

# Prispevek različnih urbanih gozdov k zagotavljanju hidrološke funkcije

Urša Vilhar<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Gozdarski inštitut Slovenije

\*ursa.vilhar@gozdis.si

## Izvilleček

Gozdovi pomembno prispevajo k zagotavljanju hidrološke funkcije, kar je še posebej pomembno v urbanih okoljih. V prispevku predstavljamo metodologijo za ugotavljanje dveh kazalnikov za hidrološko funkcijo gozda: a) razmerje med odtokom in padavinami (Q/P) in b) razmerje med evapotranspiracijo in padavinami (ETP/P) v štirih izbranih urbanih gozdovih z različno drevesno sestavo in sestojno zgradbo v letih od 2007 do 2022. Evapotranspiracijo in odtok v podtalje smo simulirali s hidrološkim modelom Brook90, ki smo ga umerili in preverili z merjenimi vrednostmi prepuščenih padavin in vsebnosti vlage v tleh. Model Brook90 se je izkazal kot primeren model za oceno evapotranspiracije in odtoka v podtalje za urbane gozdove. Najmanjša sposobnost uravnavanja vodnega režima ter s tem zagotavljanja hidrološke funkcije v obravnavanih letih je bila v poplavnem gozdu listavcev v Gameljnah (Q / P = 0,75; ETP / P = 0,26), največja pa v mešanem gozdu na Rožniku (Q / P = 0,41; ETP / P = 0,59).

**Ključne besede:** Urbani gozdovi, evapotranspiracija, odtok, hidrološki model Brook90, hidrološka funkcija

## 1 Uvod

Gozdni ekosistemi so pomembni za zagotavljanje hidrološke funkcije, saj s prestrežanjem padavin in zadrževanjem vode v tleh prispevajo k uravnavanju odtoka, varujejo pred poplavami ter prispevajo k zmanjšanju onesnaženost zraka in gozdnih tal (Bolund in Hunhammar, 1999; Chang, 2003; Vilhar in sod., 2014). To je še posebej pomembno v urbani krajini (Barbante in sod., 2014), kjer so prestrežanje onesnaževal iz ozračja (Vilhar in sod., 2014), ohranjanje kakovosti vodnih virov (Vilhar in sod., 2010) in uravnavanje odtoka (Vilhar, 2017) še toliko bolj pomembne ekosistemske storitve gozdov (Bolund in Hunhammar, 1999; MEA, 2005). Urbanizacija namreč zaradi povečanih vnosov hranil, težkih kovin in organskih onesnaževal negativno vpliva na kakovost vodnih virov (Le Pape in sod., 2012). Hkrati urbanizacija prispeva

tudi k večjemu in dlje trajajočemu površinskemu odtoku zaradi pozidave tal (Armson in sod., 2013; Gallo in sod., 2012).

Hidrološka funkcija gozda je v Pravilniku o načrtih za gospodarjenje z gozdovi in upravljanje z divjadjo (2010, 2020) definirana kot: "mehansko in biološko čiščenje vode, ki odteče ali pronica z gozdnih površin, ter uravnavanje vodnega režima z zadrževanjem hitrega odtekanja padavinske vode (dežja) s površja (po pobočju in v globino), počasnejšim taljenjem snega, ohranjanjem vode v gozdnih tleh in rastlinah in zakasnenim pronicanjem vode iz gozdnih tal v sušnih obdobjih. Poudarjeno hidrološko funkcijo imajo zlasti gozdovi v vodovarstvenih območjih, določenih v skladu s predpisi, ki urejajo vode."

Raziskav o kazalnikih, ki opisujejo, kako in v kolikšnem obsegu urbani gozdovi prispevajo k zagotavljanju hidrološke funkcije, je malo (Brauman in sod., 2007; Dobbs in sod., 2011; Harrison-Atlas in sod., 2016; Kermavnar in Vilhar, 2017; Vilhar in Kozamernik, 2020), kar je najverjetneje posledica kompleksnosti procesov in povezav med urbani gozdovi in vodo (Vilhar, 2017). Taki kazalniki so pomembni zaradi poznavanja optimalne sestave in zgradbe gozdnega sestoja (Vilhar in Kozamernik, 2020). Omogočili bi razvoj smernic za prilagojeno gospodarje z urbani gozdovi z namenom zagotavljanja hidrološke funkcije v urbani krajini (Pirnat in Kobal, 2020), usklajeno s smernicami Vodne direktive (2000 / 60 / EC) in načrti upravljanja voda (Zakon o vodah s spremembami in dopolnitvami, 2002, 2008, 2012, 2013, 2014, 2015, 2020, 2023).

V prispevku predstavljamo metodologijo za ugotavljanje dveh kazalnikov za hidrološko funkcijo gozda: a) razmerje med odtokom in padavinami (Q/P) in b) razmerje med evapotranspiracijo in padavinami (ETP/P).

## 2 Metode

V obdobju od leta 2007 do 2022 smo simulirali evapotranspiracijo in odtok v podtalje s hidrološkim modelom Brook90 v petih izbranih urbanih gozdovih z različno drevesno sestavo in zgradbo sestoja:

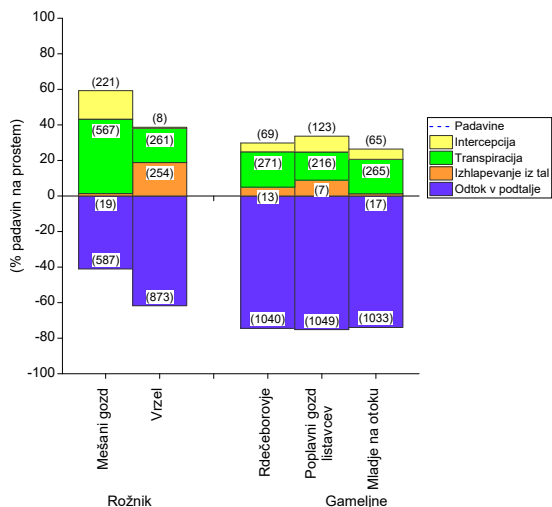
- a) v mešanem gozdu na Rožniku (odrasel sestoj in vrzel z mladjem), kjer je prisoten zasmrečen mešani gozd gradna in domačega kostanja (*Querceto-Castanetum*) na globokih, ilovnatih do ilovnato glinastih distričnih rjavih tleh (Verlič in sod., 2014);
- b) v poplavnem gozdu listavcev (odrasel sestoj in mladje na otoku), kjer prevladuje gozdna združba vrbovij s topoli na zmerno globokih, razvitih karbonatnih obrečnih tleh (Vilhar in sod., 2013);
- c) v obrežnem rdečeborovju v Gameljnah, ki se uvrščajo v uvrščajo v asociacijo *Brachypodio-Pinetum sylvestris*, na zmerno globokih, razvitih karbonatnih obrečnih tleh (Vilhar in sod., 2013).

Hidrološki model Brook90 smo umerili in preverili z merjenimi vrednostmi prepuščenih padavin in vsebnosti vlage v tleh na izbranih ploskvah. Za oceno prispevka izbranih urbanih gozdnih sestojev k zagotavljanju hidrološke funkcije gozdov smo primerjali dva kazalnika: a) razmerje med letnim odtokom in padavinami (Q/P) (Rose, 2009) in b) razmerje med evapotranspiracijo in padavinami (ETP/P) (Fang in sod., 2022).

### 3 Rezultati

Rezultati modela Brook90 kažejo, da je bila v obdobju simulacije najvišja povprečna letna evapotranspiracija v mešanem gozdu na Rožniku (808 mm oziroma 59 % padavin na prostem) (Slika 1). Sledi vrzel v mešanem gozdu (523 mm oziroma 39 % padavin na prostem). Najnižja povprečna letna evapotranspiracije je bila simulirana v poplavnem gozdu listavcev (347 mm oziroma 25 % padavin na prostem).

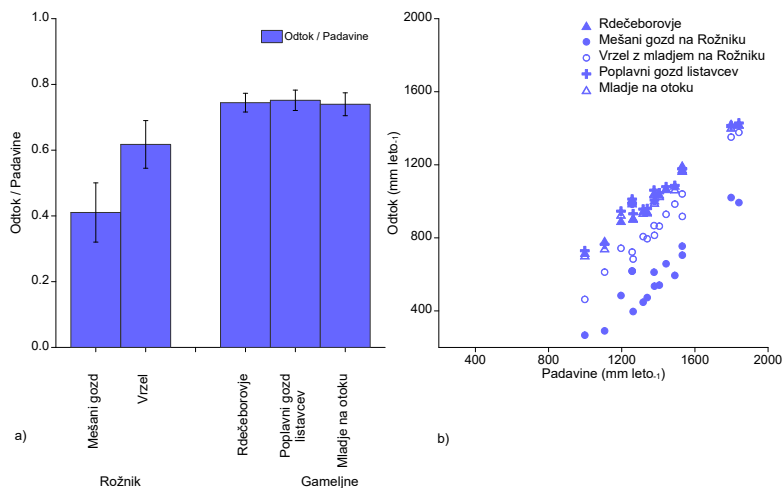
Najvišji povprečni letni odtok je bil simuliran v poplavnem gozdu listavcev (1049 mm oziroma 75 % padavin na prostem), sledita mu rdečeborovje in mladje na otoku z 74 % padavin na prostem. Najnižji povprečni letni odtok je bil simuliran v mešanem gozdu na Rožniku (587 mm oziroma 41 % padavin na prostem).



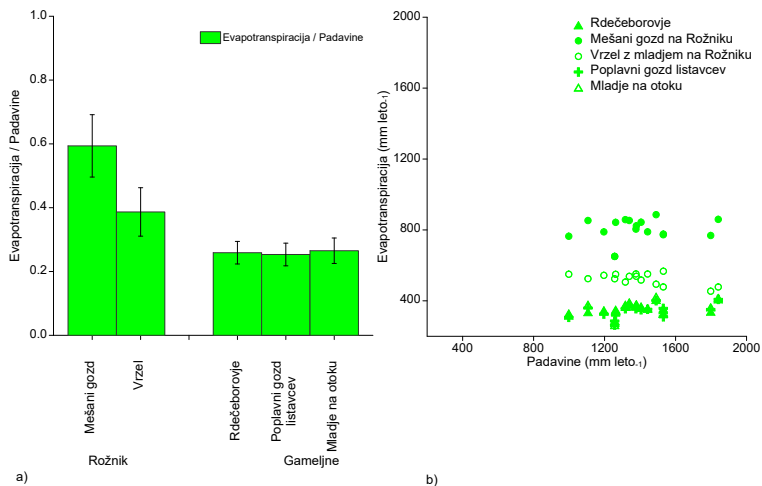
Slika 1. Vodna bilanca urbanih gozdnih sestojev v letih od 2007 do 2022, simulirana s hidrološkim modelom Brook90

Kazalnika za hidrološko funkcijo gozdov sta dala primerljive rezultate. Razmerje med odtokom in padavinami (Q/P) je bilo najvišje v poplavnem gozdu listavcev (0,75) (Slika 2). Prav tako je bilo na tej ploskvi najnižje razmerje med evapotranspiracijo in padavinami (ETP/P) (0,26) (Slika 3), kar nakazuje na najmanjšo

spodobnost uravnavanja vodnega režima ter s tem zagotavljanja hidrološke funkcije urbanih gozdov. Razmerje Q/P je bilo najnižje v mešanem gozdu na Rožniku (0,41), kjer je bilo razmerje ETP/P najvišje (0,59). Oba kazalnika nakazujeta na najvišjo sposobnost uravnavanja vodnega režima ter s tem zagotavljanja hidrološke funkcije na tej ploskvi.



Slika 2. Razmerje med odtokom v podtalje in padavinami (Q / P) v izbranih urbanih gozdovih: a) letno povprečje v letih od 2007 do 2022; b) letne vrednosti v letih od 2007 do 2022



Slika 3. Razmerje med evapotranspiracijo in padavinami (ETP / P) v urbanih gozdnih sestojih: a) letno povprečje v letih od 2007 do 2022; b) letne vrednosti v letih od 2007 do 2022

## 4 Razprava

Rezultati hidrološkega modela Brook90 kažejo pomembne razlike med evapotranspiracijo in odtokom v podtalje v petih izbranih urbanih gozdovih z različno drevesno sestavo in zgradbo sestoja. Predlagana kazalnika za hidrološko funkcijo gozdov, razmerje med odtokom in padavinami (Q/P) in razmerje med evapotranspiracijo in padavinami (ETP/P), sta dala primerljive rezultate. Najmanjšo sposobnost uravnavanja vodnega režima ter s tem zagotavljanja hidrološke funkcije urbanih gozdov smo ugotovili za poplavni gozd listavcev v Gameljnah, največjo pa za mešani gozd na Rožniku.

Za poplavni gozd listavcev v Gameljnah je značilen rahel sklep krošenj, posamezna topolova drevesa so v terminalni fazi, ostala drevesa v zgornjem sloju krošenj pa so manjših dimenzij. Listavci so pozimi brez listja, zato sta prestrezanje padavin in evapotranspiracija v obdobju mirovanja vegetacije majhna. Tudi tla na tej ploskvi so plitva in je zato njihova sposobnost zadrževanja vode majhna. Vsi ti dejavniki prispevajo k manjši evapotranspiraciji in večjemu odtoku v primerjavi z mešanim gozdom na Rožniku. Tam so prisotna drevesa večjih dimenzij, sklep krošenj je večji, prav tako so v sestoji prisotne odrasle smreke, ki imajo večjo kapaciteto prestrezanja padavin tekom celega leta, saj v obdobju mirovanja vegetacije ne zmanjšajo indeksa listne površine (Kermavnar, 2015). Tudi tla na tej ploskvi so globlja in imajo razmeroma veliko sposobnost zadrževanje vode.

Nadaljnje raziskave bomo usmerili v primerjavo evapotranspiracije in odtoka med vegetacijskim obdobjem in obdobjem mirovanja vegetacije ter med sušnimi in bolj deževnimi leti.

## Viri

- 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
- Barbante E., Calvo E., Sanesi G., Selleri B., Verlič A. in sod. 2014. Urban and periurban forests: management, monitoring and ecosystem services. Emonfur Life+ project experiences. . Milano, Ljubljana, ERSAF - Regione Lombardia, Slovenian Forestry Institute: 279 str.
- Bolund P., Hunhammar S. 1999. Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29, 2: 293-301
- Brauman K. A., Daily G. C., Duarte T. K. e., Mooney H. A. 2007. The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services. *Annual Review of Environment and Resources*, 32, Volume 32, 2007: 67-98
- Chang M. 2003. *Forest hydrology: an introduction to water and forests*. (ur.) CRC Press LLC: 392 str.
- 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
- Fang Q., Xin X., Guan T., Wang G., Zhang S. in sod. 2022. Vegetation patterns governing the competitive relationship between runoff and evapotranspiration using a novel water balance model at a semi-arid watershed. *Environmental Research*, 214, 113976
- Gallo E. L., Lohse K. A., Brooks P. D., McIntosh J. C., Meixner T. in sod. 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
- Harrison-Atlas D., Theobald D. M., Goldstein J. H. 2016. A systematic review of approaches to quantify hydrologic ecosystem services to inform decision-making. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 12, 3: 160–171
- Kermavnar J. 2015. Sestojne padavine v izbranih urbanih gozdovih Ljubljane. Stand precipitation in selected urban forests in the city of Ljubljana: Magistrsko delo. Master of science thesis. (Univerza v Ljubljani). Ljubljana: 103 str.
- Kermavnar J., Vilhar U. 2017. Canopy precipitation interception in urban forests in relation to stand structure. *Urban Ecosystems*, 20, 6: 1373–1387
- 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
- MEA. 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. št. 281 str.
- Zbornik prispevkov posvetovanja: Voda in gozd. 2020. (ur). Ljubljana, november 2020, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani: 84 str.
- Pravilnik o načrtih za gospodarjenje z gozdovi in upravljanje z divjadjo. Regulation on Forest Management and Management Plans Game Management Plans. 2010, 2020. Uradni list RS, št. 91/2010 in 200/20
- Rose S. 2009. Rainfall–runoff trends in the south-eastern USA: 1938–2005. *Hydrological Processes*, 23, 8: 1105–1118
- Verlič A., Eler K., Ferlan M., Flajšman K., de Groot M. in sod. 2014. EMOmFUr – Zasnova mreže za spremljanje stanja nižinskega gozda in pogozditev v urbanem prostoru v Lombardiji in urbanega gozda v Sloveniji: zaključno poročilo o projektu. EMOmFUr – establishing a monitoring network to assess lowland forest and urban plantation in Lombardy and urban forest in Slovenia: final project report. št. Gozdarski inštitut Slovenije. Slovenian Forestry Institute: 156 str.
- Vilhar U. 2017. The Urban Forest. Water Regulation and Purification. V: *The Urban Forest. Cultivating Green Infrastructure for People and the Environment*. Pearlmutter in sod. (ur.). Springer: 41–47.
- Vilhar U., Čarni A., Božič G. 2013. Rastne in vegetacijske značilnosti evropskega črnega topola (*Populus nigra* L.) v poplavnem gozdu ob reki Savi in temperaturne razlike med izbranimi rastišči. Growth and vegetation characteristics of European black poplar (*Populus nigra* L.) in a floodplain forest along river Sava and temperature differences among selected sites. *Folia biologica et geologica*, 45, 2: 193–214
- Vilhar U., Kozamernik E. 2020. Ekosistemske storitve urbanih gozdov za rezervni vodni vir. Ecosystem services of urban forests for a reserve water source. *Gozdarski vestnik*, 78, 3: 122–139
- 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., Žlindra D., Rupel M., Simončič P. 2014. Spremljanje kakovosti zraka v gozdu. Monitoring of ambient air quality in forests. Vetrnica, 7, 109-119

Zakon o vodah s spremembami in dopolnitvami. 2002, 2008, 2012, 2013, 2014, 2015, 2020, 2023. Uradni list RS, št. 67/02, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14, 56/15, 65/20, 35/23 – odl. US in 78/23