

Ocena sestojne zgradbe na območju Krakovskega pragozdnega rezervata s segmentacijo podatkov laserskega skeniranja

Assessment of Stand Structure in the Area of Krakovo Virgin Forest Reserve Using the Segmentation of Laser Scanning Data

David HLADNIK¹, Anže Martin PINTAR²

Izvleček:

Hladnik, D., Pintar, A. M.: Ocena sestojne zgradbe na območju Krakovskega pragozdnega rezervata s segmentacijo podatkov laserskega skeniranja; *Gozdarski vestnik*, 75/2017, št. 7-8. V slovenščini z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 34. Prevod Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

V Krakovskem pragozdnem rezervatu smo ocenjevali sestojne strukture na podlagi podatkov laserskega skeniranja Slovenije in stalnih vzorčnih ploskev gozdne inventure. Za rezervat na območju nižinskih občasno poplavljenih gozdov so značilne velike lesne zaloge (730 m³/ha) in količine odmrle drevnine (27 % lesne zaloge). V lesni zalogi prevladujeta dob (83 %) in beli gaber (12 %). Sestojne strukture na območju gozdnega rezervata smo razmejevali na podlagi višinskih razlik s postopkom segmentacije lidarskih podatkov. V gozdnem rezervatu smo na digitalnem modelu krošenj v strehi osrednjega sestoja z dobom v zgornji plasti določili le dve nezapolnjeni vrzeli, večji od 100 m². V sosednjih gospodarskih gozdovih smo sestoje razvrstili po štirimetrskih višinskih pasovih od 16 m višine do višin sestojne strehe nad 32 m. Površinsko pestrost gozdnih sestojev smo ocenili s prostorskim modelom, na katerem so prikazani sestoji in sestojne podenote, večje od četrta hektara.

Ključne besede: gozdni rezervat, sestojne strukture, lasersko skeniranje Slovenije

Abstract:

Hladnik, D., Pintar, A. M.: Assessment of Stand Structure in the Area of Krakovo Virgin Forest Reserve Using the Segmentation of Laser Scanning Data; *Gozdarski vestnik* (Professional Journal of Forestry), 75/2017, vol 7-8. In Slovenian, abstract and summary in English, lit. quot. 34. Translated by Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

In Krakovo virgin forest reserve we assessed stand structures on the basis of the laser scanning data of Slovenia and forest inventory permanent sampling plots. Large growing stocks (730 m³/ha) and quantities of deadwood (27 % of growing stock) are characteristic for a reserve in the area of lowland, occasionally flooded forests. Pedunculate oak (83 %) and common hornbeam (12 %) prevail in the growing stock. We delineated stand structures in the forest reserve zone on the basis of the height difference using the procedure of the lidar data segmentation. On the digital model of tree crowns in the canopy of the central stand with the pedunculate oak in the upper level we determined only two unfilled gaps, larger than 100 m². In the neighboring managed forest, we classified the stands according to four-meter height classes from the height of 16 m to the heights of stand canopy over 32 m. Superficial forest stands' diversity was assessed using the spatial model, where the stands and stand subunits, larger than a quarter of a hectare, are presented.

Key words: forest reserve, stand structures, laser scanning of Slovenia

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Gozdarski strokovnjaki v srednji Evropi že stoletje razvijajo koncept sonaravnega gojenja gozdov, postavljenega na paradigmi oupoštevanju in posnemanju naravnih gozdnih zgradb in proce-

sov. Doslej ni bilo posebej opredeljeno, katere od naravnih procesov bi izbrali in v kolikšni meri naj bi posnemali naravno dinamiko gozda, kajti pojem sonaravnega gospodarjenja je bil postavljen kot vodilo in koncept pri gospodarjenju z gozdovi, nikoli pa ni bil njegov namen prepustiti jih zgolj naravnemu razvoju (Schuetz in sod., 2016).

¹ Izr. prof. dr. D.H., UL, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. david.hladnik@bf.uni-lj.si

² A.M.P., dipl. inž. gozd. (UN), UL, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, Slovenija.

Iz podobnih izhodišč izhaja načelo o ekosistemskem gospodarjenju z gozdovi v Severni Ameriki, kjer po razglasitvi novega koncepta v letu 1993 niti ni bilo podrobno ocenjeno, kaj to pomeni za gospodarjenje z gozdovi ali kako doseči tako gospodarjenje. Odločilen je bil zlasti odmik od golosečnega gospodarjenja kot primarne oblike obnove gozdov (Thomas, 1997). V zadnjih tridesetih letih so zato v Severni Ameriki, Kanadi in skandinavskih državah razvijali ohranjevalno gozdarstvo (Gustafsson in sod., 2012). Pri takem gospodarjenju (*ang. »retention forestry«*) je temeljno vodilo ohranjanje deleža gozdnih struktur in organizmov iz obdobja pred sečnjo, ohranjeni ostanki zaplat na golosečnih površinah pa so privzeti kot nosilci različnih ekosistemskih storitev. Pri razvoju novega koncepta gospodarjenja se sklicujejo na posnemanje naravnih vzorcev motenj in procesov v naravnem okolju. S postavljeno paradigmo o ekosistemskem gospodarjenju so bili raziskovalci v Severni Ameriki usmerjeni tudi k raziskovanju gospodarjenja z raznodobnimi sestoji in skupinsko postopnega gojenja gozdov (Raymond in sod., 2009).

V srednjeevropskem konceptu posnemanja dinamike naravnih procesov so se že zgodaj začeli opirati na raziskovanje v prvobitnih gozdovih ali pragozdnih rezervatih, iz katerih naj bi povzemali značilnosti sestojnih struktur, ki so stabilne, dovolj učinkovite in hkrati omogočajo zadovoljevati človekove želje po trajnem zagotavljanju dobrin (Schuetz in sod., 2016). Z raziskovanjem naravnih procesov najpogosteje ocenjujemo sukcesijski razvoj gozdov, mortaliteto in pomlajevanje drevesnih vrst, spreminjanje vrstne sestave, pogostost in jakost motenj, spreminjanje razmerja življenjskih ali razvojnih faz gozda, kroženja hranil, pretoka in vezave energije (Peterken, 1996, cit. po Diaci, 2006).

Taka raziskovanja so bila v veliki meri zastavljena tudi v slovenskih gozdnih rezervatih, zlasti s povezovanjem raziskovalnih metod, ki so bile zasnovane v srednji Evropi in kasneje dopolnjene z anglosaškim pristopom. Ob določanju in opisovanju življenjskih oziroma razvojnih faz v gozdnih rezervatih se je uveljavila tudi metoda ocenjevanja dinamike sestojnih vrzeli (Diaci in sod., 2006; Diaci, 2006). Z ocenjevanjem optimalne, terminalne faze s podfazama staranja in razpadanja, inicialne in prebiralne faze je bilo

težko zajeti in primerljivo utemeljiti raznolikost zgradb v gozdnih rezervatih. Slabost srednjeevropskega pristopa je bila preohlapna opredelitev življenjskih faz, zato je bilo težko ocenjevati razvojno dinamiko z zaporednimi razmejevanji in ponovitvami popisov ter primerjati izsledke iz različnih gozdnih rezervatov (Diaci, 2006). V anglosaškem pristopu so o razvojni dinamiki gozdov sklepali na podlagi značilnosti sestojnih vrzeli, dinamike motenj in naravnih dejavnikov, ki ustvarjajo vrzeli ter pomladitvene ekologije vrzeli.

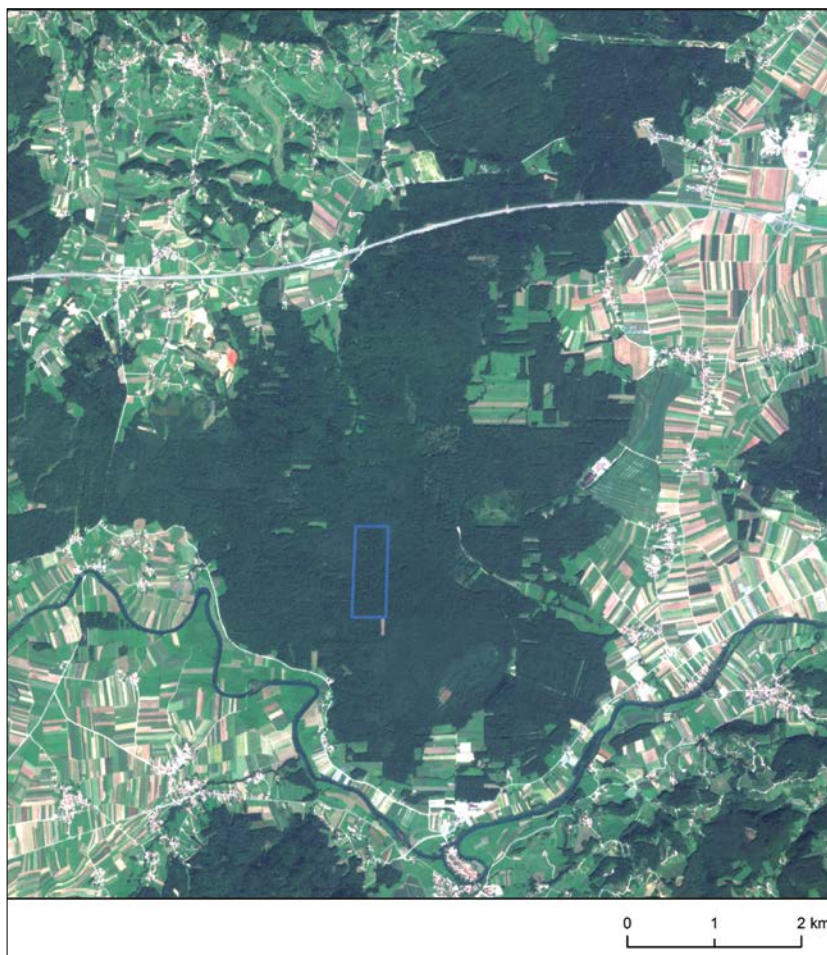
Schuetz in sod. (2016) so predlagali, da bi pri posnemanju naravnih procesov pomlajevanja bukve za najmanjšo površino vrzeli privzeli 100 m², pri skupinskem pomlajevanju pa 500 m². Skupine vrzeli s površinami od 100 m², nastanejo ob propadu posameznih dreves v gozdnih rezervatih in so primerljive s spremembami v gospodarskih gozdovih po redčenju. Take vrzeli po nekaj letih zaprejo krošnje sosednjih dreves. Praktične izkušnje kažejo, da je mogoče zagotoviti trajno in kakovostno pomlajevanje bukve z odpiranjem pomladitvenih površin od 0,1 do 0,2 ha, za hrast pa vsaj od 0,25 ha ob začetku pomlajevanja do 0,5 ha v razvojni fazi drogovnjaka (Schuetz in sod., 2016). Taka izhodišča so zelo zahtevna, če želimo z razmejevanjem vrzeli in razvojnih faz spremljati dinamiko pomlajevanja sencozdržnih vrst in primerjati inicialne razvojne faze v gozdnih rezervatih.

Izkušenj pri razmejevanju razvojnih faz in ocenjevanju dinamike vrzeli v gozdnih rezervatih doslej ni bilo mogoče učinkovito uporabiti v gospodarskih gozdovih pri delu z običajno tehnologijo, ki jo uporabljajo gozdarski inženirji pri operativnem delu. S primerjavo med terenskim razmejevanjem vrzeli in razmejevanjem na letalskih in ortofoto posnetkih Cikličnega aerosnemanja Slovenije (CAS) so bile pokazane neskladnosti (Konečnik in Zaplotnik, 2001), ki so bile posledice premajhnega merila letalskih posnetkov in premalo natančnih gozdarskih temeljnih kart na območjih gozdnih rezervatov. Z uporabo digitalnega stereoploterja so bile odpravljene omejitve pri spremljanju dinamike vrzeli v krošnjah dreves, ki nastanejo zaradi propadanja manjših skupin ali posameznih dreves (Rugani in sod., 2013), v gospodarskih gozdovih pa na primer po redčenju s strojno sečnjo (Rupnik, 2014).

Boljše možnosti za spremljanje razvoja gozdnih rezervatov in gozdnih sestojev v gospodarskih gozdovih so nastale z Laserskim skeniranjem Slovenije (LSS), ki je bilo opravljeno večinoma v letih 2014 in 2015 (Triglav Čekada in Bric, 2015). Na posameznih modelnih območjih je bila uporaba laserskega skeniranja ali lidarskega snemanja v gozdarstvu na Slovenskem predstavljena že pred desetletjem (Kobler in Zafran, 2006). Kasneje so bile predstavljene tudi metode za napovedovanje deležev drevesnih vrst in svetlobnih razmer v gozdu (Kobler, 2011) ter ocenjevanje lesnih zalog (Kobal, 2014). Za operativno delo slovenskih gozdarskih strokovnjakov in predstavitev na spletnem

Pregledovalniku gozdarskih podatkov (ZGS 2017) je Kobler leta 2016 izdelal digitalni model krošenj (DMK), ki prikazuje višine vegetacije.

V prispevku bodo predstavljene možnosti za spremljanje sestojnih struktur in dinamike sestojnih vrzeli s podatki laserskega skeniranja Slovenije na območju gozdnega rezervata Krakovski pragozd. Ker ni mogoče pričakovati, da bodo laserska skeniranja prerasla v snemanja, primerljiva s cikličnim aerosnemanjem, so podatki iz leta 2015 dobro izhodišče ali dopolnitev dosedanjih raziskovanj v gozdnih rezervatih na Slovenskem. Predstavljene metode je mogoče uporabiti tudi za ocenjevanje zgradbe in sestojne dinamike v gospodarskih gozdovih.



Slika 1: Izsek iz satelitskega posnetka satelita Sentinel 2 z označenimi mejami pragozdnega rezervata Krakovo (posneto leta 2015)

Figure 1: A section from the Sentinel 2 satellite scene with marked boundaries of virgin forest reserve Krakovo (recorded in 2015)

2 RAZISKOVALNI OBJEKT IN METODE DELA

2 STUDY OBJECT AND WORKING METHODS

Gozdni rezervat in gospodarski gozdovi v Krakovskem gozdu sodijo med najlepše primere občasno poplavljenih nižinskih gozdov na razvitih obrečnih tleh (slika 1) na prehodu iz preddinarskega v subpanonsko podnebno območje (Acceto, 1973). V gozdovih rastiščnega tipa dobovja, dobovega belogabrovja in vezovja prevladujejo dob (*Quercus robur* L.), beli gaber (*Carpinus betulus* L.), ozkolistni jesen (*Fraxinus angustifolia* Vahl), vez (*Ulmus laevis* Pallas) in poljski brest (*Ulmus minor* Mill.). Te združbe se pojavljajo na uravninah in depresijah na gradientu upadajoče talne in poplavne vode, na majhnih površinah tudi nižinsko črno jelševje (Dakskobler in sod., 2013). Kjer je raven podtalnice nižja, je pogostejši beli gaber.

Na območju Krakovskega gozda je na značilnosti gozdnih sestojev odločilno vplival že Ressel med letoma 1816 in 1821, ko je gozdove pripravil za načrtno izkoriščanje in oblikoval pravokotne preseke oddelkov, jarke za odvodnjavanje in projektiral gozdne poti (Gozdnogospodarski načrt ..., 2016). Zdajšnje dobrove so delno nastale z naravnim razvojem gozdov, večinoma pa s sajenjem želoda in dobovih sadik. Po golosečnjah, ki so potekale še po drugi svetovni vojni, in opustitvi vzdrževanja odvodnih jarkov je znova zamočvirjene površine prerasla jelša, na sušnejših tleh pa so se razvili obsežni gabrovi sestoji s primesjo doba in drugih listavcev (Gliha, 2004).

Navidez enolično podobo reliefa v gozdnem rezervatu je Acceto (1973) označil kot mikroreliefno ter nanoreliefno izredno pestro. Na pleistocenskih nanosih preplet gline ter sipke usedline, ki gradi prehod med peski in glinami, povzročajo različno prepustnost tal. Z ročnim vrtanjem je na isti višini tal na razdalji dveh metrov ugotovil do 90 cm razlike v nivoju talnice. Opozoril je tudi na njena velike nihanja, kajti v pozni jeseni, pozimi in zgodnji spomladi so jo na dveh raziskovalnih vrtinah v Krakovskem gozdu izmerili 10–35 cm pod površjem tal, v poletju in zgodnji jeseni pa do 5 m pod talno površino.

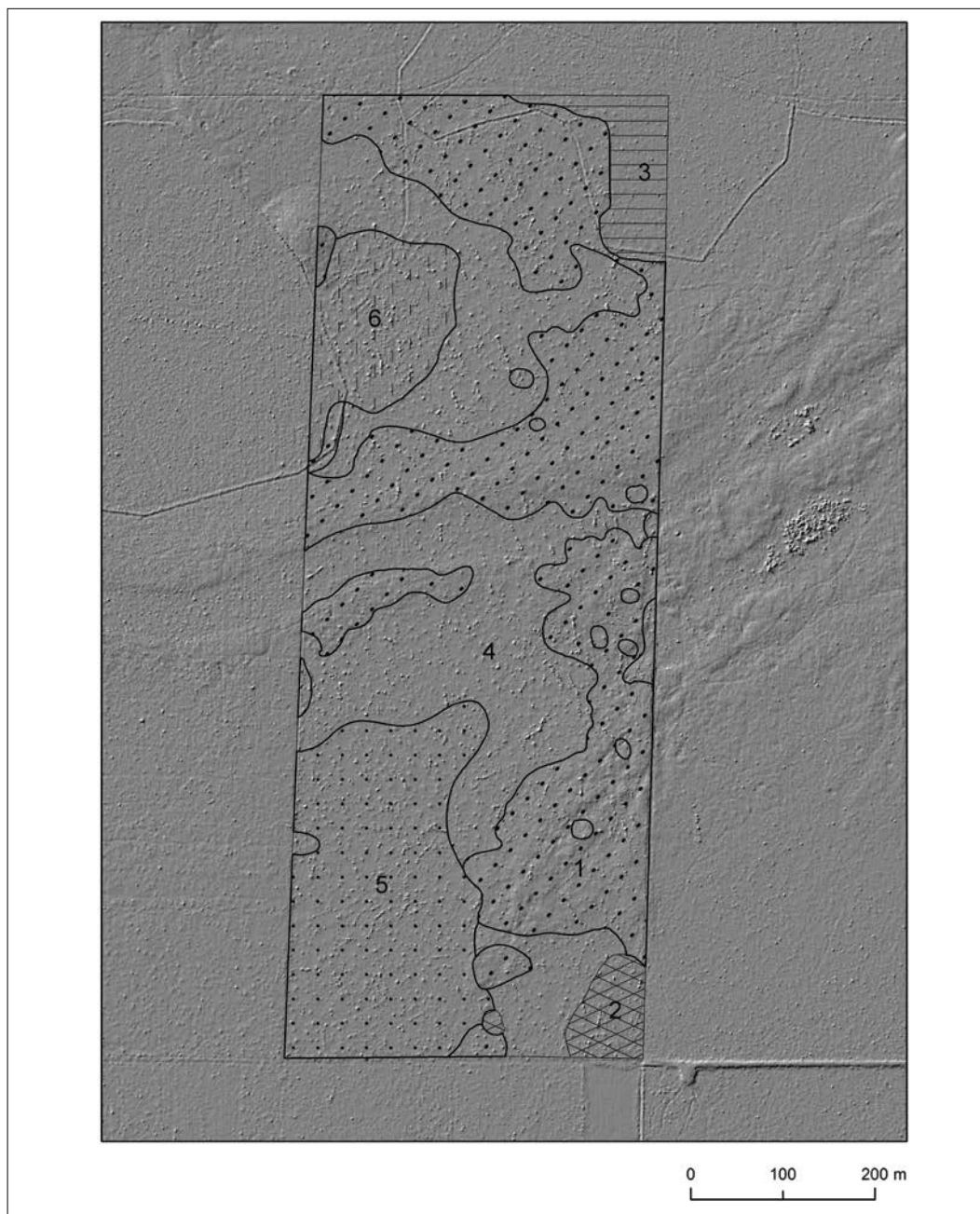
Senčenje reliefa na podlagi digitalnega modela reliefa s prostorsko ločljivostjo 1 m (MOP, 2015) dobro pokaže razlike na površju, o katerih je

poročal Acceto (1973), čeprav smo na območju rezervata ocenili le 2,5 m višinskih razlik, večina površja pa leži med 152 in 153 m nadmorske višine (slika 2). Na območjih pragozdnega rezervata s prevladujočim dobom (4 in 5) je na digitalnem modelu reliefa mogoče opaziti večje ostanke odmrlih in podrtih dobovih dreves.

Čeprav o prvobitnosti pragozdnega rezervata s površino 39,84 ha obstajajo pomisleki, so po letu 1952 v njem opustili tudi neznatnejše posege ob odpiranju naravnih pomladitvenih jeder in odstranjevanju propadlih dreves (Gozdnogospodarski načrt ..., 1961, cit. po Žibert, 2006). Dvajset let po opustitvi človekovih posegov je Acceto (1973) ocenjeval starost dreves v rezervatu s štetjem branik na številnih, a žal le redko povsem ohranjenih panjih. Rezervat je postal izjemen objekt za proučevanje naravnega razvoja dobovega gozda (Gozdni rezervat, 2016). Na Območni enoti Brežice Zavoda za gozdove Slovenije so tudi leta 2016 še opravili polno izmero dreves v gozdnem rezervatu in tako je mogoče spremljati razlike v vrstni in debelinski strukturi v letu 2000 in delno leta 1960 (Žibert, 2006).

V začetku sedemdesetih let so ocenili (Acceto, 1973), da v gozdnem rezervatu prevladuje optimalna faza, faza staranja oziroma propadanja in inicialna faza pa sta se med seboj prepletali ter se pojavljali mozaično na manjših površinah. Levanič in sod. (2007) so na trajni raziskovalni ploskvi v Krakovskem gozdu ocenili, da se osutost krošenj doba povečuje, izraziteje po letu 2003 in v letih, ki sledijo podnebnim ekstremom. Na manjšo debelinsko rast doba so podnebne razmere vplivale posredno z nihanjem ravni podtalnice, ob večji osutosti krošenj pa je bila ocenjena tudi nadpovprečna mortaliteta dreves.

Postavljena je bila tudi gostejša vzorčna mreža stalnih vzorčnih ploskev (Žibert, 2006). Po desetih letih smo v aprilu in maju 2016 ponovili merjenje na šestnajstih krožnih vzorčnih ploskvah s površino pet arov. Na celotni ploskvi smo merili živa in odmrta drevesa s premerom, enakim ali večjim od 10 cm. Vsem živim drevesom na posamezni vzorčni ploskvi smo ocenili socialni položaj, dolžino krošnje, slojevitost, vitalnost, razvojno težnjo in zdravstveno stanje. Odmrlih dreves in njihovih delov, ki niso izvirala iz vzorčne ploskve, temveč so padla na ploskev iz okolice, nismo merili.



Slika 2: Senčenje digitalnega modela reliefa (DMR1, MOP 2016) v pragozdnem rezervatu Krakovski gozd z označenimi rastlinskimi združbami, kot jih je določil Acceto (1975) pred 40 leti

Figure 2: Shading of the digital relief model (DMR1, MOP 2016) in the virgin forest reserve Krakovo with marked plant associations as determined by Acceto (1975) 40 years ago

Pseudostellario-Carpinetum
gagetosum spathaceae

(1)

caricetosum pendulae

(2)

Alnus gl. - Carex elongata stadij

(3)

Pseudostellario-Quercetum

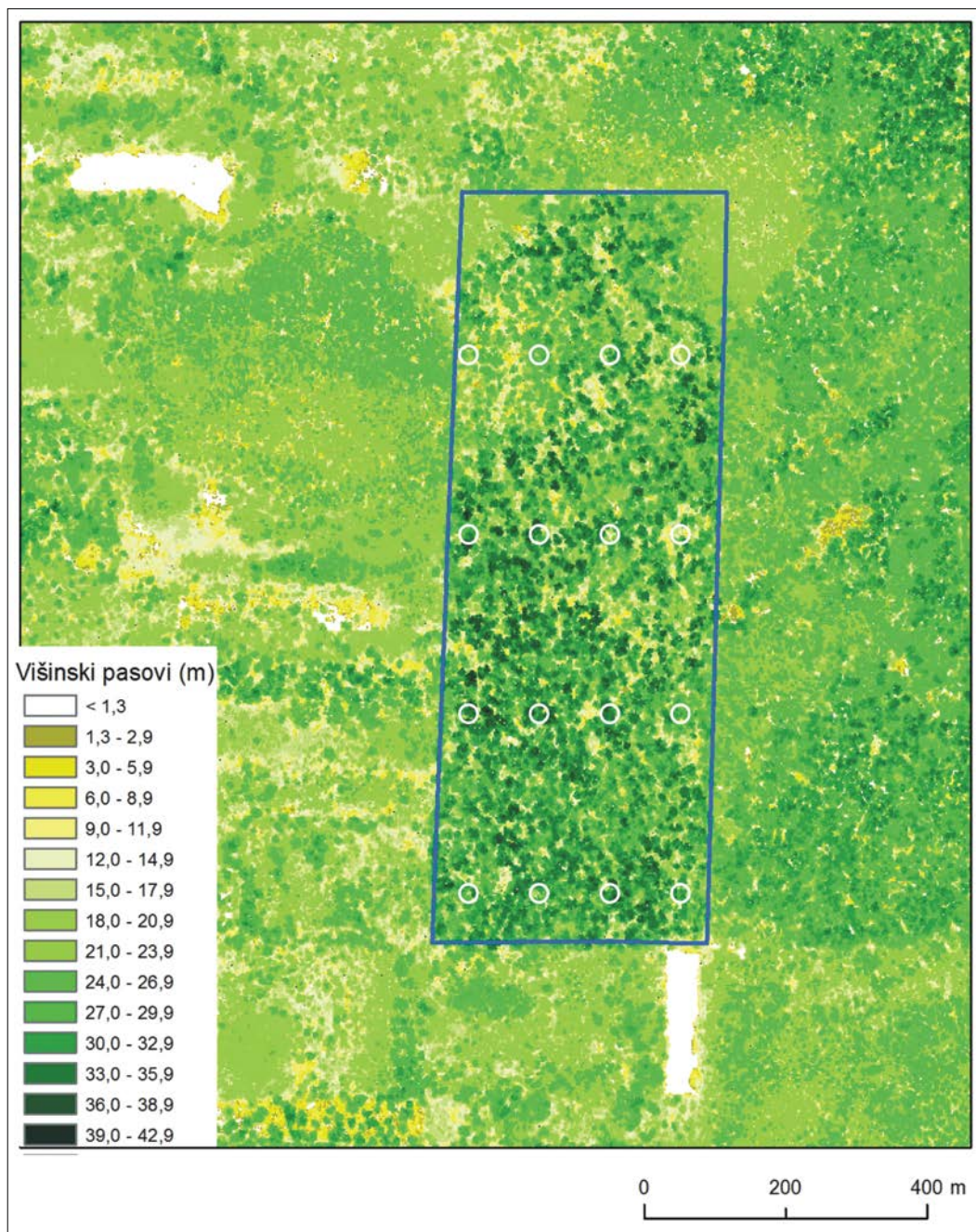
caricetosum brizoidi

(4)

deschampsietosum caespitosae

(5)

Leucojum aestivum - Alnus gl.- Fraxinus ox. ass. (6)



Slika 3: Višinski pasovi dreves v pragozdnem rezervatu Krakovo, ocenjeni iz lidarskih podatkov na podlagi digitalnega modela krošenj. Z modro črto so označene meje rezervata, z belimi krožci pa štirje nizi stalnih vzorčnih ploskev (Vir podatkov: MOP 2016)

Figure 3: Height classes of trees in the virgin forest reserve Krakovo, assessed from lidar data on the basis of the digital canopy height model. Blue line marks reserve boundaries and white circles mark four series of permanent sampling plots (Data source: MOP 2016)

S spletnega portala eVode (MOP 2016) smo uporabili lidarske podatke za območje pragozdnega rezervata Krakovo, ki so bili posneti v marcu in juniju 2014. Snemanje je bilo opravljeno s helikopterjem Eurocopter EC 120B na višini leta od 1200 do 1400 m nad tlemi. Lidarski sistem so sestavljali laserski skener RIEGL LMS-Q780 s frekvenco pulzov 400 kHz ter sistem za pozicioniranje in orientacijo (diferencialni GNSS Novatel OEMV-3, sistem za merjenje zasukov INS IGI Aerocontrol Mark II. E 256 Hz). Predvidena je bila gostota 5 točk/m² ob premeru laserskega žarka ali odtisom velikosti 30 cm, položajno točnostjo 30 cm in točnostjo elipsoidnih višin 15 cm.

Ker v tehničnem poročilu o izvedbi laserskega skeniranja Slovenije (LSS) in izdelavi izdelkov iz podatkov tega skeniranja navajajo (GIS 2014), da je bil digitalni model reliefa narejen z avtomatsko obdelavo podatkov oblaka točk in ročnim odstranjevanjem napak, smo podatke privzeli za model reliefa (DMR). Iz georeferenciranega in klasificiranega oblaka točk (GKOT) smo v programskem okolju GIS ArcMap oblikovali digitalni model površja (DMP). Od digitalnega modela površja smo odšteli digitalni model reliefa in tako oblikovali digitalni model krošenj dreves na območju gozdnega rezervata.

Slika 3 je namenjena le ponazoritvi digitalnega modela krošenj, kajti za razmejevanje sestojnih struktur smo uporabili izvirne podatke o najvišjih laserskih točkah na območjih posameznih celic, velikosti 1 x 1 m. Za tiste, ki niso vsebovale nobenega laserskega odboja, smo višino DMK interpolirali iz najbližjih okoliških celic z znanimi višinami krošenj. Poleg že znanih ocen o podcenjevanju višin dreves, ki so bile predstavljene tudi v analizah lidarskih podatkov na Slovenskem (Kobler, 2011; Kobal in sod., 2014; Gnezda, 2016), je na območju Krakovskega gozdnega rezervata dobro opozoriti še na napake DMR, ki so ostale zaradi neupoštevanja padlih odmrlih dreves (slika 4). Teh napak na sliki namerno nismo odpravili, da bi gozdarske strokovnjake opozorili na omejitve pri delu z zbirkami podatkov o laserskem skeniranju Slovenije, ki jih uporabljajo v spletnem pregledovalniku gozdarskih podatkov (ZGS 2017).

Na območju podrtic je višina dreves v sestojni strehi lahko dodatno podcenjena še vsaj za debe-

lino debela, ob koreničnikih ali na območjih z več podrticami doba s prekrizanimi debli do metra in pol. Ob terenskem preverjanju privzetega DMR smo odkrili tudi napačno določene višine reliefa na območjih gostega sklepa vrbovja, ki jih na sliki 2 ponazarjajo gruče svetlejših barvnih odtenkov 150 m vzhodno od meje gozdnega rezervata.

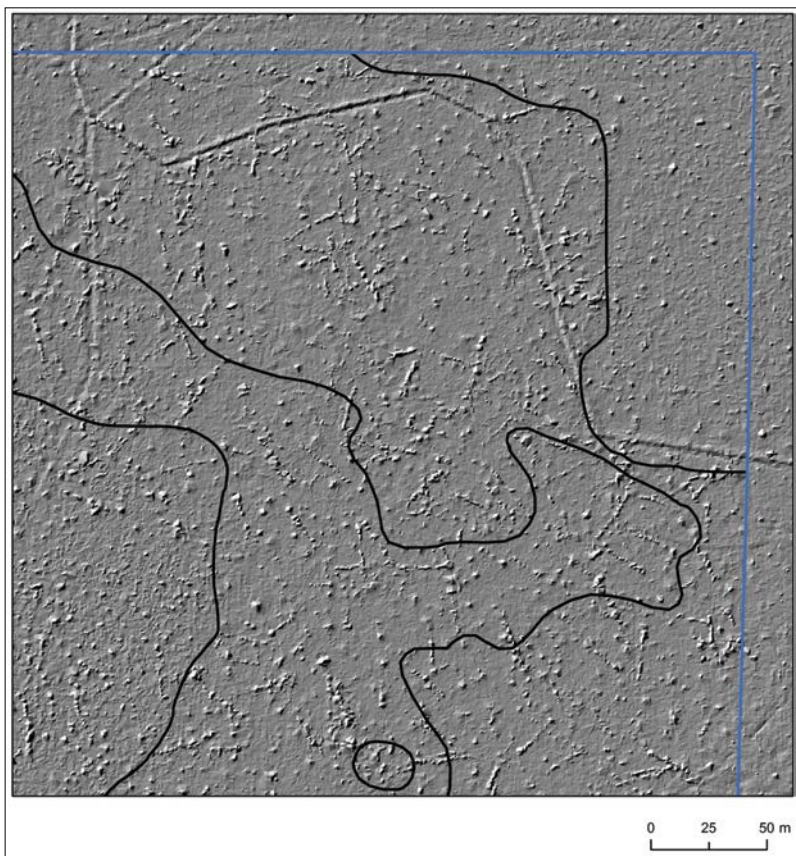
Sestojne strukture smo razmejevali na podlagi višinskih razlik s postopkom segmentacije v programskem okolju Feature Analyst, ki je bilo že podrobneje predstavljeno (Klinar in Hladnik, 2014). Podatki o višinah v digitalnem modelu krošenj so bili privzeti kot izhodišče v postopku segmentacije, ki je bila sprva namenjena obdelavi podatkov o spektralnem odboju zemeljskega površja na satelitskih in letalskih posnetkih, z razvojem laserskega skeniranja pa so jo uporabili tudi za segmentacijo digitalnega modela krošenj (Mustonen in sod., 2008). Ob digitalnem modelu krošenj smo v postopek segmentacije vključili tudi oceno o dominantnih višinah dreves. Na območjih posameznih celic, velikosti 10 x 10 m, smo določili najvišje točke laserskega odboja in jih privzeli za ponazoritev dominantnih višin. Postopek je bil sprva uporabljen za oceno povprečnih višin laserskega skeniranja in primerjavo s terenskim ocenjevanjem sestojnih višin (Næsset, 1997), dominantne višine pa so ocenjevali tudi na podlagi laserskega skeniranja in jih privzeli za ocenjevanje sestojnih značilnosti na večjih rastrskih celicah, na primer 20 x 20 m (Koch in sod., 2009). Na območju Krakovskega gozda smo izbrali velikost 10 x 10 m, ker smo na terenskih vzorčnih ploskvah med soraslimi in nadraslimi drevesi ocenili povprečno gostoto 83 dreves na hektar (preglednica 1), s podrticami doba bi bila povprečna gostota ocenjena na 96 dreves na hektar. Primernost desetmetrskih celic smo potrdili tudi z iskanjem vrhov dreves v digitalnem modelu krošenj po metodi lokalnih maksimumov, ki jo je v slovenskih razmerah predstavil in preizkusil Kobler (2011). V sestoji doba (št. 5 na sliki 2) smo izračunali 9,3 m povprečne razdalje med vrhovi najbližjih sosednjih dreves. Na območju s prevladujočo jelšo (št. 3 na sliki 2) so bile povprečne razdalje med najbližjimi drevesi za 2 m krajše.

Pred postopkom segmentacije smo iz digitalnega modela krošenj izločili površine z vsaj 100 m²,

na katerih je bila višina dreves manjša od 5 m. Tako so bile določene površine mladovja ali morebitna grmišča. Preverili smo tudi, ali je mogoče sestoj razmejevati po petmetrskih višinskih pasovih, ki v enomernih oziroma enodobnih sestojih ponazarjajo razvojne stadije gozdnih sestojev (Koch in sod., 2009). Na območju Krakovskega gozda bi s takim razmejevanjem določili starejše sestojne doba in jih ločili od sestojev s prevladujočim belim gabrom (slika 5). V prvem koraku segmentacije smo z nenadzorovano klasifikacijo določili tri skupine gozdnih sestojev, ki jih dobro ponazarjajo že višinski pasovi digitalnega modela krošenj na sliki 3:

- sestoji s prevladujočim dobom na območju gozdnega rezervata in v vzhodnem delu modelnega območja,
- sestoji belega gabra in mešani sestoji doba in belega gabra z višinami sestojne strehe od 24 do 28 m,
- sestoji s prevladujočimi višinami pod 24 m na zahodnem delu modelnega območja.

Po terenskem preverjanju sestojev smo nadaljevali s klasifikacijo po štirimetrskih višinskih pasovih (pod 16 m, 16 do 20 m, 20 do 24 m, 24 do 28 m, 28 do 32 m in nad 32 m). Na digitalnem modelu krošenj smo določali vzorčne ploskve za podrobnejšo nadzorovano klasifikacijo podat-



Slika 4: Senčenje digitalnega modela reliefa (DMR1) in klasificiranih točk nizke vegetacije (GKOT, MOP 2016) v severovzhodnem delu gozdnega rezervata Krakovski gozd z označenimi mejami rastlinskih združb iz slike 2 (črno) in modro mejo rezervata

Figure 4: Shading of the digital relief model (DMR1) and classified points of low vegetation (GKOT, MOP 2016) in the northeastern part of the virgin forest reserve Krakovo with marked plant association boundaries from Figure 2 (black) and blue reserve boundary

kov in odpravljanje napak v začetnih postopkih segmentacijo po posameznih sestojih na zahodnem delu modelnega območja. Tam je bila pestrost sestojnih zgradb večja in smo vzorčne ploskve določali v sestojih črne jelše, sestojih belega gabra in mlajših sestojih doba in belega gabra, ki so s svojo sestojno streho dosegli različne višinske pasove. V postopku segmentacije smo sprva kot najmanjšo razmejeno površino upoštevali 500 m². Na vzhodnem delu modelnega območja s starejšini razvojnimi stadiji je bila primernejša najmanjša površina 1000 m², sicer bi s segmentacijo namesto sestojev razmejevali številne mozaične skupine starejših dreves v mešanih sestojih doba in belega gabra. Po končani segmentaciji smo za ponazoritev površinske pestrosti sestojev izdelali prostorski model, ki ponazarja višinske razrede gozdnih sestojev. Za ponazoritev sta bili kot najmanjši

površini razmejenih sestojev upoštevani velikosti pol oziroma četr hektara (slika 7).

3 REZULTATI

3 RESULTS

Za gozdni rezervat so značilne velike lesne zaloge in količine odmrle drevnine (preglednica 1). V lesni zalogi živih dreves prevladuje dob (83 %), za katerega smo ocenili povprečno vrednost srednetemeljnicičnega premera 90 cm. Pri ocenjevanju sestojnih gostot smo za dob ocenili večje koeficiente variacije kot pri belem gabru, vendar to velja le za živa drevesa. Če bi na vzorčnih ploskvah upoštevali še odmrla stoječa in padla drevesa, bi bil koeficient variacije za 20 % nižji in primerljiv s koeficientom za beli gaber. Ocenjeni volumen odmrlih dreves je primerljiv s 27 % lesne zaloge živih dreves.

Preglednica 1: Sestojne gostote in del strukturnih značilnosti gozdnih sestojev v Krakovskem pragozdnem rezervatu, ocenjenih na šestnajstih vzorčnih ploskvah v letu 2016 (SD – standardni odklon, KV – koeficient variacije)
Table 1: Stand densities and a part of structural characteristics of forest stands in virgin forest reserve Krakovo, assessed on sixteen sampling plots in the year 2016 (SD – standard deviation, KV – coefficient of variation)

	Skupaj	Dob	Beli gaber	Drugi listavci
Število dreves (N/ha)				
Povprečno	387	50	295	42
SD	106	31	119	64
KV (%)	27	62	40	151
Temeljnica (m ² /ha)				
Povprečno	44,5	32,1	9,6	2,8
SD	18,7	20,1	3,7	8,0
KV (%)	42	63	38	289
Lesna zaloga (m ³ /ha)				
Povprečno	732	611	88	32
SD	360	386	38	104
KV (%)	49	63	44	320
Odmrlo drevje (m ³ /ha)		Stoječe	Podrto	
Povprečno	196	134	62	
SD	181	184	86	
KV (%)	92	136	140	

Variabilnost pri ocenjevanju odmrlega drevja je izredno velika, posebno če ločeno ocenjujemo stoječe in padlo odmrlo drevje.

Beli gaber z le 12 % deležem v skupni lesni zalogi in 22 % v skupni temeljnici zastira površine in zapolnjuje vrzeli, v katerih bi sicer lahko pričakovali pomlajevanje doba. Na digitalnem modelu krošenj smo določili le dve nezapolnjeni vrzeli, večji od 100 m². V sedmih zapolnjenih vrzelih, večjih od 500 m², smo določili drevesne krošnje do 15 m višine, v štirih s površino, večjo od 0,25 ha, pa krošnje do 20 m višine. Nobena od zapolnjenih vrzeli ni preseгла površine 0,5 ha, čeprav na območju gozdnega rezervata 22 % površine zastirajo krošnje dreves, nižje od 20 m (slika 5). Nad to višino sta v severnem delu rezervata sestojni strehi črne jelše (št. 3 na sliki 2) in sestoj z večjim deležem ostrolistnega jesena (št. 6 na sliki 2 in prečni profil b na sliki 6). V srednjem in južnem delu rezervata gradita dob in beli gaber dvoplastne sestoje, ki jih je mogoče dobro oceniti na prečnih profilih lidarskega oblaka točk (slika 6). Na vzorčnih ploskvah, ki ležijo na območju prečnih profilov, smo za gaber ocenili srednetemeljnični premer 20 cm.

Višine doba nad 35 m niso značilne le za gozdni rezervat (slika 5). Ocenili smo jih tudi v sosednjih debeljakih gospodarskih gozdov vzhodno in severovzhodno od rezervata (slika 7). Kljub veliki količini odmrle drevnine v gozdnem rezervatu je bila streha osrednjega sestoja z dobom v zgornji plasti še primerljiva s strnjanim debeljakom doba, ki obsega celoten odsek (36 b) v gospodarskem gozdu vzhodno od gozdnega rezervata (slika 7). Na podlagi lidarskih podatkov o najvišjih delih krošenj po 10 x 10 m velikih rastrskih celicah smo v gospodarskem gozdu ocenili le pol metra nižjo povprečno vrednost od sestojne strehe v gozdnem rezervatu (34,7 m). Za obe sestojni strehi smo pri taki velikosti rastrskih celic ocenili nizka koeficienta variacije – 10 % v gozdnem rezervatu in le 5 % v gospodarskem gozdu. V gozdnem rezervatu je bil večji delež rastrskih celic (31 %) z drevesnimi višinami nad 35 m, v primerljivem sestoji doba v gospodarskem gozdu je bilo takih celic le 15 %.

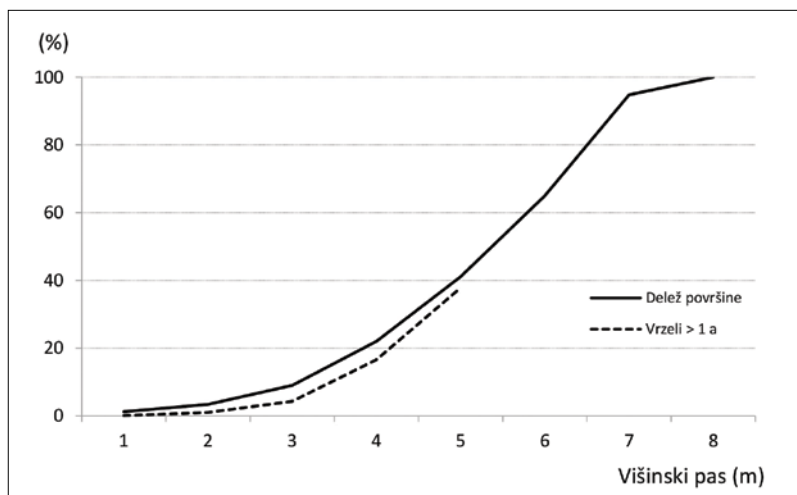
V preostalih odsekih, ki mejijo na gozdni rezervat, sestojne meje na podlagi višinskih razredov ponazarjajo večjo variabilnost v rastiščnih dejav-

nikih in tudi različno učinkovitost pri zasnovi in oblikovanju gozdnih sestojev v preteklosti. Del variabilnosti smo ponazorili s prikazom manjših sestojev, ki s svojo površino sicer ne dosežejo pol hektara površine, priporočene kot spodnjo mejo pri razmejevanju gozdnih sestojev. S segmentacijo lidarskih podatkov so oblikovane izredno razčlenjene sestojne meje, zlasti zaradi številnih prehodov med skupinami dreves belega gabra in doba. Vzhodno od gozdnega rezervata v višinskem razredu nad 24 m prevladuje gaber, prehod prek višinskega razreda 28 m so mešani sestoji z večjim deležem doba, ki prevlada v višinskem razredu nad 32 m. V sestojih nižjih višinskih razredov na severnem in zahodnem delu modelnega območja smo ob terenskem preverjanju določili tudi sestoje črne jelše.

4 RAZPRAVA IN SKLEPI

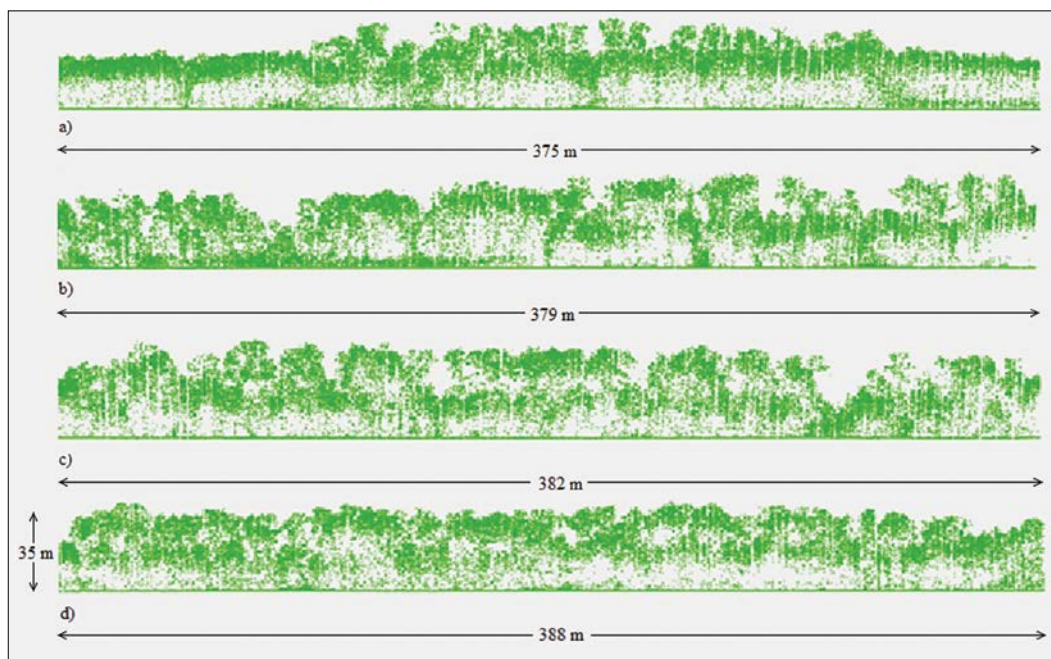
4 DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Na podlagi podatkov laserskega skeniranja Slovenije je mogoče izboljšati dosedanja pristop pri raziskovanju gozdnih rezervatov na Slovenskem in pri razmejevanju gozdnih sestojev v gospodarskih gozdovih. Metode za spremljanje dinamike vrzeli na podlagi lidarskih podatkov so bile že podrobneje predstavljene v raznodobnih gozdovih (Baša, 2016), na območju Krakovskega gozda pa smo s segmentacijo teh podatkov pokazali nove možnosti pri razmejevanju enomernih sestojev. Sestojna karta višinskih razredov (slika 7) je predstavljena kot izhodišče za podrobnejši opis sestojev s terenskim ocenjevanjem, možnosti za ocenjevanje vrstne sestave pa preverjamo tudi na podlagi novejših satelitskih posnetkov Sentinel-2 (slika 1). Podatki laserskega skeniranja sicer ob položajnih koordinatah ponujajo tudi odbojnost površine (intenzivnost odboja), na kateri je nastal odboj laserskega žarka, vendar so bili v letih 2014 in 2015 pridobljeni tudi v času pred olistanjem dreves, kar omejuje njihovo primernost za ocenjevanje vrstne sestave listavcev (Lavrič, 2016). Doslej so s podatki laserskega skeniranja učinkovito razlikovali zlasti iglavce in listavce ter z uporabo pulznega lidarja ocenjevali strukturne značilnosti drevesnih krošenj (oblika, odbojnost, razmestitev biomase) in razlike v intenziteti odboja (Ørka in sod., 2009). Na podlagi valovnega ali zveznega lidarja, ki signal oddaja ves čas in meri odboj



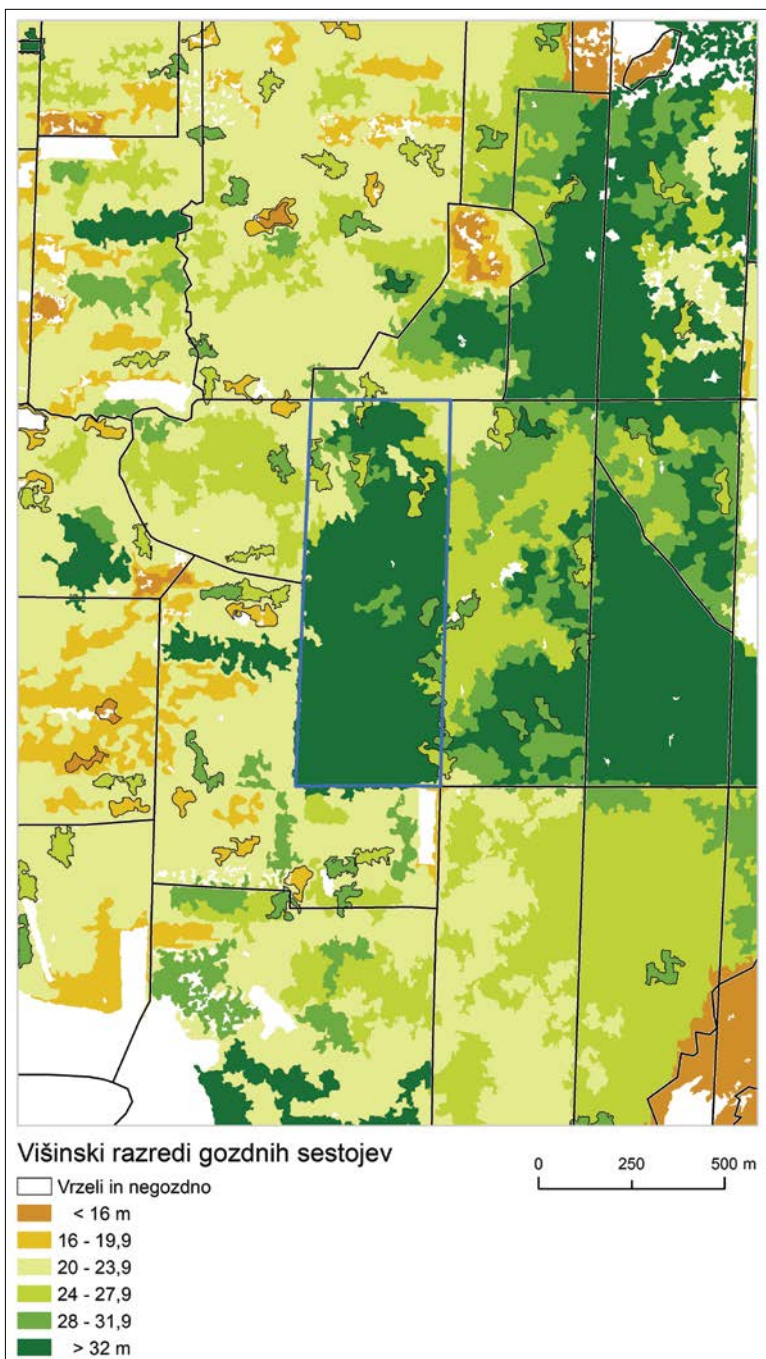
Slika 5: Delež zastrte površine v gozdnem rezervatu Krakovski gozd po višinskih pasovih drevesnih krošenj v letu 2015 in delež površine, ki jo zastirajo zapolnjene vrzeli, velike vsaj 100 m².

Figure 5: The share of the covered surface in the virgin forest reserve Krakovo according to height classes of tree crowns in the year 2015 and the share of the surface, covered by filled gaps, at least 100 m² in size.



Slika 6: Prečni profili oblaka točk lidarskih podatkov na območju gozdnega rezervata Krakovski gozd: a) ob severni meji pragozdnega rezervata, b) od meje na zahodu prek 4. niza vzorčnih ploskev, c) prek 3. niza ploskev, d) prek 1. niza vzorčnih ploskev. V profilih je zajeta širina, ki je primerljiva z velikostjo vzorčnih ploskev na sliki 3.

Figure 6: Cross-sections of the cluster of lidar data points in the area of the virgin forest reserve Krakovo: a) at the northern boundary of the virgin forest reserve, b) from the boundary on the west over the 4th series of the sampling plots, c) over the 3rd series of the plots, d) over the 1st series of the sampling plots. The profiles comprise width, comparable with the size of the sampling plots in Figure 3.



Slika 7: Izsek iz sestojne karte na podlagi višinskih razredov gozdnih sestojev na območju Krakovskega gozda. Prikazane so tudi površine, večje od 0,25 ha in manjše od 0,5 ha (s črno označene sestojne meje) ter sestojne vrzeli s površino vsaj 0,01 ha. Meje gozdnega rezervata so označene z modro barvo, meje gozdarskih odsekov pa s črno.
Figure 7: A section from the stand map on the basis of height classes of forest stands in the area of Krakovo forest. Also areas, larger than 0.25 ha and smaller than 0.5 ha (stand boundaries marked in black) and stand gaps, at least 0.01 ha in size, are shown. The forest reserve boundaries are marked in blue and boundaries of forestry sections in black.

glede na fazni zamik med oddanim in sprejetim signalom (Oštir, 2006), ocenjujejo razlike med posameznimi drevesnimi vrstami, vendar natančnost še ni primerljiva z natančnostjo razlikovanja med iglavci in listavci (Heinzel in Koch, 2011; Yu in sod., 2014). Opozarjajo tudi, da zgolj podatki valovnega lidarja ne zagotavljajo sprejemljive natančnosti pri določanju posameznih drevesnih vrst (Bruggisser in sod., 2017).

V prispevku smo se omejili na prikaz sestojnih višinskih razredov in oceno zgradbe pragozdnega rezervata v Krakovskem gozdu, ker je mogoče opisane metode dela uporabiti tudi v operativnem delu gozdarskih inženirjev. Sprva smo nameravali po segmentaciji lidarskih podatkov sestojne meje generalizirati, ker bi tako pridobili preglednejšo predstavitev višinskih razredov, primerljivo z razmejenimi površinami na sestojni karti Pregledovalnika podatkov o gozdovih ZGS (2017). Na terenskem preverjanju pa smo ob razčlenjenih sestojnih mejah odkrivali, da ponazarjajo tudi rastiščne dejavnike in razlike v zgradbi sestojnih podenot, ki bi jih z generalizacijo prezrli. Pri operativnem gozdarskem delu je mogoče podatke laserskega skeniranja in iz njih izpeljane prostorske modele v polnosti izkoristiti, če uporabimo sprejemnik globalnih navigacijskih satelitskih sistemov (GNSS), ki se tudi v gozdu približa metrski ali vsaj nekajmetrski pozicijski natančnosti. S klasičnim razmejevanjem sestojev na ortofoto posnetkih in terenskim popisom na podlagi teh posnetkov in topografskih kart ne moremo zanesljivo določiti rastiščnih in sestojnih razlik (slika 2), ki jih je opisal že Accetto (1973). Čeprav se sklicujemo, da pri gospodarjenju z gozdovi prostorske členitve niso odvisne le od značilnosti gozdov, ampak predvsem od namenov in potreb, zaradi katerih členimo gozd (Bončina, 2009), so bile doslej možnosti za uporabo podatkov laserskega skeniranja Slovenije premalo izkoriščene v sklopu gozdnogospodarskega in gojitvenega načrtovanja operativnih gozdarjev.

6 POVZETEK

6 SUMMARY

In the central European concept of close-to-nature silviculture, applying the paradigm about taking into account and imitating natural forest structures and processes, basing on the research in virgin

forests or virgin forest reserves has begun quite early. From them, characteristics of stand structures, which are stable and sufficiently efficient and enable at the same time people's demanding for sustainably providing the goods (Schuetz et al., 2016). Studying natural phenomena we most often assess successional development of forests, mortality and regeneration of tree species, changing of species structure, frequency and intensity of disturbances, changing the ratio of life stages or developmental phases of the forest, circulation of nutrients, flow and binding of energy (Peterken, 1996, quot. after Diaci, 2006). This article presents possibilities for monitoring stand structures and the dynamic of stand gaps using the data by laser scanning Slovenia in 2015. We limited ourselves to the presentation of stand height classes and assessment of the structure of the virgin forest reserve in Krakovo forest.

Forest reserve and managed forests in Krakovo forest are among the best examples of temporarily flooded lowland forests on the developed riparian soil (Figure 1) at the transition from the sub-Dinaric to the sub-Pannonian climatic zone (Accetto, 1973). The present groves emerged partly from the natural forest development, but mostly from planting the acorn and pedunculate oak seedlings. After the clear-cuts, taking place even after the World War II, and giving up the drain canals' maintenance, the areas, becoming marshy once again, were overgrown with alder, and on the drier soils extensive hornbeam stands with the addition of pedunculate oak and other deciduous trees developed.

In April and May 2016, in the forest reserve we repeated the measurement on sixteen circular sampling plots with the area of 500 m² after ten years. We measured living and dead trees with the diameter, equal or larger than 10 cm, on whole plots. We assessed social status, length of the crown, layer to which a sample tree belongs, vitality, developmental tendency, and health condition of all living trees on an individual sampling plot. We did not measure dead trees and their parts, which did not originate in the sampling plot, but fell on the plot from its surroundings. From the eVode web portal (MOP 2016) we acquired the lidar data for the area of

the virgin forest reserve Krakovo, recorded in March and June 2014. From the geo-referenced and classified lidar point cloud we formed the digital surface model and digital canopy height model (CHM) in the forest reserve area in the GIS ArcMap program environment. Stand structures were delineated on the basis of height differences with the segmentation procedure in the Feature Analyst program environment. On the digital canopy height model we determined sampling plots for segmentation according to individual stands in the model area. Since the diversity of stand structures was high, we determined sampling plots for segmentation separately in the black alder stands, common hornbeam stands, and younger pedunculate oak and common hornbeam stands, reaching different height classes with their stand canopy. After the field check of the stands, we continued the classification according to four meter height classes (under 16 m, 16 to 20 m, 20 to 24 m, 24 to 28 m, 28 to 32 m and over 32 m). After the finished segmentation, we carried out a spatial model for the illustration of the surface diversity of the stands, where we took into account the sizes of a half or a quarter of hectare as the smallest areas of the delineated stands (Figure 7).

Large growing stock and quantities of deadwood are characteristic for forest reserve (Table 1). In the growing stock of living trees, pedunculate oak prevails (83 %); for it, we assessed the quadratic mean diameter to 90 cm. Common hornbeam with only 12 % share in the total growing stock and 22 % in the total basal area covers the surfaces and fills the gaps, where we could otherwise expect the regeneration of pedunculate oak. On the digital canopy height model, we determined only two unfilled gaps, larger than 100 m². Despite a large quantity of deadwood in forest reserve, the canopy of the central stand with pedunculate oak in the upper height class is still comparable with the dense canopy old timber pedunculate oak, that covers the whole section (36 b) in the managed forest east of forest reserve (Figure 7). Segmentation of lidar data forms extremely segmented stand boundaries, above all due to numerous transitions between groups of common hornbeam and pedunculate oak trees. East of forest reserve,

hornbeam prevails in the height class over 24 m, transition across height class 28 m is formed by mixed stands with a larger share of pedunculate oak, which prevails in the height class over 32 m. On the basis of laser scanning of Slovenia the current approach to the studying of forest reserves in Slovenia and to the delineation of forest stands in managed forests can be improved. The methods for monitoring the gap dynamics on the basis of lidar data have already been presented in detail in uneven-aged forests (Baša, 2016); in the area of Krakovo forest, we have shown new possibilities in the delineation of even-aged stands with segmentation. Stand map of height classes (Figure 7) is presented as a starting point for a more detailed description of the species and diameter structure of the stands. On the field check we were finding out, that the heavily segmented stand boundaries also illustrate site factors and differences in the structure of stand sub-units, which could be overlooked by generalizing the boundaries after the segmentation of the lidar data.

7 LITERATURA

7 REFERENCES

- Acceto M. 1973. Zakonitosti v pomlajevanju in razvoju doba in belega gabra v pragozdnem rezervatu Krakovo (*Pseudostellario Carpinetum*, *Pseudostellario - Quercetum*). Magistrsko delo. Ljubljana, UL, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 62 str.
- Acceto M. 1975. Naravna obnova in razvoj doba in belega gabra v pragozdnem rezervatu Krakovo. *Gozdarski vestnik*, 2: 67–85.
- Baša M. 2016. Razvojna dinamika dveh gozdnih rezervatov na območju žledoloma. Magistrsko delo. Ljubljana, UL, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 70 str.
- Bončina A. 2009. Urejanje gozdov - upravljanje gozdnih ekosistemov. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 359 str.
- Bruggisser M., Roncat A., Schaepman M. E., Morsdorf F. 2017. Retrieval of higher order statistical moments from full-waveform LIDAR data for tree species classification. *Remote Sensing of Environment*, 196: 28 – 41.
- Diaci J. 2006. Gojenje gozdov: pragozdovi, sestoji, zvrsti, načrtovanje, izbrana poglavja. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 348 str.

- Diaci J., Pisek R., Hladnik D. 2006. Izpopolnitev metodologije spremljanja razvoja gozdov v rezervatih. V: Hladnik D. (ur.). Monitoring gospodarjenja z gozdom in gozdnato krajino. Studia Forestalia Slovenica, 127: 125 – 143.
- GIS 2014. Izvedba laserskega skeniranja Slovenije. Blok 14 - tehnično poročilo o izdelavi izdelkov. Ljubljana, Geodetski inštitut Slovenije, 20 str.
- Gliha J. 2004. Naravna obnova in ekologija pomlajevanja doba (*Quercus robur* L.) v Krakovskem gozdu. Diplomsko delo. Ljubljana, UL, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 86 str.
- Gnezda M. 2016. Popis urbane drevnine v mestu Logatec. Magistrsko delo. Ljubljana, UL, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 72 str.
- Gozdno-gospodarski načrt Gozdnogospodarske enote Krakovo 2016-2025 20016. Zavod za gozdove Slovenije, Območna enota Brežice, 157 str.
- Gustafsson L., Baker S. C., Bauhus J., Beese W. J., Brodie A., Kouki J., Lindenmayer D. B., Löhmus A., Pastur G. M., Messier C., Neyland M., Palik B., Sverdrup-Thygeson A., Volney W. J. A., Wayne A., Franklin J. F. 2012. Retention Forestry to Maintain Multifunctional Forests: A World Perspective. *BioScience*, 62,7: 633 – 645.
- Heinzel J., Koch B. 2011. Exploring full-waveform LIDAR parameters for tree species classification. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13: 152 – 160.
- Klinar K., Hladnik D. 2014. Dinamika zaraščanja planinskih pašnikov na Belski planini in Rebru z objektno usmerjeno analizo ortofoto posnetkov. *Gozdarski vestnik*, 72, 5-6: 263–279.
- Kobal M. 2014. Ocena lesne zaloge sestojev iz podatkov zračnega laserskega skeniranja površja. *Gozdarski vestnik*, 72, 5-6: 249 – 262.
- Kobler A., Zafran J. 2006. Podatki letalskega lidarskega snemanja in njihova uporaba pri gospodarjenju z gozdom. V: Hladnik D. (ur.). Monitoring gospodarjenja z gozdom in gozdnato krajino. Studia Forestalia Slovenica, 127: 83 – 96.
- Kobler A. 2011. Nove metode za obdelavo podatkov letalskega laserskega skenerja za monitoring gozdnih ekosistemov. Doktorska disertacija. Ljubljana, UL, FGG, 126 str.
- Koch B., Straub C., Dees M., Wang Y., Weinacker H. 2009. Airborne laser data for stand delineation and information extraction. *International Journal of Remote Sensing*, 30, 4: 935 – 963.
- Konečnik K., Zaplotnik V. 2001. Pragozdni rezervat Strmec – raziskave zgradbe naravnega gozda in primerjava izbranih metod. Diplomsko delo. Ljubljana, UL, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 107 str.
- Lavrič M. 2016. Določevanje vrst drevja v različnih valovnih dolžinah aerolaserskih podatkov. Magistrsko delo. Ljubljana, UL, FGG, 55 str.
- MOP 2016. eVvode LIDAR. http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso
- Mustonen J., Packalén P., Kangas A. 2008. Automatic segmentation of forest stands using a canopy height model and aerial photography. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23: 534 – 545.
- Næsset E. 1997. Determination of mean tree height of forest stands using airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 52: 49 – 56.
- Olowokudejo T., Piwowar J. 2013. Anthropogenic disturbance extraction using object-oriented image classification software: A comparison of Owerwatch Feature Analyst and Definiens Developer. *Prairie Perspectives: Geographical Essays*, 16: 1 – 9.
- Oštir K. 2006. Daljinsko zaznavanje. Ljubljana, Založba ZRC SAZU, 250 str.
- Ørka H. O., Næsset E., Bollandås O. M. 2009. Classifying species of individual trees by intensity and structure features derived from airborne laser scanner data. *Remote Sensing of Environment*, 113: 1163 – 1174.
- Rupnik L. 2014. Strukturne spremembe in dinamika vrzeli v gospodarskih gozdovih GGE Trnovo. Magistrsko delo. Ljubljana, UL, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 82 str.
- Schuetz J.-P., Saniga M., Diaci J., Vrška T. 2016. Comparing close-to-nature silviculture with processes in pristine forests: lessons from Central Europe. *Annals of Forest Science*, 73: 911 – 921.
- Raymond P., Bédard S., Roy V., Larouche C., Tremblay S. 2009. The Irregular Shelterwood System: Review, Classification, and Potential Application to Forests Affected by Partial Disturbances. *Journal of Forestry*, 107, 8: 405 – 413.
- Rugani T., Diaci J., Hladnik D. 2013. Gap Dynamics and Structure of Two Old-Growth Beech Forest Remnants in Slovenia. *PlosOne*, 8, 1: 1 – 13.
- Thomas J. W. 1997. Predgovor. V: Kohm K. A. in Franklin J. F. (ur.). *Creating a Forestry for the 21st Century: The science of ecosystem management*. Island Press, Washington, s. IX-XII.
- Triglav Čekada M., Bric V. 2015. Končan je projekt Laserskega skeniranja Slovenije. *Geodetski vestnik*, 59, 3: 586 – 592.
- Yu X., Litkey P., Hyyppä J., Holopainen M., Vastaranta M. 2014. Assessment of Low Density Full-Waveform Airborne Laser Scanning for Individual Tree Detection and Tree Species Classification. *Forests*, 5: 1011 – 1031.
- ZGS 2017. Pregledovalnik podatkov o gozdovih. <http://prostor.zgs.gov.si/pregledovalnik/>