih ekstrema, poput kasnih mrazova, poplava i velikih pljuskova (Elmqvist et al., 2013). Takve pojave rezultiraju štetama na urbanom drvenastom zelenilu i gradskoj infrastrukturi (slika 3).

#### **1.4. Cilj rada**

Cilj rada je bio opisati ekološke potrebe za vodom urbanog drvenastog zelenila te analizirati mogućnosti primjene navodnjavanja s namjerom pružanja optimalnih hidroloških uvjeta. U radu su istaknuti ekološki uvjeti u gradovima sa naglaskom na klimatske promjene, potrebe biljaka za vodom, načini navodnjavanja te prilagođavanje sustava navodnjavanja ekološkim potrebama biljaka.

#### **1.5. Pregled literature**

Akbari, Rosenfeld i Taha (1990.) u svom radu „Summer heat islands, urban trees and white surfaces“ ističu problematiku povećanja prosječnih ljetnih temperatura zraka u gradovima te posljedično i povećanu upotrebu električne energije za potrebe hlađenja. Oni navode dobrobiti urbanih stabala i svjetlijih površina koje smanjuju toplinu upijanjem Sunčevog zračenja te time ublažavaju efekt „toplinskog otoka“ u gradovima.

U radu „Analiza efikasnosti sustava za navodnjavanje“ Bajić (2015.) naglašava problematiku definiranja efikasnosti sustava za navodnjavanje te navodi različite parametre koji se moraju uzeti u obzir prilikom izračuna uspješnosti transporta i primjene vode, akumulacije vode u tlu i u spremnicima, distribucije vode, stupnja ujednačenosti te samog navodnjavanja.

Bauder, Waskom, Sutherland i David (2011.) navode određene kriterije koje mora zadovoljavati kvaliteta vode koja se koristi za navodnjavanje kako ne bi došlo do oštećenja strukture tla i zdravlja biljaka.

Burden (2006.) navodi brojne koristi koje pružaju urbana stabala urbanim sredinama. Naglasak se stavlja na vrijednosti koje imaju izravan utjecaj na čovjeka poput pozitivnog utjecaja na psihičko zdravlje i ponašanje u prometu, no također se spominju ekološke, ekonomske, estetske i druge koristi.

Pri navodnjavanju u poljoprivredi koriste se vrlo velike količine vode, stoga Devčić (2008.) navodi različite parametre koje je potrebno znati pri uspostavi sustava navodnjavanja, kako bi se smanjio gubitak vode i omogućilo optimalno korištenje, a to je također bitno u urbanim područjima.

Drvodelić (2014.) ističe potrebu arborikulturnih zahvata njege na starim stablima u cilju njihovog očuvanja te predlaže navodnjavanje u slučaju suše. Spominje način izračuna okvirne potrebe za vodom pojedinog stabla te razmatra korištenje drugih tehnika i materijala, poput upotrebe malča i hidrogela, za veću djelotvornost sustava navodnjavanja.

Urbano zelenilo pruža niz vrijednosti koje su posebno važne tijekom kriznih vremena poput pandemije COVID-19 ili prirodnih katastrofa. Dümpelmann (2020.) ističe kako je važno prihvatiti urbana stabala kao javno dobro i kako su struke poput arborikulture i urbanog šumarstva prijeko potrebne da bi se održale sve njihove vrijednosti.

Elmqvist i suradnici (2013.) sastavljaju opširnu kolekciju radova na temu urbanizacije, bioraznolikosti i funkcija ekosustava te problematiku istih.

Fam i suradnici (2008.) analiziraju problematiku ograničenja u korištenju vode za potrebe navodnjavanja urbanog zelenila u Australiji. Opširno je opisan niz prednosti koje pruža navodnjavanje, poput ekoloških, socioloških i ekonomskih koristi, te se zagovara korištenje navodnjavanja u urbanim sredinama tijekom razdoblja nedostatka vode za potrebe zelenila.

Huđek (2014.) je obradio mjerenje sadržaja vode u tlu korištenjem TDR uređaja kako bi se uspostavio adekvatan raspored i količina vode za navodnjavanje te između ostalog navodi različite proračunske metode determinacije potrebe biljaka za vodom.

Jarić (2018.) je analizirao vrijednost zelenih površina u gradovima na primjeru Zagreba, opisao je njihovo stanje te predložio moguće akcije njihovog poboljšanja.

Urbana stabala moraju biti pažljivo izabrana, posađena i zbrinuta. Johnston i Hiron (2014.) izdvajaju čimbenike bitne kako bi urbana stabla mogla kvalitetno rasti i razvijati se te pritom pružati cijeli raspon mogućih vrijednosti. Napominju kako se izradom plana upravljanja urbanim stablima može puno učinkovitije brinuti o njima. Suradnja sa javnosti i političkim sektorom je ključna za uspješno provođenje plana upravljanja za urbana drvenasto zelenilo.

Johnston i Belitz (2012.) koriste Landsat Thematic Mapper satelitske snimke pomoću kojih se determinira količina vode koja se koristi za navodnjavanje zelenih površina u dolini San Fernando u sjevernoj Kaliforniji kako bi se odredila optimalna količina vode za potrebe biljaka.

U „Priručniku o navodnjavanju“ (Josipović i sur., 2013) pruža se opsežan uvid u različite metode navodnjavanja koje se koriste u poljoprivredi, načine izračuna količina vode za navodnjavanje i njihovog rasporeda za potrebe poljoprivrednih površina te zakonski okvir vezan za tematiku navodnjavanja.

Lovre (2020.) obrađuje na problematiku efekta „toplinskih otoka“ na primjeru grada Zagreba te ističe kako urbano zelenilo pomaže pri njegovom ublažavanju. Sastavlja popis i širok opis vrijednosti urbanog zelenila koje pružaju brojne koristi urbanom području i njegovim stanovnicima.

Prema Mohamadzade, Gheysari, i Kiani (2013.), navodnjavanje u urbanim sredinama je važan zahvat njege, posebno zbog posljedica klimatskih promjena, no za odrasla stabala ono nije jednostavno jer postoji mogućnost ograničenja njihova rasta što u nekim slučajevima dovodi do odumiranja stabala. Uspostava učinkovitog sustava navodnjavanja zahtjeva analizu različitih elemenata koji utječu na rast i razvoj stabla, poput klime i tla, a za odrasla stabla potreban je veći oprez. Analizira se mogućnost korištenja automatskog navodnjavanja na kapanje (automated drip irrigation – ADI) koji povećava vjerojatnost očuvanja starijih stabala.

Održivo gospodarenje šumama ima veliku ulogu u osiguravanju dugoročnosti funkcija šumskih ekosustava. Mori, Lertzman i Gustafsson (2017.) pružaju pregled održivog gospodarenja šumama te ističu važnost dobrog poznavanja ekologije kako bi se učinkovito očuvale vrijednosti šumskih ekosustava.

Mudrovčić (2019.) predstavlja sustav nadzora vlažnosti tla kojime se posljedično može prilagoditi sustav navodnjavanja te time osigurati optimalnu količinu vode za neku površinu.

Urbani šumski ekosistemi pružaju niz koristi, no također predstavljaju specifičnu problematiku održavanja te zahtijevaju određena ulaganja. Nowak i Dwyer (2007.) ističu kako je dobro

poznavanje troškova i koristi urbanih šumskih ekosustava važno za rješavanje specifičnih problema unutar gradova i stvaranje optimalnog prostora za život.

Za optimalne rezultate navodnjavanja potrebno je sastaviti pravilan raspored navodnjavanja. Vrlo je bitno odrediti dnevne termine navodnjavanja koji bi najviše odgovarali biljkama. Park i Smith (2008.) razmatraju potencijalne prednosti i nedostatke različitih perioda u danu (jutro, sredinom dana i večer) te kako svaki od njih utječe na zdravstveno stanje biljke.

Paulić i suradnici (2015.) koriste vizualno kontrolnu metodu analize zdravstvenog stanja stabala kako bi utvrdili procjenu vitaliteta stabala divljeg kestena na području Velike Gorice. Također razmatraju potrebne arborikulture zahvate njege koje bi trebalo primijeniti za postizanje pravilnog rasta, razvoja i zdravlja divljih kestena te između ostalog i korištenje navodnjavanja.

Uz navodnjavanje moguće je korištenje pomoćnih sredstva kojime bi ono bilo uspješnije, a efekt produljen. Plavšić (2019.) pruža kratki uvod u hidrogelove, njihovu primjenu i prednosti koje nude.

Roloff (2016.) stvara uvid u upravljanje urbanim stablima, od njihove važnosti i načina njege do analize njihovog stanja i problema sa kojima se suočavaju.

Quesnel i Ajami (2019.) analiziraju korištenje navodnjavanja u gradovima na površinama koje nisu stambene zone te stvaraju održivi i analitički pristup sa kojime se teži korištenju optimalne količine vode za navodnjavanje.

Prema Smajstrla, Zazueta, i Haman (1994.), sustav navodnjavanja koji neadekvatno postavljen, koji je se neprikladno koristi i koji ne zadovoljava određene standarde može dovesti do štetnih ekoloških i ekonomskih posljedica te negativno utjecati na zdravlje ljudi, stanje okoliša, sigurnost djelatnika i dugovječnost samog sustava.

Srša (2015.) analizira stanje zelenila grada Varaždina, sastavlja popis vrsta biljaka koje se koriste na zelenim površinama te spominje ekološke zahtjeve 5 najčešćih vrsta.

Istraživački rad autora Straigytė i suradnika (2009.) temelji se na usporedbi mase i intenziteta razgradnje listinca između autohtonih i invazivnih vrsta na području Litve kako bi se utvrdio utjecaj invazivnih vrsta na razinu i fiksaciju dušika u tlu. Spominje se važnost autohtonih vrsta biljaka u šumskim ekosustavima te ističe rizik od unošenja stranih vrsta koje mogu narušiti ravnotežu ekosustava.

U knjizi „Branimir Prpić - Ekologija Šuma i Šumarstvo“, Tikvić i suradnici (2018.), obrađeno je šumsko drveće, njihova ekologija, funkcije te promjene šumskih sastojina zbog antropogenih zahvata.



Tubby i Webber (2010.) navode kako zbog utjecaja klimatskih promjena bolesti i štetnici postaju veća prijetnja urbanim stablima te predviđaju da će taj trend napredovati tijekom vremena.

Varga (2016.) napominje važnost vode za život biljaka u urbanim sredinama te razmatra mogućnost uspostave sustava navodnjavanja uz pomoć „katastra zelenila“ na primjeru grada Zagreba.

Vujić (2020.) obrađuje tematiku korištenja GIS tehnologije za potrebe navodnjavanja u poljoprivredi, razrađuje projektiranje navodnjavanja i raspoložive metode, te stavlja naglasak na dobro poznavanje svih parametara na poljoprivrednoj površini prije uspostave sustava za navodnjavanje kako bi se osigurao pravilan i optimalan rad i povoljni rezultati.

Urbana stabala se nalaze na površinama koje ne odgovaraju njihovim ekološkim zahtjevima te su uvjeti na njima često nepovoljni. Whitlow i Bassuk (1987.) baziraju se na hidrološkim uvjetima zelenih površina u gradovima te navode da još nedostaje dovoljno informacija o toj temi kako bi se determiniralo koliko su zapravo štetne prilike u urbanim sredinama za rast, razvoj i život biljaka.

Istraživački rad autora Whitlow, Bassuk i Reichert (1992.) određuje postojanje deficita vode kod urbanih stabala, no u manjoj učestalosti nego što se očekivalo. Rezultati pokazuju kako se nedostatak vode javljao kada je potražnja bila veća, a ne zbog nedostatka vode.

Yang i Wang (2015.) analiziraju ekološki utjecaj urbanog navodnjavanja na korištenje energije unutar grada Phoenixa u SAD-u za potrebe hlađenja. Zaključuju da navodnjavanje dovodi do veće vlažnosti tla i povećane transpiracije i evaporacije čime se stvara efekt hlađenja te se smanjuje potreba korištenja energije za hlađenje.

## 2. OBRADA TEME

### 2.1. Ekološki uvjeti u gradovima

Urbane sredine predstavljaju umjetna, antropogena područja u kojima vladaju posebni uvjeti za život koji se razlikuju od uvjeta koji su nekada prevladavali na istom području prije izgradnje gradske infrastrukture. Urbana naselja danas zauzimaju oko 3% površine u svijetu i u njima se odvija 76% proizvodnje, iskorištava oko 60% ukupne potrošnje vode, te stvara 78% ukupne emisije ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>te su ona izvori velikih onečišćenja (Barthel i Colding, 2012; prema Jarić, 2018).

Promet, industrija, grijanje u zgradama i izgaranje čvrstog otpada dovode do velikih količina ispušnih plinova, a time i velike razine zračnog onečišćenja. Promet, gradilišta i druge ljudske aktivnosti stvaraju zvučno onečišćenje, a ulična rasvjeta i električna energija stvaraju svjetlosno onečišćenje.

Tlo u gradovima je znatno promijenjeno pod antropogenim utjecajima i pritiscima. Među njima se ističu fizičke značajke, posebno zbijanje urbanog tla najčešće zbog utjecaja prometa i izgradnje sive infrastrukture. Zbijanje tla rezultira promjenom njegove strukture te ono ima smanjenu mogućnost upijanja vode, odnosno infiltracija vode je usporena ili zaustavljena. Time se smanjuje količina vode u rizosferi, produžuje zadržavanje vode na površini tla te povećava pojava površinskog otjecanja vode. Zbijeno tlo je također manje aerirano, odnosno smanjen je sadržaj kisika u tlu, a količina ugljikovog dioksida je veća zbog djelovanja korijena biljaka.

U prirodi kruženje vode ima određenu dinamiku, dok je u gradovima ta dinamika narušena. Urbane sredine imaju manju razinu transpiracije, manje vlage u zraku i manje količine oborina, a koriste iznimno velike količine vode za potrebe stanovništva i održavanje infrastrukture. Stanovnici, industrija, infrastruktura, ali i popratna agrikultura koriste veću količinu vode od vode koje je na raspolaganju u gradovima pa se javlja potreba za vodovodnim sustavom, odnosno osiguranjem dovoljne i kvalitetne količine vode za korištenje te učinkovitog odvodnog sustava. Otpadna voda, koja nastaje korištenjem vode u urbanim sredinama u različite svrhe, se ispušta u vodotoke i mora te može izazvati onečišćenje okoliša ukoliko se ne pročisti. Otpadne vode zbog korištenja u industriji i agrokulturi mogu biti i zagađene te se u njima mogu nalaziti štetne tvari, herbicidi, insekticidi i drugi otrovi. Zakonski okvir regulira količinu dopuštenog onečišćenja i obvezu pročišćavanja vode, međutim određena količina onečišćene vode dolazi do i ima nepovoljan utjecaj na ekosustave. Osim problematike količine i kvalitete vode koja se koristi i ispušta u urbanim sredinama, infrastruktura u gradovima često sprječava pristup vode zelenim površinama, a tako i živim organizmima koji prevladavaju na tim područjima. Asfaltirane i betonirane površine sprječavaju mogućnost infiltracije vode do različitih slojeva tla, a zbog većih

temperatura zraka dolazi do bržeg isparavanja vode, odnosno manje vlažnosti zraka i tla. Biljkama, životinjama, gljivama i mikroorganizmima koje žive u tim uvjetima je otežan pristup kvalitetnoj vodi u dovoljnim količinama što dovodi do raznih fizioloških problema i poremećaja u funkcioniranju organizama, njihovih staništa i ekosustava.

### 2.1.1. Utjecaj urbanih ekoloških uvjeta na urbano drvenasto zelenilo

Ekološki uvjeti u gradovima često imaju specifična obilježja koja ograničuju rast i razvoj biljaka, a nerijetko dovode i do fizioloških promjena u njihovom životnom ciklusu. Nepovoljni uvjeti dovode do obolijevanja, oštećenosti i odumiranja gradskog zelenila koje je posljednjih godina sve češće zastupljeno. U sjeveroistočnom dijelu Sjedinjenih Američkih Država urbano drveće prosječno doživi tek 10 godina života, a tijekom prve godine nakon sadnje odumre 50% stabala (Foster i Blaine, 1977, prema: Whitlow et al., 1992).

Klimatske promjene su nepredvidivi čimbenici o kojima ovisi razvoj urbanog drvenastog zelenila. Urbane sredine imaju posebnu mikroklimu i predstavljaju posebne ekosustave koji se razlikuju od prirodnih ekosustava, te se u gradovima posljedice klimatskih promjena i globalnog zatopljenja osjete puno intenzivnije i puno prije nego izvan urbanih područja. Odstupanju od prirodnosti urbanih ekosustava drvenastog zelenila često doprinosi korištenje alohtonih vrsta drveća. Alohtone vrste se lakše i bolje prilagođavaju prostorima u koje su unesene, odnosno razvijaju se brže od autohtonih vrsta pa postoji opasnost od njihovog širenja na površine gdje su nepoželjne, a i rizik za invazivnost.

Promjena klimatskih uvjeta, nepovoljne stanišne prilike i mnogi izvori stresa dovode do već spomenutih fizioloških promjena u biljkama. Takve promjene dovode do drugačijih i nepredvidljivih reakcija na negativne utjecaje i stresove, posebno na patogene i insekte koji oslabe njihovu već narušenu vitalnost. Očekuje se da će štete od autohtonih bolesti i štetnika također biti veće, odnosno da će oslabljena stabala biti podobnija već poznatim štetnicima koji će u novonastalim uvjetima imati bolje mogućnosti za život i razmnožavanje, te time dalje prouzrokovati još veće štete (Tubby i Webber, 2010). Osim autohtonih štetnika, očekuje se da će klimatske promjene omogućiti pogodno stanište i uvjete koje odgovaraju alohtonim štetnicima, čije se posljedice neće moći predvidjeti niti spriječiti.

Takvi specifični parametri sprječavaju detaljnu analizu utjecaja ekoloških prilika i klimatskih promjena urbanih sredina na urbano zelenilo, čime se riskiraju dugoročne štete i odumiranje biljaka. Dobro poznavanje uvjeta, poznavanje potreba svake pojedine vrste urbanog zelenila te njihove reakcije na stres te prijevremena intervencija određenim uzgojnim zahtjevima mogu spriječiti štete koje prijete zbog nepovoljnih uvjeta u gradovima, a time se istovremeno osigurava potpuni raspon vrijednosti urbanog zelenila.

### 2.1.2. Potrebe za vodom urbanog drvenastog zelenila

Na prirodnim staništima voda se pojavljuje u različitim oblicima. Drvenasto zelenilo ima mogućnost koristiti vodu iz različitih izvora, poput potoka, poplavne vode, vode u šumskom tlu, podzemne vode, oborina, vlagu zraka te površinsku slijevnu vodu. Voda u gradovima je ne samo limitirana, već i lošije kvalitete jer se u njoj nalaze brojna onečišćenja zbog prometa, industrije i drugih izvora onečišćenja.

Voda se smatra najvažnijim čimbenikom koji ograničava rast biljaka. U urbanim sredinama Britanskih gradova nedostatak hranjiva i vode odgovorno je za 56% odumiranja stabala, dok je vandalizam, koji prema broju uzroka spada na drugo mjesto, odgovoran za 18% (Gilbertson i Bradshaw, 1985., prema: Whitlow et al., 1992). Manjak vode u prirodi je, dakako, normalan. Oscilacije u količini dostupne vode i potreba za njom se mijenjaju tijekom godine, ali i tijekom jednog dana. Tijekom podneva je potreba za vodom najveća, kada je količina transpiracije zbog većih temperatura zraka najveća, a smanjuje se pri kraju dana i tijekom večeri. Biljke su sposobne preživjeti nedostatak vode često bez većih posljedica, no problem se javlja kada dolazi do duljih oskudica vode, posebno tijekom ljetnih suša kada su temperature zraka izrazito velike.

U urbanim sredinama se koriste sadnice koje najčešće dolaze iz rasadnika specijaliziranih za proizvodnju sadnog materijala za pošumljavanje i za posebne gradske uvjete. Sadnice koje se koriste za pošumljavanje često se naručuju puno mlađe i u velikom broju, naspram onih koje se uzgajaju za gradske površine. Sadnice koje se koriste za potrebe hortikulture u urbanim područjima se moraju školovati puno duže, do 10 godina, kako bi imale priliku očvrnuti i kako bi mogla lakše preživjeti šok presadnje (Srša, 2015). Takav dugoročan uzgoj i briga su komplicirani te rijetko dostupni u gradovima. U Hrvatskoj ne postoji dovoljno veliki rasadnik koji bi mogao pokriti svu potražnju za školovanim sadnim materijalom za gradske uvjete. To je razlog zašto je, između ostalog, većina urbanog drvenastog zelenila u Hrvatskoj alohtona.

Svaka pojedina vrsta stabala ima određene potrebe za vodom. Definiranje tih potreba je opsežan posao, posebno zbog činjenice da se u urbanim sredinama koristi preko 250 vrsta drveća. Neke od čestih vrsta koje se sade u gradovima su obična breza (*Betula pendula* Roth), koja je osjetljiva na sušu i vrućine samo u prvim godinama svoga života, obična tisa (*Taxus baccata* L.), koja preferira vlažna i sjenovita staništa, malolisna lipa (*Tilia cordata* Mill.), koja preferira brdska područja do 1200 metara nadmorske visine, i obična smreka (*Picea abies* (L.) Karst.) koja se prirodno pojavljuje na područjima s velikim količinama oborina te je vrlo osjetljiva na ljetne suše. Poznavanje ekoloških zahtjeva i bioloških svojstva šumskog drveća preduvjet je za pravilno gospodarenje šumama, stoga se isto može zaključiti za gospodarenje, odnosno njegu urbanog drvenastog zelenila (Tikvić i sur., 2018). Četiri nabrojane vrste drveća se značajno razlikuju u ekološkim potrebama, a između ostalog i u zahtjevima za vodu te prema osjetljivost na sušu.

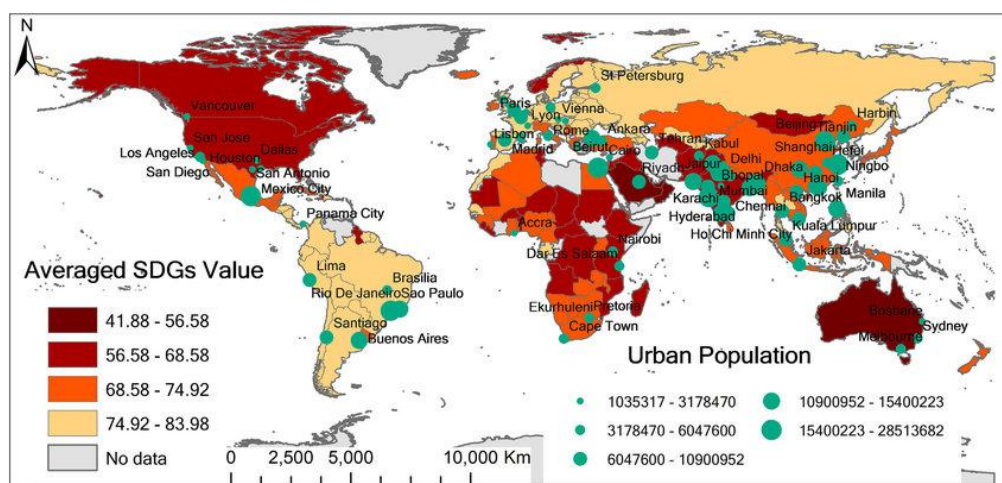
U gradovima se na malim razdaljinama značajno mijenjaju uvjeti života, a urbano zelenilo ima različitu mogućnost primanja i iskorištavanja vode. Uvjeti u parkovima i urbanim šumama su puno povoljniji za drvenasto zelenilo nego oni uz prometnice ili u blizini industrijskih četvrti. Vrlo je teško procijeniti točnu količinu vode potrebnu biljkama za život. Istraživanja o nedostupnosti vode urbanom drvenastom zelenilu su ograničena, odnosno istraživanja su većinom provedena na samo jednoj vrsti, trajala su nekoliko dana i odvijala se na lokacijama poput parkirališta ili sveučilišnim kampusima koji ne obuhvaćaju vjerodostojan prikaz životnih uvjeta u gradovima. Nedostaju podaci koliko vode dolazi do biljaka kroz popločene, betonirane ili asfaltirane površine, kao i informacije koliko biljke mogu iskoristiti oborinske vode koja otječe u dublje slojeve tla (Whitlow i Bassuk, 1987). Doduše, u navedenom istraživanju su se pratile reakcije na mlađim, a time i manjim urbanim stablima čiji korijenski sustav nije još u potpunosti razvijen. Veće negativne posljedice nedostatka vode javljaju se kod odraslih stabla na popločenim, odnosno asfaltiranim površinama. Naime, stabla koja dosegnu svoje maksimalne dimenzije mogu tijekom vrućih ljetnih dana transpirirati do 380 litara vode (Akbari et al., 1990). Tijekom suše većini mlađih i manjih stabala i ostalog drvenastog zelenila nisu zadovoljene potrebe za vodom te dolazi do rizika od dugoročnih posljedica, a količine vode koje zahtijevaju odrasla stabala nisu ni približno dovoljne niti u područjima s kvalitetnijim stanišnim prilikama. Navodnjavanje je zato presudno rješenje za održavanje zdravlja, vitalnosti i života urbanog drvenastog zelenila.

## 2.2. Navodnjavanje

Navodnjavanje je zahvat kojim se tlu dodaje količina vode potrebna za optimalan rast i razvoj biljaka, odnosno ona količina vode koja joj nedostaje iz prirodnih izvora poput oborinske vode (Devčić, 2018). Generalno se navodnjavanje ne koristi u urbanim sredinama, nego ono prevladava u agrokulturi gdje je primarna zadaća biljaka proizvodnja hrane. U Hrvatskoj ono nije razvijeno u velikoj mjeri iako Hrvatska raspolaže sa kvalitetnom vodom u količinama koje bi zadovoljile 30% potreba za navodnjavanjem poljoprivrednih površina, samo se 0,46% površina, odnosno nešto manje od 10.000 hektara navodnjava (Vujić, 2020). Navodnjavanje u gradovima je još više zapostavljeno i koristi se kao zahvat pri brizi za travnjake ili cvjetne gredice, dok je urbano drvenasto zelenilo uglavnom zanemareno po tom pitanju.

Jedan od problema je kako utvrditi koliko je vode potrebno većim biljkama. U agrokulturi navodnjavanje mora zadovoljiti neto evapotranspiracijsku potrebu usjeva, odnosno količinu vode koje usjev evapotranspirira od kojeg je oduzeta vrijednost efektivne oborine. U taj se izračun uzimaju različiti drugi parametri, poput tipa tla, načina navodnjavanja, duljina polja, vrste koja se uzgaja i mnogi drugi (Bajić, 2015). Izračun količine vode potrebne urbanom drvenastom zelenilu je kompliciraniji jer su uvjeti i dostupnost vode varijabilni i teško mjerljivi.

Još jedan veliki problem je nemjerljivost uspješnosti utjecaja navodnjavanja. Među spomenutim metoda determinacije navodi se izračun omjera količine vode koja se pohranjuje u zoni korijena te na kraju evapotranspirira, no generalno ne postoji standardizirani način kojime se može točno izračunati je li dodana količina vode bila dovoljna da zadovolji potrebe biljke (Devčić, 2018).



Slika 4. Grafički prikaz pojave suša u svijetu sa označenim lokacijama 100 najvećih gradova od kojih su njih 79 već pretrpjeli posljedice suša do 2000. godine. (Izvor: Zhang, X., Chen, N., Sheng, H., Ip, C., Yang, L., Chen, Y., Sang, Z., Tadesse, T., Lim, T.P.Y., Rajabifard, A. i Bueti, C., 2019: Urban drought challenge to 2030 sustainable development goals. *Science of the Total Environment*, 693)

Iako u gradovima postoje brojni problemi pri izradi učinkovitog sustava navodnjavanja, uz dobro poznavanje obilježja tla, biljnih kultura, metoda i sustava navodnjavanja, uvjeta na lokacijama, načinima odvodnje viška vode, te uz suradnju stručnjaka iz različitih polja znanosti može se izraditi plan za navodnjavanje urbanog drvenastog zelenila. Štoviše, gradski uvjeti i klimatske promjene te općenito oskudnost vode u urbanim sredinama već stvaraju potrebu za njegovom implementacijom pa će izrada projekta za navodnjavanje drvenaste vegetacije u gradovima uskoro biti neophodna (slika 4). Važno je znati od kuda će se crpiti voda, kako će se promijeniti vodni režim na području zbog utjecaja navodnjavanja, koliko vode će se koristiti (u pojedinom terminu navodnjavanja ili u godini), kako će se spriječiti i odvoditi slučajni suvišak vode te kako će se voda pročišćavati ukoliko je to potrebno. Zatim je bitno odrediti metodu, odnosno strukturu sustava navodnjavanja, količinu i obilježja vode za zadovoljavanje potreba biljaka te vremensko razdoblje i intervale navodnjavanja koji će najviše odgovarati urbanom drvenastom zelenilu.

### 2.2.1. Metode navodnjavanja

Postoje brojne vrste i načini navodnjavanja, a njihova učinkovitost se temelji na raznim čimbenicima. Neki od njih su jednolična raspodjela vode, optimalno korištenje struje i vode, ušteda vremena i radne snage, konstantna i idealna njega biljaka, te izdržljivost sustava, posebno tijekom vrućih i sušnih ljeta. Nijedna metoda nije univerzalna, niti optimalna, te se mora prilagoditi uvjetima na lokaciji koju navodnjavamo, potrebama biljaka i mogućnostima realizacije projekta.

Površinsko navodnjavanje se često koristi u agrokulturi. Od svih metoda navodnjavanja u poljoprivredi, površinsko navodnjavanje čini čak 60% sustava (Josipović et al., 2013). Voda se dovodi do lokaliteta putem sile gravitacije ili tlaka. Voda zatim stagnira u tankom sloju na površini tla (slika 5). U tu kategoriju spada navodnjavanje prelijevanjem, koje se koristi za višegodišnje kulture i zahtjeva preciznu pripremu zemljišta jer se voda prelijeva preko obradive površine pod kutom i navodnjavanje potapanjem, kojim se voda ulijeva u kazete, potapa površinu te se zatim upija u tlo, a koristi se za uzgoj riže.



Slika 5. Primjer površinskog navodnjavanja. (Izvor: ERCH2014. Što je navodnjavanje? Vrste navodnjavanja. <https://hr.ersch2014.com/obrazovanje/84899-cto-takoe-oroshenie-vidy-orosheniy.html> (Pristupljeno: 10.9.2021.)

Podzemno navodnjavanje koristi otvorene kanale ili podzemne cijevi koje mogu dolaziti samostalno ili se koristiti u kombinaciji. Voda koja prolazi kroz sustav navodnjavanja se putem infiltracije i kapilarnih sila širi u tlu te dolazi u kontakt sa korijenjem biljaka. Ovakav sustav se može koristiti samo unutar rizosfernog sloja tla, odnosno neposredno u zoni korijena. Taj sustav ima brojne prednosti, poput sprječavanja stvaranja pokorice, nema narušavanja strukture tla, a površina tla se ne natapa sa vodom pa je, između ostalog slobodna i suha, a time nema zapreka za kretanje. Isti kanali koji se koriste za dovod vode tijekom razdoblja nedostatke vode mogu se koristiti za odvodnju vode tijekom toplih mjeseci. Podzemno navodnjavanje je korisno za potrebe poljoprivrede, ali i u urbanim sredinama može biti vrlo primjenjivo. Podzemno navodnjavanje je pod većim rizicima od oštećenja zbog većeg i čvršćeg korijenskog sustava urbanog drvenastog zelenila, a postojeća gradska infrastruktura stvara komplikacije pri projektiranju takvog sustava.

Navodnjavanje kišenjem simulira kišu i ta je metoda vrlo bliska prirodnom kruženju vode (slika 6). Voda se pumpa pod tlakom do 7 bara, dovodi do površine koja se navodnjava te se zatim raspršuje. Ta je metoda primjenjiva na različitim terenima koji se prethodno ne trebaju posebno pripremati, a voda se koristi dozirano i učinkovito prema planiranim normama i količinama unesenima u sustav. Na tržištu postoje različiti modeli, od nepokretnog sustava gdje su rasprskivači fiksirani pogodni za višegodišnje i visoko-akumulativne kulture poput voćnjaka i vinograda, do samohodnih automatiziranih uređaja za linijsko ili kružno navodnjavanje koji su pogodni za velike proizvodne površine i kreću se pravolinijski uz površinu. Uz brojne pogodnosti, kod tih se sustava navodnjavanja javljaju nedostaci poput velike cijene, skupih pogonskih troškova, tijekom vjetra raspodjela vode je neravnomjerna, dolazi do većih gubitaka vode putem isparavanja i veći je rizik od pojave biljnih bolesti.





Slika 6. Primjer navodnjavanja kišenjem travnatih površina urbanih sredina. (Izvor: 5280. Denver's Urban Waterways Are Flowing With Tap Water From Your Sprinkler. <https://www.5280.com/2021/09/denvers-urban-waterways-are-flowing-with-tap-water-from-your-sprinkler/> (Pristupljeno: 10.9.2021.)

Lokalizirano navodnjavanje koristi manji tlak i vlaži samo jedan dio ukupne površine, odnosno glavnu masu korijena (slika 7). Pošto je dovod vode do svake biljke precizan, time je i štedljiv, to jest ne gubi se određena količina voda na prostor koji nije potrebno ili se ne treba navodnjavati. Primjenjiv je na svim tlima i topografskim prilikama, za različite oblike i dimenzije parcela te je pogodan za sve biljne kulture. Lokalizirano navodnjavanje koristi sistem „kap na kap“, a on se zbog velike preciznosti bazira na elektroničkim elementima čime je posljedično i jednostavniji za upotrebu. Nažalost, neki od njegovih nedostataka su cijena opreme i izgradnje, kapaljke se često znaju začepiti i zahtijevaju česte zamjene, moguća su oštećenja od strane glodavaca i divljih životinja, potreban je kontinuirani nadzor kako bi se osigurao pravilan rad te se njime navodnjavaju uglavnom visokodohodovne kulture.



Slika 7. Lokalizirano navodnjavanje u voćnjaku (Izvor: Josipović et al., 2013)

Među ostalim sustavima navodnjavanja vrijedno je još napomenuti autonomni fotonaponski sustav koji koristi solarne ćelije za proizvodnju elektromotorne sile. Autonomni fotonaponski sustav je prenosiv, dugotrajan i učinkovit te se može koristiti u razne svrhe, no potreban mu je izvor vode i pumpa za vodu. Pošto ovisi o razini Sunčane energije za pogon, najveći protok vode će biti tijekom toplih, ljetnih, sunčanih mjeseci, posebno tijekom lipnja i srpnja. U sustav su također uključene baterije koje prikupljaju određenu količinu električne energije koja se zatim može koristiti tijekom razdoblja kada je razina Sunčevog zračenja manja, odnosno tijekom loših vremenskih uvjeta i tijekom noći. Također valja istaknuti navodnjavanje mini rasprskivačima koje je slično sustavu kapanja, odnosno lokaliziranom navodnjavanju. Voda dolazi do biljaka u obliku sitnih kapljica putem rasprskivača. Koristi tlak do 3,5 bara te mu je domet 5 metara, jednostavne je građe pa se tako i jednostavno postavlja i demontira.

Odabir odgovarajućeg načina navodnjavanja za potrebe urbanog drvenastog zelenila ovisi o raznim detaljima. Financijska mogućnost, prostor, dostupnost tehnologije, radna snaga, ekološki uvjeti, lokacija i vrsta biljaka su samo neki od njih. Važno je također napomenuti kako su navedene metode navodnjavanja razvijene u agronomske svrhe te se one rijetko koriste u urbanim sredinama. Sudeći po načinu rada i po strukturi, optimalan izbor bi bilo navodnjavanje kišenjem, lokalizirano navodnjavanje ili navodnjavanje mini rasprskivačima, ali bi ih trebalo adekvatno prilagoditi gradskoj infrastrukturi i zelenim površinama. Postoji mogućnost korištenja podzemnog navodnjavanja u urbanim sredinama, ali je raspon mogućih problema pri korištenju u kombinaciji sa drvenastim zelenilom potrebno više proučiti i pomnije analizirati, a potom i tehnički prilagoditi.

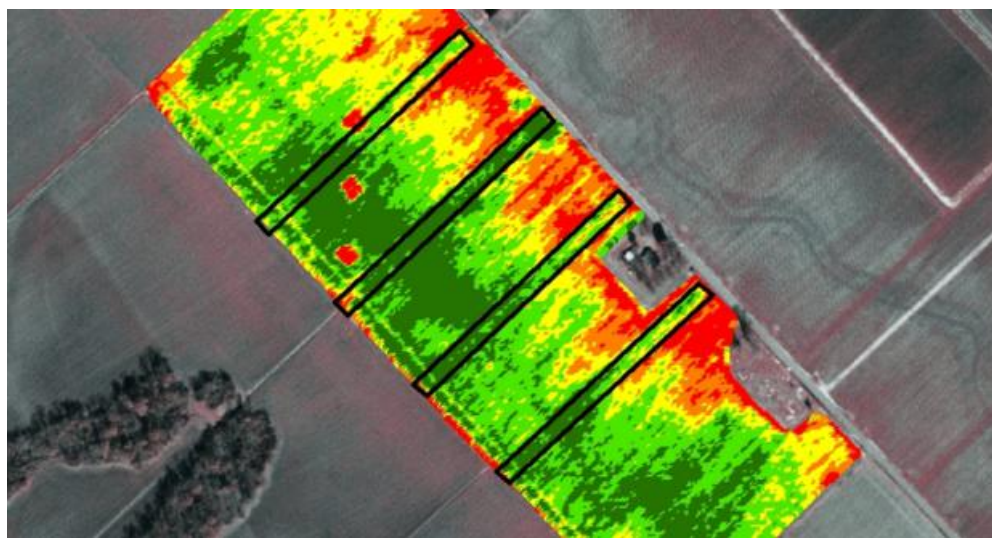
Gradske sredine su prostori u kojima zajednički žive mnogi organizmi, a navodnjavanje je sustav koji zauzima mjesto i koji ima određene zahtjeve pri korištenju. Sustav navodnjavanja mora zadovoljiti potrebe biljaka, ali pritom ne smije narušiti život u urbanom prostoru.

### 2.2.2. Voda za navodnjavanje

Količina vode potrebna za navodnjavanje ovisi o potrebama pojedine vrste i o uvjetima na području u gradu gdje se urbano drvenasto zelenilo nalazi.

Klima, tlo i vegetacija imaju veliku ulogu pri izračunu potrebne količine vode. Potrebni su podaci o temperaturi zraka, relativnoj vlažnosti tla, brzini vjetera, insolaciji i mnogim drugim parametrima koji utječu na količinu dostupne vode, mogućnosti iskorištavanja i njezinom gubitku. Moderna GIS tehnologija se tu pokazuje veoma korisnom. Johnson i Belitz (2012.) u svojem istraživanju koriste infracrvene snimke kojima se dolazi do podataka o količini zelene površine pod nazivom „Normalized Difference Vegetation Index“ ili NDVI. Njime se utvrđuje koliko vode se koristi za navodnjavanje unutar odabranih kućanstva te se sastavlja tematska karta

kojom se prikazuju podaci o količini korištene vode za navodnjavanje. Zračnim snimkama moguće je prikupiti informacije na daljinu kojima je puno lakše vizualizirati široku sliku područja te su izvrstan alat za pripomoć u postavljanju i korištenju sustava navodnjavanja (slika 8), a potencijal za korištenje u urbanim sredinama za potrebe određivanja stanja drvenastog zelenila im je velik, posebno jer bi se njime također mogle odrediti kritične lokacije, odnosno područja gdje su hidrološki uvjeti najnepovoljniji i gdje je prijeko potrebno poduzeti odgovarajuće zahvate njege.



Slika 8. Satelitska snimka navodnjavanje poljoprivredne površine. (Izvor: Precision Agriculture: NDVI and satellite crop monitoring <https://precisionagriculture.re/ndvi-and-satellite-crop-monitoring/> (Pristupljeno: 19.9.2021.)

Zračne snimke također mogu dati uvid u strukturu tla, no u urbanim sredinama zbog pokrivenosti asfaltom ne mogu biti jednako uspješne kao u ruralnim sredinama ili na prirodnim površinama. Analiza tla se stoga može napraviti upotrebljavajući različite druge uređaje, poput elektromagnetskog senzora za mjerenje prividne električne vodljivosti koji prikazuje svojstva tla poput vlage, teksture, koncentracije elektrolita i druge slične elemente, a između ostalog se može prikupiti uzorak tla i napraviti specijalizirana laboratorijska analiza. Količina vode za navodnjavanje izravno ovisi o obilježjima tla poput sposobnosti zadržavanja vode, infiltracije vode i slično. Količina dodane vode ne bi smio biti manji od lentokapilarne vlažnosti tla koja je jedna od tri osnovne vodne konstante zemljišta zajedno sa poljskim vodnim kapacitetom i vlažnost venjenja biljaka. Poljski vodni kapacitet (PVK) se odnosi na sadržaj vode koji se zadržava u tlu između 24 i 48 sati poslije obilnih kiša ili navodnjavanja. Lentokapilarna vlažnost tla je količina vode pri kojoj dolazi do otežane opskrbe biljaka vodom zbog usporenog toka vode u kapilarama. Vlažnost venjenja biljaka opisuje količinu vode pri kojoj korijen počinje venuti. Ukoliko je vlažnost tla bliska PVK vrijednosti, biljka će nesmetano moći koristiti vodu, no čim se približava lentokapilarnoj vrijednosti koja iznosi oko 60-70% PVK, voda postaje

nepristupačnija, a razina vrijednosti venjenja biljaka je donja granica optimalne vlažnosti (Huđek, 2014).

Formula za izračun navodnjavanja nije standardizirana te izvori navode više različitih načina izračuna iznosa vode, a većina se temelji na količini evapotranspiracije, to jest koliko se vode ukupno transpirira putem biljaka i isparuje sa neke površine. Uz zadovoljavanje potreba biljaka, u navodnjavanje treba uzeti u obzir i dio vode koji se gubi isparavanjem, površinskim otjecanjem i filtracijom. Tri glavne vrste gubitka vode su evaporacija, odnosno gubitak vode sa lisne površine, iz spremnika sa vodom ili ostalih površina na koje voda dođe, perlokacija, koja se odvija tijekom dovoda do vegetacije, na samoj lokaciji koju navodnjavamo i kroz tlo, te višak vode, poput površinskog otjecanja nastalo zbog krivog odabira vremena navodnjavanja (Devčić, 2018). Te parametre treba uzeti u obzir pri sastavljanju rasporeda navodnjavanja i određivanju količine vode za navodnjavanje. U suprotnom može doći do neželjenih rezultata kod biljaka i finansijskih gubitaka.

Osim osiguravanja količine vode, voda koja se koristi za navodnjavanje treba biti i određene kvalitete. Faktori poput količine soli, pH vrijednosti, anioni i kationi, otopljene čestice, ali i boja, miris i okus su bitni za održavanje zdravlja biljaka. Prekomjerni udio soli u vodi smanjuje mogućnost njezina korištenja jer biljke mogu transpirirati samo vodu s određenom količinom soli. Neuravnoteženost u omjeru iona natrija, kalcija i magnezija dovodi do narušavanja strukture tla poput zatvaranja pora ili pucanja površine. Izmjena strukture tla može dovesti do nemogućnosti infiltracije vode i nakupljanjem prevelike količine vode na površini tla. Normalan pH se smatra između vrijednosti 6,5 do 8,4. Velika pH vrijednost često se pojavljuje zbog bikarbonata i karbonata, a oni osim negativnih posljedica na biljke, mogu začepiti dijelove sustava navodnjavanja (Bauder et al., 2011). Temperatura vode je također važno svojstvo jer razlika između topline biljke i topline vode ne smije biti veća od 10°C, dok je optimalna temperatura vode 25°C (Šimunić, 2005., prema: Varga, 2016).

### 2.2.3. Raspored navodnjavanja

Vrijeme navodnjavanja, odnosno raspored navodnjavanja je važan dio učinkovitog sustava navodnjavanja kako bi se smanjio gubitak vode i izbjeglo pretjerano zalijevanje te osigurali zadovoljavajući rezultati. Tome prethodi poznavanje vremena kada je navodnjavanje potrebno započeti, količine vode po pojedinom navodnjavanju, vrijeme potrebno da tlo apsorbira određenu količinu vode, prilagoditi navodnjavanje da zadovolji razinu evapotranspiracije i gubitak vode otjecanjem, predvidjeti eroziju i otjecanje vode s površine te procijeniti ujednačenost primjene vode (Bajić, 2015).

Količina vode za navodnjavanje se temelji na dubini vlaženja, to jest dubini rizosfere, vodnom kapacitetu tla i stanju vlažnosti u trenutku navodnjavanja, a izražava se u mm ili m<sup>3</sup>/ha. Trajanje

navodnjavanja ovisi o volumenu vode koji se koristi i intenzitetu navodnjavanja te se izražava u mm/h te se održava u turnusima koji se izražavaju u satima ili danima.

Navodnjavanje se generalno odvija ujutro, navečer ili tijekom noći kada su temperature zraka manje. Sa druge strane, navodnjavanje dovodi do smanjene temperature zraka, a takav efekt je vrlo povoljan za stanovnike gradova tijekom velikih dnevnih temperatura zraka čime se smanjuje i količina energije za hlađenje domaćinstva. Temperature zraka iznad površina koje su 100% navodnjavane mogu biti do 5°C niže nego iznad površina koje se ne navodnjavaju (Lobell i Bonfils, 2008., prema: Yang i Wang, 2015). Navodnjavanje je, u prvu ruku, pripomoć urbanom zelenilu, te bi se trebalo više pažnje obraditi na stvaranje rasporeda koji najviše odgovara biljkama i koji se temelji na poboljšanju njihovih životnih uvjeta. Tijekom dana biljke se nose sa najviše stresa zbog većih temperatura zraka, velike razine Sunčevog zračenja i male vlažnosti zraka. Navodnjavanje po danu stoga ne bi bilo optimalno jer su biljke već pod velikim pritiskom. Osim toga, sredinu dana karakteriziraju jači vjetrovi i veće temperature zraka koje utječu na efektivnost sustava za navodnjavanje. Metoda kišenjem bi tijekom dana imala puno manju djelotvornost. Iako se i noći događa gubitak vode, on najčešće iznosi tek do 15% od ukupnog volumena korištene vode, dok tijekom dana on iznosi između 20 do 30%, odnosno može biti i dvostruko veći (Huđek, 2014). Najpovoljnije vrijeme za navodnjavanje je prije 5 sati ujutro jer tada biljke mogu učinkovito iskoristiti vodu, a voda se neće predugo zadržavati u rizosferi i na površini tla zbog isparavanja tijekom dana čime se smanjuje rizik od negativnog utjecaja na stabala poput pojave bolesti.

Urbano drvenasto zelenilo zahtijeva navodnjavanje tijekom vremena nedostatka vode, a razdoblje kada je sustav potrebno koristiti je relativno kratko (Whitlow i Bassuk, 1987). Općenito je potrebno navodnjavati odrasla stabala tijekom suše kako bi se pomoglo da se opskrbe s vodom (Drvodelić, 2015). Dakako, pojedine vrste i jedinke trebat će češće ili rjeđe navodnjavati. Neke vrste su dobro prilagođene na sušu, nedostatak vode i nepovoljne uvjete, stoga za njih navodnjavanje u većini slučajeva neće biti ni potrebno, dok druge vrste imaju velike zahtjeve za vodom pa će se navodnjavanje trebati koristiti češće.

#### 2.2.4. Rizici korištenja navodnjavanja

Sustav navodnjavanja i njegovo korištenje može uzrokovati niz problema i predstavljati opasnost za okoliš i zdravlje ljudi. Izravne posljedice koje se mogu gotovo odmah uočiti pri početku korištenja su: povećana evaporacija na navodnjavanim površinama što posljedično utječe na razinu vlage u zraku i na atmosfersko kruženje vode, na iskorištavanje vode iz podzemnih bunara, rijeka, jezera i drugih izvora, te na manju količinu vode u donjim tokovima rijeka (Park i Smith, 1804). Prekomjerno iskorištavanje vode je rizik kod loše uspostavljenih sustava gdje nisu usklađene potrebe površina za navodnjavanje. Na nekim se dijelovima koristi premalo vode, a na drugima se koristi previše. Rezultat je gubitak vode čime se bespotrebno iscrpljuju izvori, a

biljke ne primaju optimalnu količinu vode. U poljoprivredi su posljedice toga manji urod koji je nerijetko lošije kvalitete, dok u urbanim sredinama može doći do lošije vitalnosti zelenila, oštećenja, truljenja ili pak odumiranja.

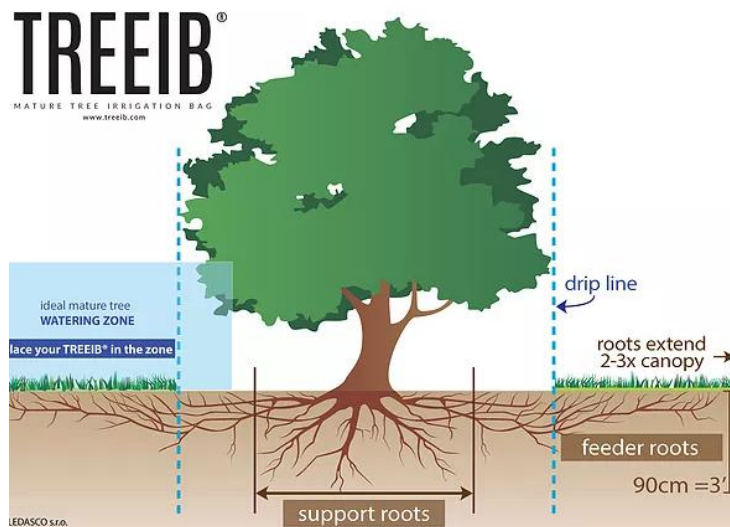
Indirektne posljedice proizlaze iz direktnih te se primjećuju tijekom dužeg vremena lošeg korištenja navodnjavanja. Zadržavanje vode na površini tla zbog korištenja prevelike količine vode pri navodnjavanju, zaslanjivanje tla, onečišćenje i oštećenje ekosustava te loš socioekonomski utjecaj samo su neke od indirektnih negativnih posljedica navodnjavanja. Korištenje hranjiva i drugih kemijskih tvari kao dodatak u navodnjavanju može dovesti do onečišćenja površinske i podzemne vode. Nemoguće je u potpunosti spriječiti onečišćenje vode, no moguće ju je smanjiti do prihvatljivih razina. Ekonomski problemi prouzročeni su uglavnom loše izvedenim jeftinim sustavima navodnjavanja koji uglavnom daju nezadovoljavajuće rezultate. Urbano drvenasto zelenilo ima specifično stanište koje nije uniformno kao polja u poljoprivrednim kulturama gdje na velikoj površini vladaju gotovo jednaki uvjeti. Sustav mora biti precizan i prilagodljiv. Kvaliteta mu je najčešće odraz same cijene. Godišnji trošak se sastoji od fiksnih i operativnih troškova, a problem se javlja kada on premaši planiranu vrijednost. Jeftini sustavi za navodnjavanje mogu dovesti do čestih kvarova što zahtjeva popravke i zamjene dijelova, začepljenja ili puknuća dovodnih cijevi, većih gubitka vode, te nepovoljnih rezultata kod biljaka poput pojave bolesti. Generalno gledano, dobro dizajnirani sustavi navodnjavanja će u početku biti puno skuplji, no dugoročno su isplativiji i traju dulje. Kako bi se zadovoljio cilj projekta navodnjavanja, izvođač mora dobro poznavati ponudu modela na tržištu te želje naručitelja (Smajstrla et al., 1989).

Sigurnost radnika i zdravlje građana igraju veliku ulogu u konstruiranju sustava navodnjavanja, posebno u urbanim sredinama gdje živi veliki broj ljudi koji najčešće imaju nesmetani doticaj sa urbanim drvenastim zelenilom. Sustav mora, prije svega, biti funkcionalan sustav, a dijelovi moraju biti odgovarajućih dimenzija, adekvatno pričvršćeni i poravnati, te zaštićeni za dugotrajni rad. Važno je obratiti pozornost na sve električne sklopove vezane za sustav kako bi se izbjegle nesreće od strujnog udara. Opasni i specijalizirani dijelovi sustava ne bi trebali biti pristupačni od strane javnosti te bi ih smjeli koristiti jedino stručnjaci. Korištenje kemijskih sredstva i hranjiva treba biti oprezno. Tvari koje predstavljaju opasnost za javnost se trebaju izbjevati.

Negativne posljedice navodnjavanja se ne mogu izbjeći, ali se s njima može upravljati. Kako bi navodnjavanje bilo isplativo i uspješno, pozitivne posljedice i povoljni rezultati moraju prevagnuti negativne strane sustava (Park i Smith, 1804). U urbanim sredinama treba jednaku pažnju posvetiti zdravlju ljudi kao i zdravlju biljaka pa se sustav navodnjavanja treba tome prilagoditi.

## 2.3. Optimalan sustav navodnjavanja za urbano drvenasto zelenilo

Urbano drvenasto zelenilo upija vodu kroz sitno korijenje, dok je krupno korijenje zaduženo za preuzimanje težinskih opterećenja i daje stabilnost stablu. Većina fiziološki aktivnog korijena, odnosno onog koji upija vodu iz tla, se nalazi u gornjim 30-45 cm tla te može doseći udaljenost od tri polumjera krošnje (Drvodelić, 2014). Površina koju je potrebno navodnjavati je vanjskih 2/3 zone korijena ili u zoni projekcije krošnje na tlo (slika 9, Drvodelić, 2015). Ukoliko bi se sustav postavljao u blizini debla, stablo ne bi moglo adekvatno iskoristiti dobivenu vodu, a stvorio bi se i rizik od oštećenja samog debla zbog neposredne udaljenosti dijelova sustava. Doduše, u nekim situacijama oblici površinskog navodnjavanja na takvoj udaljenosti se ne mogu realizirati zbog prometa i infrastrukture, stoga bi se trebali razmotriti alternativni modeli i pristupi.



Slika 9. Shematski prikaz korjenjskog sustava odraslog stabala i površine koju je potrebno navodnjavati. (Izvor: TREEIB <https://www.treeib.com/> (Pristupljeno: 19.9.2021.))

### 2.3.1. Uvođenje navodnjavanja

Prilikom presađnje drvenastog zelenila na određenu lokaciju u gradu bira se sadni materijal kojemu odgovaraju ekološke prilike na tom mjestu, no svejedno se moraju koristiti određeni zahvati njege tijekom sadnje te sadnice moraju proći kroz razdoblje prilagođavanja. Školovane sadnice stabala najčešće dolaze iz rasadnika gdje se uzgajaju u povoljnijim uvjetima naspram onih koji su prisutni na prostoru gdje se presađuju. Što se tiče potreba za vodom, odmah nakon presađnje potrebno je zaliti sadnice sa količinom vode koja ovisi o veličini same sadnice kako bi se spriječilo isušivanje korijena i pomoglo primanju sadnica. Navodnjavanje sadnica treba uspostaviti odmah pri presađnji te ga treba održavati do treće godine nakon sadnje (Paulić et al.,

2015). Tijekom vremena, kako stabla postaju samostalnija njihov je rast i razvoj osiguran, te se postupno smanjuju upotreba navodnjavanja ili se eventualno koristi prilikom manjka vode koji bi mogao naštetiti stanju biljke.

Makar se trebaju birati vrste drvenastog zelenila s obzirom na urbane ekološke uvjete, u projektima zelenih površina često se prioritet stavlja na sadnju vrsta koje ostvaruju određeni vizualni doživljaj. Takve vrste ponekad nisu sposobne samostalno rasti i razvijati se jer im ne odgovaraju stanišni uvjeti. U većini slučajeva voda je glavni ograničavajući čimbenik. Vrste drveća kojima je potrebna veća količina vode nego što im to omogućuju urbani ekološki uvjeti će trebati koristiti sustav navodnjavanja tijekom duljeg razdoblja njihovog života i u odrasloj dobi kako bi se osigurao njihov rast i razvoj.

Uspostavljanje navodnjavanja za drvenasto zelenilo odrasle dobi predstavlja izazov sa tehničkog, ali i biološkog pogleda jer su u pitanju njihova struktura i prilagodbe, koje kod mlađih biljaka još nisu uspostavljene (Mohamadzade et al., 2021). Vegetacija se tijekom godina prilagođava na svoje stanište, poput tipa tla, dostupnost prostora i vode, a odraslo drvenasto zelenilo su primjer uspješne prilagodbe na ograničene uvjete života u gradovima. Kako se grad razvija uvjeti u urbanim sredinama se mijenjaju, a posljedice klimatskih promjena postaju sve izraženije te su starija stabala izložena promjenama i novim uvjetima tijekom njihovog života. Zahvatom navodnjavanja odraslih jedinki urbanog drvenastog zelenila omogućuje se količina vode koja im je nekoć bila na raspolaganju, odnosno tijekom većeg dijela života. Biljke će doseći zrelo doba samo ukoliko im uvjeti to omogućuju što znači da su uvjeti tijekom njihove mladosti bili povoljni pa ih je samo potrebno ponovno uspostaviti. Ukoliko količina vode koja je na raspolaganju odraslim gradskim stablima i drugom zreloom drvenastom zelenilu nakon navodnjavanja još uvijek odstupa od količine vode koja im je inače dostupna u prirodnim staništima, potrebno je postupno i oprezno prilagođavanje dodavanja vode kako bi se dostigao taj iznos.

### 2.3.2. Količina vode za navodnjavanje

Izračun količine vode za navodnjavanje urbanog drvenastog zelenila ovisi o mnogim faktorima. Jedan od načina izračuna za stabla je izmjerom prsnog promjera debla, odnosno na visini od 1,30 metara, koji se temelji na određivanju količine potrebne vode za biljku ovisno o njezinoj veličini pa se procjenjuje da je stablu potrebno 30 litara vode za svaki centimetar promjera (Drvodelić, 2015). Taj način određivanja količine vode za navodnjavanje je samo jedna komponenta izračuna potrebne količine vode za navodnjavanja te se osim promjera moraju uzeti u obzir i ostali potrebni parametri, posebno mogućnost infiltracije vode u tlu s obzirom na njegovu strukturu. Također se treba istaknuti kako različite vrste nemaju jednake potrebe za vodom, niti ju jednako iskorištavaju, no tim se pristupom može procijeniti grubi iznos količine vode koji je potreban biljci prilikom nedostatka vode.



Određivanje količine vode za navodnjavanje po vrstama drveća predstavlja veliki izazov. Iako se u urbanim sredinama ukupno koristi veliki broj vrsta drveća, drvenasto zelenilo se sastoji od nekoliko najpopularnijih vrsta. U gradovima se koristi preko 250 vrsta stabala, no u centralnoj i sjeverozapadnoj Europi 5 rodova čini čak 50-70% svih urbanih stabala (Johnston i Hiron, 2014). Vrste drveća tih 5 rodova najčešće dobro uspijevaju u urbanim uvjetima, otporne su na nepovoljne čimbenike, estetski privlačne, dostupne su kao sadni materijal u rasadnicima i cijene su im povoljnije. Izrada rasporeda navodnjavanja te određivanje količine vode koja će se pritom koristiti za određene vrste nije toliko opsežan jer raznolikost zelenila u gradovima nije velika koliko na prvu ruku izgleda. Osim toga neke su vrste otpornije na nedostatak vode te planiranje navodnjavanja za njih često nije niti potrebno.

Dugoročno gledano, treba razmotriti mogućnost grupacije vrsta u skupine ovisno o zahtjevima za vodom što bi uvelike pojednostavilo sastavljanje plana navodnjavanja. Općenito se vrste trebaju saditi na mjesta koja im odgovaraju sa ekološkog gledišta, stoga ovakav pristup nije nemoguć, međutim problem mogu biti specifični zahtjevi naručitelja koji žele ispuniti estetsku viziju prostora, a pritom ne uzimaju u obzir potrebe biljaka.

### 2.3.3. Dodatne mjere

Uz navodnjavanje mogu se koristiti dodatne mjere kojima se pospješuje infiltracija, zadržavanje i iskorištavanje vode te zdravlje biljaka.

Korištenje malča nudi ima nekoliko prednosti kao što je očuvanje vlage i smanjenje temperaturnih kolebanja. Međutim, malč se koristi samo kod tek posađenih stabala. U urbanim sredinama, malč može narušiti željenu estetiku te može predstavljati prepreku na zelenim površinama, no treba ipak razmotriti njegove koristi pogotovo u kombinaciji sa sustavom navodnjavanja.

Hidrogelovi predstavljaju moderno rješenje za skladištenje vode u tlu na dulje vrijeme, a time omogućuju iskorištavanje veće količine oborinske vode, poboljšanje strukture tla, te osiguravaju dulje zadržavanje vlage u zoni korijena. Hidrogelovi su biorazgradivi, ekološki prihvatljivi te traju do 5 godina, a koriste se ubrizgavanjem u tlo ili miješanjem sa supstratom što znači da nisu upadljivi u oko (slika 10). Mogućnost ubrizgavanja u tlo omogućuje im primjenu i nakon sadnje stabala, odnosno mogu se koristiti i za potrebe starijih stabala i drugog drvenastog zelenila. Potrebna je relativno mala količina koja zadovoljava potrebe velikih površina. Za travnjake se na 100 m<sup>2</sup> koristi jedan kilogram hidrogela (Plavšić, 2019). Osim toga, oni imaju povoljne cijene i proizvodi ih veliki broj proizvođača.



Slika 10. Primjer primjene hidrogela u poljoprivredi. (Izvor: Adri Hydrogel, 2019: Use hydrogel in agriculture for better results <https://medium.com/@agrihydrogel1212/use-hydrogel-in-agriculture-for-better-results-487b83dde181> (Pristupljeno: 19.9.2021.)

Neki modeli navodnjavanja obuhvaćaju i primjenu hranjiva u vodi. Tlo u gradskim sredinama može biti osiromašeno hranjivim tvarima pa dodavanje hranjiva u vodu za navodnjavanje može imati pozitivan učinak na stanje stabla. Dodavanje hranjiva je također poželjno ukoliko su stabla oštećena na primjer nakon uklanjanja dijela korijena (Drvodelić, 2015).

Ograničavanje prometa i ljudskih aktivnosti tijekom navodnjavanja omogućuje sigurnu upotrebu i nesmetani rad sustava za navodnjavanje, no ono neće biti potrebno ukoliko su dijelovi sustava neupadljivi, ne ometaju svagdašnji život i koriste se kada je razina upotrebe zelenih površina mala, na primjer rano ujutro.

### 3. ZAKLJUČAK

Urbane sredine su područja ekstremnih ekoloških uvjeta i velike razine onečišćenja zbog ljudskih aktivnosti koji štete gradskom drvenastom zelenilu, sprječavaju kvalitetan rast i razvoj te sve češće dovode do slabljenja vitalnosti, pojave štetnika i odumiranja biljaka. Voda, kao jedan od osnovnih uvjeta za život biljaka, često se javlja u ograničenim količinama zbog urbane infrastrukture. Posljednjih godina, nedostatak vode predstavlja još veći problem zbog globalnog zatopljenja i klimatskih promjena koje uzrokuju češća i intenzivnija sušna razdoblja.

Navodnjavanje urbanog drvenastog zelenila je zahvat zaštite i unaprjeđenja njihovih staništa koji može uvelike doprinijeti smanjenju vodnog stresa kod biljaka, posebno tijekom suše, poboljšati njihovo stanje, te im omogućiti pružanje svih vrijednosti. Navodnjavanje urbanog drvenastog zelenila se rijetko koristilo do sada u urbanim sredinama. Planiranje sustava navodnjavanja otežava činjenica da generalno još ne postoje standardizirani načini pomoću kojih se mogu izračunati količine vode za navodnjavanje. To bi se moglo riješiti izradom opširnog priručnika uz suradnju stručnjaka koji bi se bazirao na samim ekološkim potrebama za vodu svake pojedine vrste, pojednostavio analizu stanišnih uvjeta u gradu, te pružio jasan način izračuna potrebne količine vode za navodnjavanje koju se treba pružiti zelenilu zajedno sa vremenom kada bi ga bilo potrebno implementirati.

Pravilna briga i osiguravanje kvalitetnih uvjeta za život uvelike utječu na rast, razvoj i vitalnost biljaka koji su prijeko potrebni za funkcioniranje ekosustava urbanog drvenastog zelenila, zdravlje ljudi i generalno zadovoljstvo života u gradovima. Povoljne životne prilike, posebno opskrbljenost dovoljnom količinom čiste vode, jamče mogućnost pružanja svih vrijednosti urbanog drvenastog zelenila, a iako navodnjavanje još nije uobičajeno, može biti ključni čimbenik optimalnog razvoja gradskog zelenila.

## 4. LITERATURA

Akbari, H., Rosenfeld, A. H., i Taha, H., 1990: Summer heat islands, urban trees, and white surfaces.

Bajić, M., 2015: Analiza efikasnosti sustava za navodnjavanje. Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet.

Bauder, T. A., Waskom, R. M., Sutherland, P. L., i Davis, J. G., 2011: Irrigation water quality criteria. Colorado State University.

Burden, D., 2006: Urban Street Trees. Michigan. Gov, 2006: str. 21-21.

Devčić, D., 2018: Analiza povećanja učinkovitosti sustava navodnjavanja Poljoprivrednog instituta Osijek u kontekstu korištenja voda. Sveučilište u Zagrebu. Agronomski fakultet.

Drvodelić, D., 2014: Arborikulturni postupci pri konzervaciji starih i posebno vrijednih stabala I dio. Šumarski list, 2014 (138), str. 608-610.

Drvodelić, D., 2015: Arborikulturni postupci pri konzervaciji starih i posebno vrijednih stabala II dio. Šumarski list, 2015 (139), str. 74-77.

Dümpelmann, S., 2020: Urban trees in times of crisis: palliatives, mitigators, and resources. One Earth, 2020 (5), str. 402-404.

Elmqvist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P.J., McDonald, R.I., Parnell, S., Schewenius, M., Sendstad, M., Seto, K.C. i Wilkinson, C., 2013: Urbanization, biodiversity and ecosystem services: challenges and opportunities: a global assessment. Springer Nature. New Haven, Connecticut, USA.

Fam, D., Mosley, E., Lopes, A., Mathieson, L., Morison, J. i Connellan, G., 2008: Irrigation of urban green spaces: A review of the environmental, social and economic benefits. CRC for Irrigation Futures Technical Report, 04/08.

Hudek, J., 2014: MJERENJE SADRŽAJA VODE U TLU TDR UREĐAJEM U NAVODNJAVANJU. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Agronomski fakultet.

Jarić, M., 2018: Uloga zelenih površina u gradu-primjer Zagreba. Sveučilište u Zagrebu. Prirodoslovno-matematički fakultet.

Johnston, M., i Hirons, A., 2014: Urban trees. In Horticulture: Plants for People and Places, Volume 2. 2014: str. 693-711. 10.1007/978-94-017-8581-5.

Johnson, T. D., i Belitz, K., 2012: A remote sensing approach for estimating the location and rate of urban irrigation in semi-arid climates. Journal of hydrology, 414: str. 86-98.

Josipović, M., Kovačević, V., Rastija, D., Tadić, L., Šoštarić, J., Plavšić, H., Tadić, Z. i Dugalić, K., 2013: Priručnik o navodnjavanju. IRRRI projekt, str. 31-35.

Lovre, M., 2020: Urbano značenje zelenila u Gradu Zagrebu. Sveučilište u Zagrebu. Fakultet šumarstva i drvene tehnologije.

Mohamadzade, F., Gheysari, M., i Kiani, M., 2021: Root adaptation of urban trees to a more precise irrigation system: Mature olive as a case study. Urban Forestry & Urban Greening, 60, 127053.

Mori, A.S., Lertzman, K.P. i Gustafsson, L., 2017: Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: a research agenda for applied forest ecology. Journal of Applied Ecology, 54 (1), str.12-27.

Mudrovčić, D., 2019: Sustav za nadzor vlažnosti i navodnjavanje tla. Visoko učilište Algebra.

Nowak, D.J. i Dwyer, J.F., 2007: Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems. In Urban and community forestry in the northeast, Springer, Dordrecht, str. 25-46.

Park, D., i Smith, W. B., 2008: Landscape irrigation management part 5: Irrigation time of day. HGIC, 1804. Clemson University, South Carolina, USA.

Paulić, V., Drvodelić, D., Mikac, S., Gregurović, G., i Oršanić, M., 2015: Arborikulturalna i dendroekološka analiza stanja stabala divljeg kestena (*Aesculus hippocastanum* L.) na području grada Velike Gorice. Šumarski list, 139 (1-2), str. 21-33.

Plavšić, D., 2019: Hidrogel: Sredstvo Kojim Rješavamo Nedostatak Vlage u Zemljištu. [www.agroklub.com/poljoprivredne-vijesti/hidrogel-sredstvo-kojim-rjesavamo-nedostatak-vlage-u-zemljistu/48340/](http://www.agroklub.com/poljoprivredne-vijesti/hidrogel-sredstvo-kojim-rjesavamo-nedostatak-vlage-u-zemljistu/48340/). (Pristupljeno 06.09.2021.)

Roloff, A. ed., 2016: Urban tree management: for the sustainable development of green cities. John Wiley & Sons.

Quesnel, K.J. i Ajami, N.K., 2019: Large landscape urban irrigation: A data-driven approach to evaluate conservation behavior. *Water Resources Research*, 55 (1), str.771-786.

Smajstrla, A. G., Zazueta, F. S., i Haman, D. Z., 1989: Potential impacts of improper irrigation system design. University of Florida Cooperative Extension Service, Florida, USA.

Srša, S., 2015: Važnost i soecifičnost šumskog drveća u drvodredima grada Varaždina. Sveučilište u Zagrebu. Fakultet šumarstva i drvne tehnologije.

Straigyte, L., Žalkauskas, R., Pilkauskas, M. i Sasnauskienė, J., 2009: Diversity and condition of woody plants in Raseiniai green areas. *Rural Development 2009, Proceedings*, 4 (2), str.201-204.

Tikvić, I. i sur. 2018: Branimir Prpić - Ekologija Šuma i Šumarstvo. Denona D.o.o, Zagreb, 96 str.

Tubby, K.V. i Webber, J.F., 2010: Pests and diseases threatening urban trees under a changing climate. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 83 (4), str. 451-459.

Varga, D., 2016: NAVODNJAVANJE ZELENIH POVRŠINA GRADA ZAGREBA I MOGUĆNOST KORIŠTENJA " KATASTRA ZELENILA" ZA TU NAMJENU . Visoko gospodarsko učilište u Križevcima.

Vujić, M., 2020: Mogućnost primjene tehnologije preciznog navodnjavanja u GIS okruženju. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Poljoprivredni fakultet Osijek.

Whitlow, T. H., i Bassuk, N. L., 1987: Trees in difficult sites. *Journal of Arboriculture*, 13 (1): str. 10-17.

Whitlow, T. H., Bassuk, N. L., i Reichert, D. L., 1992: A 3-year study of water relations of urban street trees. *Journal of Applied Ecology*, str. 436-450.

Yang, J., & Wang, Z. H., 2015: Optimizing urban irrigation schemes for the trade-off between energy and water consumption. *Energy and Buildings*, 107, str. 335-344.

## 4.1. Literatura sa interneta

American Forests, 2013: Urban Forest Fact Sheet <https://www.americanforests.org/wp-content/uploads/2013/02/American-Forests-Urban-Forests-fact-sheet-FINAL1.pdf>

(Pristupljeno 19.9.2021.)

Madhav University: Environmental Impact of Irrigation <https://madhavuniversity.edu.in/environmental-impact-of-irrigation.html>

(Pristupljeno: 6.9.2021.)

Mongabay: 10 facts about forests for International Forest Day <https://news.mongabay.com/2016/03/10-facts-about-forests-for-international-forest-day/>

(Pristupljeno: 6.9.2021.)

Park, D. i Smith, W.B., 2008: Landscape irrigation management part 5: Irrigation time of day. <https://hgic.clemson.edu/factsheet/landscape-irrigation-management-part-5-irrigation-time-of-day/> (Pristupljeno: 6.9.2021.)

UN 2018: Department of Economic and Social Affairs. <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html> (Pristupljeno: 6.9.2021.)

Zauzeta, F. S., i Haman, D. Z., 2017: Potential impacts of improper irrigation system design <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/AE027> (Pristupljeno: 6.9.2021.)