

# Ocena zgradbe in stabilnosti gozdnega roba kot pripomoček za ovrednotenje klimatske in zaščitne funkcije primestnih gozdov

*Assessment of Forest Edge Structure and Stability as a Tool for Evaluating the Climatic and Protective Function of Suburban Forests*

David HLADNIK<sup>1</sup>, Andrej KOBLER<sup>2</sup>, Janez PIRNAT<sup>1</sup>

### Izvilleček:

Hladnik, D., Kobler, A., Pirnat, J.: Ocena zgradbe in stabilnosti gozdnega roba kot pripomoček za ovrednotenje klimatske in zaščitne funkcije primestnih gozdov; Gozdarski vestnik, 78/2020, št. 4. V slovenščini z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 32. Prevod Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

V prispevku podajamo razširjen povzetek iz članka, objavljenega v reviji *Forests* z naslovom *Evaluation of forest edge structure and stability in peri-urban forests* (Hladnik in sod., 2020). Dodali smo predloge o prenovi varovalne, zaščitne in klimatske funkcije gozdov ter predloge ukrepov, ki izhajajo iz izsledkov raziskave gozdnih robov. Analizirali smo vertikalno zgradbo gozdnih robov in opozorili na pomen dimenzijskega razmerja dreves  $h/d$  na gozdnih robovih primestnih gozdnih zaplat ob Ljubljani, kjer ob pozidanih zemljiščih prevladujejo visoki in strmi gozdni robovi. Predstavili smo preprosto metodologijo, na podlagi katere je mogoče z metodami daljinskega zbiranja podatkov zasnovati monitoring primestnih gozdnih površin in gozdnih robov.

**Ključne besede:** funkcije gozdov, stabilnost gozdnega roba, zgradba gozdnega roba, LiDAR, urbani gozdovi

### Abstract:

Hladnik, D., Kobler, A., Pirnat, J.: Assessment of Forest Edge Structure and Stability as a Tool for Evaluating the Climatic and Protective Function of Suburban Forests; Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry), 78/2020, vol 4. In Slovenian, abstract and summary in English, lit. quot. 32. Translated by Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

In our paper, we present the extended summary from the article published in *Forests* Journal under the title *Evaluation of forest edge structure and stability in peri-urban forests* (Hladnik et al., 2020). We added suggestions on the renovation of the protective and climatic function of forests and suggestions of actions deriving from the findings of forest edge research. We analyzed the vertical structure of forest edges and drew the attention to the significance of the  $h/d$  dimension ratio of the trees at the forest edges of the suburban forest patches near Ljubljana, where tall and steep forest edges prevail. We presented a simple methodology, on the basis of which it is possible to design the monitoring of suburban forest areas and forest edges with the methods of the remote sensing data.

**Key words:** forest functions; forest edge stability; forest edge structure; LiDAR; urban forests

## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

Mestni in primestni gozdovi so izpostavljeni pritiskom širjenja mest (Pirnat in Hladnik, 2018), hkrati pa so zaradi številnih koristnih učinkov pomemben vir zdravja in dobrega počutja mestnih prebivalcev (Konijnedijk in sod., 2005; Nilsson in sod., 2011). Doslej smo bili pozorni zlasti na ekosistemske storitve, ki jih omogočajo urbani gozdovi. Pri gospodarjenju z gozdovi so bile

odločilne usmeritve trajnostnega gospodarjenja, ki ohranja ekosistemske storitve. V preteklosti smo že podrobno proučili estetsko, rekreacijsko in pestrostno vlogo omenjenih gozdov (Cajnkó, 2013; Hladnik in Pirnat, 2011; Pirnat in Hladnik, 2016; Verlič in sod., 2015). Za oceno teh funkcij smo v raziskavah uporabljali pretežno terenske metode in podatke o nekdanji rabi tal, prostorskem razporedu ter oceno sestojne zgradbe.

<sup>1</sup> Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo. Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, Slovenija.

<sup>2</sup> Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za načrtovanje in monitoring gozdov in krajine. Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

\* dopisni avtor: david.hladnik@bf-uni-lj.si

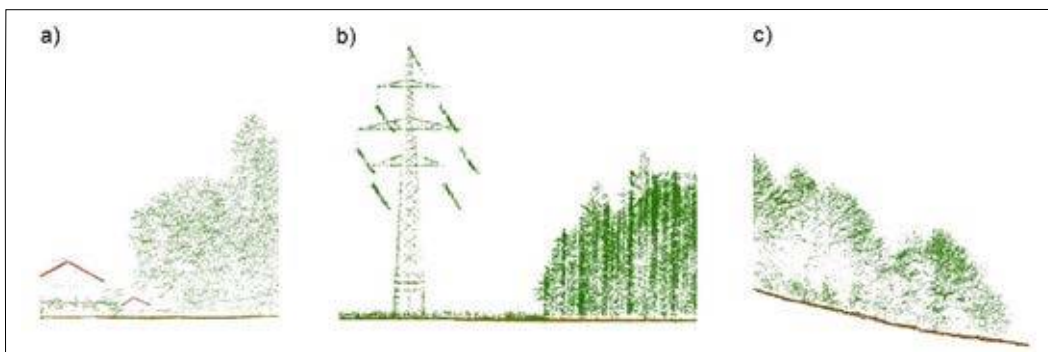
Manj pozornosti je bilo namenjene gospodarjenju na gozdnih robovih, ki so na urbanih območjih vizualni stik prebivalcev z naravo (Ritter in sod., 2011; Albert in sod., 2019), hkrati pa pomembno zaznamujejo varovalni pomen gozdov. Tako so včasih lahko neurejeni gozdni robovi tudi vir nezadovoljstva in težav (Delshammar in sod., 2015; Strniša in sod., 2013), še posebno ob ujmah (Conway in Yip, 2016). Zato so na urbanih območjih in ob infrastrukturnih objektih (ceste, železnice, daljnovodi) priporočljivi stopničasti gozdni robovi, ker ob zagotavljanju ekosistemskih storitev gozdov omejujejo morebitne nevarnosti, ki jih predstavljajo visoka drevesa na gozdnih robovih ob omenjenih infrastrukturnih objektih in urbanih območjih (Wistrom, 2015; Forman in sod., 2003).

Vendar je mogoče sklepati, da so stopničasti gozdni robovi redki, pri gospodarjenju z gozdovi pa jim ne namenimo take pozornosti kot gozdnim strukturam, značilnim za notranje gozdno okolje. Po poročilih o nacionalnih gozdnih inventurah so med 26 evropskimi državami na začetku desetletja le v 12 državah zbirali informacije o značilnostih gozdnih robov, zlasti o njihovi horizontalni obliki in dolžini (Chirici in sod., 2011). Na podlagi podatkov švedske nacionalne gozdne inventure (NILS) je bilo ocenjeno (Essen in sod., 2004), da je le na 20 % gozdnih robov razvit grmovni sloj, stopničast gozdni rob pa je bil ocenjen le na 2 % gozdnih robov. V švicarski nacionalni gozdni inventuri stopničastega gozdnega roba niso popisali, gozdni rob z grmovnim slojem pa je bil ocenjen le na 5,9 % gozdnih robov (Abegg in sod., 2014).

V predhodnih raziskavah smo ocenili, da gozdne zaplate na območju Ljubljane v zadnjih 200 letih uvrščamo med stabilna gozdna območja (Hladnik in Pirnat, 2011) in da na robovih omenjenih zaplat tudi v času intenzivne urbanizacije v zadnjih 40 letih ni bilo večjih krčitev.

V naši novejši študiji (Hladnik in sod., 2020) smo pozornost namenili prav stanju gozdnih robov na območju izbranih primestnih gozdnih zaplat in primerjali, kako različne rabe zemljišč in človekovi posegi ob krčitvah gozdnih robov vplivajo na njihovo strukturo. Primerjali smo razlike na območju stabilnih gozdnih robov in ob krčitvah, ki so nastale v osrčju urbanih območij, na območju (robu) krajinskega parka in na njihovem obrobju. Tam poleg kmetijske rabe zemljišč na stanovitnost robov vplivata urbanizacija in izgradnja infrastrukturnih objektov. Za gospodarjenje s primestnimi gozdovi smo pripravili izhodišča monitoringa, na podlagi katerih bo mogoče spremljati razvoj gozdov na meji z urbanih in kmetijskimi zemljišči in z zgodnjim opozarjanjem pokazati na takšno strukturo gozdnih robov, zaradi katere bi lahko nastali nezaželeni vplivi na robnih območjih med gozdom in urbano rabo zemljišč.

V članku predstavljamo izhodišča navedene študije (Hladnik in sod., 2020) z namenom, da predstavimo nove vidike ocene klimatske in zaščitne funkcije (ZGS, 2012), ki igrata pomembno vlogo pri ohranjanju zdravja in dobrega počutja gozdu bližnjih prebivalcev. V ta namen smo proučili strukturo sestojev in strukturo gozdnih robov, zlasti z vidika ukrepov varnosti in gojenja.



Slika 1: Neugodni gozdni robovi ob stanovanjskih (a) in infrastrukturnih objektih (b) ter priporočljivi stopničasti gozdni robovi na urbanih območjih (c). Ponazorjeno s podatki laserskega skeniranja Slovenije (MOP, 2016).

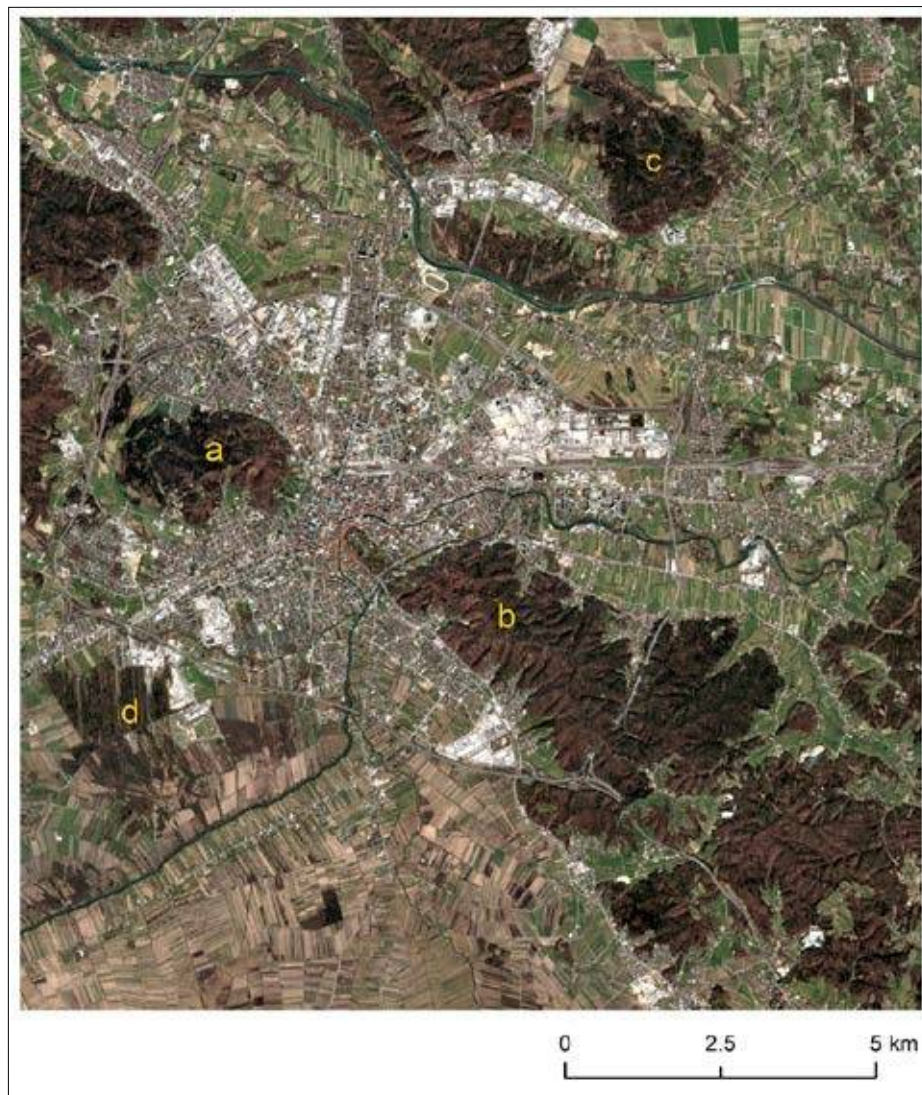
Figure 1: Unfavorable forest edges next to residential (a) and infrastructural objects (b) and recommendable graduated forest edges in urban areas (c). Illustrated with the data of laser scanning of Slovenia (MOP, 2016).

## 2 MATERIALI IN METODE

## 2 MATERIALS AND METHODS

Širše raziskovalno območje je bil izsek, ki obsega Ljubljano in okolico ter vse pomembne mestne in primestne gozdove, o katerih smo pisali v prejšnji študiji: Golovec, Rožnik, Nadgorica in Barje (Hladnik in sod., 2020).

Za natančno razmejevanje gozdnih robov in analizo njihove vertikalne zgradbe smo uporabili lidarske podatke. Za vsako metrsko celico smo iz digitalnega modela krošenj (DMK) pridobili podatke o višini vegetacije in oblikovali višinske razrede ter deleže vegetacije po višinskih razredih: 0,5–4,9; 5–14,9; 15–24,9 in  $\geq 25$  m. Horizontalno razmejevanje gozdnih robov in morebitno nena-



**Slika 2:** Širše raziskovalno območje Ljubljane na izseku iz satelitskega posnetka Sentinel-2 (16. 3. 2020, vir podatkov: ESA, 2020). Označene so štiri gozdne zaplate, ki ležijo na zahodnem (a Rožnik), vzhodnem (b Golovec), severnem (c Nadgorica) in južnem (d Barje) obrobju mesta.

**Figure 2:** Broader research area of Ljubljana on the section from the Sentinel-2 satellite image (16. 3. 2020, data source: ESA, 2020). Four forest patches, situated on the western (a Rožnik), eastern (b Golovec), northern (c Nadgorica) and southern (d Barje) outskirts of the city.

tančno razmejevanje s kmetijskimi zemljišči na območjih, kjer bi bila kmetijska vegetacija višja od 0,5 m, smo preverili na podlagi digitalnih ortofoto posnetkov iz leta 2018, karte gozdnih sestojev (ZGS 2015) in prostorskih podatkov o evidenci dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč, za katere so uporabili enake ortofoto posnetke (MKGP, 2018). Za oceno o horizontalnih spremembah gozdnih robov v zadnjih desetletjih smo uporabili digitalne ortofoto posnetke, ki smo jih izdelali na podlagi cikličnega aerosnemanja Slovenije iz leta 1975.

Za analizo gozdnih robov so bile linije, ki določajo poligone gozdnih zaplat, razčlenjene na 30-metrске segmente. V okolju GIS ArcMap (ESRI, 2015) so bili segmenti uporabljeni za določitev vmesnih območij, oddaljenih 10, 20 in 30 metrov od gozdnega roba proti notranosti gozdnih zaplat. Tridesetmeterska globina gozdnega roba se približno ujema s sestojno višino. Na podlagi vizualne ocene na digitalnem ortofoto posnetku smo vsakemu poligonu določili, ali meji na kmetijsko zemljišče, cestno ali daljnovodno omrežje, na pozidana zemljišča, če oddaljenost ni bila večja od višine odraslega drevesa (30 m).

Na segmentih gozdnih robov smo v poligonih, velikosti 30 x 10 m, iz digitalnega modela krošenj (DMK) določili najvišje višine dreves in deleže pikslov, ki jih obsegajo krošnje dreves po višinskih pasovih nad 0,5; 5; 15 in 25 m. Iz deležev smo ocenili vertikalno raznolikost sestojne strehe, podobno kot v primerljivih raziskovanjih gozdnih robov (Melin in sod., 2018):

$$\text{VRS} = - \sum p_i \cdot \ln(p_i),$$

kjer  $p_i$  predstavlja delež drevesnih višin v posameznih višinskih razredih. Značilnosti gozdnih robov smo preverili na terenu. Posebej smo na preseku karte gozdnih robov s sistematično vzorčno mrežo, gostote 100 x 100 m, izbrali 30-metrске poligone, na katerih smo poiskali najvišje drevo. Temu smo določili drevesno vrsto, izmerili prsni premer, izmerili višino in ocenili dolžino krošnje (več kot polovica celotne višine drevesa, med četrtino in polovico celotne višine drevesa, manj kot četrtina celotne višine drevesa). Na območju sistematično izbranih poligonov smo

ocenili značilnosti gozdnih robov kot prehodnih območij med gozdom in drugimi rabami tal. Tako ocenjevanje temelji na ocenjevanju gozdnega roba kot 'zaščitnega pasu' dreves, ki notranosti zagotavlja zaščito pred vetrom. Upoštevali smo ocenjevanje, ki so ga preizkusili že v švicarski nacionalni gozdni inventuri (Keller in sod., 2011):

- gozdni rob brez zaščitnega pasu, brez grmovnega sloja,
- brez zaščitnega pasu, a z grmovnim slojem,
- strm zaščitni pas, brez grmovnega sloja, (Slika 3a)
- štrleči zaščitni pas (veje robnih dreves segajo v odprto zemljišče), brez grmovnega sloja; (Slika 3b)
- grmovni sloj večinoma pod zaščitnim pasom, (Slika 3c)
- grmovni sloj jasno pred zaščitnim pasom, (Slika 3d)
- z grmovnim slojem in stopničastim, ohlapnim zaščitnim pasom.

Nekaj primerov ocenjenih gozdnih robov, ponazorjenih s profili skozi oblak točk lidarskih podatkov prikazujemo v nadaljevanju.

### 3 REZULTATI 3 RESULTS

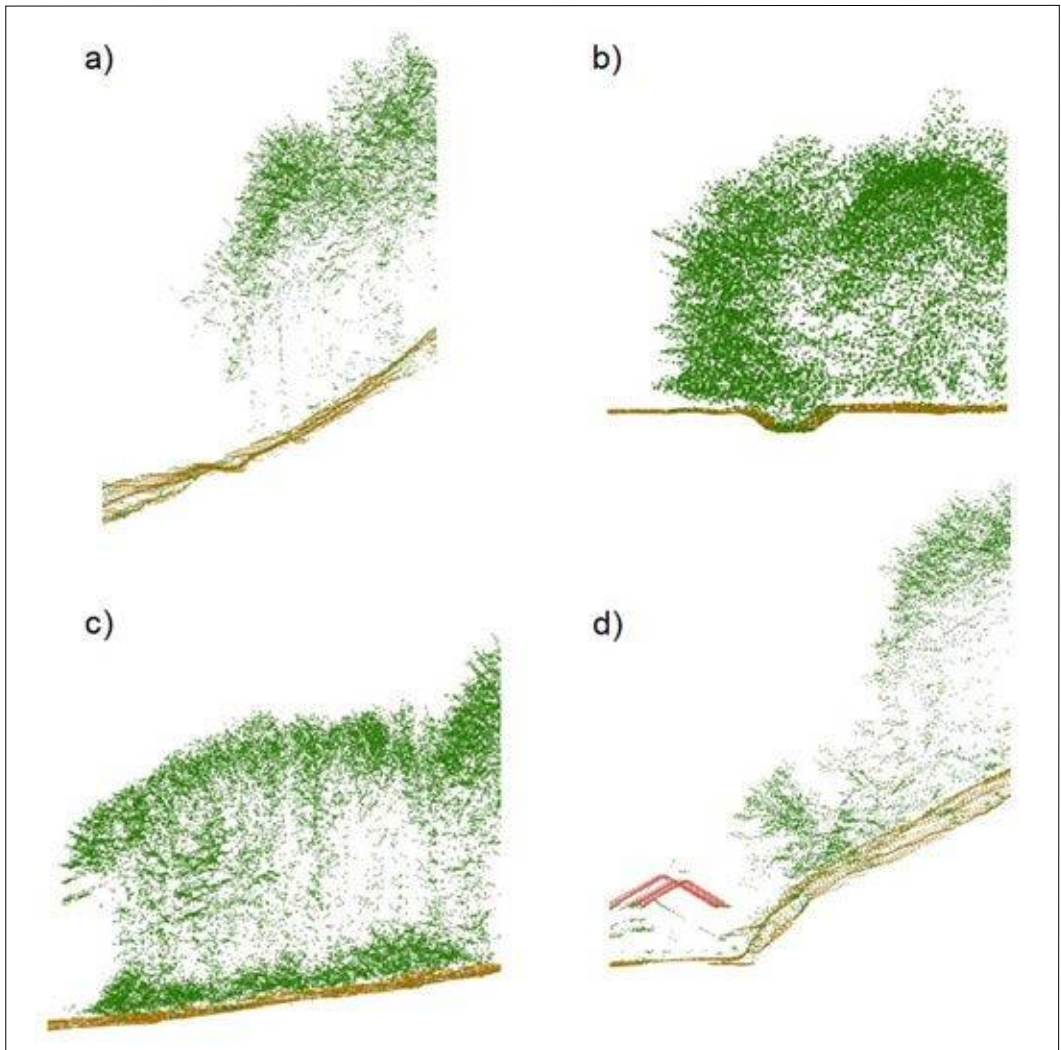
Na območju zaplate Golovec več kot polovica segmentov (55,8 %) na robu gozda meji na stanovanjske hiše, na Rožniku 19,1 %, pri Nadgorici le 10,2 %. Na območju zaplate Golovec se tipi gozdnih robov razlikujejo že po višinah najvišjih dreves v prvem 10-metrskem pasu gozdnega roba. Na območju zaplate Golovec več kot polovica segmentov (55,8 %) na robu gozda meji na stanovanjske hiše, vendar vertikalna zgradba gozdnih robov ob naseljih ni drugačna od zgradbe na robu kmetijskih zemljišč. Na območju Rožnika na pozidana zemljišča meji 19,1 % gozdnih robov, najvišji in najbolj strmi robovi pa so prav ob pozidanih zemljiščih (Slika 4b). Rožnik se od ostalih zaplat razlikuje po višjih drevesih na gozdnem robu od dreves, ki smo jih ocenjevali v 100-metrski oddaljenosti proti notranjemu gozdnemu okolju.

Pri Nadgorici so drevesa v jedrnem območju gozdnih zaplat višja kot na gozdnih robovih, ker so razvojno mlajši gozdni robovi nastali zlasti

po izgradnji visokonapetostnega daljnovoda in urejanju kmetijskih zemljišč ob daljnovodih in pod njimi. Ob izgradnji daljnovoda so del nekdanjih kmetijskih zemljišč prepustili zaraščanju z gozdom, del gozdnih zemljišč pa so izsekali tako, da drevesa na takih gozdnih robovih ne ogrožajo daljnovodnega omrežja (Slika 1b).

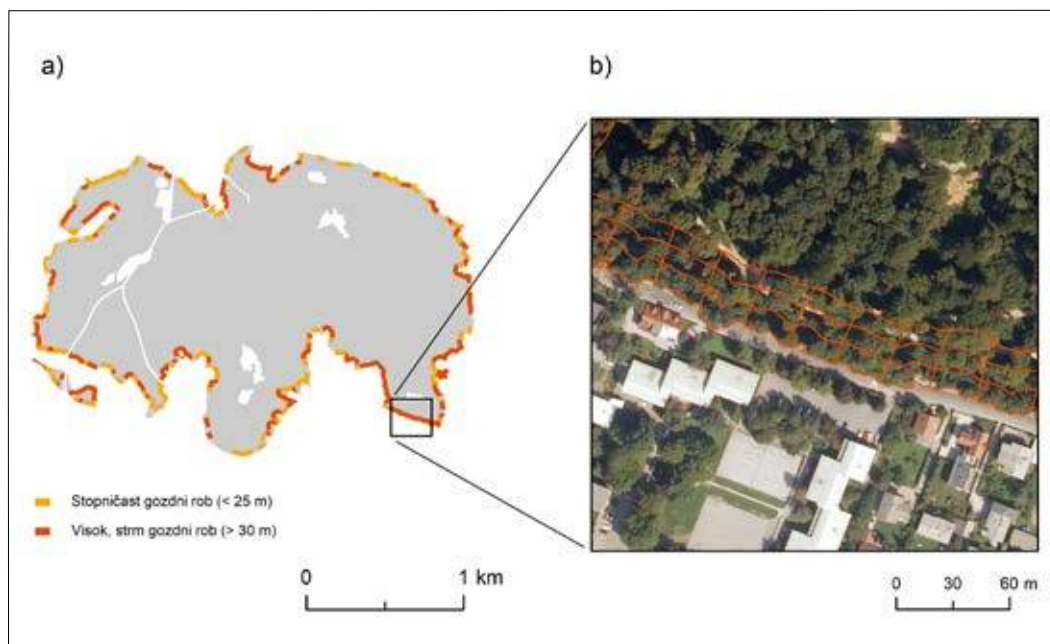
S primerjavo ortofoto posnetkov iz let 1975 in 2018 smo krčitve za pozidavo stanovanjskih hiš določili le na 60 poligonih gozdnega roba s skupno dolžino 1800 m. Na teh gozdnih robovih

zdaj prevladujejo skupine visokih in strmih gozdnih robov s skupnim deležem, večjim od dveh tretjin (68,3 %). Po krčitvah na robu s kmetijskimi zemljišči je bilo oblikovanih le 32 % takih gozdnih robov. Podobne značilnosti novih gozdnih robov ob pozidanih zemljiščih smo ocenili tudi na območju Rožnika. Na 62 poligonih gozdnih robov, ki so bili izkrčeni za pozidavo, so oblikovani najvišji in strmi gozdni robovi. Na sliki 4a omenjeni skupini robov predstavljata 59,7 % robov ob pozidanih zemljiščih.



Slika 3: Primeri ocenjenih gozdnih robov, ponazorjeni s profili skozi oblak točk lidarskih podatkov iz leta 2015 (MOP, 2016)

Figure 3: Examples of the assessed forest edges, illustrated with the profiles through the lidar point cloud data obtained in 2015 (MOP, 2016)



Slika 4: Prevladujoči skupini gozdnih robov na območju Rožnika (a) in segmenti, v katerih smo ocenjevali najvišja drevesa in raznolikost sestojne strehe (b), ponazorjeno na izseku iz ortofoto posnetka (GURS, 2018).  
Figure 4: The prevailing groups of forest edges in the Rožnik area (a) and segments, where we assessed the highest trees and diversity of stand canopy (b), illustrated on the section from the orthophoto image (GURS, 2018).

Na območju Golovca smo ocenili največ krčitev na gozdnih robovih za pozidavo (75 %), v skupni dolžini 6,42 km. Po pozidavi so se na 54 % novih gozdnih robov razvili visoki in strmi gozdni robovi. Vendar zgolj na podlagi pripadnosti posameznim skupinam robov ni mogoče sklepati o značilnostih dominantnih dreves na gozdnih robovih. Med terenskim popisom gozdnih robov smo v vseh skupinah našli drevesa z neugodnimi dimenzijskimi razmerji  $h/d$ , večjimi od 80.

Na Rožniku je bilo v vzorcu 7,3 % dreves z neugodnim dimenzijskim razmerjem, več med iglavci kot listavci. Na Golovcu je bil delež takih dreves večji (16,2 %), hkrati pa je bil večji tudi delež dreves s krošnjo, krajšo od polovice drevesne višine. Poleg smreke in rdečega bora z neugodnimi dimenzijskimi razmerji  $h/d$  izstopajo gorski javor, robinija, kostanj in graden. Za drevesa z neugodnim dimenzijskim razmerjem nismo uspeli pokazati odvisnosti z dolžino njihove krošnje, čeprav smo pri iglavcih na gozdnih robovih Golovca ocenili 52,8 % dreves s krošnjami, krajšimi od polovice višine drevesa, pri listavcih pa 37,7 %.

Gozdne robove ob drevesih s kratkimi krošnjami večinoma zapolnjuje grmovni sloj. S terenskim popisom smo ob drevesih s kratkimi krošnjami le na 8,4 % ocenjenih segmentov določili gozdni rob brez razvitega grmovnega sloja. Enak delež takih gozdnih robov (8,3 %) smo ocenili tudi na območju Rožnika, drevesom pa smo ocenili ugodna dimenzijska razmerja. Gozdni robovi z zaščitnim in grmovnim slojem so na 60,4 %, dodatnih 23,6 % pa obsegajo gozdni robovi brez grmovnega sloja. Toda za nesimetrične krošnje dreves so značilne štrleče veje v zaščitnem pasu. Na Golovcu je delež takih dreves sicer manjši (6,8 %), kar 72,8 % pa smo ocenili robov z razvitim zaščitnim pasom in grmovnim slojem.

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

Ker so lidarski podatki na voljo za večino evropskih držav (EDP 2020), je poleg raziskovalnega dela treba ponuditi tudi metode in postopke, ki jih pri operativnem delu lahko povzamejo gozdarski strokovnjaki in zlasti strokovnjaki na

področju urbanega gozdarstva. Predstavili smo preprosto metodologijo, na podlagi katere je mogoče iz prosto dostopnih, procesiranih lidar-skih podatkov (MOP, 2016) zasnovati monitoring primestnih gozdnih površin in gozdnih robov. V naslednjih ciklih monitoringa se bomo lahko oprli na tehnologijo, pri kateri digitalni model krošenj izdelajo na podlagi slikovnega ujemanja letalskih posnetkov. V Sloveniji je podobno kot v drugih evropskih državah vzpostavljen sistem cikličnega aerosnemanja države, prekrivanje stereoskopskih letalskih posnetkov pa je že večje od 80 % (GURS 2018), kar omogoča uporabo tehnologije slikovnega ujemanja (Stepper in sod., 2015).

Ob strogih zakonskih omejitvah in opisanem konceptu gospodarjenja z gozdovi večje površinske spremembe na gozdnih robovih povzročijo le naravne ujme ali biotski dejavniki (insekti, glive). Zato je na osrednjem območju primestnih gozdov (Rožnik, Golovec) velik delež visokih gozdnih robov. Ker je v gozdnih robovih malo posegov, se že po 10 m od roba njihova višinska struktura izenači s strukturo v jedrnih območjih gozda. Stopničastih gozdnih robov je malo, podobno kot v državah, kjer z gozdovi gospodarijo intenzivno (Wistrom, 2015). V mestu so razlogi za strme robove z visokimi drevesi drugačni – meščani so zelo občutljivi za posege na gozdnih robovih krajinskega parka na Rožniku.

Orodja in metode daljinskega zaznavanja, ki smo jih predstavili v tej raziskavi, omogočajo izvedbo konkretnih gojitvenih ukrepov v realnem času in obsegu, saj lahko v primeru motenj in ob seriji posnetkov zagotovimo ustrezne gozdarske ukrepe. Vsi gozdovi v bližini naselij opravljajo klimatsko funkcijo, zlasti v urbanih in primestnih gozdovih, s poudarjeno rekreacijo, pa je pomemben tudi zaščitni vidik, ki vključuje varovalno in / ali zaščitno funkcijo. Za obe funkciji je pomembna tudi zgradba sestoja zlasti na robu, ki omogoča dobro stojnost (Hladnik in sod., 2020).

Urbani gozdovi v bližini naselij in infrastrukture imajo po opredelitvah iz Priročnika (ZGS, 2012) vsaj klimatsko in varovalno funkcijo. Po priročniku sodijo v prvo kategorijo klimatske funkcije gozdovi, ki varujejo naselja, rekreacijske in turistične objekte, prometnice ter kmetijske kulture pred škodljivimi učinki vetra in mraza.

V prvo kategorijo varovalne funkcije pa spadajo gozdovi na strmih pobočjih, v našem primeru nad naselji oziroma stanovanjskimi objekti.

Zaradi podobne vloge bi veljalo ob prenovi sistema funkcij gozdov razmisliti o združevanju varovalne, zaščitne in klimatske funkcije v enovito varovalno oziroma zaščitno funkcijo. Podatki o varovalnih gozdovih postajajo vedno bolj objektivni, več težav je z oceno klimatske funkcije. Tako še nimamo operativne karte močnejših vetrov, čeprav je osnovna slika o hitrosti vetra v Sloveniji že na voljo na spletni strani Agencije RS za okolje (ARSO, 2020). Z razvojem analiz hitrosti vetra bomo pridobili bolj objektivne podatke, kateri gozdovi (in najprej njihovi robovi) bodo najverjetneje pod vplivom močnih vetrov. Kljub temu lahko že sedaj spodbudimo gozdarsko stroko, da bi s pomočjo sodobnih orodij, kot so npr. predstavljena v tem članku, redno spremljali gozdne robove nad naselji in ob njih ter tiste, ki ležijo ob glavnih infrastrukturnih objektih, vsaj v globini ene drevesne višine. Tak segment bi predstavljal prvo stopnjo kategorizacije klimatske in varovalne oz. zaščitne funkcije; v tej zvezi predlagamo nekaj ukrepov.

- V predelih, kjer se pojavljajo močni vetrovi, je pomembno dimenzijsko razmerje  $h/d$ . Debla z visokim dimenzijskim razmerjem prenesejo bistveno manjše uklonske obremenitve kot debela z nizkim. Na dimenzijsko razmerje lahko vplivamo z redčenjem in tako z ohranjanjem dolžine krošnje drevesa. Tudi starost vpliva ugodno, saj je višinski prirastek prej upočasnen kot debelinski prirastek (Kotar, 2011). Z uravnavanjem gostote dreves in s tem velikosti rastnega prostora z redčenji povečamo povprečno debelino dreves in tako vplivamo na manjše dimenzijsko razmerje dreves (Kotar, 2011).
- Kjer je gozdni rob odprt in je na voljo dovolj prostora, je treba s sajenjem grmovnic in nizkih vrst drevja oblikovati stabilno zasnovo gozdnega roba. Z lidarsko pridobljenimi podatki je to mogoče ugotoviti dovolj natančno. Takšen rob je še posebno primeren pri sestojih, ki ležijo v strminah nad naselji ali prometnicami, in v predelih, kjer je pričakovati večje hitrosti in sunke vetra (Hladnik in sod., 2020).

- Na celotni površini je mogoče in smiselno spremljati zdravstveno stanje in morebitne poškodbe drevja zlasti v globini vsaj ene sestojne višine ob naseljih, prometnicah in površinah, kjer je poudarjena rekreacijska funkcija gozda. Spremljava stanja in sprememb naj vključuje abiotske dejavnike (ocena neena- komerne rasti krošnje, razpoke v deblu, snegolom, ožig debel, poganjki iz spečih brstov) in biotske (okužbe z glivami, poškodbe zaradi žuželk in divjadi). Vseh sprememb ne bo mogoče spremljati samo z metodami daljinskega zaznavanja. Vsekakor je z zaporednimi snemanji daljinskega zaznavanja mogoče zaznati večje spremembe v zgradbi gozdnih robov (Hladnik in sod., 2020).

Rezultate študije tako lahko uporabimo za novo in objektivnejšo oceno klimatske varovalne in zaščitne funkcije, kjer je mogoče oceniti tako stabilne gozdne robove kot tudi tiste, kjer bi bilo ob neugodnih vremenskih razmerah (močni vetrovi) lahko ogroženo človeško premoženje in celo življenje. Podrobnejšo razpravo lahko bralec prebere v izvirnem članku Hladnika in sod. (2020).

## 5 SUMMARY

In our paper, we presented the analysis of forest edges in the area of the selected suburban forest patches and compared the ways diverse land uses and human interventions while deforesting affect their structure. We compared the differences in the area of stable forest edges and upon clearings occurring in the heart of urban areas, in the regional park area (edge) and its margins. The broader study area was a section comprising Ljubljana and its surroundings and all important urban and suburban forests: Golovec, Rožnik, Nadgorica, and Barje.

To delimit forest edges accurately and to analyze their vertical structure we applied lidar data. We acquired data on the height of the vegetation for every meter cell from the canopy height model (CHK) and formed height classes and vegetation shares by height classes: 0.5–4.9; 5–14.9; 15–24.9 and  $\geq 25$  m. The horizontal delimiting of forest edges and eventual inaccurate delimiting from

agricultural lands in the area where agricultural vegetation would surpass 0.5 m was checked on the basis of orthophoto images of 2018, map of forest stands and record of actual agricultural and forest land use, for which the same kinds of orthophoto images were used. For assessing the horizontal changes of forest edges in the last decades, we used digital orthophoto images we made on the basis of the cyclical aerial survey of Slovenia of 1975.

Lines determining polygons of forest patches were divided into 30 meter segments. In the GIS ArcMap environment, the segments were used for determining buffer areas, located 10, 20 and 30 meters from the forest edge toward the interior of the forest patches. The 30-meter depth of the forest edge roughly corresponds with the stand height. On the basis of visual assessment on the digital orthophoto images, we determined whether it bordered agricultural land, road or power-line grid, built up plots, provided the distance did not exceed the height of a grown-up tree (30 m).

In the 30 x 10 m polygons on the forest edge segments, from the CHK we determined the biggest heights and pixel shares comprising tree crowns by height belts above 0.5; 5; 15 and 25 m. On the basis of the shares, we assessed the vertical diversity of the stand canopy. The characteristics of the forest edges were tested in the field. Separately, we selected 30 meter polygons at the intersection of the forest edge map and systematic sampling grid with density 100 x 100 m. On each of these polygons, we located the highest tree, determined its species, measured its diameter at breast height, measured its height and assessed the length of its crown (over a half of the total tree height, between a quarter and a half of the total tree height, less than a quarter of the total tree height). In the area of the systematically selected polygons, we assessed the characteristics of the forest edges as transitory areas between the forest and other land uses. Such assessment is based on assessing forest edge as a "protection belt" of the trees providing protection from the wind to the interior.

In the area of the Golovec patch, more than a half of forest edge segments border residential buildings, much less on Rožnik and at Nadgorica.



In the area of the Golovec patch, the forest edge types differ regarding the heights of the highest trees in the first 10 meter zone of the forest edge. On Rožnik, much less forest edges border built-up plots; however, they are situated next to the highest and the steepest edges. Rožnik differs from the other patches by the trees on the forest edge being higher than the trees we assessed in the 100-meter distance toward the inner forest environment.

In Nadgorica, the trees in the core area of the forest patches are higher than the ones on the forest edges, since developmentally younger forest edges arose primarily after the erection of a high-voltage power line and managing agricultural lands next to the power lines and under them. Comparing orthophoto images of 1975 and 2018 we determined deforestation for constructing residential houses only on 60 forest edge polygons with a total length of 1800 m. Groups of high and steep forest edges with a common share exceeding two-thirds prevail on these forest edges. After the deforestation on the edge with agricultural land, only a third of such forest edges arose.

Similar characteristics of the new forest edges next to build-up plots were assessed also in the Rožnik area. On 62 forest edge polygons, deforested for construction, the highest and steepest forest edges are located now. In the Golovec area, the most forest edges clearings for construction in the total length of 6.42 km were assessed. After the construction, high and steep forest edges developed on over a half of the new forest edges. However, it is not possible to deduce on the characteristics of the dominant trees on the forest edges alone. On the occasion of the field inventory of forest edges, we found trees with unfavorable  $h/d$  dimension ratios in all groups.

On Rožnik, there were fewer trees with an unfavorable dimension ratio, more of them among conifers than among broadleaves. On Golovec, the share of such trees was higher; at the same time, the share of the trees with the crowns, shorter than a half of the tree height, was larger. In addition to the spruce and Scots pine with unfavorable  $h/d$  dimension ratios also sycamore maple, black locust, chestnut, and sessile oak stand out. Forest edges are predominantly composed of protective

and shrub layer and a smaller part is comprised by the forest edges without the shrub layer, but protruding branches are characteristic for the asymmetrical tree crowns in the protective zone.

The tools and methods of remote sensing we presented in this study enable monitoring and planning of concrete silvicultural measures in real time and range, since in the case of disturbances and a series of imagery we can provide appropriate forestry measures. All forests in the vicinity of the settlements, above all urban and suburban forests, perform a climatic function; due to the emphasized recreation, the protective viewpoint is also important, i.e. structure of the stand especially at the edge, which enables good stability (Hladnik et al., 2020).

With the use of the modern tools presented in this article, it is possible to regularly monitor forest edges above the settlements and, along with them, the ones located next to the main infrastructure objects, at least to the depth of one tree-height. Such a segment would represent the first level of climatic and protective function; we suggest some measures with regard to this. In the areas, where strong winds occur,  $h/d$  dimension ratio is important. The trees with high dimension ratio withstand essentially lower deflection strain than the trees with a low one. Regulating the tree density and thereby the size of the grown conditions through the thinnings, we increase the mean diameter of the trees and thus affect the lower dimension ratio of the trees. Where the forest edge is open and enough space is available, a stable forest edge structure needs to be formed by planting shrubs and low tree species. Such an edge is especially appropriate for stands on steep slopes above settlements or traffic roads and in the areas, where higher wind speed and gusts can be expected. It is possible and reasonable to monitor the health condition and eventual damages of the trees, above all in the depth of at least one stand-height next to the settlements, traffic roads and areas, where the recreational function of the forest is emphasized. It will be impossible to monitor only by the use of the remote sensing methods; however, multi-temporal remote sensing imagery enable to perceive major changes in the forest edge structure.

The results of the study can also be used for a new and more objective assessment of the climatic and protective function in the places, where it is possible to assess both stable forest edges and the ones that could in the case of unfavorable weather conditions (strong winds) endanger human property or even life.

## 6 VIRI

## 6 REFERENCES

- Abegg M., Brändli U. B., Cioldi F., Fischer C., Herold-Bonardi A., Huber M., Keller M., Meile R., Rösler E., Speich S. 2014. Swiss National Forest Inventory—Result Table No. 146798: Forest Edges; Swiss Federal Research Institute WSL: Birmensdorf, Switzerland.
- Albert C., Boll T., Haus P., Hermes J., von Haaren C. 2019. Measures for Landscape Aesthetics and Recreational Quality. V: Landscape Planning with Ecosystem Services; Landscape Series; Volume 24, Springer, Berlin: str. 381–387.
- ARSO 2020. Podnebje. Ministrstvo za okolje in proctor, Agencija Republike Slovenije za okolje. (<https://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/maps/>)
- Cajnkó D. 2013. Pojavljanje črne žolne (*Dryocopus martius*) v gozdnati krajini okolice Ljubljane. Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Ljubljana, Slovenija: 84 str.
- Chirici G., Winter S., McRoberts R.E. 2011. National Forest Inventories: Contribution to Forest Biodiversity Assessment; Springer, Berlin: 206 str.
- Conway T.M., Yip V. 2016. Assessing residents' reactions to urban forest disservices: A case study of a major storm event. *Landscape and Urban Planning*, 153: 1–10.
- Delshammar T., Östberg J., Öxell C. 2015. Urban Trees and Ecosystem Disservices—A Pilot Study Using Complaints Records from Three Swedish Cities. *Arboriculture & Urban Forestry*, 41: 187–193.
- EDP 2020. European Data Portal. (<https://www.europeandataportal.eu/data/datasets?locale=en&tags=lidar&keywords=lidar&page=1>)
- ESA 2020. European Space Agency. Copernicus Open Access Hub. (<https://scihub.copernicus.eu>)
- ESRI 2015. ArcGIS Desktop Release 10.4; Environmental Systems Research Institute: Redlands, CA, USA.
- Esseen P.A., Glimskär A., Ståhl G. 2004. Linjära Landskapselement i Sverige: Skatningar från 2003 års NILS-Data; Swedish University of Agricultural Sciences: Umeå, Sweden.
- Forman R.T.T., Sperling D., Bissonette J.A., Clevenger A.P., Cutshall C.D., Dale V.H., Fahrig L., France R., Goldman C.R., Heanue K. 2003. *Road Ecology: Science and Solutions*; Island Press: Washington DC: 481 str.
- GURS 2018. Digitalni ortofoto. Ministrstvo za okolje in proctor, Geodetska uprava Republike Slovenije.
- Hladnik D., Pirnat J. 2011. Urban forestry-linking naturalness and amenity: The case of Ljubljana, Slovenia. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10: 105–112.
- Hladnik D., Kobler A., Pirnat J. 2020. Evaluation of forest edge structure and stability in peri-urban forests. *Forests*, 11, 338: 19 str.
- Keller M. (ur.). 2011. Swiss National Forest Inventory. Manual of the Field Survey 2004–2007; Swiss Federal Research Institute WSL: Birmensdorf, Switzerland: 269 str. (<https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl%3A10498/datastream/PDF/view>)
- Konijnendijk C.C., Nilsson K., Randrup T.B., Schipperijn J. 2005. *Urban Forests and Trees*, Springer, Berlin: 520 str.
- Kotar M. 2011. Zgradba, rast in donos gozda. Zveza gozdarskih društev Slovenije, Ljubljana, 500 str.
- Melin M., Hinsley S.A., Broughton R.K., Bellamy P., Hill R.A. 2018. Living on the edge: Utilising lidar data to assess the importance of vegetation structure for avian diversity in fragmented woodlands and their edges. *Landscape Ecology*, 18, 33: 895–910.
- MKGP 2018. Grafični podatki RABA za celo Slovenijo. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Republike Slovenije. (<https://rkg.gov.si/vstop/>)
- MOP 2016. eVode LIDAR. Ministrstvo za okolje in proctor Republike Slovenije. ([http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas\\_voda\\_Lidar@Arso](http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso))
- Nilsson K., Sangster M., Gallis C., Hartig T., de Vries S., Seeland K., Schipperijn J. (ur.). 2011. *Forests, Trees and Human Health and Well-Being*, 1st ed.; Springer, Dordrecht: 427 str.
- Pirnat J., Hladnik D. 2016. Connectivity as a tool in the prioritization and protection of sub-urban forest patches in landscape conservation planning. *Landscape & Urban Planning*, 153: 129–139.
- Pirnat J., Hladnik D. 2018. The Concept of Landscape Structure, Forest Continuum and Connectivity as a Support in Urban Forest Management and Landscape Planning. *Forests*, 9/10: 1–14.
- Ritter E. 2011. Forest Landscapes in Europe—Visual Characteristics and the Role of Arboriculture. V: *New Perspectives on People and Forests*; World Forests; Volume 9, Springer, Berlin: str. 211–229.

- Stepper C., Straub C., Pretzsch H. 2015. Assessing height changes in a highly structured forest using regularly acquired aerial image data. *Forestry*, 88: 304–316.
- Strniša A., Havliček R., Kozorog E., Perdan M. 2013. Spremembe dejanske rabe gozdnih površin in primerjava s prostorskimi načrti. *Pogledi Gozdarstva na Krčitve Gozdov*; XXX Gozdarski študijski dnevi; Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: str. 34–36.
- Verlič A., Arnberger A., Japelj A., Simončič P., Pirnat J. 2015. Perceptions of recreational trail impacts on an urban forest walk: A controlled field experiment. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14: 89–98.
- Wiström B. 2015. Forest Edge Development. Management and Design of Forest Edges in Infrastructure and Urban Environments. Ph.D. Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp: 130 str.
- ZGS 2012. Priročnik za izdelavo gozdnogospodarskih načrtov gozdnogospodarskih enot. Dopolnitev: 112 str.
- ZGS 2015. Prostorski podatki o gozdnih sestojih. Zavod za gozdove Slovenije. (<https://prostor.zgs.gov.si/pregledovalnik/?locale=en>)