

STRUKTURNA PESTROST GOZDNIH SESTOJEV NA PAHERNIKOVI GOZDNI POSESTI

STRUCTURAL DIVERSITY OF FOREST STANDS ON PAHERNIK'S FOREST ESTATE

Anže Martin PINTAR¹, David HLADNIK²

(1) Gozdarski inštitut Slovenije, anzemartin.pintar@gozdis.si

(2) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, david.hladnik@bf.uni-lj.si

IZVLEČEK

Na Pahernikovi gozdni posesti je mogoče spremljati učinke in uspešnost vsaj polstoletnega gospodarjenja z raznomernimi gozdovi. Na podlagi podatkov kontrolne vzorčne metode in laserskega skeniranja Slovenije smo ocenjevali strukturno pestrost gozdnih sestojev s kazalniki in indeksi sestojnih gostot, vrstne in strukturne pestrosti debelinskih razredov, sestojnih višinskih razredov in njihovih zgornjih višin. Primerjali smo rabo zemljišč v katastrskih občinah, na katerih leži Pahernikova posest (k.o. Vuhred, Planina, Orlica in Hudi Kot), v letu 1825 z letom 2017. V vseh analiziranih katastrskih občinah se je delež gozda v tem obdobju stoletja povečal, na posesti pa se je povečal za 21,4 %. Razlike v sestojnih gostotah in kazalnikih sestojne pestrosti med sestoji, kjer gozda v začetku 19. stoletja ni bilo, in sestoji na ohranjenih gozdnih zemljiščih niso statistično značilne. V prevladujočem rastiščnem tipu kisloljubno gorsko-zgornjegorsko bukove z belkasto bekico smo ocenili za 20 % višjo lesno zalogo od primerljivih gozdov tega rastiščnega tipa na Slovenskem. Ob višjih lesnih zalogah in visokih kazalnikih debelinske pestrosti v gozdovih na Pahernikovi posesti nismo ocenili višjih sestojnih gostot *SDI* kot v drugih rastiščno primerljivih gozdovih. Po gradientih nadmorskih višin smo ocenili razlike v višini in zgradbi sestojne strehe, ki vplivajo na gospodarjenje znotraj posameznega rastiščnega tipa.

Ključne besede: Franciscejski kataster, raba zemljišč, sestojna zgradba, LiDAR, sestojni višinski razredi, Pahernikova posest

ABSTRACT

On Pahernik's forest estate it is possible to monitor the effects and success of at least half a century of forest management with uneven-aged forests. Based on the data from the control sampling method and the laser scanning of Slovenia, we assessed the structural diversity of forest stands with indicators and indices of stand densities, species and structural diversity of the DBH classes, the stand height classes and their heights. We compared land use in cadastral municipalities where Pahernik property is located (Vuhred, Planina, Orlica and Hudi Kot) in 1825, with land use from 2017. In all of the analyzed cadastral municipalities, the forest area share in land cover grew in the period from the 19th to 21st century. Forest cover increased by 21 % between 1825 and 2014 on Pahernik property as a whole. Differences in stand densities and in stand diversity indices between the stands where forest was not present in the 19th century and the stands on persistently forested lands were not statistically significant. In the prevalent forest site type montane and altimontane *Fagus sylvatica* forests on silicate bedrock we estimated that growing stock was by 20 % higher than in comparable forests of this site type elsewhere in Slovenia. At higher growing stocks and high values of indices of DBH variability in forests at Pahernik's forest estate, the estimated stand densities *SDI* were not higher than in forests of comparable forest site types. We estimated differences in height and structure of stand canopy according to the gradients of height classes, which have an impact on forest management within the individual forest type.

Key words: Franziscean land cadastre, land use, stand structure, LiDAR, stand height classes, Pahernik's estate

GDK 56(497.4Pahernikova posest)(045)=163.6
DOI 10.20315/ASetL.117.1

Prispelo / Received: 13. 10. 2018
Sprejeto / Accepted: 10. 12. 2018

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Ocenjevanje strukturne pestrosti gozdnih sestojev in njeno spreminjanje ob človekovem gospodarjenju z gozdovi je eno izmed izhodišč v raziskovalnem in strokovnem delu, na katero so se opirali sprva pri napovedovanju rasti in donosov gozdov, njihovega varstva in ohranjanja pred naravnimi nesrečami, kasneje pri razvoju trajnostnega gospodarjenja, do sodobnih

pristopov pri sonaravnem gospodarjenju (Schuetz in sod., 2016) ali tudi pri odmiku od golosečnega gospodarjenja konec prejšnjega stoletja v Severni Ameriki in skandinavskih državah (Thomas, 1997; Gustafsson in sod., 2012). Naravni procesi v gozdu, vplivi iz okolja in gospodarjenje z gozdom oblikujejo njegovo strukturo in delovanje, ki sta vzajemno povezana. Zato ob spoznavanju strukture, njenega spreminjanja ter pojasnjevanju vzrokov za spremembe spoznavamo delovanje

gozda (Bončina, 1997). Predlagani so bili številni kazalniki in parametri strukturne pestrosti gozdov glede na sestavo drevesnih vrst, sestojne gostote, premer in višino dreves, raznolikost drevesnih dimenzij, njihovo razmestitev in prostorsko pestrost sestojnih struktur, slojevitost in zastornost krošenj, sestojno biomaso, zeliščno in grmovno vegetacijo, količino mrtvega lesa (Pommerening, 2002; Aguirre in sod., 2003; Varga in sod., 2005; McElhinny in sod., 2005; McRoberts in sod., 2008; Kovač in sod., 2016).

Ocenjevanje strukturnih kazalnikov v slovenskih gozdovih je bilo podrobno predstavljeno na podlagi izsledkov z raziskovalnih ploskev (Kotar, 2011), stalnih vzorčnih ploskev (Simončič in sod., 2009), s primerjavo med raziskovalnimi in stalnimi vzorčnimi ploskvami (Kobal in Hladnik, 2009; Hladnik in Skvarča, 2009). Poznavanje strukture gozdnih sestojev kot najmanjše od prostorskih enot pri urejanju gozdov je odločilno pri načrtovanju ukrepov, količine poseka in vrste ter obsega gozdnogojitvenih del (Bončina, 2009). Pri gojenju gozdov pomeni gozdni sestoj velikostno enoto, večjo od 0,5 ha, kajti pri površinski členitvi gozdov na sestoje zajamemo tudi manjše velikostne oziroma strukturne enote (Diaci, 2006).

V gospodarskih gozdovih sestojne strukture in njihove spremembe presojava glede na značilnosti prvobitnih gozdov ali gozdnih rezervatov, iz katerih naj bi pri gospodarjenju posnemali dinamiko naravnih procesov (Schuetz in sod., 2016). Ob gozdnih rezervatih so za ocenjevanje razvoja sestojnih struktur pomembna raziskovanja na izbranih raziskovalnih ploskvah, v različnih poskusnih sestojih in tudi v gospodarskih gozdovih, v katerih je mogoče zagotoviti trajno spremljanje gozdnogojitvenih ukrepov in odločitev pri gospodarjenju na razvoj sestojnih struktur. Na Slovenskem so bile že predstavljene možnosti za spremljanje trajnih raziskovalnih ploskev in poskusnih sestojev, iz katerih bi po desetletjih raziskovanja povzemali priporočila o optimalnih sestojnih strukturah v gospodarskih gozdovih (Kotar, 2011; Hladnik in Skvarča, 2008; Kobal in Hladnik, 2009). Ker imamo v Sloveniji zelo malo raziskovalnih ploskev, na katerih redno spremljamo razvoj sestojev, nimamo domačih primerljivih vrednosti o sestojnih strukturah za najbolj pomembne rastiščne tipe (Hladnik in Žižek Kulovec, 2014).

Še redkeje je mogoče v Sloveniji spremljati učinke in uspešnost vsaj polstoletnega gospodarjenja na večjih strnjjenih posestih, ki bi svojo celostnost in ponovljivost zaporednih gozdnih inventur ohranili tudi v sklopu gozdnogospodarskih načrtov. Z nacionalizacijo gozdov po drugi svetovni vojni in denacionalizacijo, ki po četrtem stoletju še ni v celoti končana, je bila vsaj v za-

sebnih gozdovih pogosto prekinjena možnost zanesljivega spremljanja in ocenjevanja neposrednega vpliva lastnika gozda na razvoj sestojnih struktur. Poljanec (2008) je ocenjeval strukturne spremembe gozdnih sestojev v Sloveniji v obdobju 1970–2005 na podlagi podatkov o gozdnih fondih, zbranih pri obnovi gozdnogospodarskih načrtov gozdnogospodarskih enot. Podatke o lesni zalogi, prirastku, debelinski strukturi in drevesni sestavi je združil na ravni oddelkov s povprečno velikostjo 35 ha. V Sloveniji je v zasebni lasti tri četrtine gozdov. Za zasebno gozdno posest je značilna velika razdrobljenost, saj je povprečna posest velika 2,5 ha in še ta se deli na več prostorsko ločenih parcel (Zavod ..., 2018). Zasebnih posesti, katerih skupna površina je večja ali enaka kot 15 ha, je le 2,9 % v skupnem številu posesti, sestavljajo pa 32,2 % površine gozdov v zasebni lasti (Medved in sod., 2010). V zadnjih desetletjih Zavod za gozdove Slovenije vsako leto podeli priznanja najbolj skrbnim lastnikom gozdov, ki so izbrani kot primer dobrega gospodarjenja v zasebnih gozdovih in tesnega sodelovanja lastnikov gozdov z javno gozdarsko službo.

Med večjimi gozdnimi posestniki, ki so se v svojih gozdovih izkazali z izjemnim gospodarjenjem že pred začetkom načrtnega gospodarjenja na celotni površini slovenskih gozdov, sta pogosto omenjena gozdarski inženir Pahernik in negozdarski strokovnjak Pogačnik. V prvi polovici 20. stoletja sta zasnovala zgledno prebiralno gospodarjenje na Pohorju (Diaci, 2006). Pogačnikovo delo v Lehnu na Pohorju je bilo pomembno za razvoj načrtovanja na zasebni gozdni posesti, na kateri je s samostojnim razvojem kontrolne metode v 40 letih do druge svetovne vojne pri gospodarjenju dosegel izredne uspehe (Bončina, 2009). V zadnjem desetletju sta bili z ustanovitvijo Pahernikove ustanove (2010) dani možnost in dolžnost oceniti strukturno pestrost na strnjjeni gozdni posesti, na kateri se zavzemajo za sonaravno gospodarjenje z gozdovi in so učni objekt za študente gozdarstva. Po stoletnem načrtnem gospodarjenju z gozdovi na posestvu smo v raziskavi želeli primerjati:

- strukturne značilnosti gozdnih sestojev na zemljiščih, za katera je po franciscejskem katastru mogoče privzeti, da so bila v zadnjih 200 letih gozdna zemljišča, in na nekdanjih kmetijskih zemljiščih, kjer so znova osnovali gozd z naravno sukcesijo in pogozdovanjem;
- morebitne razlike v strukturni pestrosti gozdnih sestojev, na katere ob gospodarjenju z gozdovi vplivajo gradienti ekoloških dejavnikov – na območju Pahernikove posesti zlasti nadmorska višina;
- kazalnike sestojnih struktur na Pahernikovi posesti z izsledki na izbranih raziskovalnih ploskvah v

gozdovih na Slovenskem, ki so bile postavljene za ponazoritev in primerjavo optimalnih sestojnih struktur pri gospodarjenju z gozdovi.

2 RAZISKOVALNI OBJEKT IN METODE DE LA

2 STUDY AREA AND METHODS

2.1 Gospodarjenje na Pahernikovi gozdni posesti

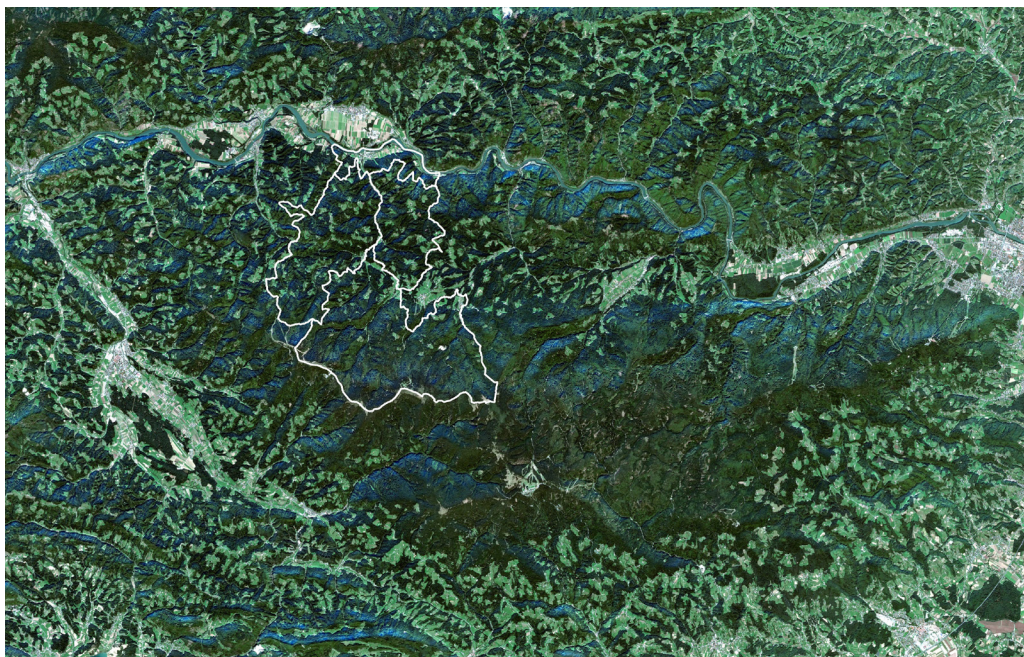
2.1 Forest management on Pahernik's forest estate

Z gozdno posestjo danes gospodari Pahernikova ustanova (Posestni načrt ..., 2015). Površina gozdne posesti je 570,13 ha, njen največji strnjeni kompleks s površino 457,29 ha leži v katastrski občini Hudi Kot.

Za gozdove Pahernikove posesti je značilna uspešna razvojna pot sonaravnega gospodarjenja, ki jo je omogočila več kot stoletna kontinuiteta gospodarjenja z gozdovi. Načelo sonaravnosti na Pahernikovi gozdni posesti je že v začetku 20. stoletja, po končanem študiju gozdarstva na Dunajski univerzi, začel uvajati ing. Franjo Pahernik (Posestni načrt ..., 2015). Pahernikova posest je dobila svojo končno velikost leta 1920 (Sušek, 2005). Ob koncu 19. in v začetku 20. stoletja so steklarstvo, fužinarstvo in oglarstvo vplivali na pustošenje gozdov, s tem pa so prispevali tudi k propadu samotnih kmetij na območju današnje Pahernikove posesti. V višjih legah so se degradirani pašniki in travniki zarasli s sivo jelšo (*Alnus incana* L.), v nižjih pa z lesko (*Corylus avellana* L.). Nad Samcem, kjer je bila svojčas kmetija, danes pa

je opustela osama, se je raztezal večji kompleks bukovih panjevcev slabe kakovosti. Večina drugih gozdov na tem območju je bila močno izsekana (Sušek, 2005).

Po končani praksi na Češkem je začel Franjo Pahernik načrtno gospodariti z gozdovi na posesti (Sušek, 2005). Kjer je bilo mogoče, je zastavil ukrepe za naravno obnovo in nego sestojev. Na območjih, kjer naravna obnova ni bila možna, se je odločil za obnovo s sadnjo smrekovih sadik. V petintridesetih letih je pogozdil okrog 100 ha opuščanih pašnikov in degradiranih travnikov. Na območju posesti so posadili tudi nekaj zelenega bora (*Pinus strobus* L.), duglazije (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) in macesna (*Larix decidua* Mill.). Dolgo so sekali le poškodovana in slabše vitalna drevesa jelke (*Abies alba* Mill.) in smreke (*Picea abies* L. (Karsten)), puščali pa so lepo oblikovana drevesa. V letih 1910 in 1925 je Franjo Pahernik opravil inventarizaciji. V letu 1935 je bil dokončan ureditveni načrt, ki pa se je nato izgubil med drugo svetovno vojno. Že med letoma 1952 in 1954 so bila opravljena dela za izdelavo prvega desetletnega gozdno gospodarskega načrta za državne gozdove, s katerimi je gospodaril Gozdni obrat Radlje. V ta načrt je bila zajeta tudi Pahernikova posest. Vsako desetletje kasneje so sledile revizije, na podlagi katerih so bili nato izdelani obnovljeni gozdnogospodarski načrti, ki so vključevali tudi gozdove na Pahernikovi posesti (Sušek, 2005). Zadnji gozdnogospodarski načrt, v katerem so zajeti Pahernikovi gozdovi, je bil narejen za obdobje 2014–2023. Ta



0 5 10 kr

Slika 1: Izsek iz satelitskega posnetka Sentinel-2 (28. september 2018) z označenimi mejami izbranih katastrskih občin na območju Pahernikove gozdne posesti

Fig. 1: An extract from satellite image Sentinel-2 (28th September 2018) with marked boundaries of selected cadastral municipalities in the area of Pahernik's forest estate

načrt je bil tudi podlaga za izdelavo Posestnega načrta za gozdove Pahernikove ustanove 2014–2023.

Na Pahernikovi gozdni posesti je prevladujoč gozdni rastiščni tip kisloljubno gorsko-zgornjegorsko bukovje z belkasto bekico oziroma asociacija *Luzulo-Fagetum* (Rozman in Dakskobler, 2015). Sestoji te asociacije na posesti ležijo v pasu od okoli 700 m do 1450 m nadmorske višine. Na posesti se pojavljajo štiri subasociacije. Po površini je največja subasociacija *Luzulo-Fagetum abietetosum*. Najbolj tipični sestoji te subasociacije ležijo na nadmorski višini 850–1100 m. Geološka podlaga je tonalit (Rozman in Dakskobler, 2015). V drevesni sestavi je poleg bukve in smreke pogosta tudi jelka. V višinskem pasu med 1200 in 1450 m nadmorske višine na glinastih skrilavcih prevladujejo sestoji subasociacije *Luzulo-Fagetum luzuletosum sylvaticae*. Tukaj je v drevesni plasti smreka pogosto enakovredna bukvi ali pa celo prevladuje. Na majhnih površinah se pojavljata še subasociaciji *Luzulo-Fagetum stellarietosum montanae* in *Luzulo-Fagetum luzuletosum luzuloides* (Rozman in Dakskobler, 2015).

Drugi najbolj razširjeni rastiščni tip oziroma asociacija na posesti je jelovje s praprotni *Galio rotundifolii-Abietetum* (Rozman in Dakskobler, 2015). Na območju tega rastiščnega tipa je geološka podlaga raznolika (gnajsi, filit, kremenovi peščenjaki, redkeje tonalit), tla pa so globoka, sveža, rjava, koluvialna in izprana.

V katastrski občini Hudi Kot na nadmorski višini od 1450 do 1530 m ležijo večinoma čisti, v glavnem vrzelasti smrekovi sestoji drugotnega nastanka, saj so v njih v preteklosti in deloma še danes pasli živino. Ti sestoji so uvrščeni v rastišči tip zgornjegorsko smrekovje z gozdno bekico oziroma v asociacijo *Luzulo sylvaticae-Piceetum* (Rozman in Dakskobler, 2015).

Površine nekdanjih senožeti in pašnikov na rastiščih združb *Galio-Abietetum* in *Luzulo-Fagetum*, za katere domnevajo, da se je smreka na njih spontano naselila sama, so uvrščene v rastiščni tip drugotno smrekovje na silikatni podlagi oziroma asociacijo *Avenello flexuosae-Piceetum*. V tej združbi v drevesni plasti posamično rastejo bukev, gorski javor (*Acer pseudo-platanus* L.), jelka in macesen (Rozman in Dakskobler, 2015).

2.2 Metode dela

2.2 Research methods

2.2.1 Primerjava rabe zemljišč med 19. in 21. stoletjem

2.2.1 Comparison of land use between the 19th and 21st centuries

Na območju Pahernikove gozdne posesti smo analizirali spremembe rabe zemljišč ter ocenili razvoj in

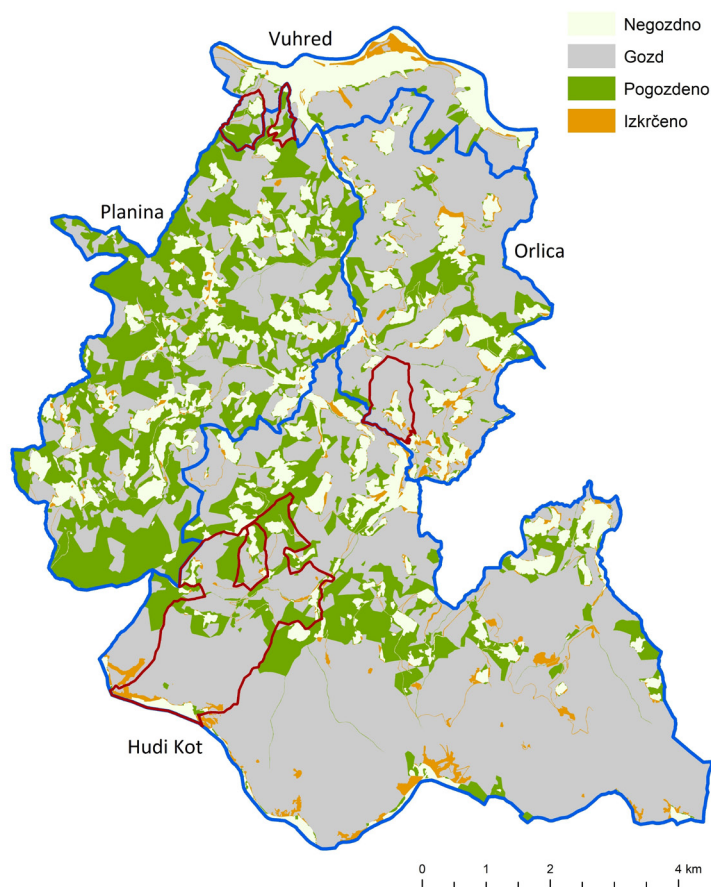
ohranjenost gozdnih sestojev. Spremembe rabe zemljišč so bile ocenjene v štirih katastrskih občinah, v katerih leži Pahernikova posest. Prve ocene o rabi zemljišč smo privzeli iz franciscejskega katastra iz leta 1825 (Arhiv ..., 2017) ter jih primerjali z današnjimi (MKGP, 2017). Iz Arhiva Republike Slovenije (2017) smo pridobili franciscejski kataster iz leta 1825 za katastrske občine Vuhred (Wuchern), Sveti Anton (St. Anton) – danes Planina, Orlica (Arlberg) in Hudi Kot (Boesenwinkl). Franciscejski kataster smo nato v programske okolju GIS ArcMap 10.5 (ESRI, 2017) georeferencirali v horizontalni državni koordinatni sistem Republike Slovenije (D48/GK). Georeferencirali smo vsak list katastra posebej in uporabili 45 listov. Na 17 listih smo določili 5 do 9 točk za georeferenciranje, na 28 listih pa 10 do 19 točk. Z afino transformacijo smo na 16 listih dosegli kvadratni koren povprečne kvadratne napake (RMSE) do 5 m, na 21 listih 5 do 10 m in na 8 listih 10 do 13 m. Georeferencirane liste franciscejskega katastra zgoraj omenjenih katastrskih občin smo digitalizirali s pomočjo grafičnih podatkov o rabi zemljišč (MKGP, 2017). Primerjali smo rabo zemljišč katastrskih občin v letu 1825 in 2017 (slika 2). Analizirali smo štiri skupine zemljišč:

- zemljišča, poraščena z gozdom v obeh obdobjih,
- pogozena in spontano zaraščena zemljišča po letu 1825,
- zemljišča, kjer je bil gozd po letu 1825 izkrčen,
- negozdna zemljišča v obeh obdobjih.

Na podlagi te analize smo preverili, ali so spremembe rabe zemljišč vplivale na današnjo zgradbo gozdov. Sestojno zgradbo Pahernikovih gozdov in njeno pestrost smo ocenili s podatki, zbranimi na stalnih vzorčnih ploskvah in iz podatkov laserskega skeniranja Slovenije.

Delež gozda se je od začetka 19. do začetka 21. stoletja povečal v vseh preučevanih katastrskih občinah, v katerih leži Pahernikova posest (preglednica 1). Tudi na Pahernikovi gozdni posesti se je površina gozda med preučevanima obdobjema povečala za 136,7 ha, v delu posesti v katastrskih občinah Planina in Vuhred za 28,0 ha, v delu posesti v katastrski občini Orlica za 2,1 ha in za 106,6 ha v katastrski občini Hudi Kot. Na območju posesti v katastrskih občinah Vuhred in Planina je prišlo do največjega povečanja deleža gozda, kar je v skladu s povečanjem gozdnatosti v celotni katastrski občini Planina, razlikuje pa se od gozdnatosti in povečanja le te v katastrski občini Vuhred.

Na območju odsekov, na katerih leži Pahernikova posest, prevladuje gozdna združba *Luzulo-Fagetum* (Rozman in Dakskobler, 2015). Površina, ki jo pokriva, znaša 386,8 ha. V letu 1825 na 19,7 % te površi-



Slika 2: Raba zemljišč v katastrskih občinah Vuhred, Planina, Orlica in Hudi Kot (meje katastrskih občin so označene modro, zunanje meje oddelkov v katerih leži Pahernikova posest, pa z rdečo). Bela barva ponazarja negozdna zemljišča v 19. in 21. stoletju, siva površine, na katerih je gozd obstajal v obeh obdobjih, zelena površine, kjer je bil gozd po letu 1825 ponovno osnovan, oranžna pa površine, kjer je bil gozd po letu 1825 izkrčen (GURS 2017; MKGP 2017, Arhiv ..., 2017)

Fig. 2: Land use in cadastral municipalities Vuhred, Planina, Orlica and Hudi Kot (the boundaries of cadastral municipalities are marked blue, the external boundaries of the departments in which Pahernik's estate is located red). White colour represents non-forested land in the 19th and 21st centuries, grey represents areas on which the forest was present in both periods, green represents areas where the forest was re-established after 1825, while orange was the area where the forests were cleared after 1825 (GURS 2017; MKGP 2017, Arhiv ..., 2017)

Preglednica 1: Spreminjanje gozdnatosti in površine gozda od leta 1825 do leta 2017 v katastrskih občinah, v katerih leži Pahernikova posest

Katastrske občine / Cadastral municipalities	Gozdnatost (%) v letu 1825 / Forest cover (%) in 1825	Gozdnatost (%) v letu 2017 / Forest cover (%) in 2017	Površina gozda (ha) v letu 1825 / Forest area (ha) in 1825	Površina gozda (ha) v letu 2017 / Forest area (ha) in 2017	Krčitve gozda (%) po letu 1825 / Deforestation of the forest (%) after 1825
Vuhred	54	58	279,3	300	5
Planina	36	82	773,5	1761,8	1
Orlica	69	80	908,9	1053,8	3
Hudi Kot	74	87	2892,4	3400,5	3

Table 1: Changing of forest cover and forest area from 1825 to 2017 in the cadastral municipalities in which Pahernik's estate is located

ne ni bilo gozda. Na 61,4 % negozdne površine, velike 76,1 ha, so bili pašniki, na 33,8 % travniki ter na 4,0 % njive. Površina združbe *Galio rotundifolii-Abietetum* znaša 134,5 ha (Rozman in Dakskobler, 2015). Le 59,7 % te površine je v letu 1825 pokrival gozd. Na ostali površini, veliki 54,4 ha, so tedaj prevladovali pašniki (80,3 %), travnikov je bilo 11,5 %, njiv pa 7,3 %.

2.2.2 Ocenjevanje strukturnih značilnosti gozdnih sestojev s podatki stalnih vzorčnih ploskev

2.2.2 Assessment of the structural characteristics of forest stands with data of permanent sample plots

Zgradbo sestojev smo preučevali s podatki, pridobljenimi iz stalnih vzorčnih ploskev. Vzorčno izmero na stalnih vzorčnih ploskvah so opravili na Zavodu za

gozdove Slovenije, Območna enota Slovenj Gradec, leta 2013. Uporabili so vzorčno mrežo gostote 250×250 m in koncentrične krožne ploskve velikosti 2 in 5 arov. Drevesa so bila izbrana po načelih kontrolne vzorčne metode (Kovač in Hočevar, 2009). Vsem nadstojnim drevesom (sorasla in nadrasla drevesa) na vzorčni ploskvi so izmerili tudi višine dreves. Povprečno je bilo izmerjenih 8 drevesnih višin, največ pa 19 na posamezni vzorčni ploskvi.

Na posameznih vzorčnih ploskvah smo izračunali deleže temeljnice na hektar za smreko, jelko in bukev. Za drevesno vrsto, ki je prevladovala v skupni temeljnici, smo predpostavili, da je dominantna vrsta na vzorčni ploskvi. Nato smo izračunali srednjemeljnični premer za vsako vzorčno ploskev. Na podlagi dominantne drevesne vrste in srednjemeljničnega premera smo za vsako vzorčno ploskev ocenili razvojni stadij. Ploskve, kjer so prevladovala smreka, jelka in bukev, smo tako uvrstili v tri stadije za prevladujočo drevesno vrsto, in sicer srednjemeljnični premer od vključno 10 do 30 cm, od vključno 30 do 50 cm in od vključno 50 cm. Za rastiščna tipa kisloljubno gorsko-zgornjegorsko bukovje z belkasto bekico ter jelovje s praprotmi smo ločeno prikazali število dreves na hektar (n/ha), temeljnico na hektar (m^2/ha), lesno zalogo na hektar (m^3/ha), indeks gostote sestoja, indeks gostote sestoja za raznodobne gozdove, Shannon-Wienerjev indeks za oceno strukturne pestrosti sestojev po debelinskih razredih ter Shannon-Wienerjev indeks za oceno vrstne pestrosti sestojev za celotno posest (preglednica 3).

Za posamezno vzorčno ploskev smo izračunali indeks gostote sestoja (Stand density index – *SDI*). Indeks gostote sestoja je za dani sestoj tisto število dreves, ki ustreza enakemu številu dreves v sestoju, v primeru, da bi srednjemeljnični premer tega sestoja znašal 25 cm (Kotar, 2011). Indeks gostote sestoja je primeren za uporabo v vseh enodobnih sestojih kot kazalnik dejanske gostote sestoja. Spremenljivka N ponazarja dejansko število dreves na hektar, d_g pa dejanski srednjemeljnični premer (enačba 1) (Kotar, 2011).

$$SDI = N \cdot (25/d_g)^{-1,605} \quad (1)$$

Za posamezno vzorčno ploskev smo izračunali indeks gostote sestoja za raznodobne sestoeje po 10 cm debelinskih razredih. Spremenljivka N_i ponazarja število dreves na hektar v i -tem debelinskem razredu, $d_{1,3i}$ pa je sredina i -tega debelinskega razreda (enačba 2) (Woodall in sod., 2005).

$$SDI = \sum N_i (d_{1,3i}/25)^{1,6} \quad (2)$$

Za vsako vzorčno ploskev smo izračunali Shannon-Wienerjev indeks (H') za oceno vrstne in strukturne pestrosti sestojev po debelinskih razredih 5 in 10 cm. Najprej se je ta indeks uporabljal za oceno vrstne pestrosti sestojev, kasneje pa ga je več raziskovalcev uporabilo tudi za ocenjevanje strukturne pestrosti gozdnih sestojev (Hladnik in Skvarča, 2009). Vrednost p_i ponazarja delež temeljnice na hektar posamezne drevesne vrste oziroma delež temeljnice na hektar dreves v posameznem debelinskem razredu od celotne temeljnice (enačba 3).

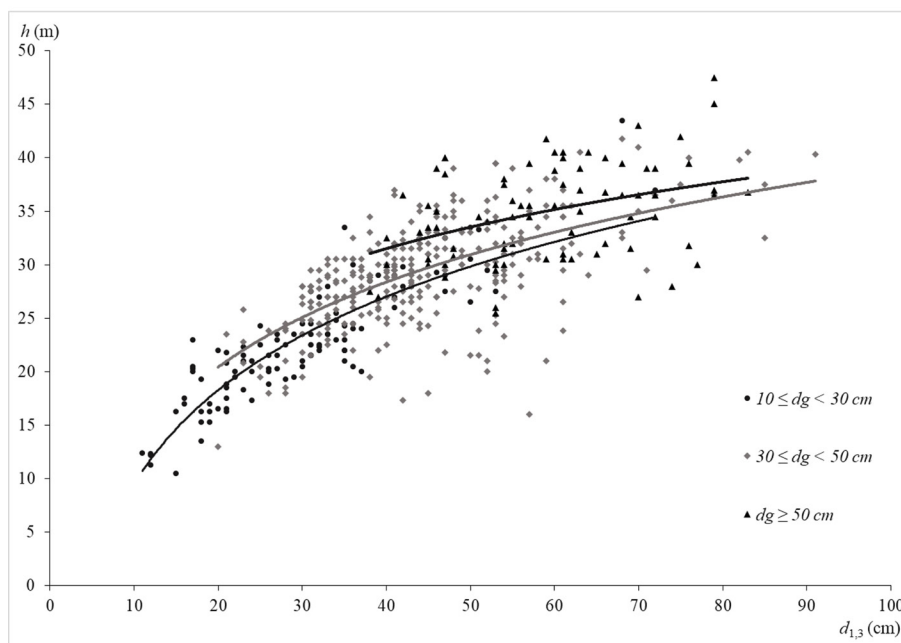
$$H' = - \sum p_i \ln(p_i) \quad (3)$$

Za spremenljivke smo preverili še statistično značilnost razlik med aritmetičnimi sredinami posameznih skupin. Za ugotavljanje značilnosti razlik med aritmetičnimi sredinami posameznih spremenljivk med rastiščnima tipoma kisloljubno gorsko-zgornjegorsko bukovje z belkasto bekico ter jelovje s praprotmi smo uporabili t-test za neodvisne vzorce. S tem statističnim testom smo preverjali tudi razlike med aritmetičnimi sredinami spremenljivk v sestojih na gozdnih zemljiščih v obeh obdobjih in v gozdnih sestojih, ki so nastali na opuščeni kmetijskih zemljiščih po letu 1825. Welch test smo uporabili za ugotavljanje značilnosti razlik med aritmetičnimi sredinami spremenljivke števila dreves med posameznimi razvojnimi stadiji. Analizo variance (ANOVA) pa smo uporabili za ugotavljanje značilnosti razlik med aritmetičnimi sredinami spremenljivk temeljnica, lesna zaloga, za indeksa gostote sestoja (*SDI*) in za Shannonove indekse vrstne ter debelinske pestrosti med razvojnimi stadiji.

2.2.3 Analiza višinske pestrosti gozdnih sestojev z lidarskimi podatki

2.2.3 Analysis of height diversity of forest stands with lidar data

Pestrost višinske zgradbe sestojev smo preučevali s pomočjo lidarskih podatkov. Lidarski podatki za območje Pahernikove posesti so bili posneti v juniju, avgustu, septembru in oktobru leta 2014 (Pegan Žvokelj in sod., 2015). Lasersko skeniranje Slovenije 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 natančnostjo 30 cm in natančnostjo elipsoidnih višin 15 cm (Pegan Žvokelj in sod., 2015).



Slika 3: Višinske krivulje za smreko po razvojnih stadijih, določenih po srednjetelemjničnih premerih na posameznih stalnih vzorčnih ploskvah v letu 2013

Z višinskimi krivuljami vodilnih drevesnih vrst smo ocenjevali razlike med sestojnimi višinskimi razredi in preverjali, ali je mogoče na podlagi višinskih krivulj predlagati ločnice za razmejevanje razvojnih stadijev gozdnih sestojev. Višine pri določenem premeru smo izračunali na podlagi logaritemske transformacije višinskih krivulj ($h=a+b \cdot \ln(d_{1,3})$), ki so se dobro prilagajale podatkom (slika 3). Vsaka točka na sliki 3 ponazarja posamezno drevo pri določenem prsnem premeru. Posamezna drevesa so uvrščena v tri razvojne stadije na podlagi uvrstitve stalne vzorčne ploskve v razvojni stadij. Posamezne stalne vzorčne ploskve smo uvrstili v razvojni stadij na podlagi dominantne drevesne vrste in srednjetelemjničnega premera.

Iz georeferenciranega in klasificiranega oblaka točk (GKOT) je Kobler leta 2016 (ZGS, 2018b) izdelal digitalni model krošenj (DMK) z ločljivostjo 1 m, ki prikazuje višine vegetacije. V programskem okolju GIS ArcMap 10.5 (ESRI, 2017) smo iz DMK oblikovali 4 višinske razrede, ki so bili utemeljeni na podlagi podatkov s stalnih vzorčnih ploskev, predvsem z dobljenimi višinskimi krivuljami smreke kot prevladujoče drevesne vrste, po razvojnih stadijih (slika 3). Pri določitvi višinskih razredov smo želeli ohraniti enak razmik. Pri merskem pragu 30 cm, ki ponazarja prehod iz drogovnjakov v debeljake, znaša višina v drugem debelinskem razredu smreke 25 m. Pri merskem pragu 50 cm, ki ponazarja prehod v starejši debeljak, znaša višina v tretjem debelinskem razredu smreke 34 m. Ostrih ločnic med višinskimi razredi, ki bi jih pričakovali na

Fig. 3: Height curves of spruce for development stages determined according to the quadratic mean diameters on individual permanent sample plots in 2013

podlagi razvojnih stadijev, ocenjenih na posameznih vzorčnih ploskvah, ni bilo mogoče utemeljiti zaradi velike raznolikosti premerov in višin dreves smreke, jelke in bukve. Poglavitni razlog izbire višinskih razredov pa je ustrezen rezultat segmentacije, ki bo razložena v nadaljevanju za celotno posest. V prvi višinski razred smo uvrstili drevesa z višinami do 12 m, v drugi od 12 do 24 m, v tretji od 24 do 36 m in v četrti drevesa, višja od 36 m. Pri oblikovanju takšnih višinskih razredov so bili sestojni višinski razredi smiselno razmejeni v primerjavi z digitalnim modelom krošenj.

Sestoje oziroma sestojne strukture smo razmejevali v programskem okolju GIS ArcMap 10.5 (ESRI, 2017) z orodjem *Segment Mean Shift*. Za minimalno velikost segmenta smo uporabili vrednost 100 m². Minimalna velikost segmenta pomeni, da pri segmentaciji združimo manjše segmente od te velikosti s sosednjim večjim segmentom. Tako smo dobili rastrsko karto sestojnih struktur. Segmentacijo smo opravili na širšem območju posesti. Po zaključeni analizi smo iz rastrske karte naredili poligone, ki ponazarjajo višinske razrede gozdnih sestojev. Pri takem razmejevanju sestojev oziroma sestojnih struktur so bile v posameznih poligonih zajete številne skupine dreves ali posamezni šopi, ki so presegali prevladujoči višinski razred. Po segmentaciji digitalnega modela površja so bili oblikovani tudi razredi z različnimi stopnjami homogenosti oziroma prehodi med posameznimi sestojnimi višinskimi razredi - odvisno od deležev površine posameznih višinskih razredov, ki so jih vsebovali. Pridobljeni sestojni višinski

razredi, skupaj z dominantnimi višinami dreves, ocenjenimi na stalnih vzorčnih ploskvah, so bili osnova za ugotavljanje gradientov nadmorske višine na posesti.

Sestojne višinske razrede smo utemeljili s prikazom deležev ocenjenega števila dreves glede na višinski razred v posameznem sestojnem višinskem razredu (slika 4). Oceno števila dreves na Pahernikovi gozdni posesti smo naredili iz podatkov digitalnega modela krošenj (ZGS, 2018b) v programskem okolju GIS ArcMap 10.5 (ESRI, 2017). Najprej smo z orodjem *Focal Statistics* poiskali lokalne maksimume. Uporabili smo način krožnih sosedskih odnosov z radijem 5 m. Nato smo z orodjem *Raster calculator* s stavkom *condition* iskali na digitalnem modelu krošenj enake vrednosti pridobljene rastrske karte, ki ponazarja lokalne maksimume – rezultat tega postopka je ocena števila dreves v sestojni strehi.

3 REZULTATI

3 RESULTS

3.1 Sestojne gostote in kazalniki sestojne pestrosti

3.1 Stand densities and stand diversity indices

Pred analizo sestojnih gostot in kazalnikov sestojne pestrosti smo preverili vrstno sestavo na posesti. V le-

sni zalogi na celotni posesti prevladuje smreka z oceno od 68 % do 78 %, sledijo ji jelka z 9 do 13 % in bukev z 12 % do 15 %. V lesni zalogi sta še rdeči bor (*Pinus sylvestris* L.) (2 %) in gorski javor (1 %). Manj kot 1 % pa znašajo deleži naslednjih drevesnih vrst: macesen, graden (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebel.), gorski brest (*Ulmus glabra* Huds.), veliki jesen (*Fraxinus excelsior* L.), lipovec (*Tilia cordata* Mill.) in lipa (*Tilia platyphyllos* Scop.), beli gaber (*Carpinus betulus* L.), divja češnja (*Prunus avium* L.), vrba (*Salix* spp.), jerebika (*Sorbus aucuparia* L.), duglazija, zeleni bor in sitka (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.).

Na podlagi podatkov stalnih vzorčnih ploskev tudi ni bilo mogoče oceniti statistično značilnih razlik med aritmetičnimi sredinami spremenljivk na območju ohranjenih gozdov in tistih, ki so bili osnovani na opu-ščenih kmetijskih zemljiščih (preglednica 2).

Sestoji na rastiščnem tipu jelovje s praprotni imajo večjo lesno zalogo kot na rastiščnem tipu kisloljubno gorsko-zgornjegorsko bukovje z belkasto bekico (preglednica 3). Na slednjem v lesni zalogi prevladuje smreka s 75 %, sledita ji bukev (18 %) in jelka (4 %). V tem rastiščnem tipu na 51 stalnih vzorčnih ploskvah v temeljnici prevladuje smreka. Večji delež jelke v lesni zalogi je na rastiščnem tipu jelovje s praprotni, in sicer

Preglednica 2: Sestojne gostote in kazalniki sestojne pestrosti za negozdna in gozdna zemljišča v letu 1825 na Pahernikovi gozdni posesti (SD – standardni odklon, KV – koeficient variacije)

Table 2: Stand densities and stand diversity indices for non-forest and forest land in 1825 on Pahernik's forest estate (SD – standard deviation, CV – coefficient of variation)

	Negozdno leta 1825 / Non-forest in 1825	Gozd leta 1825 / Forest in 1825
Vzorčne ploskve / Sample plots (N)	21	70
Število dreves / Number of trees (N/ha)	436	447
SD	180,4	304,0
KV / CV (%)	41,4	68,0
Temeljnica / Basal area (m ² /ha)	37,5	34,3
SD	13,0	15,3
KV / CV (%)	34,7	44,7
Lesna zaloga / Growing stock (m ³ /ha)	508,5	436,8
SD	191,0	205,7
KV / CV (%)	37,6	47,1
SDI	670	624
SD	216,9	275,7
KV / CV (%)	32,4	44,2
SDI (raznodobni sestoji / uneven – aged stands)	655	617
SD	206,1	270,7
KV / CV (%)	31,5	43,9
H' (vrstna pestrost / species diversity)	0,54	0,53
SD	0,4	0,3
KV / CV (%)	65,5	64,1
H' (5 cm deb. raz. / 5 cm classes)	1,68	1,64
SD	0,3	0,4
KV / CV (%)	20,7	23,6
H' (10 cm deb.raz. / 10 cm classes)	1,31	1,27
SD	0,3	0,4
KV / CV (%)	21,3	28,5

24 %. Smreke in bukve je v lesni zalogi na tem rastiščnem tipu manj, in sicer 64 % ter 3 %.

Na rastiščnem tipu kisloljubno gorsko-zgornjegorsko bukove z belkasto bekico smo z analizo variance (ANOVA) ugotovili značilne razlike med aritmetičnimi sredinami temeljnice ($P<0,01$), lesne zaloge ($P<0,01$) ter *SDI* ($P<0,05$) po razvojnih stadijih (preglednica 4). Zaradi neenako velikih skupin smo za posteriorno analizo opravili Scheffejev test. Ugotovili smo značilne razlike med aritmetičnima sredinama temeljnice ($P<0,05$) in lesne zaloge ($P<0,05$) razvojnih stadijev smreke v prvem in drugem debelinskem razredu (preglednica 4). Ocenili smo tudi značilne razlike v oceni lesne zaloge med razvojnim stadijem smreke v drugem debelinskem razredu ter vzorčnimi ploskvami s prevladujočo bukvijo s srednjemeljničnim premerom, manjšim od

50 cm ($P<0,05$)(preglednica 4).

3.2 Višinska pestrost gozdnih sestojev

3.2 Height diversity of forest stands

V pričujočem poglavju smo s segmentacijo lidarskih podatkov preučevali pestrost višinske zgradbe sestojev. S segmentacijo po sestojnih višinskih razredih smo ob postavljenih ločnicah 12, 24 in 36 m pridobili tudi številne prehode, ki ponazarjajo veliko pestrost sestojne zgradbe v raznodobnih sestojih. Ta je bila največja v sestojih, kjer so prevladovala višine dreves, nižje od 24 m (sliki 4 in 5). V višinskem razredu do 12 m so zato zajete tudi številne skupine višjih dreves, ki so obsegale premajhno površino, da bi jih povezali v samostojen segment višjega višinskega razreda.

Preglednica 3: Sestojne gostote in kazalniki sestojne pestrosti za Pahernikovo gozdno posest in za rastiščna tipa kisloljubno gorsko-zgornjegorsko bukove z belkasto bekico (bukove) in jelovje s praprotmi (jelovje) v letu 2013 (SD – standardni odklon, KV – koeficient variacije, E – standardna napaka)

Table 3: Stand densities and stand diversity indices for Pahernik's forest estate and separately for acidophilous montane-altimontane forests of *Fagus sylvatica* with *Luzula luzuloides* and forests of *Abies alba* with ferns (SD – standard deviation, CV – coefficient of variation, E – standard error)

	Celotna posest / Whole estate	Bukove / Forests of <i>Fagus sylvatica</i>	Jelovje / Forests of <i>Abies alba</i>
Vzorčne ploskve / Sample plots (N)	91	64	21
Število dreves / Number of trees (N/ha)	445	442	461
SD	293,4	285,5	296,1
KV / CV (%)	66,0	64,6	64,2
E (%)	13,7	16,1	29,2
Temelnjica / Basal area (m ² /ha)	35,1	34,3	36,1
SD	15,9	14,6	16,0
KV / CV (%)	45,3	42,7	44,3
E (%)	9,4	10,7	20,1
Lesna zaloga / Growing stock (m ³ /ha)	453,3	437,9	484,5
SD	219,0	197,8	222,7
KV / CV (%)	48,3	45,2	46,0
E (%)	10,0	11,3	20,9
<i>SDI</i>	635	622	655
SD	280,3	260,9	283,8
KV / CV (%)	44,2	41,9	43,3
E (%)	9,2	10,5	19,7
<i>SDI</i> (raznodobni sestoji / uneven-aged stands)	626	617	633
SD	272,2	253,8	277,2
KV / CV (%)	43,5	41,2	43,8
E (%)	9,0	10,3	19,9
<i>H'</i> (vrstna pestrost / species diversity)	0,54	0,52	0,60
SD	0,3	0,3	0,4
KV / CV (%)	65,2	59,1	70,3
E (%)	13,5	14,8	32,0
<i>H'</i> (5 cm deb. raz. / 5 cm classes)	1,65	1,65	1,64
SD	0,4	0,3	0,6
KV / CV (%)	24,2	18,8	34,9
E (%)	5,0	4,7	15,9
<i>H'</i> (10 cm deb. raz. / 10 cm classes)	1,28	1,28	1,28
SD	0,4	0,3	0,4
KV / CV (%)	28,5	25,4	34,6
E (%)	5,9	6,3	15,7

Preglednica 4: Sestojne gostote za posamezne razvojne stadije na rastiščnem tipu kisloljubno gorsko-zgornjegorsko bukoveje z belkasto bekico. Z nadpisanimi črkami v oklepaju so označeni značilni posteriorni testi pri analizi variance oziroma pri Welchemu testu (SD – standardni odklon, KV – koeficient variacije).

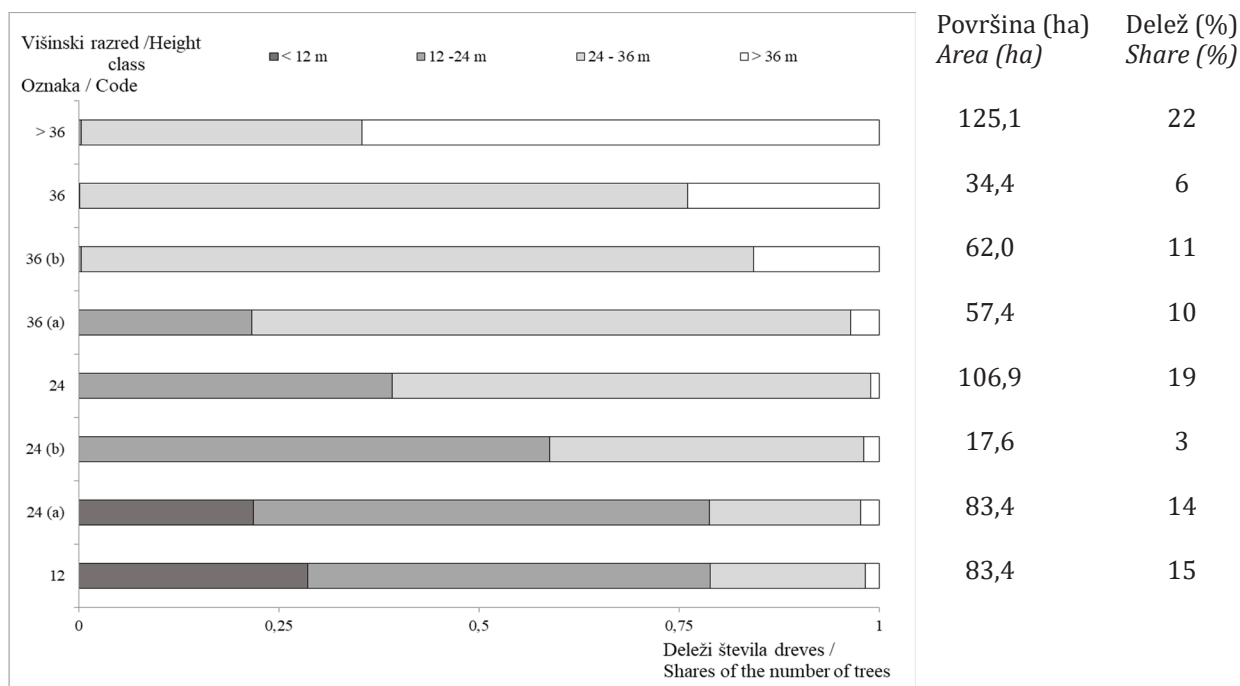
	Smreka / Spruce $10 \leq d_g < 30$ cm	Smreka / Spruce $30 \leq d_g < 50$ cm	Smreka / Spruce $d_g \geq 50$ cm	Bukev / Beech $d_g < 50$ cm
Vzorčne ploskve / Sample plots (N)	12	27	12	11
Število dreves / Number of trees (N/ha)	773 ^{(a)(b)}	438 ^(c)	210 ^{(a)(c)}	325 ^(b)
SD	414,8	167,5	128,3	139,9
KV (%)	53,7	38,3	61,1	43,1
Temeljnica (m ² /ha) / Basal area (m ² /ha)	26,4 ^(d)	40,9 ^(d)	33,4	27,2
SD	15,4	12,4	13,1	15,2
KV (%)	58,2	30,4	39,3	56,1
Lesna zaloga (m ³ /ha) / Growing stock (m ³ /ha)	313,0 ^(e)	529,0 ^{(e)(f)}	441,9	333,2 ^(f)
SD	190,9	167,6	188,9	186,4
KV (%)	61,0	31,7	42,7	55,9

Veliko pestrost v sestojni zgradbi ponazarjajo tudi ocene zgornjih višin, ki smo jih ocenili na podlagi 5 najdebelejših dreves na vzorčnih ploskvah oziroma po načelu 100 najdebelejših dreves na hektar. Ker starost dreves na vzorčnih ploskvah ni bila ocenjena, lahko o gradientih nadmorskih višin in njihovem vplivu sklepamo le na podlagi odvisnosti med srednetemeljničnim premerom in višino najdebelejših dreves (slika 6).

V treh pasovih nadmorskih višin smo za drevesa s srednetemeljničnim premerom 50 cm ocenili 1,7 m razlike v dominantnih višinah. Do nadmorske višine

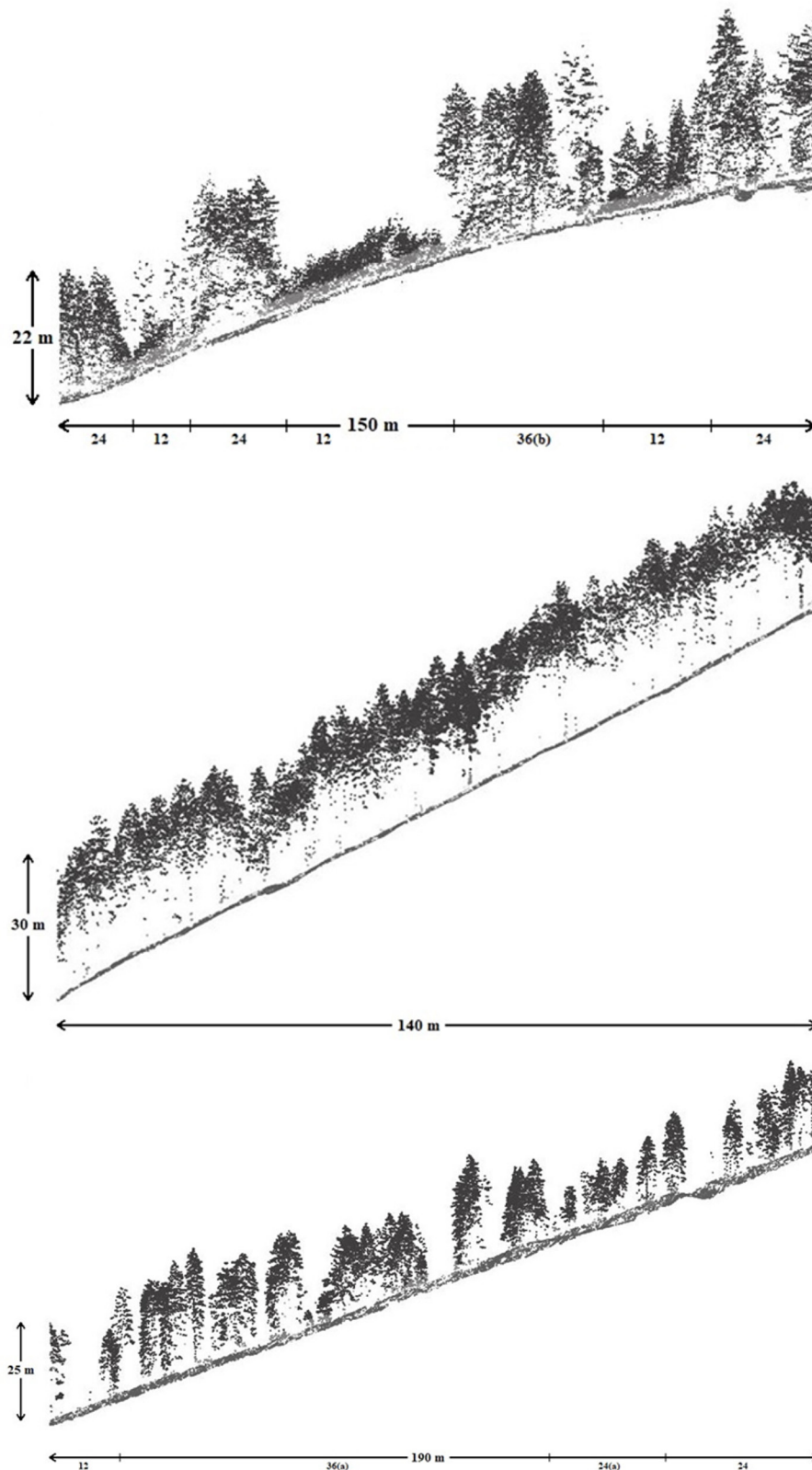
Table 4: Stand densities for development stages in acidophilous montane-altimontane forests of *Fagus sylvatica* with *Luzula luzuloides*. Significant posterior tests in the analysis of variance or in the Welch test are marked with the superscript letters in brackets (SD – standard deviation, CV – coefficient of variation).

900 m smo ocenili povprečje dominantnih višin pri 32,0 m, med 900 in 1100 m je bila ocenjena dominantna višina 30,3 m, nad 1100 m nadmorske višine pa le 28,5 m. Še večje razlike smo ocenili pri razvojno starejših drevesih s srednetemeljničnim premerom 60 cm: v višinskem pasu do 900 m in sosednjem pasu med 900 in 1100 m so bile razlike v dominantnih višinah 2,6 m, nad nadmorsko višino 1100 m pa je bila ocenjena dominantna višina še za 3,3 m manjša od dreves v sosednjem najvišjem pasu nadmorskih višin med 900 in 1100 m.



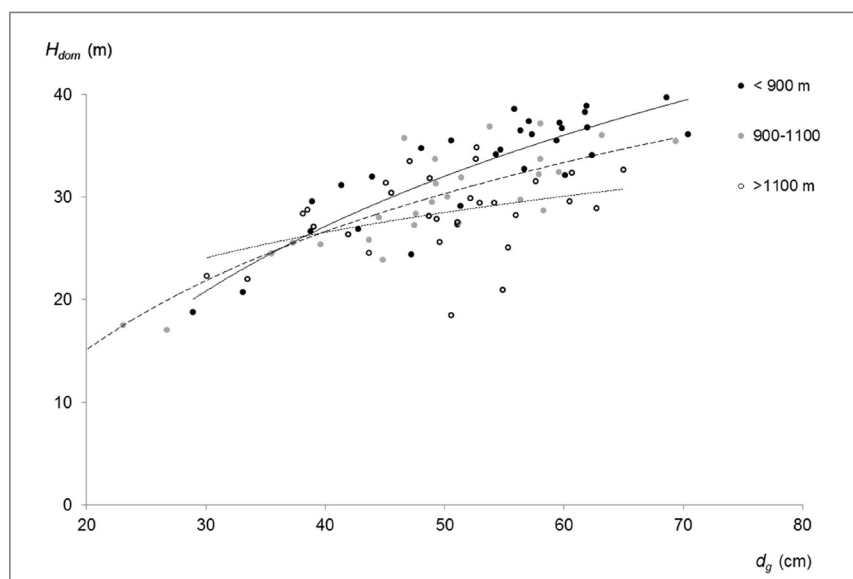
Slika 4: Deleži ocenjenega števila dreves po višinskih razredih v posameznem sestojnem višinskem razredu na Pahernikovi gozdni posesti v letu 2014 s skupno površino posameznega razreda in njegovim deležem v skupni površini posesti. Oznaka na y osi pomeni sestojni višinski razred.

Fig. 4: Shares of the estimated number of trees by height classes in individual stand height classes on Pahernik's forest estate in 2014 with the total area of each class and its share in the total area of the property. The code on the y axis indicates the stand height class.



Slika 5: Prerez oblaka točk lidarskih podatkov skozi sestojne višinske razrede: zgoraj skozi sestojne višinske razrede 24, 12, 24, 12 in 36 (b), 12 in 24; v sredini skozi razred 36 (a) in spodaj skozi razrede 12, 36 (a), 24 (a) in 24 na Pahernikovi posesti v katastrski občini Hudi Kot (MOP 2018)

Fig. 5: Cross-section of the cloud of points of lidar data through the stand height classes: above through the stand height classes 24, 12, 24, 12 and 36 (b), 12 and 24; in the middle through class 36 (a) and below through classes 12, 36 (a), 24 (a) and 24 on Pahernik's estate in the cadastral municipality Hudi Kot (MOP 2018)



Slika 6: Ocene dominantnih višin dreves (H_{dom}) in srednjetelemjničnih premerov (d_g) na stalnih vzorčnih ploskvah po pasovih nadmorskih višin na Pahernikovi gozdni posesti leta 2013

Fig. 6: Estimates of dominant tree heights (H_{dom}) and quadratic mean diameter (d_g) on permanent sample plots along altitudinal bands on Pahernik's forest estate in 2013

4 RAZPRAVA IN SKLEPI

4 DISCUSSION AND CONCLUSIONS

V vseh štirih preučevanih katastrskih občinah se je delež gozda od začetka 19. stoletja do začetka 21. stoletja povečal, največ na račun nekdanjih pašnikov. V katastrski občini Planina so pašniki predstavljali celo rabo zemljišč z največjo površino. Podobne spremembe rabe zemljišč je v sosednji gozdnogospodarski enoti Lovrenca na Pohorju ocenila tudi B. Šlaus (2007). Gulič (2008) je analiziral rabo tal za celotno Pohorje z nadmorsko višino nad 1000 m, v katero je vključil tudi katastrski občini Planina in Hudi Kot. Delež gozda se je na tem območju od začetka 19. stoletja do začetka 20. stoletja povečal za 2,1 %. Manjše povečanje deleža gozda na celotnem območju Pohorja nad 1000 m lahko pripišemo neprimernosti višjih predelov za kmetijsko rabo, saj je bilo že v začetku 19. stoletja nad 1000 m manj kmetijske rabe kot v nižjih legah.

Na območju Pahernikove gozdne posesti sta prevladujoči gozdni združbi *Luzulo-Fagetum* in *Galio rotundifolii-Abietetum* s 65,9 in 23,0 % (Rozman in Dakskobler, 2015). Samo okoli tri petine površine združbe *Galio rotundifolii-Abietetum* je v začetku 19. stoletja pokrival gozd. Takrat je gozd pokrival okoli štiri petine površine, ki jo zdaj prerašča združba *Luzulo-Fagetum*. Naše ocene podpirajo ugotovitev Rozmana in Dakskoblerja (2015), ki pravi, da je razkorak med domnevno potencialno in realno vegetacijo zelo velik, predvsem v nižje ležečih delih posesti. To pojasnjuje tudi večjo spremembo rabe zemljišč na območju gozdne združbe

Galio rotundifolii-Abietetum. Spremenjenost drevesne sestave nakazujejo tudi rezultati vzorčne izmere, saj na kar 51 od 62 izmerjenih vzorčnih ploskvah v rastiščnem tipu kisloljubno gorsko-zgornjegorsko bukovje z belkasto bekico, v katerega je uvrščena gozdna združba *Luzulo-Fagetum*, v temeljnici prevladuje smreka.

Na podlagi rezultatov vzorčne izmere nismo zaznali značilnih razlik med aritmetičnimi sredinami spremenljivk, ki ponazarjajo sestojne gostote in kazalnike sestojne pestrosti med sestoji na ohranjenih gozdnih zemljiščih in tistih, ki so nastali na opuščeni kmetijskih zemljiščih. Neznačilnost razlik med aritmetičnimi sredinami spremenljivk lahko pripišemo razmeroma majhnemu številu ploskev na v začetku 19. stoletja negozdnih zemljiščih (le 23 % ploskev), veliki pestrosti gozdnih sestojev na območjih, kjer je v letu 1825 gozd obstajal, ter tudi skoraj 200-letnemu obdobju, v katerem so se verjetno sprva pionirski zaraščeni sestoji že spremenili v mešane sestojne smreke, bukve in jelke.

Lesna zaloga v rastiščnem tipu kisloljubno gorsko-zgornjegorsko bukovje z belkasto bekico na Pahernikovi gozdni posesti znaša 437,9 m³/ha, pri koeficientu variacije 45,2 %, kar je za 20 % višja lesna zaloga od gozdov tega rastiščnega tipa na Slovenskem, ki so bili ocenjeni v okviru popisa Monitoringa gozdov in gozdnih ekosistemov Gozdarskega inštituta Slovenije iz leta 2012 (Hladnik in Žižek Kulovec, 2012). Ob podobnem koeficientu variacije (46 %) bi razliko med obema ocenama lahko pojasnili z večjim deležem smreke v lesni zalogi v Pahernikovih gozdovih, kot je značilno za ta rastiščni tip na Slovenskem.

Gozdove rastiščnega tipa kisloljubno gorsko-zgornjegorsko bukove z belkasto bekico na posesti lahko primerjamo tudi z jelovo bukovimi gozdovi na visokem Krasu zaradi dokaj podobne drevesne sestave in debelinske strukture, oblikovane s pretežno malopovršinskim gospodarjenjem. Gozdovi tega rastiščnega tipa na posesti imajo za 13 % večjo lesno zalogo, kot jo imajo gozdovi dinarskega jelovo bukovja (Hladnik in Žižek Kulovec, 2014).

V rastiščnem tipu jelovje s praprotni smo ocenili lesno zalogo 484,5 m³/ha pri 46 % koeficientu variacije. Ta ocena je primerljiva z oceno, ki sta jo predstavila Hladnik in Žižek Kulovec (2014) za ta gojitveno rastiščni tip na Slovenskem (495,5 m³/ha ob ocenjenem koeficientu variacije 54 %).

Ob višjih lesnih zalogah in visokih kazalnikih debelinske pestrosti pa v gozdovih na Pahernikovi posesti nismo ocenili višjih sestojnih gostot *SDI* kot v drugih rastiščno primerljivih gozdovih na Slovenskem. Za sestoje v rastiščnem tipu kisloljubno gorsko-zgornjegorsko bukove z belkasto bekico smo ocenili *SDI* za raznodobne sestoje z vrednostjo 617, za sestoje v rastiščnem tipu jelovje s praprotni pa 633. Hladnik in Žižek Kulovec (2014) sta ocenila za prvi rastiščni tip 50-ti percentil *SDI* 660, za rastiščni tip jelovje s praprotni pa 50-ti percentil 751. Podrobnejše analize sestojnih gostot na podlagi stalnih vzorčnih ploskev nismo izpejlali zaradi majhnega števila vzorčnih ploskev in velike variabilnosti ocen.

Na celotni posesti in v rastiščnem tipu kisloljubno gorsko-zgornjegorsko bukove z belkasto bekico je znašala ocena Shannonovega indeksa debelinske pestrosti po 5 cm debelinskih stopnjah 1,65, v rastiščnem tipu jelovje s praprotni pa je bila ocena le za 0,01 manjša.

Kobal in Hladnik (2009) sta ocenila Shannonov indeks debelinske pestrosti po 5 in 20 cm debelinskih razredih in Shannonov indeks vrstne pestrosti za štiri gozdnogospodarske razrede jelovo-bukovih gozdov v Leskovi dolini. Shannonov indeks debelinske pestrosti doseže najvišje vrednosti pri enakem deležu temeljnice v vseh debelinskih razredih. Na stalnih vzorčnih ploskvah je bil za debelinsko pestrost po 5 cm debelinskih razredih ocenjen od 1,68 do 1,78, kar je primerljivo z oceno debelinske pestrosti v gozdovih Pahernikove posesti.

V teh gozdovih je bil Shannonov indeks vrstne pestrosti najvišji v rastiščnem tipu jelovje s praprotni (0,60). V sestojih na rastiščnem tipu kisloljubno gorsko-zgornjegorsko bukove z belkasto bekico in na celotni posesti je bil indeks vrstne pestrosti 13 % oziroma za 10 % manjši. Tudi te vrednosti so primerljive z

oceno vrstne pestrosti v jelovo-bukovih gozdovih Leskove doline, od 0,58 do 0,78. Kobal in Hladnik (2009) sta nizke ocene vrstne pestrosti pojasnila s prevladovanjem le dveh drevesnih vrst oziroma ene same v celotni temeljnici. Na Pahernikovi gozdni posesti je Shannonov indeks vrstne pestrosti nizek, ker v temeljnici prevladuje le ena vrsta, in sicer smreka (70 %).

Kljub prevladovanju smreke je ob malopovršinskem gospodarjenju v raznodobnih sestojih težko presojati o ločnicah in kazalnikih po posameznih razvojnih stadijih, ki metodološko izvirajo iz enomernih ali celo enodobnih sestojev. Ob veliki variabilnosti pri ocenjevanju debelinske in vertikalne zgradbe sestojev ter zgornjih sestojnih višin smo ocenili gradiente nadmorske višine, ki vplivajo na zgradbo gozdov na območju Pahernikove gozdne posesti. Zmanjševanje višine sestojne strehe z višanjem nadmorske višine na Pahernikovi posesti je bilo ocenjeno tudi na podlagi razmejevanja gozdnih sestojev s segmentacijo podatkov laserskega skeniranja (Pintar, 2018). Delež površine najvišjih sestojnih višinskih razredov se zmanjšuje z nadmorsko višino. Najvišji je bil ocenjen v delu posesti v katastrskih občinah Vuhred in Planina (62 %), najnižji pa v delu posesti v katastrski občini Hudi Kot (46 %). V nižje ležečih delih posesti (katastrske občine Planina, Vuhred in Orlica) sestoji dosega največje višine (Pintar, 2018).

Vpliv gradientov ekoloških dejavnikov sta natančneje ocenila Sušek S. (1991) in Murn (2017), ki sta opravila prirastoslovne analize smreke in bukve na oziroma v bližini Pahernikove posesti. Sušek S. (1991) je na raziskovalnem območju z nadmorsko višino od 1090 do 1260 m v rastiščnem tipu kisloljubno gorsko-zgornjegorsko bukove z belkasto bekico predlagal različno proizvodno sposobnost bukve z ločnico 1200 m nadmorske višine. Na nižjih nadmorskih višinah je ocenil proizvodno sposobnost bukve na 7,4 m³/ha/leto, na višjih pa 6,7 m³/ha/leto. Rastiščni indeks *SI*₁₀₀ za bukev do 1200 m nadmorske višine je ocenil od 26,4 do 30,8, višje pa od 17,1 do 23,9. Rastiščni indeks za smreko na nadmorski višini 440 do 510 m v rastiščnem tipu jelovje s praprotni je v povprečju ocenil z vrednostjo *SI*₁₀₀ 38,0, medtem ko ga je Murn (2017) za smreko v rastiščnem tipu kisloljubno gorsko-zgornjegorsko bukove z belkasto bekico na nadmorski višini 1159 do 1258 m ocenil v povprečju na 31,4.

V nadaljevanju raziskovanja raznodobnih sestojev na Pohorju bo treba razviti metode, s katerimi bomo prirastoslovne izsledke in podatke kontrolne vzorčne metode povezali s postopki razmejevanja gozdnih sestojev in segmentacije podatkov laserskega skeniranja. Tokrat smo v postopku segmentacije uporabili 4 višin-

ske pasove, ki se stopnjujejo po 12 m, zadnji višinski pas pa so predstavljale višine dreves, višje od 36 m. Na Pahernikovi posesti smo v postopku segmentacije prevzeli najmanjšo površino 100 m², enak površinski prag kartiranja 100 m² je predlagal tudi Kobler (2011). Leppänen in sod. (2008) so prikazali drugačen način segmentacije, brez upoštevanja minimalne površine, izveden na podlagi podobnosti pikslov. Podobni pristopi iz enomernih sestojev, ki smo jih prikazali v nižinskih poplavnih gozdovih (Hladnik in Pintar, 2017), niso bili učinkoviti v raznomernih oziroma raznodobnih gozdnih sestojih Pahernikove posesti. Zlasti v sestojih nižjih višinskih razredov do 12 in 24 m višine dreves je bila vertikalna zgradba pestra, ločnice med sestoji in skupinami dreves pa kljub majhnemu površinskemu pragu niso bile ostre. Prav take oblike sestojne zgradbe so značilne za posest, ki se odlikuje po sproščeni tehniki gojenja gozdov, kjer je pričakovati v istem oddelku uveljavljanje različnih sistemov gojenja gozdov na majhnih površinah (Diaci, 2006). S takim gospodarjenjem so bile v gozdovih oblikovane peštre sestojne zgradbe, ki jih lahko primerjamo tudi na podlagi značilnosti gozdnih rastiščnih tipov. Ob gozdnogospodarskem načrtovanju so pomembno izhodišče tudi za lastnike gozdov v primerjavi uspešnosti gospodarjenja na različnih gozdnih posestih. V Sloveniji so bili gozdni rastiščni tipi oblikovani predvsem glede na rastiščne in vegetacijske značilnosti, manj pa glede na nadmorsko višino njihovega pojavljanja (Kutnar in sod., 2012). Na Pahernikovi gozdni posesti smo ob stopnjevanju nadmorskih višin opozorili na razlike v višini in zgradbi sestojne strehe, ki vplivajo na gospodarjenje znotraj posameznega rastiščnega tipa.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

We presented the land use changes as well as estimated the development of forest stands and continuity of forest cover and structural characteristics of forest stands in the area of Pahernik's forest estate. Additionally we estimated changes in land use of cadastral municipalities Vuhred, Planina, Orlica and Hudi Kot, where the Pahernik's estate is located.

We gathered first estimates of land use from the Franziscan land cadastre dated to 1825 (Arhiv ..., 2017) and compared it with today's (MKGP, 2017). In all four cadastral municipalities, forest share has risen from the beginning of the 19th century until the 21st century. The largest share of forest cover in this time can be found in cadastral municipality Hudi Kot (in 1825 it was 74 %, in 2017 no less than 87 %). Forest cover has increased most in the cadastral municipa-

lity Planina where it increased by 46 %. Share of forest cover was the lowest in the cadastral municipality Vuhred, at 58 % in 2017 with an increase of only 4 % since 1825. It has to be said that this cadastral municipality is the lowest lying compared to the ones studied.

For assessing the structural characteristic of forests we used the data acquired on 91 sample plots in 2013. The radius of sample plots was 12.61 m. The density of the sampling network was 250 × 250 m. We ranked sample plots in different forest types according to the map of forest vegetation (Rozman and Dakskobler, 2015). We estimated the development stage for each sample plot based on dominant tree species (according to basal area) and quadratic mean diameter. We put sample plots in three development stages for tree species (quadratic mean diameter of included 10 to 30 cm, of included 30 to 50 and of included 50 cm), where Norway spruce, fir and beech prevailed. We also divided sample plots, according to land use in 1825, to the plots where forest was present in both studied periods and the plots where forest arose from the abandoned agricultural lands.

The commonest forest site types on the estate are acidophilous montane-altimontane forests of *Fagus sylvatica* with *Luzula luzuloides* and forests of *Abies alba* with ferns. We estimated the growing stock on the whole estate at 453.3 m³/ha. Spruce is prevailing in the growing stock ranging from 68 % to 78 %, it is followed by fir (9–13 %) and beech (12–15 %). In the forest site type acidophilous montane-altimontane forests of *Fagus sylvatica* with *Luzula luzuloides* the growing stock is by 3.4 % lower than on the whole forest estate, and by 6.4 % higher than on the forest site type of *Abies alba* with ferns. Development stages in the forest type acidophilous montane-altimontane forests of *Fagus sylvatica* with *Luzula luzuloides* are different in terms of tree density and the amount of growing stock. We did not find any significant differences between the arithmetical means of variables, which represent stand densities and diversity indices on the persistent forest lands of those, arising from the abandoned agricultural lands.

On the whole estate we estimated the value of *SDI* 626 for the uneven-aged stands, in stands of the forest type acidophilous montane-altimontane forests of *Fagus sylvatica* with *Luzula luzuloides* the *SDI* for the uneven-aged stands was by 1.4 % lower, but in stands of the forests of *Abies alba* with ferns it was by 1.1 % higher. On the whole estate, the DBH based Shannon index for 5 cm classes was 1.65 and this assessment is identical to both prevailing forest site types on the estate. The Shannon index of species diversity was the

highest in the *Abies alba* with ferns type forests with a value of 0.60.

We made 4 height classes out of a canopy height model (ZGS, 2018b) with the ArcMap 10.5 (ESRI, 2017) programme. Canopy height model was made from lidar data recorded in 2014. These height classes were justifiable on the account of the data from permanent sample plots and estimated differences in stand height classes. We included trees with heights up to 12 m into the first height class, the second class included trees from 12 m to 24 m, the third trees from 24 m to 36 m, while the fourth class included trees higher than 36 m. We used 100 m² as the minimum size of a segment for delineation of stands or stand structures with segmentation of lidar data. Result of segmentation was stand height classes on Pahernik's forest estate. The stand height class above 36 m is the prevailing one on the estate at 22 %. Stand canopy heights and tree heights are decreasing with rising elevation.

6 ZAHVALA

6 ACKNOWLEDGEMENT

Raziskava je bila opravljena v okviru priprave magistrskega dela Anžeta Martina Pintarja, ki je v času študija na magistrskem študijskem programu druge stopnje Gozdarstvo in upravljanje gozdnih ekosistemov prejemal štipendijo Pahernikove ustanove.

7 VIRI

7 REFERENCES

- Aguirre O., Hui G., Gadow K.V., Jimenez J. 2003. An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables. *Forest Ecology and Management*, 183: 137–145.
- Arhiv Republike Slovenije. 2017. Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za kulturo. <http://www.arhiv.gov.si/> (18. 9. 2017).
- Bončina A. 1997. Naravne strukture gozda in njihove funkcije pri sonaravnem gospodarjenju z gozdom. Doktorska disertacija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 210 str.
- Bončina A. 2009. Urejanje gozdov: upravljanje gozdnih ekosistemov. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 359 str.
- Diaci J. 2006. Gojenje gozdov: pragozdovi, sestoji, zvrsti, načrtovanje, izbrana poglavja. Ljubljana, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete: 348 str.
- ESRI 2017. ArcGIS Desktop Release 10.5; Environmental Systems Research Institute: Redlands, CA, USA.
- Gao T., Hedblom M., Emilsson T., Busse Nielsen A. 2014. The role of forest stand structure as biodiversity indicator. *Forest Ecology and Management*, 330: 82–93.
- Gulič J. 2008. Vpliv heterogenosti krajinske matice na disperzijo in povezanost habitata ruševca (*Tetrao tetrix* L.) v severovzhodni Sloveniji: doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 264 str.
- GURS 2017. Grafični podatki o katastrskih občinah. 2017. Ljubljana, Geodetska uprava republike Slovenije. <https://egp.gu.gov.si/egp/> (20. 10. 2017).
- Gustafsson L., Baker S.C., Bauhus J., Beese W.J., Brodie A., Kouki J., Lindenmayer D.B., Lohmus 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.
- Hladnik D., Skvarča A. 2009. Gozdarske raziskovalne ploskve in stalne vzorčne ploskve na območjih Natura 2000 na Slovenskem. *Gozdarski vestnik*, 67, 1: 3–16, 49–52.
- Hladnik D., Pintar A.M. 2017. Ocena sestojne zgradbe na območju Krakovskega pragozdnega rezervata s segmentacijo podatkov laserskega skeniranja. *Gozdarski vestnik*, 75, 7–8: 313–327.
- Hladnik D., Žižek Kulovec L. 2014. Consistency of stand density estimates and their variability in forest inventories in Slovenia. *Acta Silvae et Ligni*, 104: 1–14.
- Kobal M., Hladnik D. 2009. Stand diversity in the Dinaric fir-beech forests. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 90: 25–42.
- Kobler A. 2011. Nove metode za obdelavo podatkov letalskega laserskega skenerja za monitoring gozdnih ekosistemov: doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 126 str.
- Kotar M. 2011. Zgradba, rast in donos gozda na ekoloških in fizioloških osnovah. Ponatis. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije, Zavod za gozdove Slovenije, 500 str.
- Kovač M., Hočevar M. 2009. Kratak oris razvoja gozdnih inventur in kontrolne vzorčne metode po svetu in v Sloveniji. *Studia Forestalia Slovenica*, 134: 9–12.
- Kovač M., Kutnar L., Hladnik D. 2016. Assessing biodiversity and conservation status of the Natura 2000 forest habitat types: Tools for designated forestlands stewardship. *Forest Ecology and Management*, 359: 256–267.
- Kutnar L., Veselič Ž., Dakskobler I., Robič D. 2012. Tipologija gozdnih rastišč Slovenije na podlagi ekoloških in vegetacijskih razmer za potrebe usmerjanja razvoja gozdov. *Gozdarski vestnik*, 70, 4: 195–214.
- Leppänen V. J., Tokola T., Maltamo M., Mehtätalo L., Pusa T., Mustonen J., 2008 Automatic delineation of forest stands from LIDAR data. V: *Geobia 2008 – pixels, objects, intelligence: GEOgraphic object based image analysis for the 21st century*. Hay G J., Blaschke T., Marceau, D. (ur.). Calgary, Alberta, University: 271–277.
- Martin M., Fenton N., Morin H. 2018. Structural diversity and dynamics of boreal old-growth forests case study in Eastern Canada. *Forest Ecology and Management*, 422: 125–136.
- McElhinny C., Gibbons P., Brack C., Bauhus J. 2005. Forest and woodland stand structural complexity: Its definition and measurement. *Forest Ecology and Management*, 218: 1–24.
- McRoberts R.E., Winter S., Chirici G., Hauk E., Pelz D.R., Moser W.K., Hatfield M.A. 2008. Large-scale spatial patterns of forest structural diversity. *Canadian Journal of Forest Research*, 38: 429–438.
- Medved M., Matijašič D., Pisek R. 2010. Private property condition in Slovenian forests in 2010: preliminary results. V: *Small scale forestry in a changing world: opportunities and challenges and the role of extension and technology transfer: proceedings of the conference. IUFRO Conference, Bled, 6–12 June 2010*. Medved M. (ur.). Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije; Zavod za gozdove Slovenije: 457–472.
- MKGP 2017. Grafični podatki RABA za celo Slovenijo. 2017. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Republike Slovenije. <http://rkg.gov.si/GERK/> (22. 10. 2017).

- MOP 2018. Spletni portal eVode. Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije. http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar%40Arso (26. 3. 2018).
- Murn T. 2017. Rastne značilnosti smreke na bukovih rastiščih z belkasto bekico v Pahernikovi gozdovi: diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 21 str.
- Pegan Žvokelj B., Bric V., Triglav Čekada M., Obreza A., Tršan S., Dejak B., Karničnik I. 2015. Izvedba laserskega skeniranja Slovenije: blok 23: tehnično poročilo o izdelavi izdelkov. Ljubljana, Geodetski inštitut Slovenije, 19 str.
- Pintar A.M. 2018. Strukturna pestrost gozdnih sestojev na Pahernikovi gozdni posesti: magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 85 str.
- Poljanec A. 2008. Strukturne spremembe gozdnih sestojev v Sloveniji v obdobju 1970–2005. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 126 str.
- Pommerening A. 2002. Approaches to quantifying forest structures. *Forestry*, 75: 305–324.
- Posestni načrt za gozdove Pahernikove ustanove 2014–2023. 2015. Slovenj Gradec, Zavod za gozdove Slovenije, Območna enota Slovenj Gradec, 90 str.
- Rozman A., Dakskobler I. 2015. Fitocenološka karta Pahernikovih gozdov nad Vuhredom in v Hudem Kotu na severnih pobočjih Velike Kope na Pohorju v merilu 1: 5000. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire (neobjavljeno).
- Simončič T., Kadunc A., Bončina A. 2009. Analiza horizontalne zgradbe bukovih sestojev s podatki s stalnih vzorčnih ploskev. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 90: 11–24.
- Sušek M. 2005. Pahernikovi gozdovi: biografija rodbine Pahernik. Radlje, Pahernikov sklad, 83 str.
- Sušek S. 1991. Rastne zakonitosti smreke in bukve na severozahodnem delu Pohorja: diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 92 str.
- Šlaus B. 2007. Ocenjevanje krajinske zgradbe na Pohorju: diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 86 str.
- 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.
- Varga P., Chen Han Y.H., Klinka K. 2005. Tree-size diversity between single and mixed species stands in three forest types in western Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 35: 593–601.
- Woodall C.W., Miles P.D., Vissage J.S. 2005. Determining maximum stand density index in mixed species stands for strategic-scale stocking assessment. *Forest Ecology and Management*, 216: 367–377.
- ZGS 2018a. Lastništvo gozdov. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije. http://www.zgs.si/gozdovi_slovenije/o_gozdovih_slovenije/lastnistvo_gozdov/index.html (24. 3. 2018).
- ZGS 2018b. Pregledovalnik podatkov o gozdovih. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije. <http://prostor.zgs.gov.si/pregledovalnik/> (18. 2. 2018).