

Izdelava sestojne karta na podlagi lidarskih podatkov

Forest stand segmentation using lidar data

Andrej BONČINA¹, Vasilije TRIFKOVIĆ², Christian ROSSET³

Izvleček:

Sestojna karta je pomemben vir podatkov o gozdnih sestojih. Postopki izdelave sestojne karte so različni. V prispevku prikazujemo i) postopek izdelave avtomatizirane sestojne karte (TBk), ki so ga razvili na Bern University of Applied Sciences (BFH), ii) izdelani sestojni karti TBk za gozdni območji Draga in Pokljuka, iii) klasifikacijo sestojev v sestojne tipe na teh območjih ter iv) rezultate primerjave avtomatske sestojne karte s sestojno karto, ki jo izdeluje Zavod za gozdove Slovenije. Pri izdelavi TBk je dominantna višina drevja temeljni kriteriji razmejevanja sestojev, dominantna višina in stopnje zastiranje po sestojnih plasteh pa so temeljni kriteriji za klasifikacijo sestojev v sestojne tipe. Na TBk karti v Dragi in na Pokljuki je povprečna velikost sestoja 1,76 ha in 1,64 ha, kar je precej manj od povprečne velikosti sestoja na karti ZGS (5,90 ha in 2,85 ha). V velikostni strukturi sestojev na TBk v skupnem številu sestojev prevladujejo sestoji s površino, manjšo od 0,5 ha. Deleži sestojnih tipov na TBk in karti ZGS se ujemajo, razmejitev sestojev pa se razlikuje zaradi različnih kriterijev in podrobnejše obravnave sestojev pri TBk. Aktualnost karte TBk je pogojena s starostjo lidarskih posnetkov. Prednosti TBk so hitra izdelava, objektivnost razmejevanja, možnost spremljanja sprememb gozdnih sestojev v času, večplastne informacije o sestojih, poglobljena omejitev pa je omejen nabor sestojnih znakov, kot so poškodovanost, negovanost, kakovost, ki jih sicer pridobimo pri opisovanju gozdov, TBk tudi ne vsebuje podrobnega načrta.

Ključne besede: sestojna karta, lidarski podatki, klasifikacija sestojev, TBk

Abstract:

A stand map is a crucial data source for forest stands, and the procedures for its creation can vary. In this paper, we present i) the process of creating an automated stand map (TBk), developed at the Bern University of Applied Sciences (BFH_HAFL), ii) the produced stand maps TBk for the forest areas of Draga and Pokljuka, iii) the classification of stands into stand types in these areas, and iv) the results of comparing the automatic stand map with the stand map produced by the Slovenian Forest Service. In the creation of TBk, the dominant height of vegetation is the fundamental criterion for delineating stands, while dominant height and cover levels in stand layers are fundamental criteria for classifying stands into stand types. The average stand size on the TBk map in Draga and Pokljuka is 1.76 ha and 1.64 ha, which is considerably smaller than the average stand size on the map by the Slovenian Forest Service (5.90 ha and 2.85 ha). In the size structure of stands on the TBk, stands with an area smaller than 0.5 ha predominate. The proportions of stand types on the TBk and map by the Slovenian Forest Service match, but the spatial matching of delineated stands is poorer due to different criteria for delineation and more precise spatial scale applied in the TBk procedure. The relevance of the map is conditioned by the period when the survey was conducted. The advantages of TBk include fast production, objectivity in delineation, the possibility of monitoring changes in forest stands over time, and multi-layered information about stands, with the main limitation being a limited set of stand characteristics (e.g. damage, stand quality) which are registered in the terrestrial inventory. In comparison to the common stand map, TBk does not include qualitative stand parameters and planned management activities for the next planning period.

Key words: stand map, lidar data, classification of forest stands, TBk

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Sestojna karta je pomemben vir podatkov o gozdnih sestojih. Postopki izdelave sestojne karte so se spreminjali. V začetnem obdobju načrtnega gospodarjenja z gozdovi sestojnih kart, kot jih poznamo dandanes, niso izdelovali;

v nekaterih načrtih so bili sestoji na kratko opisani po oddelkih. Čeprav sestojna karta ni bila obvezen del gozdnogospodarskih načrtov, so nekateri načrtovalci samoiniciativno izdelovali sestojne skice, saj so se zavedali njihove uporabne vrednosti za inventuro in načrtovanje. Izdelavo sestojnih kart so pospešili natančnejši

¹ A. B., Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, Slovenia andrej.boncina@bf.uni-lj.si

² V. T., Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, Slovenia. vasilije.trifkovic@bf.uni-lj.si

³ C. R., School of Agricultural, Forest and Food Sciences, Bern University of Applied Sciences (BFH-HAFL), Länggasse 85, CH-3052, Zollikofen, Switzerland. christian.rosset@bfh.ch

topografski načrti, razvoj in večja dostopnost terenskih instrumentov ter razvoj daljinskega zajemanja podatkov površja in GIS-orodij. Pomen obravnave gozdov na sestojni ravni se je povečal z razvojem ekološkega gozdarstva, ki je prinesel podrobnejšo obravnavo gozdov, na kar kaže tudi uveljavitev gozdnogojitvenega načrtovanja v šestdesetih in sedemdesetih letih prejšnjega stoletja. Na obravnavo sestojev v gozdnogospodarskem načrtovanju so vplivale tudi spremembe pravnih predpisov na tem področju. V zadnjih tridesetih letih je bilo veliko raziskav, namenjenih izdelavi sestojnih kart (npr. Hočevnar in sod., 1993; Poljanec in Bončina, 2006; Skudnik, 2007; Šturm in sod., 2016; Rosset in Kurt, 2021).

Razumevanje pojma gozdni sestoj je dvojno: i) na splošno označuje del gozdne vegetacije, ii) v ožjem pomenu pa prostorsko enoto, ki se po izbranih sestojnih znakih razlikuje od okolice. Gozdni sestoji (velikost, oblika, strukturne značilnosti posameznih sestojev) določajo horizontalno strukturo gozdov, ki jo imenujemo tekstura gozdov, omenja se tudi mozaik oziroma mozaičnost gozdov. Mozaičnost je odvisna od rastiščnih razmer, načinov gospodarjenja in naravnih motenj (Bončina, 1997). Razmejevanje sestojev ni odvisno le od stanja v naravi, temveč od namena razmejevanja sestojev (kriterijev) in prostorskega merila. Pri nas je izpostavljen tudi pomen sestojev kot prostorskih enot za preliminarno določanje ukrepov. Najpogosteje prikazujemo sestoj v prostorskem merilu 1 : 5000 ali 1 : 10.000.

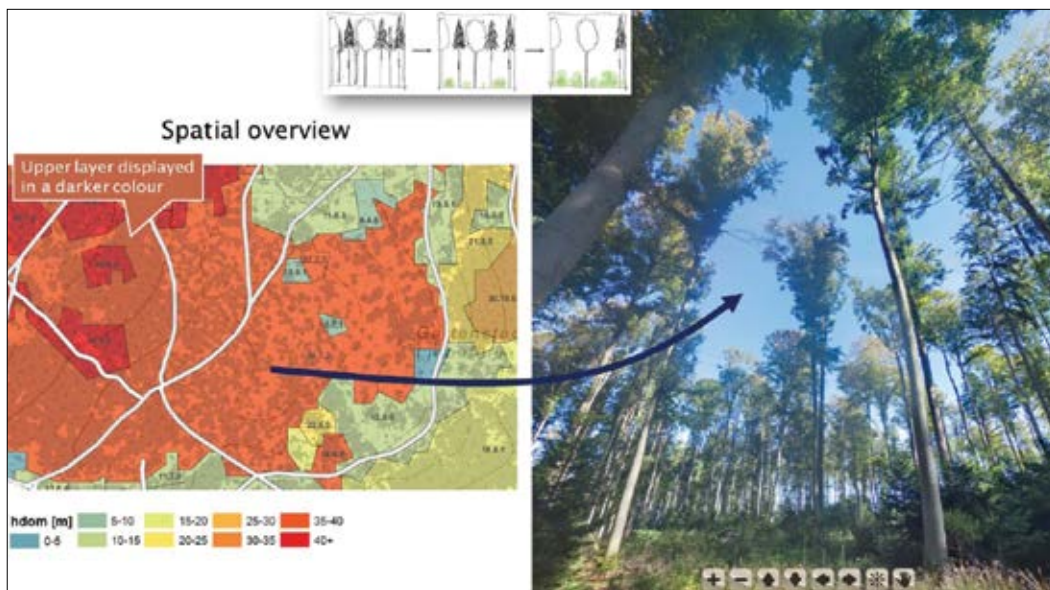
Če so elementi horizontalne strukture zelo jasno prepoznavni, kar je značilno za golosečno gospodarjenje, je njihovo razmejevanje enostavno. V naravnih gozdovih je horizontalna struktura bolj »zabrisana«, z razmejevanjem pokažemo na različnost sestojev, med enim in drugim sestojem so razlike v sestojnih znakih relativno večje kot znotraj posameznega sestoja. Posamezni sestoj pa ni homogen, v njem prepoznamo razlike v sestavi, velikostih in razmestitvi drevja, lahko tudi v drugih drevesnih znakih. Sestoji naj bi bili praviloma večji od 0,5 ha (Diaci, 2006), vendar so na sestojnih kartah tudi prostorske enote (npr. gnezda, skupine), ki so manjše od 0,5 ha. V prispevku za vse enote uporabljamo izraz sestoj.

Razmejevanje sestojev je različno. V vsakem primeru je pred izdelavo sestojne karte smiselno opredeliti i) sestojne znake, ki so bistveni za razmejevanje, in ii) najmanjšo velikost enot, ki jih razmejujemo. Kljub opredeljenim kriterijem so sestojne karte za isti objekt, ki jih na podlagi terenskega ogleda in posnetkov daljinskega zajemanja podatkov izdeluje več oseb, podobne, a ne povsem enake.

V primerjavi z drugimi kartami, ki opisujejo naravne značilnosti gozdov, kot sta npr. pedološka in fitocenološka karta, je značilnost sestojne karte, da relativno hitro zastari. Sestoji se spreminjajo predvsem zaradi treh dejavnikov: i) naravnih procesov (rast, mortaliteta, pomlajevanje in vraščanje drevja), ii) gospodarjenja in iii) različnih motenj (npr. ekstremni vremenski dogodki; namnožitve insektov). Zaradi omenjenih dejavnikov se lahko spreminja tudi razmejitev sestojev.

Izdelava sestojne karte je časovno zahtevna in zato tudi draga. Hitra obnova karte je aktualna naloga ob vse pogostejših ujmah. Novi viri podatkov in nove tehnologije omogočajo možnosti za posodabljanje in racionalizacijo izdelave sestojnih kart. Podatki lidarskega snemanja površja postajajo pomembni viri podatkov v gozdarstvu. Podatke lidarskega snemanja pogosto uporabljamo za opisovanje strukturnih značilnosti gozdnih sestojev, lahko so tudi podlaga za razmejevanje sestojev. V literaturi najdemo kar nekaj študij, ki so se ukvarjale s tem vprašanjem (Diedershausen in sod., 2004; Eysn in sod., 2012; Machala in Zejdova, 2014; Dechesne in sod., 2016; Zhao et al., 2020), pogosto pa z omejenim prenosom v prasko. Eden od projektov, ki je širše sprejet v gozdarski operativi, je orodje TBk za kartiranje sestojev (ang. *stand mapping tool*; *Toolkit Bestandeskartierung*). TBk uporabljamo za avtomatsko izdelavo mozaika sestojev na podlagi modela krošenj/višine vegetacije, ki je izdelan bodisi na podlagi lidarskih podatkov ali pa stereokorelacije zračnih posnetkov.

Način avtomatskega razmejevanja sestojev je enak terenskemu razmejevanju sestojev, kot so ga razvili v skupini na *Bern University of Applied Sciences (BFH)*, ki jo vodi prof. Rosset. Postopek temelji na predpostavki, da sta dominantno drevje in njegova prostorska razmestitev



Slika 1: Izsek iz karte TBk (levo) za enomerne gozdove Könizberg v bližini Berna, ki so v lasti bernske gozdne korporacije, in posnetek dela sestoja (desno), ki je vključen v razmejeni sestoj (Rosset in sod., 2023).

Figure 1: Different picture samples. Extract from the TBk map (left) for even-aged forests of Könizberg near Bern, owned by the Bern Forest Corporation, and an image of part of the stand (right) included in the delineated stand (Rosset et al., 2023).

primerna podlaga za smiselno razmejevanje sestojev (Rosset, 2021) in njihov opis za namene gozdnogospodarskega načrtovanja ter gojenja gozdov. TBk generira opis razmejenih sestojev, ki vključuje dominantno višino, stopnjo zastiranja zgornjega, srednjega in spodnjega sloja in prostorsko razmestitev teh stratumov znotraj sestoja. Takšen pristop omogoča podrobnejši uvid v sestojne razmere. V primeru enomernih gozdov prostorski podatki o zgornji sestojni plasti kažejo na razmere za pomlajevanje in pojasnjujejo vrste sečenj, uporabljenih v zadnjem obdobju (Slika 1) (Rosset, 2023).

Namen članka je prikazati 1) postopek izdelave avtomatizirane sestojne karte (TBk), ki so ga razvili na Bern University of Applied Sciences, 2) primer TBk za izbrano območje v Sloveniji in primerjavo s sestojno karto, ki jo izdeluje Zavod za gozdove Slovenije, in 3) možnost klasifikacije sestojev, ki so bili razmejeni s TBk, v sestojne tipe, ki opisujejo značilne strukturne značilnosti gozdnih sestojev.

2 METODE 2 METHODS

2.1 Objekt raziskave 2.1 Study area

Izbrali smo dva objekta, ki se med seboj znatno razlikujeta v drevesnih sestavi in sestojni zgradbi gozdov. Prvi objekt (Draga) obsega dve gozdnogospodarski enoti (GGE) v Dinarskem gorstvu, in sicer GGE Draga in GGE Grčarice. Gozdovi na tamkajšnjem območju so značilen primer dinarskih jelovo-bukovih gozdov na nadmorski višini 495 do 1253 m z raznovrstno strukturo gozdnih sestojev. Gozdna površina na omenjenem območju meri 10.611 ha, prevladujejo državni gozdovi (56%), preostalo so zasebni gozdovi. Povprečna lesna zaloga gozdov je 369 m³/ha, med sestojnimi tipi prevladujejo debeljaki (33% površine), prebiralni (19%) in drugi raznomerni gozdovi (35%). Drugi objekt (Pokljuka) obsega gozdove v GGE Pokljuka na nadmorski višini 1030 do 1737 m, za katero so značilni pretežno smrekovi enomerni



Slika 2: Značilna struktura gozdnih sestojev v Dragi (levo) in na Pokljuki (desno) (Foto: A. Bončina)
Figure 2: Typical structure of forest stands in Draga (left) and Pokljuka (right) (Photo: A. Bončina).

sestoji z veliko povprečno lesno zalogo (482 m³/ha). Sestoji so pretežno v razvojni fazi debeljakov (38 % površine). Manjši del gozdov predstavlja gozdna vegetacija na zgornji gozdni meji.

2.2 Metode dela

2.2 Methods

Aplikacijo TBk so razvili na bernski univerzi – *Bern University of Applied Sciences (BFH)*. Osnova zanjo so lidarski podatki. Uporabnik lahko izbere velikost celic za izračun najvišje višine drevja; osnovna nastavitev celice za določitev najvišje višine drevja je 10 x 10 m, lahko pa jo spremenimo (npr. 5 x 5m).

Razmejevanje sestojev po metodi TBk temelji na prostorski razmestitvi dominantnih dreves oziroma na najvišji višini drevja na površini 10 x 10 m, ki je izračunan iz vegetacijskega modela krošenj (VHM). Program na območju raziskave najprej poišče celico 10 x 10 m z najvišjo vrednostjo (t.j. največja drevesna višina), potem pa v njeni okolici preverja, če je dovolj celic z višino drevja, ki je v določenem tolerančnem intervalu glede na vrednost v prvi celici. Najmanjšo zahtevano površino razmejenega sestoja je mogoče določiti v nastavitvah programa. Če je pogoj izpolnjen, potem je prvotno izbrana celica z najvišjo višino dreves »izhodiščna celica« sestoja, torej celica z najvišjo višino v takem sestoju, ki so ji »pridružene celice« s podobno (nekoliko nižjo) višino. Če v okolici ni dovolj celic s podobno višino, program

poišče naslednjo najvišjo celico in ponovi postopek. Program vedno poišče celice z naslednjo najvišjo vrednostjo celice 10 x 10 m, ki še ni vključena v sestoj, in postopek se ponavlja, dokler ni več prostih celic. Program za vsak razmejen sestoj avtomatsko izračuna vrednosti naslednjih spremenljivk: najvišja višina drevja (Hmax), dominantna višina (Hdom), na podlagi Hdom so izračunane vrednosti zastiranja po plasteh: zastiranje zgornjega sloja (OS; >2/3 Hdom), srednjega (MS) in spodnjega (<1/3 Hdom). Ob tem karta TBk prikazuje tudi višine drevja v celicah 10 x 10 m znotraj razmejenega sestoja.

Pri združevanju celic je mogoče uporabiti podatke o drevesni sestavi, pridobljene s satelitskimi posnetki (Kaplan, 2021; Bolyne et al., 2022), česar pa v tem članku ne prikazujemo. Avtorji aplikacije TBk so postopek in kriterije za razmejevanje sestojev dopolnjevali s sodelovanjem gozdarskih operativcev v več kot tretjini kantonov. Doslej je bila TBk izdelana za nekaj sto tisoč hektarjev gozdne površine v približno tretjini vseh kantonov v Švici, pa tudi za gozdove v Liechtensteinu in za nekatere primere v Nemčiji. Med praktiki je dobro sprejeta. Pri nas smo jo preverjali na nekaj testnih objektih, prof. Rosset pa je postopek že dvakrat predstavil tudi študentom gozdarstva in gozdarskim načrtovalcem.

Zaradi preglednosti je pogosto potrebno, da razmejene sestojne tipe klasificiramo v sestojne tipe. V Švici so takšne primere klasifikacije glede na dominantno višino drevja izdelali najprej za

enomerne gozdove, pozneje pa za raznomerne, da bi pokazali nekaj ključnih tipov raznomernih gozdov, kot so prebiralni sestoji, raznomerni, ki so pomanjkljivo pomlajeni, raznomerni z neustrezno sestojno zgradbo (Rosset in sod., 2023). Seveda je mogoče klasificirati vse sestoje na območju (npr. Rosset, 2022; kanton Wallis; Rosset in sod., 2023). Razmejene sestoje je mogoče klasificirati na različne načine. V prispevku prikazujemo primer klasifikacije, ki je bila pripravljena tako, da smo detajlirali in modificirali klasifikacijo sestojev, ki so jo razvili v Švici (Rosset in sod., 2023). Kriteriji za sestojne tipe smo določili izkustveno. Naš namen je bil, da je klasifikacija primerna za enomerne in raznomerne gozdove, zato sestojni tipi obsegajo različne strukturne oblike gozdnih sestojev – od prebiralnih do enomernih sestojev. Pri določanju kriterijev smo si pomagali s presekom TBk in sestojne karte ZGS, da smo dobili vpogled, kakšne so vrednosti spremenljivk OS, MS in US v sestojnih tipih, prikazanih na karti ZGS. Klasifikacijo sestojev je smiselno prilagajati posebnostim območja, saj so med gozdnimi tipi velike razlike. V tem prispevku je poudarek na prikazu postopka, za širšo uporabo pa je treba kriterije preveriti in dopolniti v sodelovanju z gozdarskimi praktiki tako, da bodo rezultati avtomatske klasifikacije sestojev uporabni za delo.

Sestojni tipi (ST):

1 mladovja

- 10, mladje, gošča (lahko tudi grmišča, rušje)
- 20, letvenjak (lahko tudi grmišča, rušje, mlajši drogovnjaki)

3 drogovnjaki

- 31, predvsem starejši drogovnjaki

4 debeljaki

- 41, mlajši debeljaki
- 42, starejši debeljaki
- 43, starejši debeljaki, pomlajeni
- 44, vrzelasti debeljaki

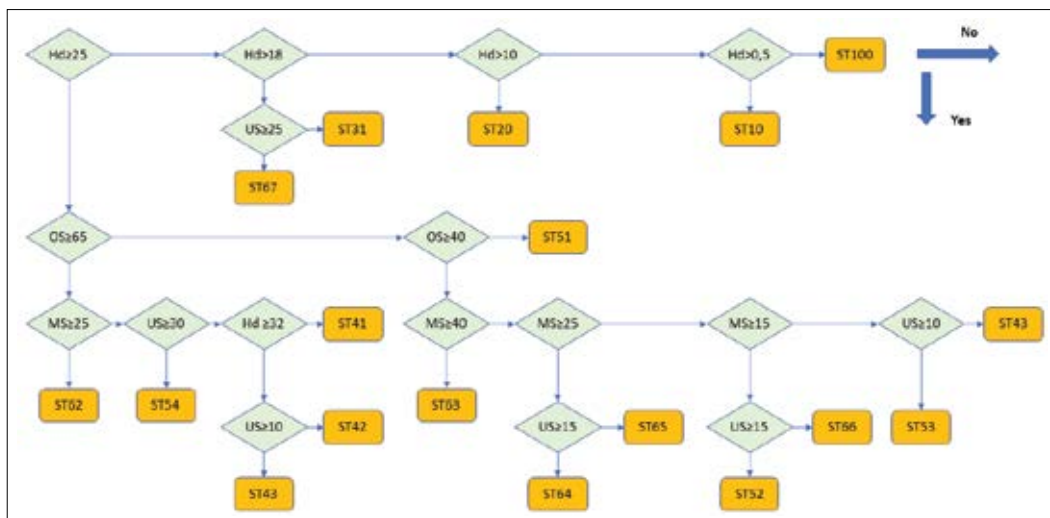
5 sestoji v obnovi

- 51, sestojni v obnovi, razgrajeni sestoji
- 52, sestoji v obnovi (več srednjega položaja)
- 53, sestoji v obnovi (zelo malo srednjega položaja)
- 54, sestoji v obnovi z veliko nadstojnega drevja

6 raznomerni sestoji

- 61, raznomerni, nižje drevje, raznomerni drogovnjaki
- 62 raznomerni, obilen zgornji sloj
- 63 raznomerni, obilen srednji sloj
- 64, raznomerni, prebiralni
- 65, raznomerni, slabo pomlajeni
- 66, raznomerni, skromen srednji položaj

100, vrzel, negozd



Slika 3: Kriteriji za klasifikacijo gozdnih sestojev v sestojne tipe (ST)
 Figure 3: Criteria for the classification of forest stands into stand types (ST).

Za oba objekta raziskave smo najprej na podlagi lidarskih podatkov izdelali avtomatsko sestojno karto (TBk). TBk smo presekali s sestojno karto ZGS, na kateri je vsak razmejen sestoj opisan s sestojnim tipom. Le-ti so opredeljeni v Pravilniku o načrtih za gospodarjenje z gozdovi in upravljanje z divjadjo.

Za obe karti (TBk in ZGS) smo analizirali velikost sestojev in primerjali površine sestojev po sestojnih tipih ter tudi prekrivanje sestojnih tipov.

3 REZULTATI

3 RESULTS

Na TBk za Drago je 6029 sestojev, njihova povprečna velikost je 1,76 ha. Velikostna struktura

sestojev kaže, da prevladujejo sestoji z velikostjo do enega hektarja; največji sestoj meri 199,30 ha. Na območju Pokljuke je 2942 sestojev, njihova povprečna velikost je 1,64 ha. Velikostna struktura sestojev kaže, da prevladujejo sestoji z velikostjo <0,5 ha, največji meri 185,94 ha.

Rezultati hi-kvadratnega testa za Drago in Pokljuko kažejo, da so razlike v porazdelitvi števila sestojev glede na velikostne razrede med avtomatizirano sestojno karto (TBk) in sestojno karto, ki jo izdeluje Zavod za gozdove Slovenije (ZGS), statistično značilne ($p < 0,05$). Razlike v povprečni velikosti sestojev na območju Drage in Pokljuke med TBk in ZGS pa ne potrjujejo statistično značilnih razlik (t -test; $p > 0,05$)

Preglednica 1: Velikostna struktura gozdnih sestojev: število sestojev po velikostnih razredih

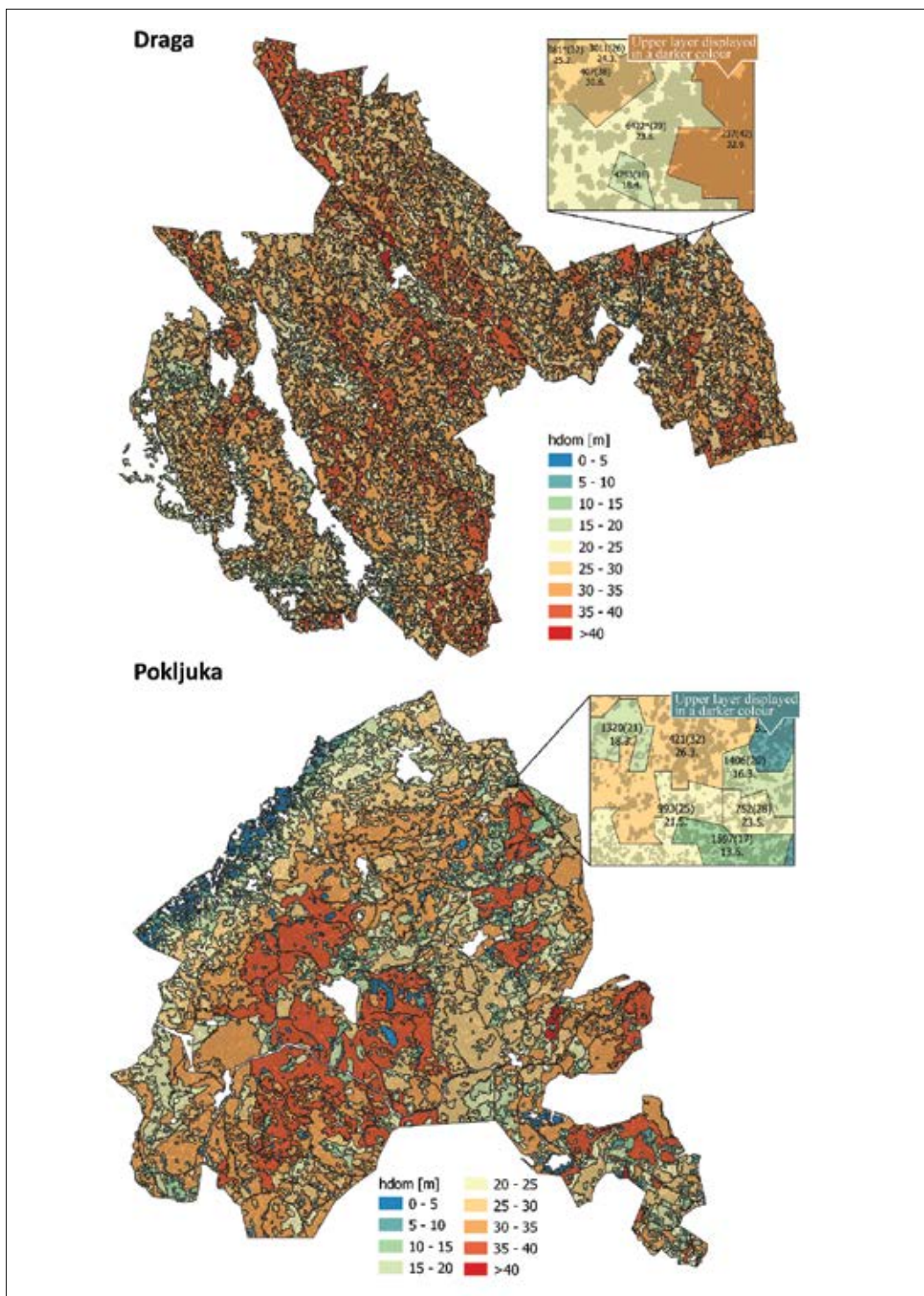
Table 1: Size structure of forest stands: number of stands by size classes.

Velikost sestojev (ha)	Draga (TBk)	Draga (ZGS)	Pokljuka (TBk)	Pokljuka (ZGS)
<0,5	3752	119	1941	477
0,5–0,9	681	130	352	221
1,0–1,9	628	289	286	352
2,0–2,9	273	234	106	167
3,0–4,9	258	294	82	201
5,0–9,9	220	400	94	185
10,0–19,9	134	252	40	70
≥ 20	83	80	41	21
Skupaj	6029	1798	2942	1694

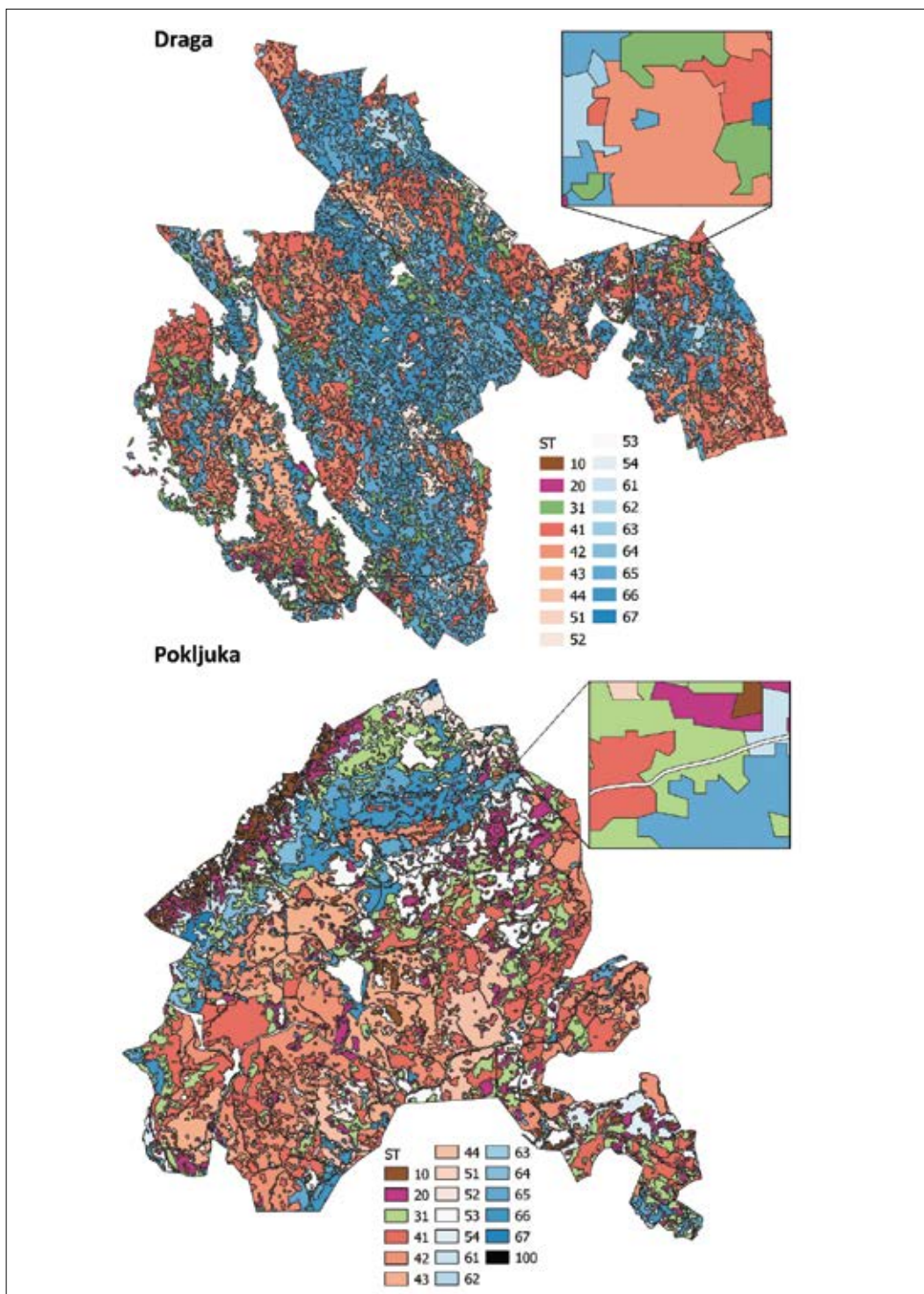
Preglednica 2: Delež celotne površine po velikostnih razredih sestojev

Table 2: Proportion of the total area by size classes of stands.

Velikost sestojev (ha)	Draga (TBk)	Draga (ZGS)	Pokljuka (TBk)	Pokljuka (ZGS)
<0,5	0,08	0,00	0,09	0,02
0,5–0,9	0,04	0,01	0,05	0,03
1,0–1,9	0,08	0,04	0,08	0,10
2,0–2,9	0,06	0,05	0,05	0,08
3,0–4,9	0,09	0,10	0,06	0,16
5,0–9,9	0,14	0,26	0,13	0,27
10,0–19,9	0,17	0,33	0,11	0,20
≥ 20	0,33	0,20	0,43	0,14
Skupaj	1,00	1,00	1,00	1,00



Slika 4: Karta TBk za območje Draga in območje Pokljuka
Figure 4: TBk maps for the Draga area and the Pokljuka area.



Slika 5: Karta sestojnih tipov na podlagi TBk za območje Draga in območje Pokljuka
 Figure 5: Map of stand types based on TBk for the Draga area and the Pokljuka area.

Preglednica 3: Delež skupin sestojnih tipov na celotni gozdni površini obeh objektov glede na TBk in sestojno karto ZGS

Table 3: Proportion of stand type groups in the overall forest area of both objects based on TBk and stand map ZGS.

Skupine sestojnih tipov	TBk Draga	ZGS Draga	TBk Pokljuka	ZGS Pokljuka
Mladovja	0,03	0,01	0,14	0,13
Drogovnjaki	0,11	0,06	0,15	0,15
Debeljaki	0,35	0,33	0,44	0,38
Sestoji v obnovi	0,05	0,06	0,12	0,15
Raznomerni	0,46	0,54	0,15	0,16
Grmičast gozd	-	-	-	0,03
Vrzeli	000	-	0,00	-

Preglednica 4: Stopnja prekrivanja sestojev istega sestojnega tipa, določenega na kartah TBk in ZGS. Razlaga: pri debeljakih na območju Draga 48 pomeni, da je 48 % debeljakov v karti ZGS opredeljenih kot debeljaki tudi v karti TBk.

Table 4: Overlap rate of stands of the same stand type identified on maps TBk and ZGS. Explanation: for the stand of mature trees in the Draga area, 48 means that 48% of the stand of mature trees in the ZGS map are identified as a stand of mature trees in the TBk map as well.

Sestojni tipi po karti ZGS	Prekrivanje istega sestojnega tipa v TBk s karto ZGS	
	Draga	Pokljuka
Mladovja	16'	46
Drogovnjaki	34	34*
Debeljaki	48	69
Sestoji v obnovi	12"	28**
Raznomerni	52	43
Grmičast gozd		***
Vrzeli		

'največje prekrivanje z raznomernimi (33 %)
 " večje prekrivanje z raznomernimi (41 %) in debeljaki (35 %)
 *bolj se prekrivajo z debeljaki (53 %)
 **bolj se prekrivajo z debeljaki (47 %)
 *** prekrivanja z mladovjem (93 %)

4 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI

4 DISCUSSION AND CONCLUSIONS

V prispevku prikazujemo možnosti izdelave avtomatske sestojne karte na podlagi podatkov lidarskega snemanja. Takšna karta je izdelana v nekaj minutah. Kot kriterij razmejevanja sestojev je mogoče vključiti drevesno sestavo, prikazano z deleži iglavcev in listavcev, ki jo lahko ocenimo na podlagi satelitskih posnetkov (Kaplan, 2021; Bolyn et al., 2022). Aktualnost karte je pogojena s starostjo lidarskih posnetkov. Prednost postopka je, da

takšno karto lahko hitro izdelamo za večje območje. Primerna je tudi za hitro inventuro gozdov, poškodovanih zaradi naravnih ujm. Serija kart v daljšem časovnem obdobju kaže na spremembe gozdnih sestojev in uporabljene vrste sečenj. Kot prednost lahko označimo tudi, da celice znotraj razmejenega sestoja kažejo na različno strukturo znotraj sestoja. Z vključeno lokacijo na pametnem telefonu lahko spremljamo, v katerem delu sestoja smo. Sestojna karta ZGS obsega več podatkov o gozdnih sestojih, vključuje pa tudi načrtovane

ukrepe, ki so lahko bili kriterij za razmejevanje sestojev. Sestojna karta ZGS je rezultat terenskega dela, pri katerem načrtovalci pridobijo številne mehke informacije o gozdnih sestojih.

Na karti TBk v Dragi in na Pokljuki je povprečna velikost sestoja 1,76 ha in 1,64 ha, kar je precej manj od povprečne velikosti sestoja na karti ZGS (5,90 ha in 2,85 ha). Postopek avtomatskega razmejevanja sestojev temelji le na vrednostih Hmax za posamezne celice (mogoče je uporabiti tudi podatke o deležih iglavce in listavcev, če so na voljo) in je zato razmejitve sestojev nekoliko drugačna kot na karti ZGS. Pri sestojni karti ZGS so pri razmejevanju sestojev pomembni tudi drugi sestojni znaki, npr. kakovostni znaki o sestojih (npr. poškodovanost) in tudi odločitve o prihodnjem ravnanju. Kljub temu so pri razmejevanju sestojev med TBk in sestojno karto ZGS opazne številne podobnosti, ki smo jih preverjali tudi na terenu. Še večja stopnja ujemanja med obema karta je pri skupnem razmerju površin sestojnih tipov.

S prispevkom želimo opozoriti na možnosti avtomatske izdelave sestojne karte, zato je poudarek na prikazu postopka. S pomočjo sestojne karte, ki je nastala na podlagi terestričnega dela in drugih podatkov o realni gozdni vegetaciji, lahko izboljšamo algoritem za razmejevanje sestojev in njihovo razvrščanje v sestojne tipe. Prednost TBk je v tem, da nudi večplastne informacije o gozdnih sestojih, ne samo podatke o sestojnih tipih. Ne prikazuje le razmejitve na enomerne in raznomerne sestaje, ampak veliko pove o vertikalni strukturi gozdnih sestojev.

Ob tem se je treba zavedati nekaterih omejitev. Izdelava TBk je pogojena z razpoložljivostjo aktualnih lidarskih posnetkov. Vrednosti o zastiranju spodnjega ali srednjega sloja so ocene, ki ne odražajo nujno povsem realnega stanja gozdne vegetacije. K večjemu zastiranju srednjega sloja lahko npr. prispevajo tudi krošnje dreves, ki sicer uspevajo v zgornjem sloju. Podobno podatki o spodnjem sloju kažejo predvsem na stanje v vrzelih med krošnjami dreves zgornjega in srednjega sloja, ne pa na površinah pod krošnjami dreves. Kljub temu pa ti podatki dajejo vpogled v vertikalno strukturo gozdnih sestojev. Vrednosti o zastiranju srednjega in spodnjega sloja je treba razumeti v tem kontekstu.

TBk bo mogoče dopolnjevati; ena od možnosti je, da bi sestaje, razmejene na podlagi Hdom, nadalje podrobneje razmejili glede na stopnjo zastiranja drevja. Ocenjujemo, da je TBk lahko koristen pripomoček, ki bi ga lahko uporabili pri izdelavi sestojne karte. Zaželeno so dodatne primerjalne analize TBk, izdelane za različne strukture in sestave gozdnih sestojev.

5 ZAHVALA

5 ACKNOWLEDGEMENT

Zahvaljujemo se Zavodu za gozdove Slovenije, ki je omogočil primerjalno analizo TBk s sestojno karto, ki jo izdeluje ZGS. Zahvala tudi anonimnemu recenzentu za koristne pripombe. Raziskava je bila opravljena v okviru projekta CRP V4-2211.

6 VIRI

6 REFERENCES

- Bolyn C., Lejeune P., Michez A., Latte N. 2022. Mapping tree species proportions from satellite imagery using spectral-spatial deep learning. *Remote Sensing of Environment*, 280: 113205. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113205>.
- Bončina A. 1997. Naravne strukture gozda in njihove funkcije v sonaravnem gospodarjenju z gozdom. Doktorska disertacija. Ljubljana: Univerza v Ljubljani.
- Dechesne C., Mallet C., Le Bris A., Gouet V., Hervieu A. 2016. Forest stand segmentation using airborne lidar data and very high resolution multispectral imagery. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41: 207-214. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B3-207-2016>.
- Diaci J. 2006. Gojenje gozdov: pragozdovi, sestoji, zvrsti, načrtovanje, izbrana poglavja. Ljubljana, Biotehniška fakulteta.
- Diedershausen O., Koch B., Weinacker H. 2004. Automatic segmentation and characterisation of forest stand parameters using airborne LiDAR data, multispectral and FoGIS data. In *Proceedings of the ISPRS Working Group VIII/2, Freiburg, Germany*.
- Eysn L., Hollaus M., Schadauer K., Pfeifer N. 2012. Forest Delineation Based on Airborne LIDAR Data. *Remote Sensing*, 4: 762-783. <https://doi.org/10.3390/rs4030762>.
- Hočevar M., Hladnik D., Kovač M. 1993. Digitalne ortofoto karte za kartiranje gozdnih sestojev. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 44: 149-177.

- Kaplan G. 2021. Broad-Leaved and Coniferous Forest Classification in Google Earth Engine Using Sentinel Imagery. *Environmental Sciences Proceedings*, 64. <https://doi.org/10.3390/iecf2020-07888>.
- Machala M., Zejdová L. 2014. Forest Mapping Through Object-based Image Analysis of Multispectral and LiDAR Aerial Data. *European Journal of Remote Sensing*, 117-131. <https://doi.org/10.5721/EuJRS20144708>.
- Poljanec A., Bončina A. 2006. Obravnavanje gozdnih sestojev v gozdarskem načrtovanju na primeru gozdnih območij Bohinj in Pohorje. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 79: 53-66.
- Rosset C., 2021. La valeur ajoutée de la digitalisation: être plus informé, connecté et agile. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 172 (4): 198-204.
- Rosset C., Bončina A., Dumollard G., Trifković V., Kurt M., Horneber H. O. 2023. Applicability of remote sensing data in uneven-aged forestry. *Uneven-aged silviculture: insights into forest adaptation in times of global change*, 36.
- Rosset C., 2022. Grundlagen für die Planung im Dauerwald aus Fernerkundungsdaten am Beispiel von TBk. FoWaLa #342 Planung im Dauerwald Planifikation en forêt pérenne. https://admin.planfor.ch/uploads/documents/FoWaLa_342_CRosset_DLRFY4z.pdf (10.2.2024).
- Rosset C., Kurt M. 2021. Utilité et limites de TBk pour la description des futaies irrégulières. Office fédéral de l'environnement OFEV, Division Forêts, CH-3003 Berne.
- Skudnik M. 2007. Tehnologija izdelave in vzdrževanja karte gozdnih sestojev. Diplomsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=15464> (17. 1 2024)
- Zhao P., Gao L., Gao T. 2020. Extracting Forest Parameters based on Stand Automatic Segmentation Algorithm. *Science Reports*, 10: 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58494-6>.