



Uporaba lidarsko zajetih podatkov za zaznavanje razlik gostote visokega rastlinstva

IZVLEČEK

V članku smo ugotavljali, ali je s pomočjo lidarskih podatkov mogoče zaznati razlike v gostoti visokega rastlinstva. Izbrali smo štiri različne gozdne združbe, na katerih smo uporabili metodo določanja gostote visoke vegetacije s pomočjo izdelave digitalnega modela krošenj ter metodo segmentacije. Metodi smo na koncu med seboj primerjali, izločili neustrezne točke in območja ter tako dobili število zaznanih drevesnih krošenj na območjih, za katera smo določili, da se na njih pojavlja gozd.

Ključne besede: daljinsko zaznavanje, LiDAR, digitalni model krošenj, GIS.

ABSTRACT

The use of LiDAR data for detection of differences in high vegetation density
In the paper we determined the possibility of detection of density of tall vegetation using LiDAR data. We selected four areas, each covered by one of the four different forest communities. We used the method of creating a digital tree canopy model and the method of watershed segmentation. Finally, we compared both methods, eliminated outlying points and areas to determine the number of the detected tree canopies in areas where forest had previously been determined.

Key words: remote sensing, LiDAR, digital canopy model, GIS.

LiDAR (angleško Light Detection And Ranging) oziroma svetlobno zaznavanje in merjenje razdalj je ena izmed tehnik daljinskega zaznavanja površja (Oštir 2006). Lidarski podatki so bili v gozdarske namene prvič uporabljeni v osemdesetih letih prejšnjega stoletja, ko so z njimi ugotavljali višino, gostoto in vrstno sestavo gozdov (Kobler 2011). V naslednjem desetletju je z dodano GPS tehnologijo snemanje že omogočalo pridobitev tridimenzionalnih podatkov o odbojih. Tako so se analize razširile še na določanje nadmorskih višin reliefa, ocene višine gozdnih sestojev in ocenjevanje lesne zaloge (Kobler 2011). S tehnološkim napredkom se je začelo zajemati čedalje bolj natančne podatke o površju, kar je omogočilo resnejše analize in bolj natančne rezultate.

Prav podatki, pridobljeni z laserskim skeniranjem površja, so bili za naše delo ključnega pomena. Za celotno ozemlje Slovenije so lidarski podatki javno dostopni na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje (GURS 2021) in omogočajo raznovrstne analize površja in objektov na njem.

V članku je na izbranih območjih v Sloveniji predstavljen eden od načinov, kako lahko z daljinskim zaznavanjem ugotovimo gostoto visoke vegetacije. Izbrali smo štiri različne gozdne združbe, za vsako pa 1 km² veliko reprezentativno območje. Namen članka je s pomočjo lidarskih podatkov zaznati, ali obstajajo razlike v gostoti visoke vegetacije med izbranimi območji s štirimi različnimi gozdnimi združbami. Glavni cilji so izbor primernih metod za ugotavljanje razlik v gostoti visoke vegetacije, izvedba ustreznih analiz ter kartografski prikaz dobljenih rezultatov. Postopek smo izvajali s programskim orodjem ArcMap 10.8.1., za doseg cilja pa smo uporabili metodo določanja gostote visoke vegetacije s pomočjo izdelave digitalnega modela krošenj in metodo segmentacije.

Lidarski podatki

LiDAR velja za tehnologijo, ki je sposobna pridobiti celotno navpično podobo gozdnega sestoja ali posameznega drevesa ter z ustrezno oblikovanimi podatki narediti tridimenzionalno kartiranje gozdnih sestojev z veliko večjo natančnostjo kot s satelitskih posnetkov, kakršen je na primer Landsat (Shanley s sodelavci 2021). To omogočajo majhne vrzeli med listi, iglicami in vejami, ki laserskim žarkom omogočijo, da prodrejo in zaznajo tudi teren pod krošnjami, pri čemer se žarki odbijajo še od vseh delov drevesa. Ti podatki so primerni za analiziranje in nadaljnje raziskave, predvsem za potrebe vrednotenja zgradbe gozdov (Pirotti, Kobal in Roussel 2017).

Avtorica besedila, shem in zemljevidov:

MAŠA ADLEŠIČ, diplomirana geografinja

Oprešnikova ulica 23, 4000 Kranj

E-pošta: masa96.adlesic@gmail.com

COBISS 1.03 kratek znanstveni prispevek

Naprava za zajem lidarskih podatkov je nameščena na zrakoplov, ki leti nad površjem in do njega pošilja laserske pulze. Oblika snemalnega vzorca je odvisna od višine in hitrosti leta ter razslojenosti površja, pa tudi od delovanja skenerja. Zaradi vseh teh razlogov so lahko pridobljene (zaznane) točke razporejene zelo neenakomerno, zato pri lidarskih podatkih ne govorimo o razdaljah

med posameznimi zajetimi točkami, ampak o gostoti točk na določeno površinsko enoto (Oštir 2006). Pri skeniranju površja je najpomembnejša meritev časa, ki preteče med oddanim laserskim signalom, odbojem od odbojne površine, na primer tal, in končnim zajemom signala s senzorjem. Razdaljo od senzorja do odbojne površine določimo torej z merjenjem časa potovanja oddanega signala in s pomočjo znane hitrosti svetlobe skozi zrak. Za kartografsko analizo moramo poznati tudi točno lokacijo in položaj senzorja v prostoru, kar določamo z GPS sistemi (angleško Global Positional Systems). S preletavanjem površja, periodičnim oddajanjem laserskih signalov in zajemanjem odbojnih signalov dobimo gost oblak točk, ki je po obdelavi primeren za izvedbo različne analize (Kobler 2011).

Izvedba analize

Po izboru štirih gozdnih združb smo za vsako od njih izbrali kvadratno enoto v velikosti 1 km². To območje je tudi območje preučevanja. Najprej smo pregledali literaturo in pripravili geografski oris posameznih območij, pridobili pa smo tudi metapodatke o izvedbi laserskega skeniranja posameznega območja. Vsako enoto smo analizirali z uporabo dveh različnih metod. S pomočjo izdelave digitalnega modela krošenj smo določili gostoto vegetacijskega pokrova, s segmentacijo pa smo določili število drevesnih krošenj. Dobljene vmesne rezultate smo na podlagi vmesnih rezultatov prve uporabljene metode reklasificirali in tako prišli do končnega števila drevesnih krošenj.

Pregled izbranih gozdnih združb in preučevanih območij

Dinarski gorski gozd jelke in bukve (Abieti-Fagetum dinaricum – Tregubov 1957)

Gozdna združba je značilna za območja slovenskih visokih dinarskih kraških planot, na nadmorski višini od 700 do 1200 m. Za te planote je značilno razgibano površje s kopastimi vzpetinami, med planotami pa se pojavljajo tudi kraška polja. Dinarski gorski gozd jelke in bukve je v prvi vrsti gospodarski gozd, deloma pa opravlja tudi varovalno vlogo (Marinček in Čarni 2002).

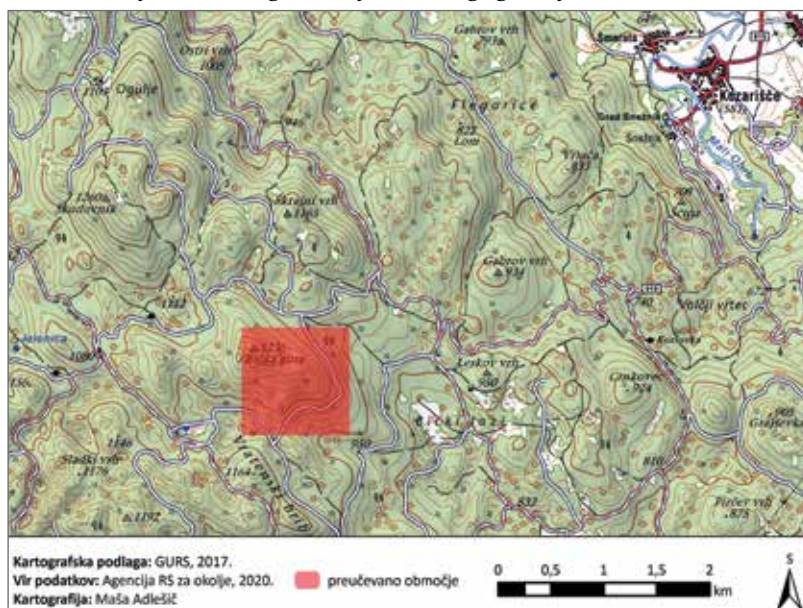
Izbrano območje analiziranja rastišča je v jugozahodnem delu Slovenije, severno od Snežnika, na planoti Javorniki. Kvadratni kilometer veliko testno območje ima najvišjo točko na nadmorski višini 1254 m, najnižja točka pa je na višini 984 m. Podnebje

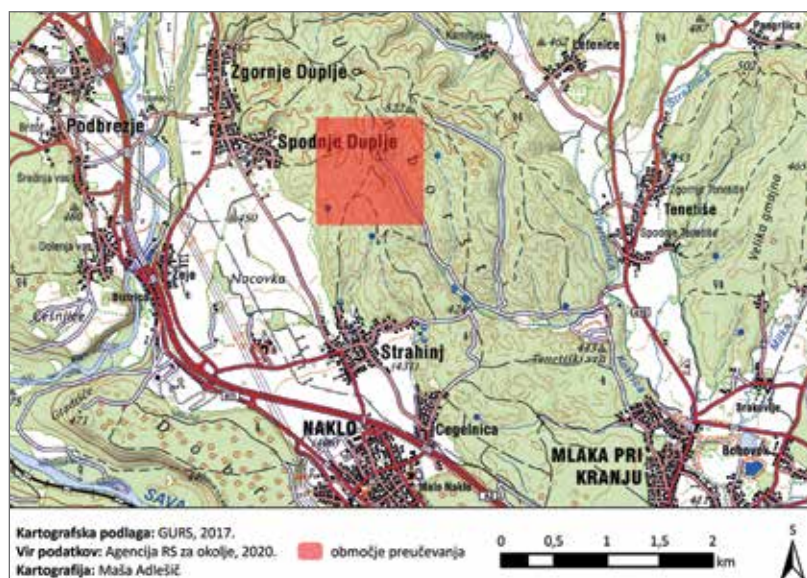
na tem območju ima značilnosti nižjega gorskega sveta v zahodni Sloveniji in spada v širšo skupino gorskega podnebja. Povprečna temperatura najhladnejšega meseca je –3 °C, najtoplejšega pa presega 10 °C. Padavinski režim je submediteranski, kar pomeni, da je večina padavin v hladnem delu leta, največ oktobra in novembra (Ogrin 1996). Povprečni naklon izbranega območja je 17,3°, največji delež površja pa ima vzhodno ekspozicijo (Digitalni model višin 2011). Prevladujoča kamnina so apnenci krednih starosti, na katerih se je razvilo kraško površje (Osnovna geološka karta SFRJ – list Ilirska Bistrica 1972). Na apnencih se je razvila rjava pokarbonatna prst (Pedološka karta Slovenije ... 2007).

Kisloljubni borov gozd (Vaccinio myrtilli-Pinetum sylvestris – Kobenza 1930)

Gozdna združba predalpskega kisloljubnega borovega gozda se pojavlja

Slika 1: Zemljevid izbranega območja dinarskega gozda jelke in bukve.





Slika 2: Zemljevid izbranega območja kisloljubnega borovega gozda.

predvsem na vzpetinah, položnih pobočjih in ravninskih območjih na nadmorski višini med 300 in 500 m. Borovi gozdovi so tam, kjer so rastiščne razmere izrazito slabe, pogosto zaradi vpliva človeka. Zaradi čezmernega izkoriščanja gozdov so se poslabšale do te mere, da se je lahko razrasel le borov gozd. S sukcesijo se razmere za rast izboljšujejo in ko se izboljšajo do te mere, da bor ni več konkurenca ostalim, bolj zahtevnim drevesnim vrstam, ga te nadomestijo (Čarni 2019). Območje analize gozdne združbe kisloljubnega borovega gozda je sredi Udin boršta na Gorenjskem, vzhodno od vasi Spodnje Duplje in severno od vasi Strahinje. Njegova najvišja točka je na nadmorski višini 543 m, najnižja pa 433 m. Podnebje izbranega območja spada v skupino zmernocelinskih podnebij in v podskupino zmernocelinsko podnebje zahodne in južne Slovenije. Skupne značilnosti zmernocelinskih podnebij so temperature, ki v so najhladnejšem mesecu med 0

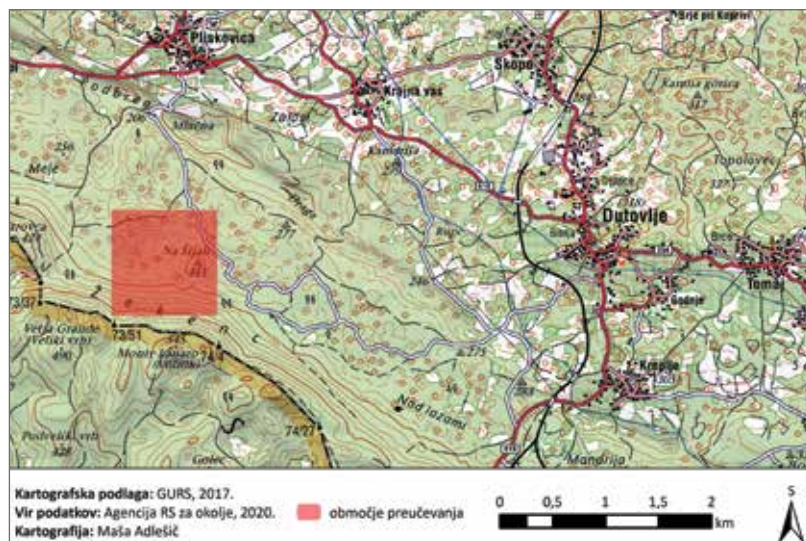
in -3°C , v najtoplejšem pa med 15 in 20°C . Oktobrske temperature so značilno višje od aprilskih. Letno območja s tem podnebnim tipom prejmejo med 1300 in 2500 mm padavin (Ogrin 1996). Povprečni naklon analiziranega območja je $9,2^{\circ}$, njegov največji del pa ima vzhodno ekspozicijo

(Digitalni model višin 2011). Prevladujeta dva tipa kamninske sestave, peščena in laporna glina s peščenjakom iz srednjega oligocena ter holocenski konglomerat. Po podatkih pedološke karte Slovenije so na tem območju evtrične rjave prsti in izprane prsti. Prve se pojavljajo le ob manjšem vodotoku, ki teče po vzhodnem delu območja, povsod drugod prevladujejo izprane prsti (Pedološka karta Slovenije ... 2007).

Primorski gozd gradna, puhastega hrasta in kraškega jesena (Orno-Quercetum petraeae-pubescentis – Košir 1974)

Ti gozdovi uspevajo v gričevnatem in podgorskem delu submediteranske Slovenije, na nadmorski višini od 50 do 500 m. Drevesnim vrstam so ljubše od neposrednega sončnega obsevanja osojne lege. Razraščajo se v toplem submediteranskem podnebju s povprečno letno količino padavin od 1000 do 1600 mm. Povprečna

Slika 3: Zemljevid izbranega območja gozda gradna, puhastega hrasta in kraškega jesena.



letna temperatura optimalnih območij za to gozdno združbo je od 10 do 12 °C (Dakskobler, Kutnar in Zupančič 2014).

Območje preučevanja je na Krasu, južno od vasi Pliskovica. Njegova nadmorska višina območja je med 244 in 447 m, povprečna nadmorska višina je 326 m. Na tem območju je zaledno submediteransko podnebje, ki spada v skupino submediteranskih podnebij. Zanj so značilne pozitivne januarske temperature in temperature najtoplejšega meseca, višje od 20 °C. Letno prejme v povprečju med 1200 in 1700 mm padavin, značilen pa je submediteranski padavinski režim (Ogrin 1996). Povprečni naklon analiziranega območja je 10,7°, pobočja imajo predvsem severno lego, saj je njegov večji del na severnem pobočju kopastega hrbta Žekenc (Digitalni model višin 2011). Prevladuje karbonatna matična podlaga, predvsem kredni dolomit in kredni zrnati apnenec (Osnovna geološka karta SFRJ – list Gorica 1968). Na njej se razvijejo slabše rodovitne prsti rendzine in jetrovice (Pedološka karta Slovenije ... 2007; Repe 2010).

Bukov gozd z gradnom (Quercus petraeae-Fagetum – Košir 1961)

Združba je omejena na podgorski pas, kjer so srednje strmi do strmi nakloni (od 10 ° do 40 °) na nadmorski višini med 100 in 700 m. V matični podlagi so zmerno kisloljubne nekarbonatne kamnine, na katerih se razvijejo srednje globoke do globoke, zelo distrične prsti, na manjših območjih so tudi evtične rjave prsti. Rodovitna rastišča se pojavljajo v osojnih legah, v širokih

jarkih, kjer je vse leto na razpolago dovolj vode. Na bolj strmih pobočjih in prisojah, kjer je razpoložljive vode manj, so rastišča manj rodovitna (Marinček s sodelavci 2006).

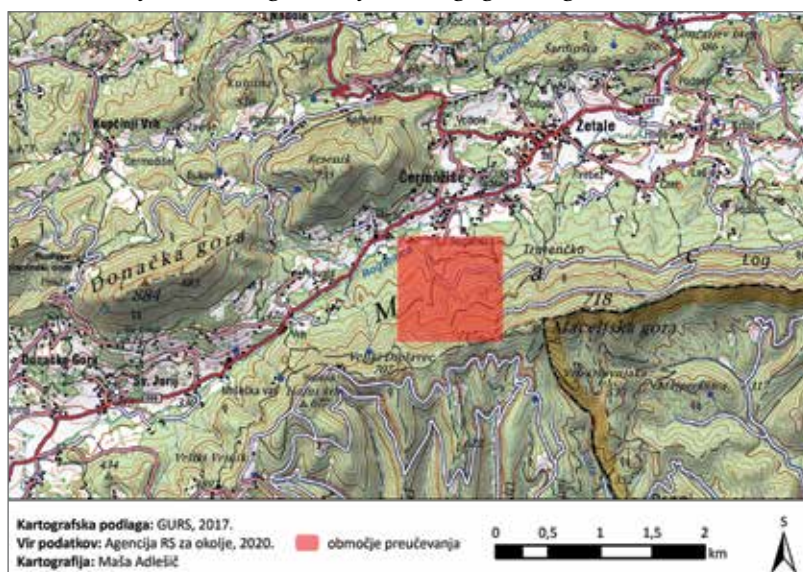
Izbrano območje za analiziranje gozdne združbe bukovega gozda z gradnom je v severovzhodnem delu Slovenije, južno od Ptuja in vzhodno od Rogaške Slatine. Njegova povprečna nadmorska višina je 466 m, najvišja točka meri 716 m, najnižja pa 335 m. Z značilnim celinskim padavinskim režimom in višino letnih padavin med 800 in 1000 mm spada v subpanonsko podnebje. Povprečne aprilске temperature so enake oziroma višje kot oktobrske (Ogrin 1996). Ugotovili smo, da so nakloni na tem območju v razponu med 0 in 70,8°, povprečni naklon je 25,7°. Prevladuje severna ekspozicija površja (Digitalni model višin 2011). Večji del območja sestavlja mešanica miocenskega kremenovega peska, peščenjaka, kon-

glomerata in drobne peščene gline. V manjši meri se pojavljata aluvij (rečna naplavina) v severnem delu in južno od njega koluvij, s kraja nastanka prenesena preperina (Osnovna geološka karta SFRJ – list Rogatec 1984). S pedološke karte je razvidno, da so za to območje značilne distrične rjave prsti, v njegovem severnem delu pa prevladujejo psevdoglejene prsti (Pedološka karta Slovenije ... 2007).

Postopek določanja gostote visokega rastlinstva z izdelavo digitalnega modela krošenj

Za vsako preučevano območje je bilo treba izdelati digitalni model krošenj (DMK). Pravzaprav gre za digitalni model površja (angleško *Digital surface model*), pri katerem površje predstavljajo krošnje in vrhovi rastlinstva, pa tudi vmesni deli, kjer so laserski žarki prodrli do tal. S tem se razlikuje od digitalnega modela višin (angleško *Digital terrain model*), pri katerem površje predstavljajo točke odboja od

Slika 4: Zemljevid izbranega območja bukovega gozda z gradnom.



tal. Digitalni model krošenj dobimo torej tako, da od digitalnega modela površja odštejemo digitalni model višin. Izbrane lidarske podatke smo prevzeli v formatu GKOT v zapisu *zLas*; primerni so za neposredno analizo v programu ArcMap. Kratica GKOT pomeni »georeferenciran in klasificiran oblak točk«.

Iz izbranih podatkov smo ustvarili dva nova sloja, enega za tla in drugega za visoko vegetacijo. Za sloj tal smo izbrali točko razreda 2, za visoko vegetacijo pa 7.

Oba sloja smo analizirali ločeno. Z orodjem *LAS Point Statistic as Raster* smo ustvarili rastrski sloj in ga z orodjem *Is Null* spremenili tako, da vse točke z oznako »No Data« dobijo

vrednost 0. Prvotno rastrsko datoteko in datoteko, pridobljeno z orodjem *Is Null*, nam je pomagalo združiti orodje *Con*. Delni rezultat so samo celice z vrednostmi, večjimi od 0.

Ker smo sloja tal in visoke vegetacije analizirali ločeno, smo dobili datoteki z različnima relativnima višinama. Z orodjem *Plus* smo obe datoteki, pridobljeni z orodjem *Con*, združili. Vsem celicam smo z orodjem *Float* cele vrednosti spremenili na bolj natančno zaokrožene decimalne vrednosti in na koncu uporabili še orodje *Divide*. Datoteko visoke vegetacije iz orodja *Con* smo delili z združeno datoteko (orodji *Plus* in *Float*) in dobili končni rezultat z razponom vrednosti celic med 0,0 (brez zaznanih krošenj) in 1,0 (tam, kjer je gostota krošenj največja).

Postopek določanja gostote visokega rastlinstva s segmentacijo

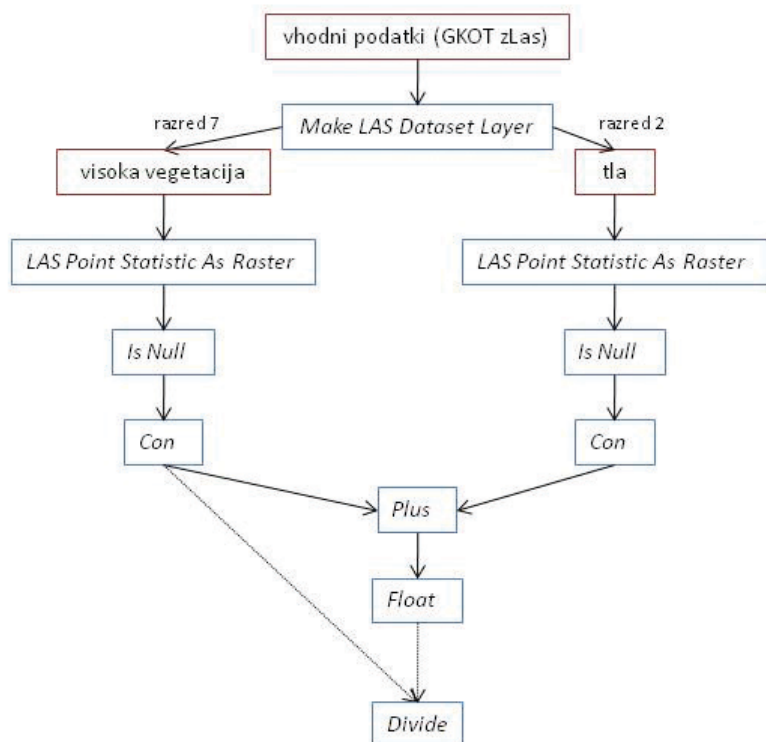
Izbrani postopek segmentacije temelji na zaznavanju kotanj, zato smo morali za uspešno izvedbo analize ustvariti inverzno obliko DMK. Segmentacija porečij (angleško *Watershed segmentation*) posnema koncept zaznavanja razvodij in porečij vodnih teles. Za določitev razvodnic oziroma v našem primeru meje med krošnjama moramo ugotoviti, na kateri višini je prag kopičenja vode v kotanji oziroma točko višine razliva. Točka razliva je točka z najnižjo nadmorsko višino, ki pa za nas nima pomembne vloge, saj nas zanimajo zgolj najnižje točke inverznega reliefa, ki predstavljajo vrhove vegetacije (Hydrology toolset 2021).

Podatke smo v projekt uvozili z orodjem *Make LAS Dataset Layer*. Nadaljnjo analizo smo za sloja tal in visoke vegetacije izvedli ločeno, po enakem postopku kot pri izdelavi digitalnega modela krošenj. Rastrska podatka smo z orodjem *Minus* odšteli enega od drugega (od visoke vegetacije odštejemo sloj tal), dobljeni vmesni rezultat pa smo z orodjem *Raster calculator* spremenili v inverzno obliko. To nam je omogočilo nadaljnjo analizo s pomočjo segmentacije porečij, ki je primarno namenjena zaznavanju kotanj. Inverzni relief smo izračunali po naslednji enačbi:

$$\text{inverzen raster} = ((\text{vhodni raster} - \text{max value}) \times (-1)) + \text{min value}$$

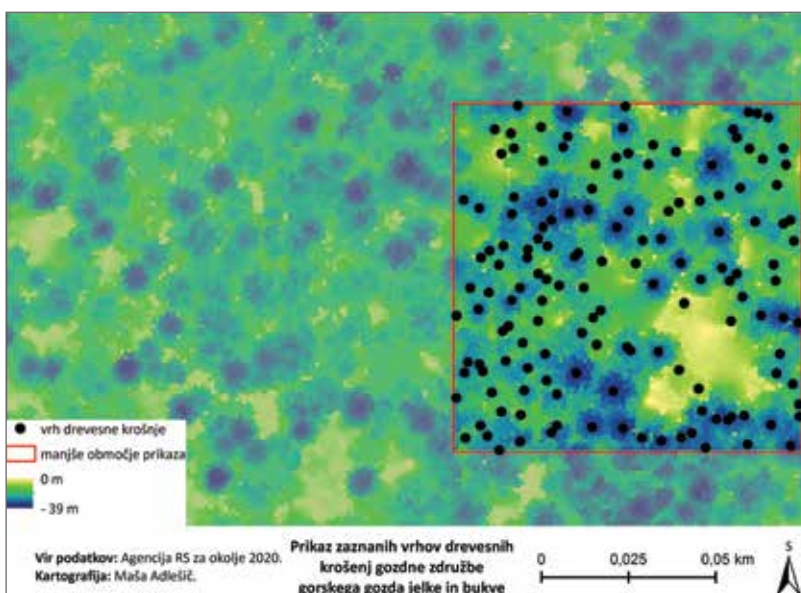
Inverznemu sloju drevesnih krošenj smo smer odtoka vode za vsako celico določili z orodjem *Flow Direction*, kar

Slika 5: Postopek določanja gostote dreves s pomočjo digitalnega modela krošenj.



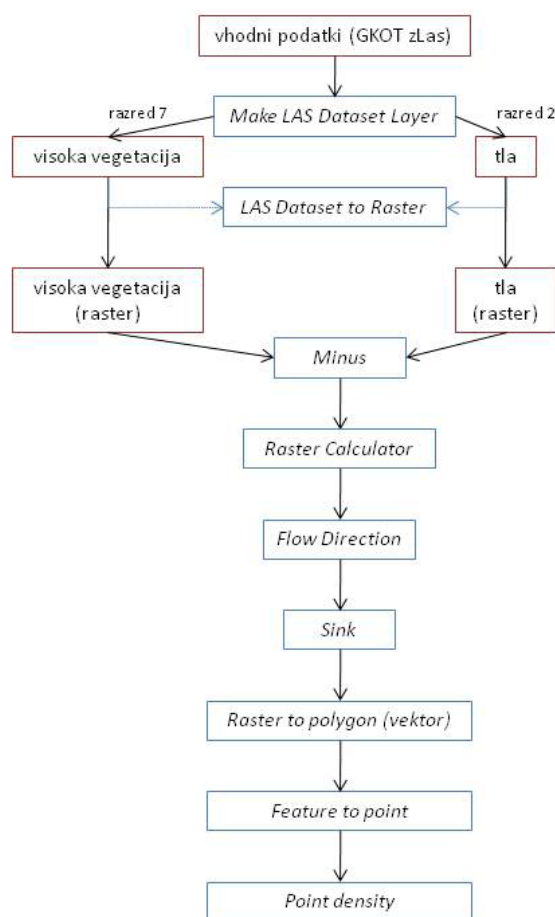
smo izvedli po metodi, ki določi smer odtoka vode tja, kjer je padec glede na sosednjo celico najbolj strm (Flow Direction, 2021).

Za konec smo uporabili še orodje *Sink* in z njim določili vse točke ponorov oziroma območja vsake krošnje. Podatke smo spremenili v vektorski zapis in z orodjem *Feature to point* vsakemu poligonu določili težiščno točko. Tako smo si olajšali štetje posameznih zaznanih krošenj. Z orodjem *Point density* smo izračunali še gostoto točk in tako pridobili primerljive rezultate dveh različnih metod.



Slika 7: Avtomatsko zaznani vrhovi krošenj posameznih dreves.

Slika 6: Postopek določanja gostote krošenj po postopku segmentiranja.



Rezultat analize je število krošenj in ne dejansko število posameznih dreves, saj v postopku zaznavamo zgolj krošnje, od katerih se pri skeniranju površja odbije določeno število laserskih žarkov. Ker vemo, da ima lahko posamezno drevo več krošenj, se v tej analizi končni rezultati ne nanašajo na število dreves. Določanje števila krošenj je odvisno od vrste dreves, starosti gozdnega sestoja ter višine in gostote poraščenosti površja s posameznimi drevesi (Novotny s sodelavci 2011).

Rezultati

Z izdelavo digitalnega modela krošenj smo določili, kolikšen delež točk laserskega skeniranja se je odbil od tal in kolikšen od vrha krošenj visoke vegetacije. Tam, kjer je vegetacijski pokrov najgostejši in se od tal ni odbila niti ena točka, so vrednosti bližje 1 (100 % odboj točk od visoke vegetacije), tam pa, kjer je površje bolj odprto in je brez sklenjene vegetacije, so vrednosti bližje 0 (0 %).

Z uporabo postopka segmentacije porečij smo ugotovili število posameznih drevesnih krošenj in s tem dobili okvirno število dreves na izbranem območju. Po postopku reklasifikacije smo rezultate obeh metod združili in dobili končni rezultat gostote visoke vegetacije na izbranih območjih.

Reklasificirali smo zemljevid gostote vegetacijskega pokrova (pridobljen s pomočjo prve metode, računanja digitalnega modela krošenj). Vrednosti v razponu med 0 in 1 smo razvrstili v 2 razreda: v 1. razred z vrednostmi od 0 do X in 2. razred z vrednostmi od X do 1. Vrednost X smo dobili po naslednji enačbi:

$$X = \text{povprečna vrednost} - \text{standardni odklon}$$

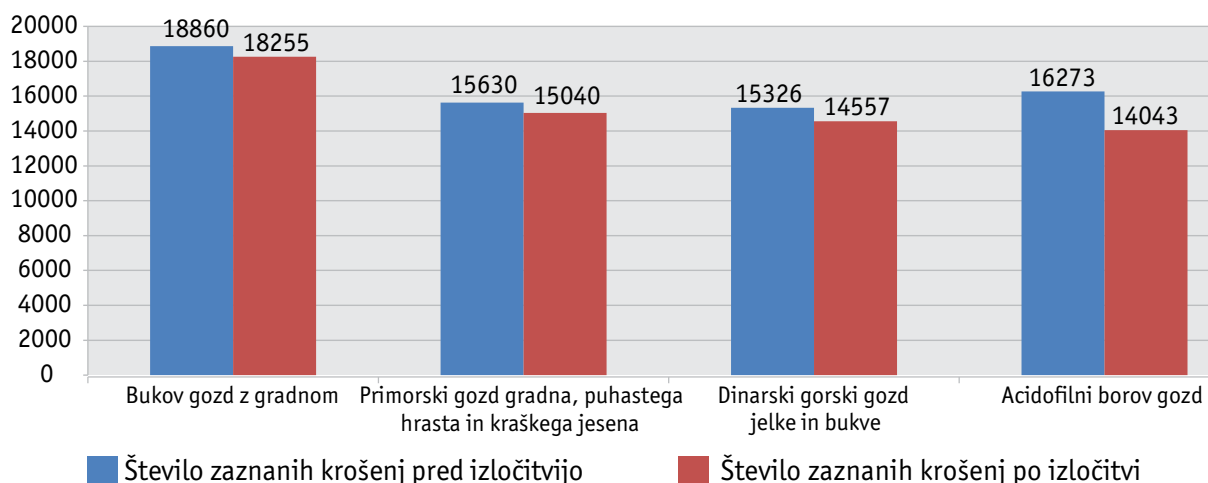
Vrednost X izraža mejo zadostne gostote odbitih točk od vegetacije, da za te lokacije lahko z gotovostjo zatrdimo, da so poraščene z rastli-

njem. Vrednosti, večje od X, smo upoštevali pri rezultatih, vrednosti, manjše od X, pa izločili. Pridobljen rastrski sloj smo spremenili v vektorsko obliko, ne da bi pri spremembi poenostavili poligonske oblike. Na koncu smo dobljeni sloj uporabili kot osnovo za orodje *Clip*, kjer smo na območjih, kjer je gostota vegetacijskega pokrova premajhna, izločili vse predhodno zaznane drevesne krošnje.

V grafikonu na sliki 4 so prikazane vrednosti, koliko drevesnih krošenj smo zaznali znotraj posamezne gozdne združbe. Pred izločitvijo neustreznih delov s premajhno gostoto vegetacijskega pokrova, da bi jih lahko opredelili kot območja z visoko vegetacijo, smo največje število drevesnih krošenj zaznali pri gozdni združbi bukovega gozda z gradnom, najmanjše pa pri gozdni združbi dinarskega gorskega gozda jelke in bukve. Po izločitvi neustreznih predelov smo ugotavljali, pri kateri gozdni združbi smo

s tem postopkom odstranili največ zaznanih drevesnih krošenj. Največ smo jih izločili pri gozdni združbi kisloljubnega borovega gozda, najmanj pa pri združbi primorskega gozda gradna, puhastega hrasta in kraškega jesena. Na to vpliva tudi velikost izločenih zemljišč, ki so predstavljene v preglednici. S tem postopkom so se površine posameznih preučevanih območij neenakomerno zmanjšale in tako poligoni za ugotavljanje razlik v gostoti visoke vegetacije niso več popolnoma primerljivi. Največje, 88,575 ha prostrano območje preučevanja je ostalo pri gozdni združbi bukovega gozda z gradnom. Sledijo mu primorski gozd gradna, puhastega hrasta in kraškega jesena s 88,555 ha velikim območjem, gorski gozd jelke in bukve (88,370 ha) ter kisloljubni borov gozd (86,715 ha). Površina izločenih območij variira predvsem zaradi svojskosti izbora posameznih območij, saj se pri nekaterih pojavlja več gozdnih jas, gozdnih cest in ostalih odprtih površin.

Slika 8: Število zaznanih drevesnih krošenj preučevanih gozdnih združb pred izločitvijo območij s premajhno gostoto vegetacijskega pokrova in po njej.



Na koncu smo izračunali še število drevesnih krošenj na hektaru posamezne gozdne združbe. V izračunu smo uporabili končna števila zaznanih krošenj in samo preučevano površino. Rezultat

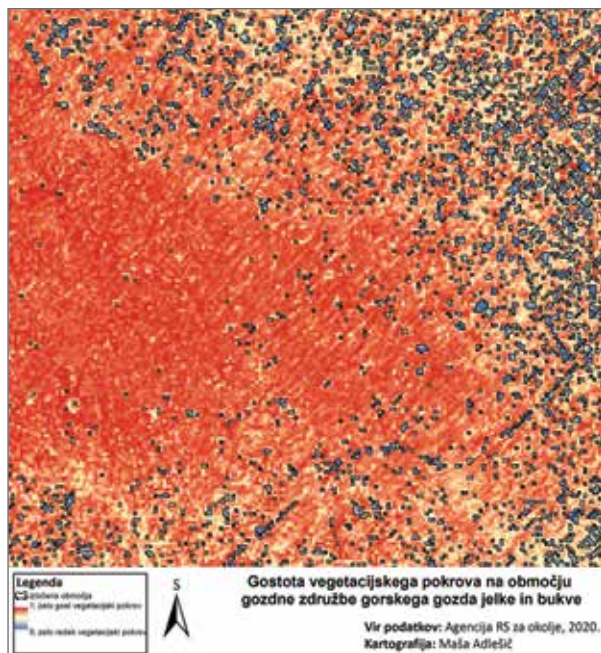
pove, da je največ dreves na hektaru na območju z gozdno združbo bukovega gozda z gradnom (206,1 krošnje/ha). Ostale tri vrednosti so med seboj dokaj podobne: s 161,9 krošnje/ha je

na zadnjem mestu borov gozd, 164,7 krošnje/ha smo ugotovili pri gorskem gozdu jelke in bukve ter 169,8 krošnje/ha pri primorskem gozdu gradna, puhastega hrasta in kraškega jesena.

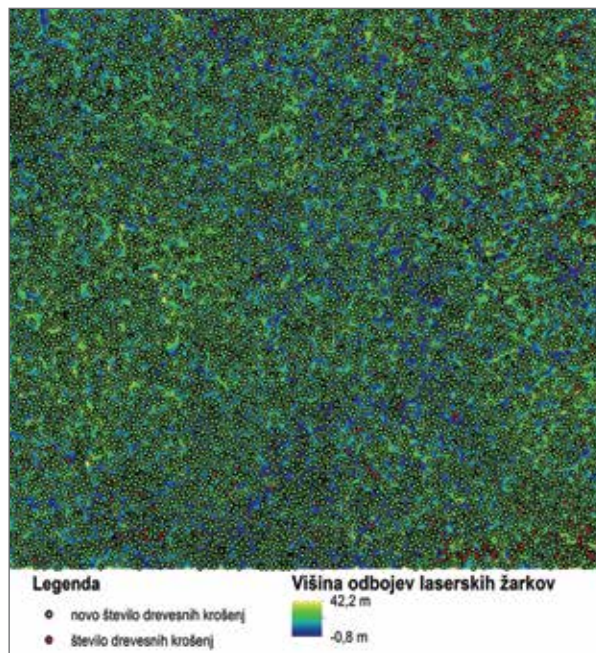
Preglednica 1: Velikost preučevanih območij po izločitvi neustreznih območij ter število zaznanih krošenj.

	velikost preučevanega območja (ha)	število zaznanih krošenj	število krošenj na enem hektarju
bukov gozd z gradnom	88.575	18.255	206,10
primorski gozd gradna, puhastega hrasta in kraškega jesena	88.555	15.040	169,84
dinarski gorski gozd jelke in bukve	88.370	14.557	164,73
kisloljubni borov gozd	86.715	14.043	161,94

Gozdna združba dinarskega gorskega gozda jelke in bukve

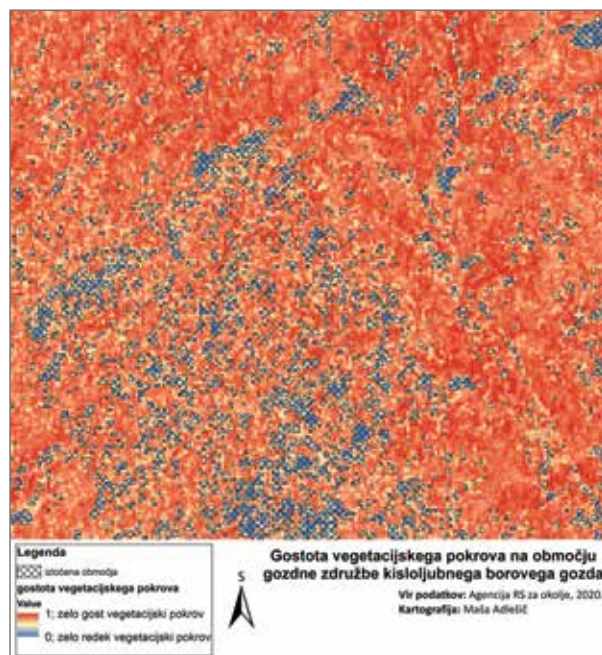


Slika 9: Gostota vegetacijskega pokrova na območju gozdne združbe dinarskega gorskega gozda jelke in bukve.

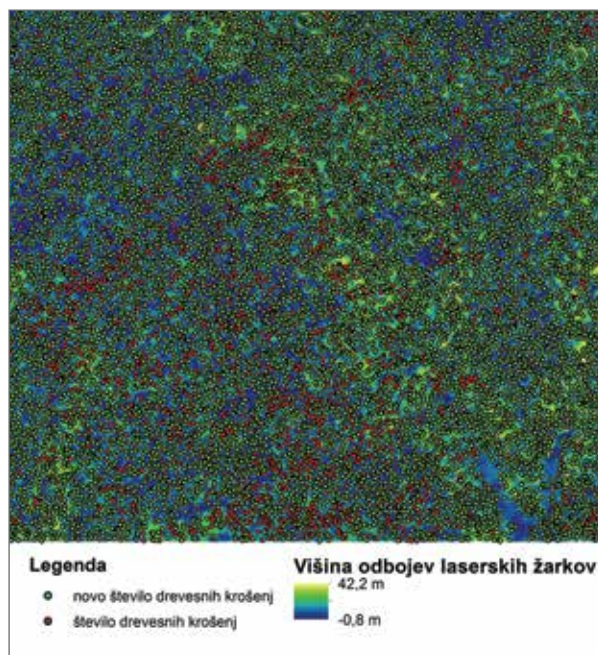


Slika 10: Zemljevid števila zaznanih drevesnih krošenj prej in pozneje pri dinarskem gorskem gozdu.

Gozdna združba kisloljubnega borovega gozda

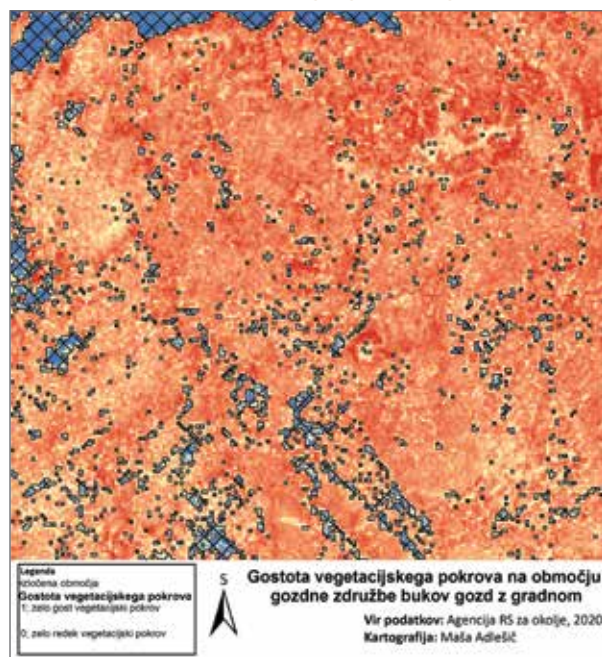


Slika 11: Gostota vegetacijskega pokrova na območju kisloljubnega borovega gozda.

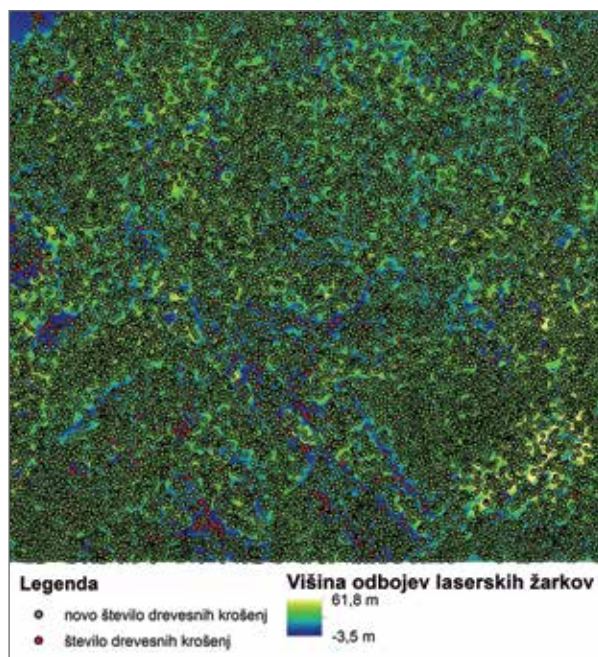


Slika 12: Zemljevid števila zaznanih drevesnih krošenj prej in pozneje pri borovem gozdu.

Gozdna združba bukovega gozda z gradnom

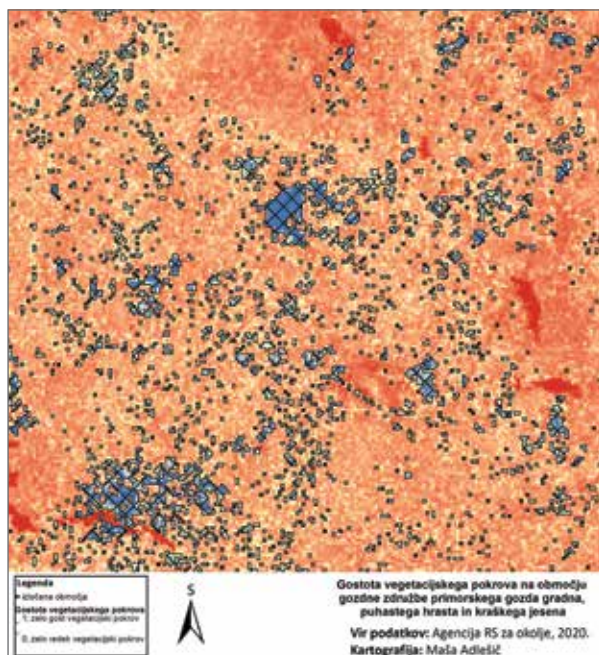


Slika 13: Gostota vegetacijskega pokrova na območju gozdne združbe bukovega gozda z gradnom.

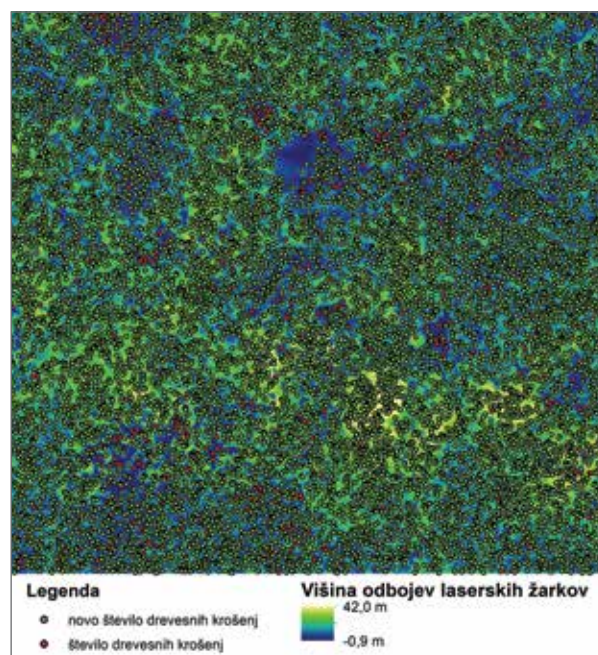


Slika 14: Zemljevid števila zaznanih drevesnih krošenj prej in pozneje pri bukovem gozdu z gradnom.

Gozdna združba primorskega gozda gradna, puhastega hrasta in kraškega jesena



Slika 15: Gostota vegetacijskega pokrova na območju gozdne združbe primorskega gozda gradna, puhastega hrasta in kraškega jesena.



Slika 16: Zemljevid števila zaznanih drevesnih krošenj prej in pozneje pri primorskem gozdu.

Sklep

Gostoto visoke vegetacije lahko zaznavamo na več načinov. V članku je predstavljeno zaznavanje gostote visoke vegetacije s pomočjo lidarskih podatkov in uporabo računalniške programske opreme ArcMap 10.8.1. Izbrali smo štiri različne gozdne združbe, za vsako določili reprezentativno območje in vsako območje posebej analizirali. Pri tem smo izbrali dve različni metodi, ki smo ju na koncu medsebojno primerjali, da smo dobili končne rezultate.

Gozdne združbe se med seboj razlikujejo, najdemo jih v različnih slovenskih pokrajinah. Za svoje delo smo izbrali dve metodi, ki temeljita na obdelavi lidarskih podatkov. Najprej smo z izdelavo digitalnega modela

krošenj ugotovili, kje je meja med gozdnimi zemljišči in zemljišči, kjer je gostota vegetacije premajhna, da bi ta območja lahko označili za gozdnata. Z drugo metodo, segmentacijo porečij, smo ugotovili, kolikšno število drevesnih krošenj je na posameznem preučevanem območju. Pri digitalnem modelu krošenj gre za digitalni model površja, kjer površje predstavljajo drevesne krošnje in tam, kjer laserski žarki prodrejo do tal, tudi tla.

Za zaznavanje gostote visoke vegetacije lahko torej uporabimo segmentacijo porečij, ki je primarno namenjena modeliranju vodnih tokov, predvsem za določanje razvodnic površinskih voda na podlagi digitalnih modelov višin. Digitalni model krošenj smo »obrnili« in pridobili inverzen model

površja, iz katerega smo izračunali število drevesnih krošenj na preučevanih območjih.

Pri delu nam je največ težav povzročalo iskanje ustreznih območij gozdnih združb, da bi bila ta čim bolj reprezentativna za celotno gozdno združbo. Pri tem smo morali upoštevati različne dejavnike, kot so na primer čim večja poraslost območja z gozdom, čim manjši nakloni ter ustrezni vhodni podatki brez večjih nepravilnosti. Prav to se je pojavilo pri lidarskih podatkih gozdne združbe kisloljubnega borovega gozda, a smo težavo rešili z izborom novega območja.

Največja pomanjkljivost je zagotovo pomanjkanje terenskega dela. Z njim bi lahko preverili dobljene rezultate in

tako potrdili natančnost izbranih metod. Za iskanje razlik v gostoti vegetacije oziroma medsebojno primerjavo izbranih območij je pomembno tudi, da je bolje izbrati več različnih lokacij in medsebojno primerjati različne gostote znotraj določene gozdne združbe. Na ta način ne iščemo razlik med posameznimi gozdnimi združbami,

saj na rezultate vpliva preveč različnih dejavnikov, da bi lahko bili uspešni.

Možnosti nadaljnjih raziskav z uporabljenima metodama so obetavne. Primerni sta predvsem za pridobivanje podatkov o splošni višini visoke vegetacije, ugotavljanje okvirnega števila posameznih dreves oziroma

njihovih krošenj, dodatne analize pa bi lahko pokazale tudi oceno lesne zaloge, hitrost pomlajevanja gozda, sklenjenost vegetacijskega pokrova ter s tem hitrost infiltracije padavin in podobno. Ključno pri vsem tem pa je, da bi bilo kabinetsno pridobljene ugotovitve treba dodatno preveriti s terenskim delom. 

Viri in literatura

1. ArcMap. Flow Direction. Medmrežje: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/flow-direction.htm> (10. 8. 2021).
2. ArcMap. Hydrology toolset. Medmrežje: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-hydrology-tools.htm> (10. 8. 2021).
3. ARSO (Agencija Republike Slovenije za okolje). Lidar. Medmrežje: http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso (29. 7. 2021).
4. Čarni, A. 2019: Pregled gozdnih združb Slovenije. Maribor.
5. Dakskobler, I., Kutnar, L., Zupančič, M. 2014: Toploljubni listnati gozdovi v Sloveniji. Ljubljana.
6. Digitalni model višin Slovenije 5x5 Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 2011.
7. GIS (Gozdarski inštitut Slovenije). Daljinsko zaznavanje gozdov z lidarjem. Medmrežje: <http://www.gozdis.si/raziskovalna-dejavnost/raziskovalna-infrastruktura-gis/daljinsko-zaznavanje-gozdov-z-lidarjem/> (3. 10. 2020).
8. Kobal, M., Triplat, M., Krajnc, N. 2014: Pregled uporabe zračnega laserskega skeniranja površja v gozdarstvu. Gozdarski vestnik 72-5/6.
9. Kobler, A. 2011: Nove metode za obdelavo podatkov letalskega laserskega skenerja za monitoring gozdnih ekosistemov. Doktorska disertacija, Oddelek za geodezijo Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
10. Marinček, L., Čarni, A. 2002: Vegetacijska karta gozdnih združb Slovenije v merilu 1:400.000. Biološki inštitut Jovana Hadžija ZRC SAZU. Ljubljana.
11. Marinček, L., Čarni, A., Jarnjak, M., Košir, P., Marinšek, A., Šilc, U., Zelnik, I. 2006: Vegetacijska karta gozdnih združb v merilu 1 : 50.000. Biološki inštitut Jovana Hadžija ZRC SAZU. Ljubljana.
12. Novotny, J., Hanuš, J., Lukeš, P., Kaplan, V. 2011: Individual tree crowns delineation using local maxima approach and seeded region growing technique. GIS Ostrava. Ostrava.
13. Ogrin, D. 1996: Podnebni tipi v Sloveniji. Geografski vestnik 68.
14. Osnovna geološka karta SFRJ, list Rogatec. Zvezni geološki zavod. Beograd, 1984.
15. Osnovna geološka karta SFRJ, list Gorica. Zvezni geološki zavod. Beograd, 1968.
16. Osnovna geološka karta SFRJ, list Ilirska Bistrica. Zvezni geološki zavod. Beograd, 1972.
17. Osnovna geološka karta SFRJ, list Kranj. Zvezni geološki zavod. Beograd, 1974.
18. Oštir, K. 2006: Daljinsko zaznavanje. Ljubljana. Medmrežje: <https://iaps.zrc-sazu.si/sites/default/files/9616568728.pdf> (27. 10. 2020).
19. Pedološka karta Slovenije v merilu 1:25 000. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Ljubljana, 2007.
20. Pirotti, F., Kobal, M., Roussel, J. R. 2017: A comparison of tree segmentation methods using very high density airborne laser scanner data. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-2/W7.
21. Repe, B. 2010: Prepoznavanje osnovnih prsti slovenske klasifikacije. Dela 34.
22. Shanley, C. S., Eacker, D. R., Reynolds, C. P., Bennetsen B. M. B., Gilbert, S. L. 2021: Using LiDAR and Random Forest to improve deer habitat models in a managed forest landscape. Forest Ecology and Management 499.