

## Ekosistemske storitve urbanih gozdov za rezervni vodni vir

### *Ecosystem Services of Urban Forests for a Reserve Water Source*

Urša VILHAR<sup>1,\*</sup>, Erika KOZAMERNIK<sup>1</sup>

#### **Izvleček:**

Vilhar, U., Kozamernik, E.: Ekosistemske storitve urbanih gozdov za rezervni vodni vir; *Gozdarski vestnik*, 78/2020, št. 3. V slovenščini z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 77. Prevod avtorji in Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

Gozdovi s svojimi ekosistemskimi storitvami pomembno prispevajo k varovanju vodnih virov, posebno v urbanih okoljih. V članku predstavljamo metodologijo za oceno ekosistemskih storitev urbanih gozdov za varovanje rezervnega vodnega vira, pri čemer je to prva tovrstna neekonomska ocena. Da bi lahko primerjali ekosistemske storitve gozdov za varovanje vodnih virov z drugimi rabami tal, smo za vodozbirno zaledje rezervnega vodnega vira izbrali kazalnike za ohranjanje kakovosti voda, uravnavanje količine voda in zmanjševanje onesnaženosti zraka za urbane gozdove in druge rabe tal v študijskem območju. Za vsak kazalnik smo izračunali relativni prispevek posamezne rabe tal k ekosistemski storitvi varovanja vodnih virov, in sicer za (1) kmetijska zemljišča, (2) travniki in opuščena kmetijska zemljišča, (3) urbani gozd, (4) mokrišča, močvirja in poplavne ravnice ter (5) pozidano zemljišče. Ugotovili smo, da urbani gozdovi v znatno večji meri prispevajo k ekosistemski storitvi varovanja vodnih virov kot druge rabe tal. Največji prispevek urbanih gozdov je bil ugotovljen pri ohranjanju kakovosti voda ter zmanjševanju onesnaženosti zraka, kjer so kazalniki znatno višji kot za travnike ali kmetijska zemljišča. Prav tako je bil ugotovljen velik prispevek urbanih gozdov k uravnavanju količine voda, ki pa je bil višji za mokrišča, močvirja in poplavne ravnice. K ekosistemskim storitvam varovanja vodnih virov je glede na izbrane kazalnike največji skupni relativni prispevek urbanih gozdov (2,4), katerim sledijo travniki in opuščena kmetijska zemljišča (1,6). Mokrišča, močvirja oziroma poplavne ravnice (1,3) prispevajo podobno kot kmetijska zemljišča (1,2). Najmanjši relativni skupni relativni prispevek pa smo ugotovili za pozidane površine (0,0). Glede na velik prispevek urbanih gozdov k ekosistemski storitvi varovanja vodnih virov v primerjavi z drugimi rabami tal bi bilo smiselno njihov delež ohraniti ali v II. in III. vodovarstvenem območju celo povečati. Vsekakor pa bi bilo priporočljivo omejiti širjenje urbanizacije ter druge človekove dejavnosti, ki ogrožajo vodne vire.

**Gljučne besede:** urbani gozdovi, ekosistemske storitve, oskrba s pitno vodo, raba tal, zelena infrastruktura

#### **Abstract:**

Vilhar, U., Kozamernik, E.: *Ecosystem Services of Urban Forests for a Reserve Water Source*; *Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry)*, 78/2020, vol 3. In Slovenian, abstract and summary in English, lit. quot. 77. Translated by authors and Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

Through their ecosystem services, forests play an important role in protecting water resources, especially in urban environments. This paper presents a methodology for assessing ecosystem services of urban forests for the protection of a reserve water resource, representing the first such non-economic assessment. In order to compare ecosystem services of forests and other land use types, we selected indicators for forests and the other land use types, related to water purification, water flow regulation, and air pollution reduction for the catchment area for the reserve water source. For each indicator, the relative contribution of individual land use type to an ecosystem service for the protection of water resources was calculated: (1) agricultural land, (2) grassland and abandoned agricultural land, (3) urban forest, (4) wetlands, marshes and flood plains, and (5) built-up areas. The results of this study show that urban forests contribute more to the ecosystem service of protecting water resources compared to other land use types. The highest contribution of urban forests has been found for air pollution reduction, where indicators are significantly higher than for agricultural land or meadows. There was also a high contribution of urban forests to water flow regulation, which was similar to the one of wetlands, marshes and floodplains. According to the selected indicators, the relative contribution to the ecosystem services for the protection of water resources is the largest for urban forests (2.4), followed by meadows and abandoned agricultural land (1.6). Wetlands, swamps and floodplains (1.3) have similar contribution as cropland (1.2). However, built-up areas have the smallest total relative contribution (0.0). According to the results of this study, urban forests contribute largely to the ecosystem services in protecting water resources compared to other land use types. Therefore, their surface should be preserved or even increased in water protection zones II and III. Nevertheless, it is advisable to limit the spread of the urbanization and other human activities that threaten water resources.

**Key words:** urban forests, ecosystem services, drinking water supply, land use, green infrastructure

<sup>1</sup> Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno ekologijo. Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija.

\* dopisni avtor: ursa.vilhar@gozdis.si

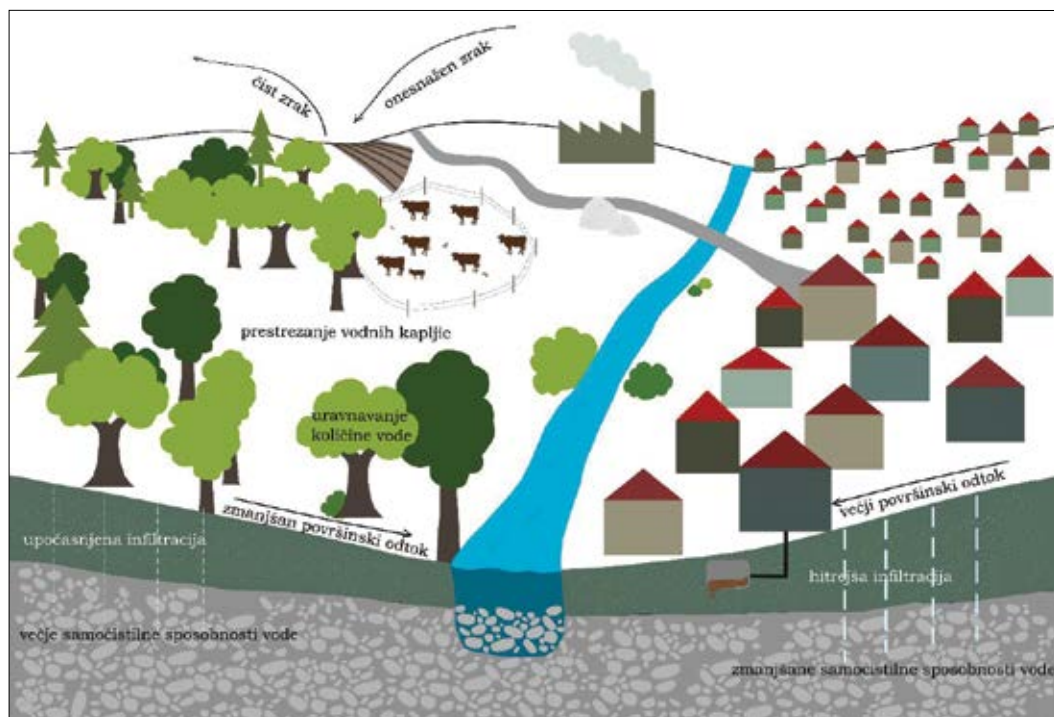
## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

Varovanje vodnih virov, varovanje pred poplavami ter zmanjševanje onesnaženosti zraka so pomembne ekosistemske storitve gozdov, še posebno tistih v urbani krajini (Bolund in Hunhammar, 1999; Vilhar in sod., 2010; Vilhar, 2017). Vpliv gozda na ohranjanje količine in kakovosti vodnih virov se veča z deležem površine gozdov v vodozbirnem zaledju (Sanders, 1986; Vilhar in sod., 2006). Boljša kakovost pitne vode v gozdnatih vodozbirnih območjih v primerjavi z drugimi rabami tal je posledica upočasnjenega kroženja hranil in ionov v gozdnih tleh, počasnejšega razkroja organske snovi, večje mikrobiološke aktivnosti, nižjih temperatur in manjših antropogenih posegov v gozdni prostor (Chang, 2003; Zupancic in sod., 2015). Hkrati gozd pomembno prispeva k zmanjševanju erozijskih pojavov, ki zaradi sproščanja sedimentov in plavja ogrožajo vodne vire. (Mcpherson in sod., 1997; Xiao in sod., 1998). Gozd z drevesnimi krošnjami, listnim opadom in gozdnimi tlemi deluje tudi kot

naravni filter za onesnaževala v zraku, vodi in tleh (Givoni, 1991; Bolund in Hunhammar, 1999; Vilhar in sod., 2014).

Urbani gozdovi so sestoji ali posamična drevesa v urbanih središčih ali njihovi okolici, ki so specifični zaradi fizioloških, socialnih, ekonomskih in estetskih koristi (Konijnendijk in sod., 2006) oziroma ekosistemskih storitev (Tyrväinen in sod., 2003; Sanesi in sod., 2011), ki jih nudijo človeški družbi. V urbanih gozdovih so podnebne značilnosti, tla, vegetacija, dinamika tal ter tokovi energije kot rezultat ekoloških vzorcev in procesov podobni kot v drugih gozdovih (Dobbs in sod., 2011). Vendar se urbani gozdovi razlikujejo od naravnih ekosistemov po pogostnosti in obsegu motenj, povezanih z urbanizacijo (Vilhar, 2017). Le-ta lahko negativno vpliva na kakovost vodnih virov zaradi povečanih vnosov hranil, težkih kovin in organskih onesnaževal (Duda in sod., 1982; Le Pape in sod., 2012). Urbanizacija prispeva tudi k večjemu in dlje trajajočemu površinskemu odtoku (Slika 1), ki je posledica pozidave tal (Bolund in Hunhammar, 1999; Gallo in sod., 2012; Armson in sod., 2013).



Slika 1: Viri onesnaževanja vodnih virov v urbanem okolju (avtor: E. Kozamernik)

Figure 1: Sources of water resources pollution in urban area (author: E. Kozamernik)

Ustava Republike Slovenije v 70. členu določa, da so vodni viri javno dobro v upravljanju države (Ustava Republike Slovenije, 1991, 1997, 2000, 2003, 2004, 2006, 2013, 2016). Upravljanje z vodami ureja Zakon o vodah (Zakon o vodah, 2002, 2008, 2012), deloma pa tudi Zakon o varstvu okolja (Zakon o varstvu okolja, 2006), ki v slovenski pravni red prenašata Direktivo Evropskega parlamenta in Sveta 2000/60/ES o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike (Steinman, 1999; Direktiva 2000 / 60 / EC Evropskega parlamenta in Sveta o določitvi okvirja za ukrepanje Skupnosti na področju politike do voda, 2000). Po Zakonu o vodah je cilj upravljanja z vodami med drugim doseganje dobrega stanja voda in drugih, z vodami povezanih ekosistemov in spodbujanje trajnostne rabe voda, ki omogoča različne vrste rabe voda ob upoštevanju dolgoročnega varstva razpoložljivih vodnih virov in njihove kakovosti. Po Zakonu o varstvu okolja pa so cilji varstva okolja med drugim preprečitev in zmanjšanje obremenjevanja okolja (tudi voda), ohranjanje in izboljševanje njegove kakovosti ter trajnostna raba naravnih virov.

Vodni viri prednostno in trajnostno služijo oskrbi prebivalstva s pitno vodo in za oskrbo gospodinjstev. Oskrba s pitno vodo poteka aja v okviru storitev obvezne občinske gospodarske javne službe oskrbe s pitno vodo, pa tudi kot lastna oskrba s pitno vodo, kjer občina ne zagotavlja javne službe (Uredba o oskrbi s pitno vodo, 2012). Voda, namenjena oskrbi s pitno vodo, se odvzema na zajetjih (na primer v obliki izvira, črpalne vrtine, površinskega zajetja), na katerih ima občina ali posameznik vodno pravico. V Sloveniji imamo 2.132 zajetij in rezervnih zajetij za pitno vodo, iz katerih oskrba s pitno vodo poteka v okviru gospodarske javne službe (Anonymous, 2019). V Mestni občini Ljubljana tovrstno službo izvaja Javno podjetje VODOVOD KANALIZACIJA SNAGA, d. o. o. (<https://www.vokasnaga.si/>).

V slovenski gozdarski stroki in zakonodaji (Zakon o gozdovih s spremembami in dopolnitvami, 1993, 1998, 2007, 2010) je že več desetletij uveljavljen koncept večnamenskega, večfunkcijskega oziroma večciljnega gospodarjenja z gozdovi (Bončina, 2013), ki zagotavlja različne storitve oziroma funkcije gozda (Planinšek in Pirnat,

2012). Tovrsten integracijski način večnamenskega gospodarjenja z gozdovi zagotavlja, da v istem gozdnem prostoru zagotavljamo različne funkcije gozdov hkrati: proizvodne, okoljske in socialne. Kljub temu pa se njihov pomen praviloma razlikuje glede na naravne danosti in potrebe družbe (Bončina, 2013). V Sloveniji se gozdarska politika uresničuje s pomočjo gozdnogospodarskih ukrepov, katerih časovna dinamika in umeščenost v prostor je določena v okviru gozdnogospodarskih načrtov. Sestavni del teh načrtov je med drugim tudi ovrednotenje poudarjenosti proizvodne, okoljske in socialne funkcije v gozdnem prostoru ter določitev ciljev in smernic za gospodarjenje z gozdovi glede ohranjanja in krepitev najbolj poudarjenih funkcij (Pravilnik o načrtih za gospodarjenje z gozdovi in upravljanje z divjadjo, 2010). Funkcija gozda se ovrednoti in kartira s tremi stopnjami poudarjenosti, in sicer: 1. stopnja: funkcija določa način gospodarjenja z gozdom; 2. stopnja: funkcija pomembno vpliva na način gospodarjenja z gozdom in 3. stopnja: funkcija le deloma vpliva na način gospodarjenja z gozdom.

Z vidika varovanja vodnih virov je najpomembnejša hidrološka funkcija gozda, ki je v Pravilniku o načrtih za gospodarjenje z gozdovi in upravljanje z divjadjo (2010) definirana kot pomen gozda za mehansko in biološko čiščenje vode, ki odteče ali pronica z gozdnih površin, ter uravnavanje vodnega režima z zadrževanjem hitrega odtokanja padavinske vode (dežja) s površja (po pobočju in v globino), počasnejšim taljenjem snega, ohranjanjem vode v gozdnih tleh in rastlinah in zakasnjenim pronicanjem vode iz gozdnih tal v sušnih obdobjih. Poudarjeno hidrološko funkcijo imajo zlasti gozdovi v poplavnih, vodovarstvenih in potencialnih vodovarstvenih območjih, določenih v skladu s predpisi, ki urejajo vode.

Kot navaja Bončina s sodelavci (2013), za obravnavanje pomena gozda poleg koncepta funkcij gozda obstaja tudi koncept ekosistemskih storitev (ang. ecosystem services); to so koristi, ki jih družbi zagotavljajo ekosistemi (Mea, 2005). Vključujejo podporne oziroma vzdrževalne, oskrbovalne, regulacijske (uravnavalne) in kulturne storitve. Številni avtorji ugotavljajo, da izraz »storitve« morda ni najprimernejši (Wallace, 2007; Small in sod., 2017), saj naj bi omogočale

prikaz učinkov iz gozdov za družbo na podlagi kompenzacije – PES (Payment for Ecosystem Services) (Bončina, 2013). S človekovega vidika gozd ni le kot vir lesa, divjadi, jagodičevja, gob itn., temveč kot ekosistem, ki poleg proizvodnih zagotavlja številne druge dobrine in storitve, združene v pojmu ekosistemske storitve (Japelj, 2016). Za ekosistemske storitve, ki so hkrati tudi predmet tržne menjave, se ravnovesje med ponudbo in povpraševanjem na trgu vzpostavi pri ravnovesni ceni. Vendar je ravnotežno raven povpraševanja pri netržnih ekosistemskih storitvah, ki so javne dobrine (npr. blaženje podnebnih sprememb, uravnavanje odtoka, varovanje tal, vezava atmosferskega ogljika, nastajanje tal idr.), težko določiti (Japelj, 2016).

Koncept ekosistemskih storitev je interdisciplinaren in se je uveljavil predvsem na področju klasifikacije okoljskih storitev, njihovega monetarnega vrednotenja in kartiranja (ang. Ecosystem services mapping), ki presega okvire gozdnega prostora (Bončina, 2013). Koncept ekosistemskih storitev gozdov ima potencial kot orodje za podporo pri odločanju in izboljšanju upravljanja z naravnimi viri (De Groot in sod., 2010; Vuletić in sod., 2010; Japelj, 2016). Vendar je za praktično uporabnost tega koncepta potreben enoten transdisciplinarni pristop, ki bo omogočal, da bodo ekosistemske storitve lahko »merljive« s strani strokovnjakov, finančno vrednotene s strani ekonomistov ter uporabljene s strani odločevalcev (Nahlik in sod., 2012). Zato pa je potrebno natančno ovrednotenje vseh komponent ekosistemske storitve s pomočjo primernih kazalnikov (Müller in Burkhard, 2012). Varovanje pred poplavami ter zmanjševanje erozijske ogroženosti sodijo med regulacijske (uravnalne) ekosistemske storitve (Mea, 2005), medtem ko je zagotavljanje pitne vode razvrščeno v oskrbovalne, kroženje hranil in vode pa v podporne oziroma vzdrževalne ekosistemske storitve.

Ocen, kako in v kolikšnem obsegu urbani gozdovi prispevajo k ekosistemskim storitvam varovanja vodnih virov, je malo (Bouten in Jansson, 1995; Pauleit in Duhme, 2000; Vilhar in sod., 2010; Dobbs in sod., 2011), kar je najverjetneje posledica kompleksnosti procesov in povezav med urbaniimi gozdovi in vodo (Vilhar, 2017).

Tovrstna kompleksnost se odraža v naboru kar 86 potencialnih kazalnikov za spremljanje kroženja hranil, sposobnosti za zadrževanje in filtriranje vode v krošnjah dreves, spremljanje procesov v gozdnih tleh, površinskih vodotokih, jezerih ter podtalnici, ki sta jih v pregledu različnih okoljskih monitoringov izpostavila Vilhar in Simončič (2012).

Namen članka je predstaviti metodologijo za oceno ekosistemskih storitev urbanih gozdov in drugih rab tal za varovanje vodnih virov. Pri tem smo uporabili nabor kazalnikov in z njimi povezanih parametrov na podlagi različnih okoljskih raziskav ter monitoringov voda, onesnaženosti zraka, tal in gozdov. Relativne vrednosti izbranih kazalnikov smo primerjali za različne rabe tal s poudarkom na urbanih gozdovih. Metodologija predstavlja prvo tovrstno neekonomsko oceno ekosistemskih storitev urbanih gozdov in drugih rab tal za varovanje vodnih virov. Ponuja uporabno orodje za razvoj priporočil, predlogov in strateških usmeritev za potrebe odločevalcev v gozdarstvu, vodooskrbi, prostorskem načrtovanju, urbanizmu itn. (Pauleit in Duhme, 2000; Kristensen in Pirc-Velkavrh, 2003; Bealey in sod., 2007; Dobbs in sod., 2011; Maes in sod., 2012; Vilhar in Simončič, 2012).

## 2 METODE

## 2 METHODS

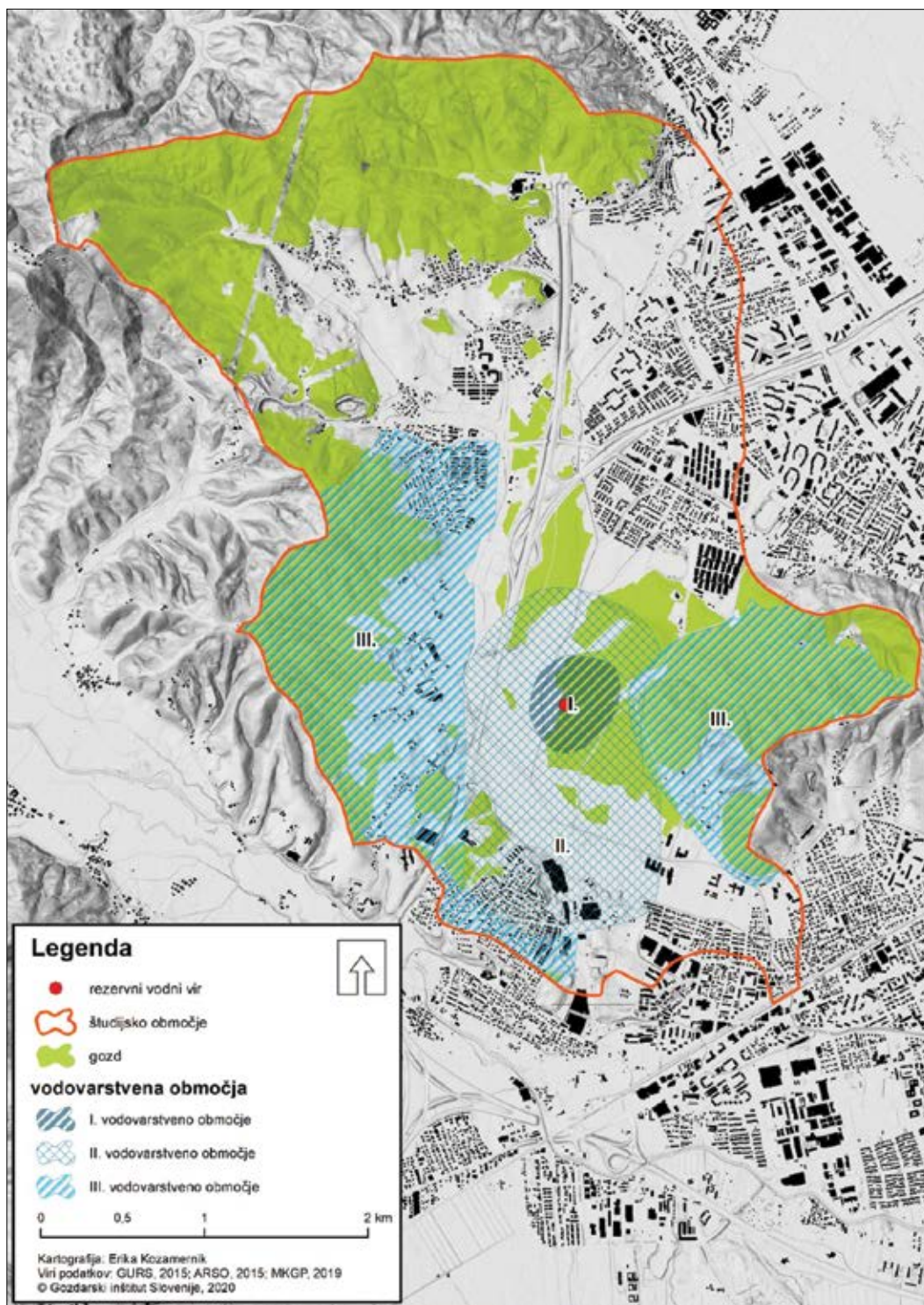
### 2.1 Študijsko območje

#### 2.1 Study area

Študijsko območje je porečje vodotoka Glinščica, ki se nahaja na vzhodnem delu Mestne občine Ljubljana in obsega 1665 ha (Slika 2). Za območje je značilno zmerno celinsko podnebje zahodne in južne Slovenije (Ogrin, 1996). Povprečna mesečna temperatura je v referenčnem obdobju 1971 do 2000 v januarju dosegla  $-0,1$  °C in v juniju  $17,8$  °C, povprečna letna količina padavin pa je znašala 1450 mm (ARSO, 2006).

Območje je bilo izbrano za rezervni vodni vir na podlagi predhodnih geoloških in hidrogeoloških raziskav (Bračič-Železnik in Čenčur Curk, v tisku). Osrednji in vzhodni del območja je zelo urbaniziran. V tem delu je kamnolom, prečkata ga tudi ljubljanska obvoznica ter avtocestni odsek Ljubljana–Šentvid s predorom.





Slika 2: Karta gozdov, lokacija rezervnega vodnega vira ter vodovarstvenih območij v študijskem območju  
Figure 2: Map of forests, reserve water resource location and water protection zones in the study area

V študijskem območju se prepletajo različne rabe tal; prevladujejo gozdovi, ki pokrivajo 44,7 % (744 ha) študijskega območja (Slika 2). Gozdovi so se ohranili predvsem na pobočjih Polhograjskih dolomitov, v Krajinskem parku Tivoli, Rožnik Šišenski hrib ter ponekod neposredno ob ljubljanski obvoznici. Marsikje je naravna sestava gozdov zelo spremenjena (Urbančič in sod., 2010). Prevladujejo gozdovi rdečega bora in borovničevja (*Vaccinio vitis-idaeae-Pinetum silvestris*; Tom. (42) 71), katerih je 65 % gozda in so predvsem na pobočjih Polhograjskih dolomitov, Rožnika in Šišenskega hriba ter v nižinskem delu pilotnega območja ob ljubljanski obvoznici. Sledijo bukovi gozdovi z gradnom (*Quercus petraeae-Fagetum* KO .(61)71 s. lat.), ki obsegajo 17 % gozdov na pobočjih Polhograjskih dolomitov, 13 % gozdov obsegajo acidofilni bukovi gozdovi z rebrenjačo (*Blechno-Fagetum* I. Horvat ex Marinček 19), ki so zaradi degradacije pridobili večji delež smreke in rdečega bora (Ohnjec, 2007). Na dolomitu najdemo združbo podgorski bukov gozd z navadnim tevjem, geografska varianta s široko lobodiko (*Hacquetio-Fagetum* var. *Ruscus hypoglossum* KOO.(56) 61), ki obsega 2 % gozdov, ter belogabrovje in gradnovje, geografska varianta z alpskim vimčkom (*Hacquetio-Carpinetum* var. *Epimedium alpinum* KOB. 74 (n.nud.)), ki obsega 3 % gozdov. Vitalnost dreves je dobra, razen pravega kostanja, ki ga ogroža kostanjev rak. Ogrožena je tudi smreka, ki jo na neprimernih rastiščih ogrožata rdeča trohnoba in smrekov lubadar, ki se je v zadnjih letih pojavlja precej pogosto in množično (Ohnjec, 2007).

V najožjem vodovarstvenem območju (VVO I) za rezervni vodni vir kar 76 % površine prekriva gozd (Slika 2). V ožjem območju (VVO II) gozd prekriva 26 %, v širšem (VVO III) pa kar 57 % površine (Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Ljubljanskega Barja in okolice Ljubljane, 2007, 2008, 2012).

Študijsko območje z rezervnim vodim virom je na prehodu dveh teles podzemne vode, pri čemer podtalnica iz vodonosnega sistema Ljubljanskega barja teče preko študijskega območja proti vodonosniku Ljubljanskega polja (Čenčur Curk in sod., 2017). Ljubljansko polje je uravnani del študijskega območja in je tektonska udorina, podolgovate

kotanjaste oblike (Krušec, 2010). Vodonosnik Ljubljanskega polja je zaradi glinastih plasti nad njim dobro zaščiten pred vplivi urbanizacije in drugimi človekovimi dejavnostmi (Urban in sod., 2001), zato je kakovost podtalnice dobra (Železnik, 2005). Severozahodni del študijskega območja pripada Polhograjskemu hribovju, za katero so značilni veliki nakloni pobočij ter zelo razčlenjen relief s strmimi slemeni in vmesnimi erozijskimi jarki, ki se spuščajo proti severozahodnemu delu Ljubljanskega polja. Vodotok Glinščica ima izrazito hudourniški značaj ter posledično veliko transportno moč. Posledica tega so pogosti zemeljski plazovi ter vodna erozija v celotnem vodozbirnem zaledju, ki se v večji meri nahaja na območju Polhograjskega hribovja.

Polhograjsko hribovje gradijo dolomiti, peščenjaki, konglomerati, glinavci in apnenci, triasne in permske starosti, medtem ko uravnane dele Ljubljanskega polja v večji meri prekrivajo aluvialni in jezerski sedimenti ter prodni nanosi holocenske starosti (Premru, 1983). Na hribovitem delu študijskega območja so se razvila heterogena kambična tla, ki prehajajo od distričnih rvajih tal do evtričnih rvajih tal ter rendzin (Urbančič in sod., 2005). Vz dolž vodotokov najdemo nekarbonatna obrečna tla, na ravninskem delu študijskega območja pa so se na rečnih nanosih Glinščice razvila evtrični psevdogleji in gleji (Čenčur Curk in sod., 2017).

## 2.2 Izbor parametrov in kazalnikov, ki opredeljujejo ekosistemske storitve varovanja vodnih virov

### 2.2 Selection of parameters and indicators determining ecosystem services of water resources protection

Da bi lahko primerjali ekosistemske storitve gozdov za varovanje vodnih virov z drugimi rabami tal, smo na podlagi domačih raziskav in tuje literature pregledali kvantitativne in kvalitativne kazalnike. Pri izboru kazalnikov smo sledili hierarhičnemu sistemu, ki vključuje naslednje komponente (Vilhar in Simončič, 2012):

- procesi in delovanje ekosistema ob upoštevanju specifičnih okoljskih pogojev. V primeru urbanih gozdov je to na primer sposobnost zadrževanja ali skladiščena hranil,

energije in vode v ekosistemu ali sposobnost za zadrževanje ob obilju in sproščanje ob pomanjkanju;

- kazalnik – vrednost, ki odraža stanje določenega pojava ali komponente okolja (Jørgensen in sod., 2005) v obliki agregirane informacije: na primer ohranjanje kakovosti voda. Samostojno ali v kombinaciji so orodje za agregiranje informacij o stanju določenega ekosistema (Burkhard, 2011) ter omogočajo spremljanje stanja v času in prostoru (Oecd, 2008);
- parameter – podatek ali številka za ovrednotenje izbranega kazalnika. Lahko so rezultati meritev, modelov ali izračunani na podlagi drugih parametrov.

Da bi lahko primerjali ekosistemske storitve gozdov za varovanje vodnih virov z drugimi rabami tal, smo na podlagi domačih raziskav in tuje literature izbrali naslednje kvantitativne in kvalitativne kazalnike (Vilhar in Kozamernik, 2019):

- a) ohranjanje kakovosti voda,
- b) uravnavanje količine voda ter
- c) zmanjševanje onesnaženosti zraka.

Za izbrane kazalnike smo poiskali parametre na podlagi različnih okoljskih raziskav in monitoringov voda, tal, gozdov in onesnaženosti zraka (Vilhar in Simončič, 2012). Za kazalnik *ohranjanja kakovosti voda* smo uporabili naslednje parametre: največja koncentracija nitrata ( $\text{NO}_3$ ) v podtalnici Ljubljanskega vodonosnika, dozdevna gostota tal ter C/N razmerje v tleh (Preglednica 2). Za kazalnik *uravnavanje količine voda* smo uporabili parametre: prestrezanje padavin v krošnjah ter zadrževalna sposobnost tal za vodo. Za kazalnik *zmanjševanje onesnaženosti zraka* pa smo uporabili parametre: letna koncentracija  $\text{PM}_{10}$ , število dni v letu s prekoračeno mejno koncentracijo  $\text{PM}_{10}$  ( $50 \mu\text{g m}^{-3}$ ) ter letna koncentracija  $\text{NO}_2$ . Podatke o posameznih parametrih smo pridobili iz literature (raziskave, monitoringi, poročila, diplomske in magistrske naloge idr.). Parametri, povezani z izbranimi kazalniki, se razlikujejo v načinu meritev (na primer meritve količine padavin in kemijske analize vzorcev tal), v časovni komponenti (na primer letna količina padavin (mm) in število dni s prekoračeno mejno koncentracijo  $\text{PM}_{10}$ ) ter

prostorskih dimenzijah (na primer letna količina padavin (mm) in dozdevna gostota tal ( $\text{g cm}^{-3}$ )). Zato smo ugotovljene vrednosti parametrov standardizirali in njihovim vrednostim pripisali relativno vrednost od 0 do 100 (Koschke in sod., 2012). Ker je posamezni kazalnik določevalo več parametrov, smo iz njihovih relativnih vrednosti izračunali povprečje ter prikazali skupni kazalnik za posamezno ekosistemsko storitev (Preglednica 1).

Primerjali smo vrednosti kazalnikov za urbane gozdove ter za druge rabe tal v študijskem območju. Glede na ECE klasifikacijo dejanske rabe zemljišč (MKGP, 2013) smo v študijskem območju ugotovili 11 različnih rab tal, ki smo jih zaradi preglednosti združili v pet glavnih kategorij rabe tal (Preglednica 1):

1. mešani urbani gozd,
2. kmetijska zemljišča,
3. travniki oziroma opuščena kmetijska zemljišča,
4. pozidana zemljišča,
5. mokrišča, močvirje oziroma poplavne ravnice.

Kategorije dejanske rabe tal smo razvrstili v združene kategorije rabe tal glede na njihov relativni prispevek k ekosistemskim storitvam varovanja vodnih virov. V študijskem območju je tudi kategorija rabe tal »jezera in reke«, vendar jih pri nadaljnji obravnavi nismo upoštevali, saj je njihov prispevek k ekosistemskih storitvam varovanja vodnih virov zanemarljiv (Bolund in Hunhammar, 1999).

Na podlagi povprečnih relativnih vrednosti kazalnikov smo izdelali karte relativnega prispevka petih glavnih kategorij rabe tal k ekosistemskim storitvam varovanja vodnih virov.

## 3 REZULTATI

### 3 RESULTS

#### 3.1 Kazalniki in z njimi povezani parametri za ekosistemske storitve varovanja vodnih virov

#### 3.1 Indicators and related parameters for ecosystem services of water resources protection

Glavnim kategorijam rabe tal pripadajo naslednji deleži študijskega območja (Slika 3): mešani urbani gozd obsega 44,7 % (743,8 ha) površine



**Preglednica 1:** Kategorije rabe tal v študijskem območju po klasifikaciji ECE dejanske rabe zemljišč (MKGP, 2003) ter njihovo združevanje v pet glavnih kategorij rabe tal

*Table 1: Land use categories in the study area by ECE classification of the actual land use (MKGP, 2003) and their combining into five main land use categories*

ŠIFRA DEJANSKE RABE TAL	KATEGORIJA DEJANSKE RABE TAL	ZDRUŽENA KATEGORIJA RABE TAL	RELATIVNI PRISPEVEK K ZAGOTAVLJANJU IZBRANE EKOSISTEMSKE STORITVE
1100	njiva ali vrt	kmetijska zemljišča	<p style="text-align: center;">Od <b>0 – brez prispevka</b> do <b>1 – največji možni</b> relativni prispevek (Koschke in sod., 2012)</p>
1190	rastlinjak		
1221	intenzivni sadovnjak		
1222	ekstenzivni sadovnjak		
1300	trajni travnik	travniki oziroma opuščena kmetijska zemljišča	
1410	kmetijsko zemljišče v zaraščanju		
1500	drevesa in grmičevje		
1600	neobdelano kmetijsko zemljišče		
2000	gozd	mešani urbani gozd	
3000	pozidano in sorodno zemljišče	pozidano	
4220	drugo zamočvirjeno zemljišče	mokrišča / močvirje / poplavne ravnice	

študijskega območja, pozidana zemljišča 31,4 % (522,1 ha), sledijo travniki oziroma opuščena kmetijska zemljišča s 16 % površine (266,1 ha). Kmetijska zemljišča obsegajo 7,5 % (125 ha) površine in mokrišča, močvirja oziroma poplavne ravnice 0,1 % (1,2 ha) površine študijskega območja. V študijskem območju je tudi kategorija rabe tal »jezera in reke«, ki obsega 0,4 % (7,2 ha), vendar jih pri nadaljnji obravnavi nismo upoštevali, saj je njihov prispevek k ekosistemskih storitvam varovanja vodnih virov zanemarljiv (Bolund in Hunhammar, 1999).

Največji relativni prispevek k ohranjanju kakovosti voda je bil ugotovljen za mešani urbani gozd (0,90), kar je posledica visokih vrednosti dozdevne gostote tal, razmeroma visokega C/N razmerja ter najnižjih največjih koncentracij nitrata v podtalnici Ljubljanskega vodonosnika. Sledita kategoriji travniki oziroma opuščena kmetijska zemljišča (0,82) ter mokrišča, močvirja oziroma poplavne ravnice (0,76) (Slika 4, Slika 5a). Najmanjši relativni prispevek k ohranjanju kakovosti voda je bil ugotovljen za kategorijo pozidana zemljišča

(0,00), saj so tam tla odstranjena, pozidana in ne opravljajo več svojih funkcij (Pauleit in Duhme, 2000; Sms, 2012; Zhiyanski in sod., 2017).

Največji relativni prispevek k uravnavanju količine voda smo ugotovili za kategorijo mokrišča, močvirja oziroma poplavne ravnice (0,55), ki imajo najvišjo zadrževalno sposobnost tal za vodo. Sledi mešani urbani gozd (0,52), ki ima najvišjo zadrževalno sposobnost krošenj za padavine ter razmeroma visoko zadrževalno sposobnost tal za vodo (Slika 4, Slika 5b). Najmanjši relativni prispevek k uravnavanju količine voda je bil ugotovljen na pozidanih zemljiščih (0,00).

Največji relativni prispevek k zmanjševanju onesnaženosti zraka smo ugotovili za mešani urbani gozd (0,97), kjer so bile ugotovljene najnižje letne koncentracije PM10 in tudi najmanj dni v letu s prekoračeno mejno koncentracijo PM10: 50 µg m<sup>-3</sup>. Sledijo travniki oziroma opuščena kmetijska zemljišča (0,67) ter kmetijska zemljišča (0,48). Najnižji relativni prispevek k zmanjševanju onesnaženosti zraka je bil ponovno ugotovljen za pozidana zemljišča (0,00) (Slika 4, Slika 5c).

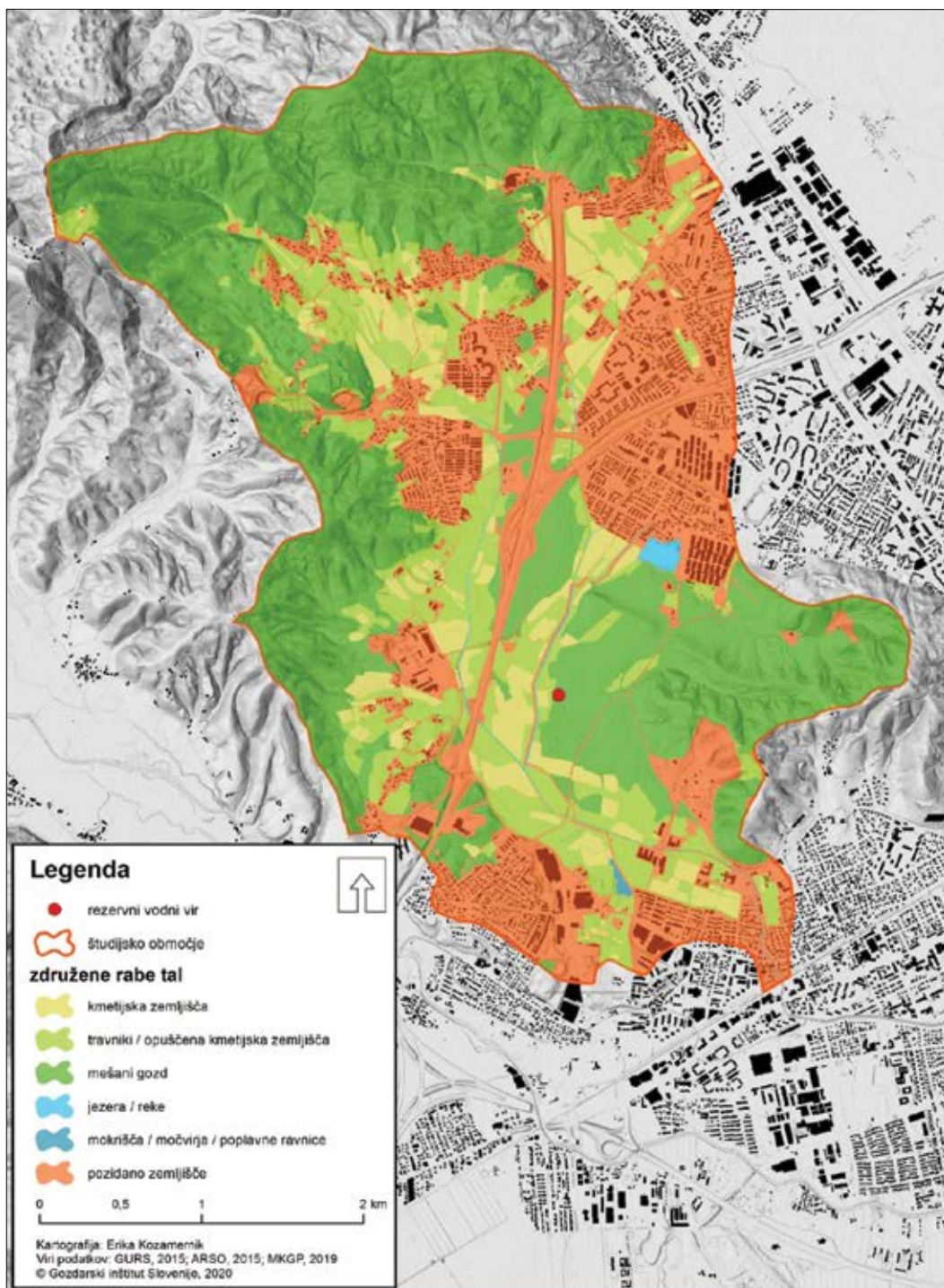


**Preglednica 2:** Kazalniki in z njimi povezani parametri za oceno prispevka različnih rab tal k ekosistemski storitvi varovanja vodnih virov

**Table 2:** Indicators and related parameters for assessing the contribution of diverse land uses to the ecosystem service of water resources protection

Kazalnik	Parameter	Raba tal	Kmetijska zemljišča	Travniki / opuščena kmetijska zemljišča	Mešani gozd	Pozidana zemljišča	Mokrišča / močvirja / poplavne ravnice	Vir podatkov
Ohranjanje kakovosti voda	Dozdevna gostota tal	Meritev ( $\text{g cm}^{-3}$ )	1,04	0,86	0,72	0,00	1,00	b, c
		Relativni prispevek <sup>a</sup>	1,00	0,83	0,70	0,00	0,96	
	C/N razmerje v tleh	Meritev (/)	12,17	13,25	18,44	0,00	11,40	d
		Relativni prispevek <sup>1</sup>	0,66	0,72	1,00	0,00	0,62	
	Največje koncentracije nitrata ( $\text{NO}_3$ ) v podtalnici Ljubljanskega vodonosnika	Meritev ( $\text{mg l}^{-1}$ )	20,50	6,70	4,00	32,60	13,00	c, e, f, g, h, i
		Relativni prispevek <sup>a</sup>	0,42	0,91	1,00	0,00	0,69	
<b>Povprečje relativnih vrednosti parametrov</b>			<b>0,69</b>	<b>0,82</b>	<b>0,90</b>	<b>0,00</b>	<b>0,76</b>	
Uravnavanje količine voda	Zadrževalna sposobnost tal za vodo	Meritev ( $\text{g cm}^{-3}$ )	0,28	0,14	0,20	0,00	5,41	c, e, f, j
		Relativni prispevek <sup>a</sup>	0,05	0,03	0,04	0,00	1,00	
	Zadrževalna sposobnost krošenj za padavine (intercepcija)	Meritev (% letne količine padavin)	1,00	1,00	9,72	0,00	1,00	e, f, k, l
		Relativni prispevek <sup>a</sup>	0,10	0,10	1,00	0,00	0,10	
	<b>Povprečje relativnih vrednosti parametrov</b>			<b>0,08</b>	<b>0,06</b>	<b>0,52</b>	<b>0,00</b>	<b>0,55</b>
Zmanjševanje onesnaženosti zraka	Letna koncentracija $\text{PM}_{10}$	Meritev ( $\mu\text{g m}^{-3} \text{ leto}^{-1}$ )	37,00	37,00	0,00	44,00	0,00	g, m, n
		Relativni prispevek <sup>a</sup>	0,16	0,16	1,00	0,00	0,00	
	Število dni v letu s prekoračeno mejno koncentracijo $\text{PM}_{10}$ : $50 \mu\text{g m}^{-3}$	Meritev (št. dni v letu)	69,00	5,00	0,60	94,00	0,00	g, m, n
		Relativni prispevek <sup>a</sup>	0,27	0,95	1,00	0,00	0,00	
	Letna koncentracija $\text{NO}_2$	Meritev ( $\mu\text{g m}^{-3} \text{ leto}^{-1}$ )	0,00	5,00	5,00	56,00	0,00	G, o, p
		Relativni prispevek <sup>a</sup>	1,00	0,91	0,91	0,00	0,00	
<b>Povprečje relativnih vrednosti parametrov</b>			<b>0,48</b>	<b>0,67</b>	<b>0,97</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	
Relativni prispevek k ekosistemskim storitvam varovanja vodnih virov			<b>1,25</b>	<b>1,56</b>	<b>2,39</b>	<b>0,00</b>	<b>1,31</b>	

<sup>a</sup> Relativni prispevek (0 – brez prispevka; 1 – največji mogoči prispevek); <sup>b</sup> Pedološka karta Slovenije 2014; <sup>c</sup> Ausec in sod. (2009); <sup>d</sup> TIS/ICPVO (1989-2013); <sup>e</sup> ICP Forests / IMGE podatkovna baza Gozdarskega inštituta Slovenije; <sup>f</sup> Life+ EMoNFUr podatkovna baza Gozdarskega inštituta Slovenije; <sup>g</sup> Loose in sod. (2008); <sup>h</sup> Krajnc (2011); <sup>i</sup> Urbanc (2010); <sup>j</sup> Šijanec (2009); <sup>k</sup> Šijanec (2009); <sup>l</sup> Kermavnar in Vilhar (2017); <sup>m</sup> Vilhar in sod. (2012); <sup>n</sup> Ivančič in Vončina (2013); <sup>o</sup> Koleša in Planinšek (2013); <sup>p</sup> Ogrin (2007a); <sup>q</sup> Ogrin (2007b)



Slika 3: Združene kategorije rabe tal v študijskem območju glede na ekosistemske storitve oziroma vlogo pri varovanju vodnih virov ter lokacija rezervnega vodnega vira

Figure 3: Combined land use categories in the study area with regard to ecosystem services or, respectively, their role in water resources protection and location of the reserve water resource

Slika 6 prikazuje karto za relativni prispevek urbanih gozdov ter drugih rab tal k ekosistemski storitvi varovanja vodnih virov v študijskem območju. Največji relativni prispevek smo ugotovili za mešani urbani gozd (2,4), sledijo travniki oziroma opuščena kmetijska zemljišča (1,6). Prispevek mokrišč, močvirij oziroma poplavnih ravnin (1,3) je podoben kot kmetijskih zemljišč (1,2). Za pozidana zemljišča smo ugotovili, da so brez relativnega prispevka k ekosistemski storitvi varovanja vodnih virov (0,0).

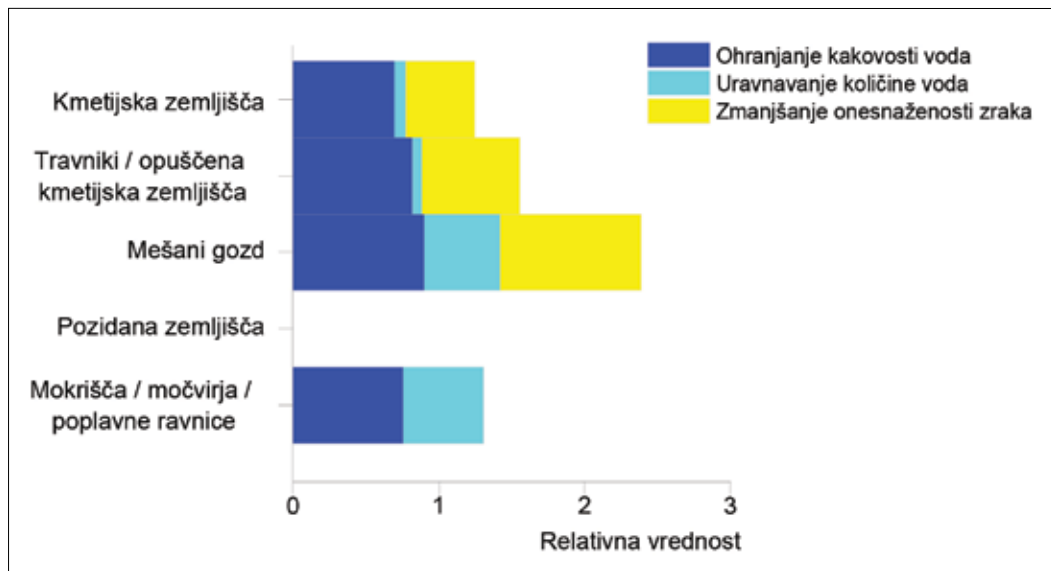
#### 4 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI 4 DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Gozd s svojimi gostimi krošnjami, listnim opadom in gozdnimi tlemi deluje kot naravni filter za onesnaževala v zraku, tleh in vodi (Simončič in sod., 2000), zato je pomembno vedeti, v kolikšni meri gozd ohranja ali izboljšuje kakovost voda v primerjavi z drugimi rabami tal. V naši raziskavi predstavljamo metodologijo za oceno ekosistemskih storitev urbanih gozdov za varovanje rezervnega vodnega vira.

Da bi lahko primerjali ekosistemske storitve urbanih gozdov z drugimi rabami tal, smo zbrali kvantitativne in kvalitativne kazalnike za

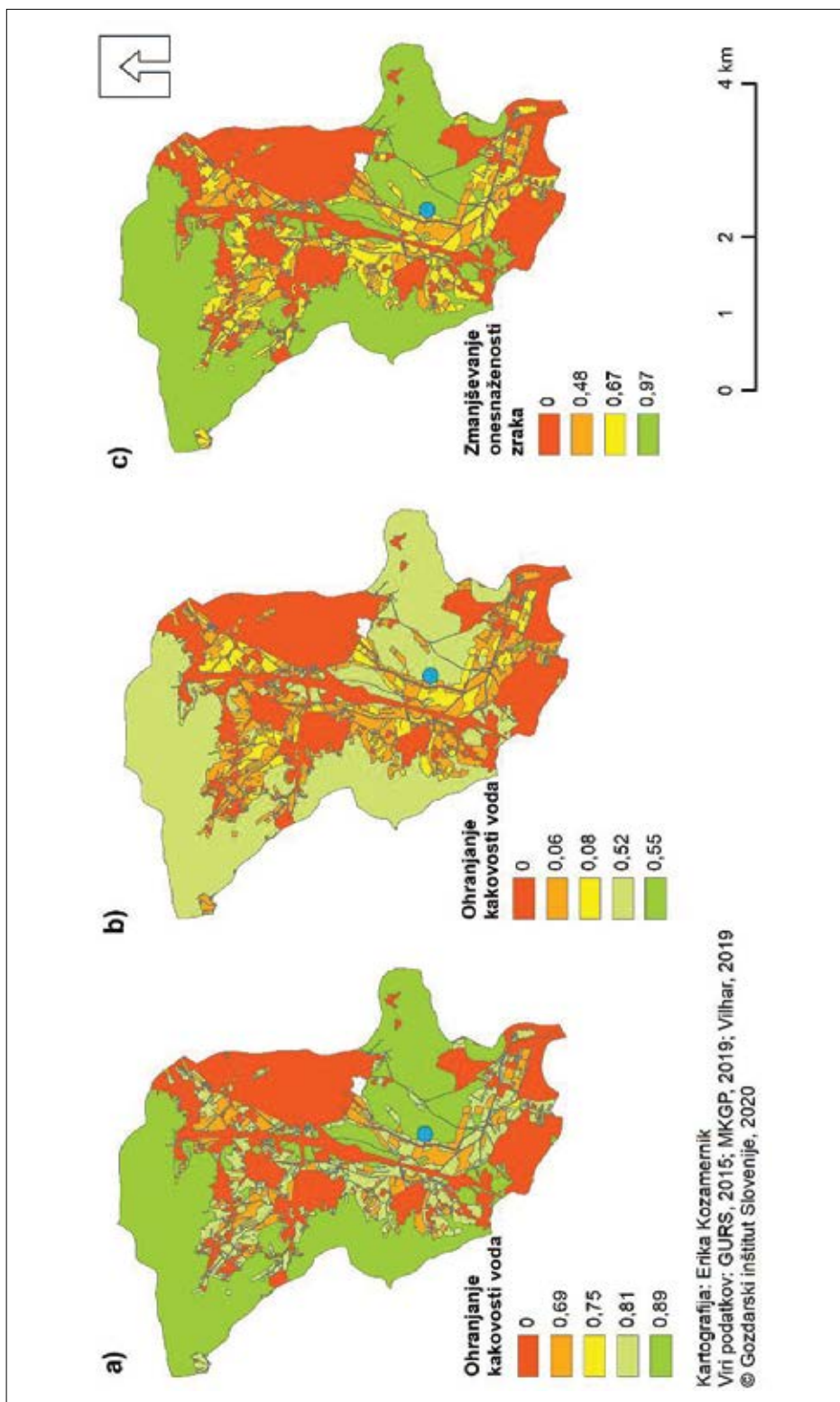
ohranjanje kakovosti voda, uravnavanje količine voda ter zmanjšanje onesnaženosti zraka (Vilhar in Kozamernik, 2019). Na podlagi rezultatov ugotavljamo, da urbani gozdovi v znatno večji meri prispevajo k ekosistemski storitvi varovanja vodnih virov kot druge rabe tal. Največji prispevek urbanih gozdov je bil ugotovljen za zmanjševanje onesnaženosti zraka, kjer so kazalniki znatno višji kot za kmetijska zemljišča ali travnike. Drevesa namreč zelo učinkovito prestrzajo onesnaževala in prašne delce v zraku (Bolund in Hunhammar, 1999; Nowak in sod., 2000; Bealey in sod., 2007). Njihova sposobnost filtriranja se veča z listno površino in je zato večja za drevesa kot za grmičevje ali trave (Givoni, 1991). Zaradi večje skupne površine iglic imajo iglavci večjo sposobnost filtriranja onesnaževal in prašnih delcev v zraku, hkrati pa obdržijo iglice tudi pozimi, ko je onesnaženost zraka največja (Grundstrom in sod., 2015). Ker pa so listavci v primerjavi z iglavci učinkovitejši pri absorpciji plinov, je mešan gozd iglavcev in listavcev najboljša alternativa za zmanjševanje onesnaženosti zraka (Givoni, 1991).

Prav tako je bil ugotovljen velik prispevek urbanih gozdov k ohranjanju kakovosti voda, saj



Slika 4: Relativni prispevek urbanih gozdov ter drugih kategorij rabe tal k ekosistemskim storitvam varovanja vodnih virov v študijskem območju

Figure 4: Relative contribution of urban forests and other land use categories to the ecosystem services of water resources protection in the study area



Slika 5: Karta relativnega prispevka urbanih gozdov ter drugih kategorij rabe tal v študijskem območju k: a) ohranjanju kakovosti voda, b) uravnavanju količine voda ter c) zmanjšanju onesnaženosti zraka

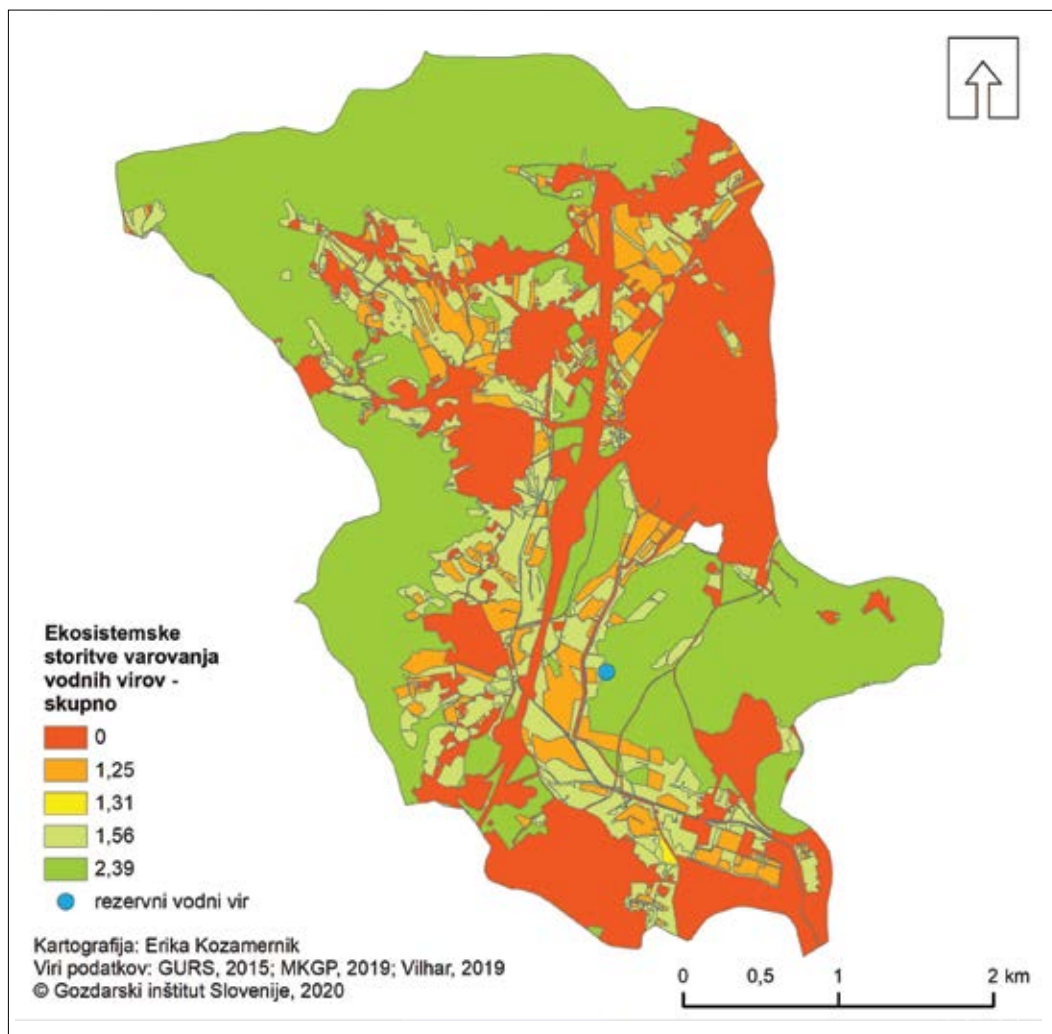
Figure 5: Map of the relative contribution of urban forests and other land use categories in the study area to: a) preservation of quality of waters, b) regulation of quantity of waters and c) reduction of air pollution



so bile vrednosti kazalnikov višje kot pri travnikih ali mokriščih. Gozdovi imajo namreč najvišje vrednosti razmerja C/N v tleh ter najmanjše največje koncentracije nitrata v podtalnici ljubljanskega vodonosnika. Znatno manjši je bil prispevek k ohranjanju kakovosti voda za kmetijska zemljišča, predvsem zaradi največjih koncentracij nitrata v podtalnici ljubljanskega vodonosnika, vendar pa niso presegle mejnih vrednosti za podzemne vode 50 mg NO<sub>3</sub>-I (Krajnc, 2011). To je najverjetneje posledica dobre kakovosti podtalnice na vseh

merilnih mestih (Železnik, 2005), zahvaljujoč dobri zaščiti vodonosnika Ljubljanskega polja pred vplivi urbanizacije z glinastimi plastmi nad njim (Urbanc in sod., 2001).

Pomemben je tudi prispevek urbanih gozdov k uravnavanju količine voda, ki pa je bil večji za mokrišča, močvirja in poplavne ravnice. Urbani gozdovi imajo namreč najvišje kazalnike za prestrazanje padavin v krošnjah dreves (Inkiläinen in sod., 2013; Kermavnar in Vilhar, 2017), medtem ko je zadrževalna sposobnost tal za vodo za mokrišča



Slika 6: Relativni prispevek urbanih gozdov ter drugih rab tal k ekosistemske storitvi varovanja vodnih virov v študijskem območju

Figure 6: Relative contribution of urban forests and other land uses to the ecosystem services of water resources protection in the study area

zelo velika. Za kmetijska zemljišča in travnike sta oba kazalnika nižja, zato je njihov prispevek k uravnavanju količine voda v relativnem pomenu le malo večji kot pri pozidanih zemljiščih.

Za pozidana zemljišča so bile pri vseh kazalnikih za ohranjanje kakovosti voda, uravnavanje količine voda ter zmanjšanje onesnaženosti zraka najnižje vrednosti. S pozidavo zemljišč z betonom in asfaltom se namreč spremeni kroženje vode (Vilhar, 2017). Pri pozidanih zemljiščih veliko večji delež padavin odteče, kot je površinski odtok (Sanders, 1986; Gregory in sod., 2006), ki povzroči povečane največje pretoke (Bartens in sod., 2008), hkrati pa se s spiranjem onesnaževal s cest, streh, kanalizacije ter industrijskih odpadk, poveča onesnaženost voda (Duda in sod., 1982; Vižintin in sod., 2009). Urbanizacija ustvari tudi številne nenačrtovane poti, po katerih voda odteka v podtalje, kot so puščajoča vodovodna napeljava, kanalizacija in greznice (Duda in sod., 1982).

Za celotno študijsko območje, ki obsega porečje vodotoka Glinščica, ugotavljamo, da urbani gozdovi na 44,7 % površine dobro opravljajo ekosistemsko storitev varovanja virov vode. K ekosistemski storitvi varovanja vodnih virov razmeroma ugodno prispevajo travniki oziroma opuščena kmetijska zemljišča na 16 % površine ter mokrišča, močvirja in poplavne ravnice, ki v študijskem območju obsegajo 1,2 % in so pomembna predvsem z vidika zadrževanja voda. Malce slabši je prispevek kmetijskih zemljišč, ki v študijskem območju obsegajo 7,5 %. Pozidana zemljišča, ki obsegajo kar 31,4 % površine študijskega območja, pa k ekosistemski storitvi varovanja vodnih virov ne prispevajo oziroma jo ogrožajo (Walsh in sod., 2005; Vižintin in sod., 2009).

V vodovarstvenih območjih rezervnega vira vode so urbani gozdovi na 76 % površine v I. vodovarstvenem območju, 26 % v II. vodovarstvenem območju ter 57 % površine v III. vodovarstvenem območju. Glede na rezultate naše raziskave, ki kažejo na velik prispevek urbanih gozdov k ekosistemski storitvi varovanja vodnih virov v primerjavi z drugimi rabami tal, bi bilo smiselno njihov delež ohraniti ali v II. in III. vodovarstvenem območju celo povečati (Sanders, 1986; Pauleit in Duhme, 2000). Vsekakor pa bi bilo priporočljivo omejiti širjenje urbanizacije ter druge človekove dejavnosti, ki ogrožajo vodne vire.

## 5 POVZETEK

Med pomembnejše ekosistemske storitve gozdov uvrščamo varovanje vodnih virov, varovanje pred poplavami ter zmanjševanje onesnaženosti zraka. Kakovost vodnih virov je tako boljša v gozdnatih vodozbornih območjih v primerjavi z drugimi rabami tal.

Pri varovanju vodnih virov pa imajo poseben pomen urbani gozdovi. Na študijskem območju se prepletajo različne rabe tal, pri čemer pa 44,7 % območja pokrivajo gozdovi. V naši raziskavi predstavljamo metodologijo ocenjevanja ekosistemskih storitev urbanih gozdov za varovanje rezervnega vodnega vira. Pri tem smo uporabili nabor kazalnikov in z njimi povezanih parametrov na podlagi različnih okoljskih raziskav in monitoringov tal, onesnaženosti zraka in gozdov. Relativne vrednosti izbranih kazalnikov smo primerjali za različne rabe tal s poudarkom na urbanih gozdovih. Metodologija predstavlja prvo tovrstno neekonomsko oceno ekosistemskih storitev urbanih gozdov za varovanje rezervnega vodnega vira.

Da bi lahko primerjali ekosistemske storitve gozdov za varovanje vodnih virov z drugimi rabami tal, smo na podlagi domačih raziskav in tuje literature opravili pregled kvantitativnih in kvalitativnih kazalnikov. Za izbrane kazalnike smo poiskali ustrezne parametre, katerih vrednosti smo standardizirali in jim pripisali relativno vrednost od 0 do 100. Ker je posamezni kazalnik določevalo več parametrov, smo njihove vrednosti agregirali in jih prikazali kot skupni kazalnik za posamezno ekosistemsko storitev.

Primerjali smo vrednosti kazalnikov *a) ohranjanje kakovosti voda*, *b) uravnavanje količine voda* ter *c) zmanjševanje onesnaženosti zraka*, in sicer za urbane gozdove ter za druge prevladujoče rabe tal na študijskem območju. Kategorije dejanske rabe tal smo razvrstili v združene kategorije rabe tal glede na njihov relativni prispevek k ekosistemskim storitvam varovanja vodnih virov. Na podlagi agregiranih vrednosti kazalnikov smo izdelali karte relativnega prispevka združenih kategorij rab tal k ekosistemskim storitvam varovanja vodnih virov.

Največji relativni prispevek k ohranjanju kakovosti voda je bil ugotovljen za mešani urbani gozd. Pri uravnavanju količine voda je bil največji relativni prispevek ugotovljen za kategorijo mokrišča, močvirja oziroma poplavne ravnice, na drugem mestu je ponovno mešani urbani gozd. Tudi največji relativni prispevek k zmanjševanju onesnaženosti zraka je bil ugotovljen za mešani urbani gozd, kateremu pa sledijo travniki oziroma opuščena kmetijska zemljišča.

Gozd s svojimi gostimi krošnjami, listnim opadom in gozdnimi tlemi deluje kot naravni filter za onesnaževala v zraku, tleh in v vodi. Na podlagi rezultatov ugotavljamo, da urbani gozdovi v znatno večji meri prispevajo k ekosistemski storitvi varovanja vodnih virov v primerjavi z drugimi rabami tal. Za celotno študijsko območje ugotavljamo, da urbani gozdovi dobro opravljajo ekosistemsko storitev varovanja vodnih virov. Glede na rezultate raziskave bi bilo smiselno njihov delež ohraniti ter v II. in III. vodovarstvenem območju rezervnega vodnega vira celo povečati, hkrati pa omejiti urbanizacijo ter dejavnosti, ki pomenijo potencialno grožnjo vodnim virom.

Water resources protection, flooding protection and reduction of air pollution are classified as ecosystem forest services of considerable importance. Compared to other land uses, quality of water resources is therefore higher in the forested water catchment areas.

Urban forests are of particular significance for protecting water resources. Diverse land uses intermix on the study area, whereby 44.7 % of the area is covered with forests. In our study, we present the methodology for assessing ecosystem services of urban forests for protecting the reserve water resource. Thereby, we applied a set of indicators and related parameters based on diverse environmental researches and soil monitoring, air pollution and forest pollution. We compared relative values of the selected indicators for diverse land uses with the highlight on the urban forests. The methodology represents the first non-economic assessment of the urban forest ecosystem services for protecting reserve water resources.

To be able to compare forest ecosystem services for water resources protection with services of other land uses, we performed an overview

of quantitative and qualitative indicators. We acquired appropriate parameters for the selected indicators, standardized their values and ascribed them a relative value from 0 to 100. Since an individual indicator was determined by several parameters, we aggregated their values and presented them as a collective indicator for an individual ecosystem service.

## 5 SUMMARY

We compared the values of the following indicators: *a) conservation of quality of waters, b) regulation of quantity of waters and c) reduction of air pollution*; comparisons were made for urban forests and other prevailing soil uses in the study area. Categories of the actual use were classified in combined land use categories with regard to their relative contribution to the ecosystem services of water resources protection. Based on the aggregated values of the indicators, we developed maps of relative contribution of the combined land use categories to the ecosystem services of water resources protection.

The maximum relative contribution to the water quality preservation was stated for the mixed urban forest. In water quantity regulation, the maximum relative contribution was found for the category »wetlands, marshes and flood plains«, again followed by the mixed urban forest on the second place. The maximum relative contribution to the reduction of air pollution was also stated for the mixed urban forest, followed by the grassland and abandoned agricultural land.

Forest with its dense tree crowns, leaf drop and forest soil acts as a natural filter for pollutants in the air, soil and water. Based on the results, we state urban forests contribute to the ecosystem service of water resources protection to a significantly greater extent than other land uses. We found out for the entire study area, that the urban forests perform the ecosystem service of water resources protection well. With regard to the study results, it would be reasonable to preserve their share and even to increase it in the water protection zones II and III of the reserve water resource and, at the same time, to limit the urbanization and activities representing a potential threat for the water resources.

## 6 ZAHVALA

## 6 ACKNOWLEDGEMENT

Raziskave so potekale v okviru projekta Interreg programa PROLINE-CE Srednja Evropa, ki ga je financiral Evropski regionalni razvojni sklad (ESRR), ter projekta Procesi infiltracije v gozdnatih kraških vodonosnikih ob spremenljivih okoljskih pogojih (J2-1749) in Programske skupine Gozdna biologija, ekologija in tehnologija (P4-0107), ki ju sofinancira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije iz državnega proračuna.

## 7 VIRI

## 7 REFERENCES

Anonymous. 2019. Učinkovitost dolgoročnega ohranjanja virov pitne vode. Revizijsko poročilo. Ljubljana, Računsko sodišče Republike Slovenije: str. 44.

Armson, D., Stringer, P., Ennos, A. R. 2013. The effect of street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12, 3: 282-286.

Ausec, L., Kraigher, B., Mandic-Mulec, I. 2009. Differences in the activity and bacterial community structure of drained grassland and forest peat soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 41, 9: 1874-1881.

Bartens, J., Day, S. D., Harris, J. R., Dove, J. E., Wynn, T. M. 2008. Can urban tree roots improve infiltration through compacted subsoils for stormwater management? *J Environ Qual*, 37, 6: 2048-57.

Bealey, W. J., McDonald, A. G., Nemitz, E., Donovan, R., Dragosits, U., Duffy, T. R., Fowler, D. 2007. Estimating the reduction of urban PM10 concentrations by trees within an environmental information system for planners. *Journal of Environmental Management*, 85, 1: 44-58.

Bolund, P., Hunhammar, S. 1999. Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29, 2: 293-301.

Bončina, A. (ur.). 2013. Razvoj večnamenskega gospodarjenja z gozdovi: funkcije gozda, ekosistemske storitve in prednostna območja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Zavod za gozdove Slovenije: str. 31-36.

Bouten, W., Jansson, P.-E. 1995. Water balance of the Solling spruce stand as simulated with various forest-soil-atmosphere models. *Ecological Modelling*, 83, 1-2: 245-253.

Bračič-Železnik, B., Čenčur Curk, B. (ur.). v tisku. Rezervni vodni vir – vodarna Koseze v Ljubljani. Projekt PROLINE-CE - Učinkovite prakse upravljanja s prostorom z vključevanjem zaščite vodnih virov in negradbenih protipoplavnih ukrepov je del programa Interreg Srednja Evropa 2014-2020. Ljubljana.

Burkhard, B. 2011. Conceptual framework for indicator assignment and selection for LTER-sites, EnvEurope project: str. 54.

Chang, M. 2003. *Forest hydrology: an introduction to water and forests*. CRC Press LLC: 392 str.

Čenčur Curk, B., Praprotnik Kastelic, J., Banovec, P., Cilenšek, A., Cerk, M., Bračič Železnik, B. 2017. PROLINE-CE WORKPACKAGE T2, ACTIVITY T2.1; PILOT ACTION PAC2.1: WELL FIELD DRAVLJE VALLEY IN LJUBLJANA. Ljubljana, University of Ljubljana: str. 25.

De Groot, R. S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., Willemsen, L. 2010. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7, 3: 260-272.

Direktiva 2000 / 60 / EC Evropskega parlamenta in Sveta o določitvi okvirja za ukrepanje Skupnosti na področju politike do voda. 2000. 2000 / 60 / EC.

Dobbs, C., Escobedo, F. J., Zipperer, W. C. 2011. A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landscape and Urban Planning*, 99, 3-4: 196-206.

Duda, A. M., Lenat, D. R., Penrose, D. L. 1982. Water Quality in Urban Streams: What We Can Expect. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 54, 7: 1139-1147.

Gallo, E. L., Lohse, K. A., Brooks, P. D., Mcintosh, J. C., Meixner, T., McInain, J. E. T. 2012. Quantifying the effects of stream channels on storm water quality in a semi-arid urban environment. *Journal of Hydrology*, 470-471, 0: 98-110.

Givoni, B. 1991. Impact of planted areas on urban environmental quality: A review. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, 25, 3: 289-299.

Gregory, J. H., Dukes, M. D., Jones, P. H., Miller, G. L. 2006. Effect of urban soil compaction on infiltration rate. *Journal of Soil and Water Conservation*, 61, 3: 117-124.

Grundstrom, M., Tang, L., Hallquist, M., Nguyen, H., Chen, D., Pleijel, H. 2015. Influence of atmospheric circulation patterns on urban air quality during the winter. *Atmospheric Pollution Research*, 6, 2: 278-285.

Inkiläinen, E. N. M., Mchale, M. R., Blank, G. B., James, A. L., Nikinmaa, E. 2013. The role of the residential urban forest in regulating throughfall: A case study in Raleigh, North Carolina, USA. *Landscape and Urban Planning*, 119, 91-103.

Ivančič, M., Vončina, R. 2013. Modelling PM10 dispersion from road traffic and industry in Ljubljana basin. Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Madrid: 1-6 str.

Japelj, A. 2016. Ekonomsko vrednotenje ekosistemskih storitev za oblikovanje politik trajnostne rabe gozdnih virov. Economic valuation of ecosystem services



- for designing policies of sustainable use of forest resources Biotehniška fakulteta, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 181 str.
- Jørgensen, S. E., Costanza, R., Xu, F. L. (ur.). 2005. Handbook of ecological indicators for assessment of ecosystem health. Boca Raton, Florida, CRC Press: str. 439.
- Kermavnar, J., Vilhar, U. 2017. Canopy precipitation interception in urban forests in relation to stand structure. *Urban Ecosystems*, 20, 6: 1373–1387.
- Koleša, T., Planinšek, A. 2013. Opredelitev virov delcev PM10 v Ljubljani. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Agencija RS za okolje: str. 29.
- Konijnendijk, C. C., Ricard, R. M., Kenney, A., Randrup, T. B. 2006. Defining urban forestry – A comparative perspective of North America and Europe. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4, 3–4: 93–103.
- Koschke, L., Fürst, C., Frank, S., Makeschin, F. 2012. A multi-criteria approach for an integrated land-cover-based assessment of ecosystem services provision to support landscape planning. *Ecological Indicators*, 21, 0: 54–66.
- Krajnc, M. 2011. Life+ Project INCOME Water Care: Action A.2.3 Data from national monitoring Ljubljana, ARSO: str. 33.
- Kristensen, P., Pirc-Velkavrh, A. 2003. EEA core set of indicators Revised version April 2003. Adopted version for ECCAA countries May 2003: str. 79.
- Le Pape, P., Ayrault, S., Quantin, C. 2012. Trace element behavior and partition versus urbanization gradient in an urban river (Orge River, France). *Journal of Hydrology*, 472–473, 0: 99–110.
- Loose, A., Jankovič, M., Jazbinšek Seršen, N. 2008. Program varstva okolja za Mestno občino Ljubljana 2007–2013. Environmental Action Programme 2007–2013. Ljubljana, Slovenia, Mestna občina Ljubljana, Oddelek za varstvo okolja. City of Ljubljana, The Department for Environmental Protection: str.
- Maes, J., Egoh, B., Willemsen, L., Liqueste, C., Vihervaara, P., Schägner, J. P., Grizzetti, B., Drakou, E. G., Notte, A. L., Zulian, G., Bouraoui, F., Luisa Paracchini, M., Braat, L., Bidoglio, G. 2012. Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union. *Ecosystem Services*, 1, 1: 31–39.
- McPherson, E. G., Nowak, D., Heisler, G., Grimmond, S., Souch, C., Grant, R., Rowntree, R. 1997. Quantifying urban forest structure, function, and value: the Chicago Urban Forest Climate Project. *Urban Ecosystems*, 1, 1: 49–61.
- Mea. 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Washington, DC: str. 281.
- Müller, F., Burkhard, B. 2012. The indicator side of ecosystem services. *Ecosystem Services*, 1, 1: 26–30.
- Nahlik, A. M., Kentula, M. E., Siobhan Fennessy, M., Landers, D. H. 2012. Where is the consensus? A proposed foundation for moving ecosystem service concepts into practice. *Ecological Economics*, 77, 27–35.
- Nowak, D. J., Civerolo, K. L., Trivikrama Rao, S., Gopal, S., Luley, C. J., E. Crane, D. 2000. A modeling study of the impact of urban trees on ozone. *Atmospheric Environment*, 34, 10: 1601–1613.
- Oecd. 2008. *Key Environmental Indicators*: str. 38.
- Ogrin, M. 2007a. Air pollution due to road traffic in Ljubljana. *Dela*, 27, 199–214.
- Ogrin, M. 2007b. Proučevanje širjenja prometnega onesnaževanja v pokrajini z metodo difuzivnih vzorčevalnikov. Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: Doktorska disertacija: 199 str.
- Ohnjec, Ž. 2007. Analiza razmer za spravilo lesa in transport lesa v krajinskem parku Tivoli, Rožnik in Šišenski hrib. Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Ljubljana, Univerza v Ljubljani. University of Ljubljana: 65 str.
- Pauleit, S., Duhme, F. 2000. Assessing the environmental performance of land cover types for urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 52, 1: 1–20.
- Planinšek, Š., Pirnat, J. 2012. Predlogi za izboljšanje sistema funkcij gozdov v Sloveniji. Proposals for Improvement of the System of Forest Functions in Slovenia. *Gozdarski vestnik*, 70, 5–6: 276–283.
- Pravilnik o načrtih za gospodarjenje z gozdovi in upravljanje z divjadjo. 2010. Uradni list RS, št. 91/2010.
- Sanders, R. A. 1986. Urban vegetation impacts on the hydrology of Dayton, Ohio. *Urban Ecology*, 9, 3–4: 361–376.
- Sanesi, G., Gallis, C., Kasperidus, H. D. 2011. Urban Forests and Their Ecosystem Services in Relation to Human Health. V: *Forests, Trees and Human Health*. K. Nilsson, M. Sangster, C. Gallis, T. Hartig, S. De Vries, K. Seeland, J. Schipperijn. (ur.). Dordrecht, Springer Netherlands: 23–40.
- Simončič, P., Kalan, P., Rupel, M., Kraigher, H. 2000. Kroženje hranil in biomase. V: *Rizosfera: raziskave gozdnih tal in rizosfere ter njihov vpliv na nekatere fiziološke parametre gozdnega drevja v izbranih gozdnih ekosistemi, sestojnih tipih in razvojnih fazah gozda. The Rhizosphere: studies of forest soils and the rhizosphere and their influences on chosen physiological parameters of forest trees in selected forest ecosystems, forest types and developmental phases of the forest*. H. Kraigher, I. Smolej. (ur.). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 118: 90–102.
- Small, N., Munday, M., Durance, I. 2017. The challenge of valuing ecosystem services that have no material benefits. *Global Environmental Change*, 44, 57–67.
- Sms, U. 2012. *Soil in the City. URBAN Soil management Strategy*. Stuttgart, Department for Environmental Protection: str. 30.

- Steinman, F. 1999. Direktiva Evropskega parlamenta in sveta o določitvi okvirja za ukrepanje skupnosti na področju politike do voda. Ljubljana, UL, FGG, katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem: str.
- Šijanec, M. 2009. Sposobnost izbranih tal za zadrževanje vode. Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo. Ljubljana, University of Ljubljana: 59 str.
- Tyrväinen, L., Silvennoinen, H., Kolehmainen, O. 2003. Ecological and aesthetic values in urban forest management. *Urban Forestry & Urban Greening*, 1, 3: 135-149.
- Urbanc, J. 2010. Life+ Project INCOME Water Care: Groundwater Chemical Status - Ljubljansko polje and Ljubljansko Barje Aquifers. Ljubljana, Geological Survey of Slovenia: str. 11.
- Urbanc, J., Prestor, J., Janža, M., Rikanovič, R., Strojani, M., Praprotnik, B., Železnik, B., Žlebnič, L. 2001. Hidrogeološke raziskave izvirov na območju Ljubljanskega polja in Barja za določitev razpoložljivih in obnovljivih vodnih virov mesta Ljubljane. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije: str. 27.
- Urbančič, M., Kobal, M., Ferreira, A., Simončič, P. 2010. Gozdna tla Mestne občine Ljubljana. *Gozdarski vestnik*, 68, 5/6: 292-300.
- Uredba o oskrbi s pitno vodo. 2012. Uradni list RS, št. 88/12.
- Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Ljubljanskega Barja in okolice Ljubljane. 2007, 2008, 2012. Uradni list RS, št. 115/07, 9/08, 65/12.
- Ustava Republike Slovenije. 1991, 1997, 2000, 2003, 2004, 2006, 2013, 2016. Uradni list RS, št. 33/91-I, 42/97-UZS68, 66/00-UZ80, 24/03-UZ3a, 47, 68, 69/04-UZ14, 69/04-UZ43, 69/04-UZ50, 68/06-UZ121,140,143, 47/13-UZ148, 47/13-UZ90,97,99, 75/16-UZ70a.
- Vilhar, U. 2017. The Urban Forest. Water Regulation and Purification. V: *The Urban Forest. Cultivating Green Infrastructure for People and the Environment*. D. Pearlmutter, C. Calfapietra, R. Samson, L. O'brien, S. Krajter Ostoić, G. Sanesi, R. Alonso Del Amo, Springer: 41-47.
- Vilhar, U., Kobal, M., Simončič, P. 2012. Kroženje vode v bukovih gozdovih. V: *Bukovi gozdovi v Sloveniji: ekologija in gospodarjenje*. A. Bončina. (ur.). Ljubljana, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani: 103-113.
- Vilhar, U., Kozamernik, E. 2019. Assessment of urban forest hydrological ecosystem services for an reserve drinking water source in the City of Ljubljana. *European Forum on Urban Forestry 2019 (EFUF2019)*, Koeln, Germany, EFI: xx str.
- Vilhar, U., Planinšek, Š., Ferreira, A. 2010. Vpliv gozdov na kakovost virov pitne vode Mestne občine Ljubljana. Influence of forests on drinking water resources quality in the Municipality of Ljubljana. *Gozdarski vestnik*, 68, 5/6: 310-320.
- Vilhar, U., Simončič, P. 2012. Identification of Key Indicators for Drinking Water Protection Services in the Urban Forests of Ljubljana. *SEEFOR South-east European Forestry*, 3, 2: 103-113.
- Vilhar, U., Simončič, P., Kafjež-Bogataj, L., Katzensteiner, K., Diaci, J. 2006. Influence of forest management practice on water balance of forest in the dinaric karst. All about karst & water: decision making in a sensitive environment Vienna, 09.-11.10.2006: 290-295 str.
- Vilhar, U., Žlindra, D., Rupel, M., Simončič, P. 2014. Spremljanje kakovosti zraka v gozdu. Monitoring of ambient air quality in forests. *Vetrnica*, 7, 109-119.
- Vižintin, G., Souvent, P., Veselič, M., Čencur Curk, B. 2009. Determination of urban groundwater pollution in alluvial aquifer using linked process models considering urban water cycle. *Journal of Hydrology*, 377, 3-4: 261-273.
- Vuletić, D., Posavec, S., Krajter, S., Paladinić, E. 2010. Payments for environmental services (PES) in Croatia SEEFOR South-east European Forestry, 1, 2: 51- 98.
- Wallace, K. J. 2007. Classification of ecosystem services: Problems and solutions. *Biological Conservation*, 139, 3: 235-246.
- Walsh, C. J., Fletcher, T. D., Ladson, A. R. 2005. Stream Restoration in Urban Catchments through Redesigning Stormwater Systems: Looking to the Catchment to Save the Stream. *Journal of the North American Benthological Society*, 24, 3: 690-705.
- Xiao, Q. F., Mcpherson, E. G., Simpson, J. R., Ustin, S. L. 1998. Rainfall interception by Sacramento's urban forest. *Journal of Arboriculture*, 24, 4: 235-244.
- Zakon o gozdovih s spremembami in dopolnitvami. 1993, 1998, 2007, 2010. Uradni list RS, št. 30/1993, 13/1998, 67/2002, 115/2006, 110/2007, 106/2010.
- Zakon o varstvu okolja. 2006. Uradni list RS, št. 39/06.
- Zakon o vodah. 2002, 2008, 2012. Uradni list RS, št. 67/2002, 57/2008, 57/2012.
- Zhiyanski, M., Sokolovska, M., Glushkova, M., Vilhar, U., Lozanova, L. 2017. The Urban Forest. Soil Quality. V: *The Urban Forest. Cultivating Green Infrastructure for People and the Environment*. D. Pearlmutter, C. Calfapietra, R. Samson, L. O'brien, S. Krajter Ostoić, G. Sanesi, R. Alonso Del Amo, Springer: 49-58.
- Zupancic, T., Kingsley, M., Jason, T., Macfarlane, R. 2015. Why Nature Matters to Health – An Evidence Review. Toronto, Ontario, Toronto Public Health: 2 Green City: 37 str.
- Železnik, B. 2005. Potencialni novi viri pitne vode za mestno občino Ljubljana. Ljubljana, Javno podjetje Vodovod-Kanalizacija