

UPORABA LIDARSKIH PODATKOV ZA KLASIFIKACIJO POKROVNOSTI

Andreja Švab Lenarčič in Krištof Oštir

PROSTOR, KRAJ, ČAS



PROSTOR, KRAJ, ČAS 6

UPORABA LIDARSKIH PODATKOV ZA KLASIFIKACIJO POKROVNOSTI

Andreja Švab Lenarčič in Krištof Oštir

Uredila: Žiga Kokalj in Nataša Gregorič Bon

Izdajatelj: Inštitut za antropološke in prostorske študije,
ZRC SAZU

Za izdajatelja: Ivan Šprajc

Založnik: Založba ZRC

Za založnika: Oto Luthar

CIP – Kataložni zapis o publikaciji

Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

910.2:528.8(0.034.2)

528.8.044.6(0.034.2)

ŠVAB LENARČIČ, Andreja

Uporaba lidarskih podatkov za klasifikacijo pokrovnosti [Elektronski vir] / Andreja Švab Lenarčič in Krištof Oštir. - El. knjiga. - Ljubljana : Založba ZRC, 2015. - (Prostor, kraj, čas, ISSN 2335-4208 ; 6)

ISBN 978-961-254-755-4 (pdf)

1. OŠTIR, Krištof

277216000

Način dostopa (URL): <http://zalozba.zrc-sazu.si/p/P06>

Vse pravice pridržane. Noben del te izdaje ne sme biti reproduciran, shranjen ali prepisan v kateri koli obliki oz. na kateri koli način, bodisi elektronsko, mehansko, s fotokopiranjem, snemanjem ali kako drugače, brez predhodnega pisnega dovoljenja lastnikov avtorskih pravic .

© 2015, avtorja, Založba ZRC, ZRC SAZU.

PROSTOR, KRAJ, ČAS 6

UPORABA LIDARSKIH PODATKOV ZA KLASIFIKACIJO POKROVNOSTI

Andreja Švab Lenarčič in Krištof Oštir

Založba ZRC

Ljubljana, 2015

Izвлеček

Knjiga opisuje postopek izdelave karte pokrovnosti iz podatkov laserskega skeniranja. Za izdelavo karte, ki bo uporabna na krajevni ravni, smo se odločili, ker večina kart pokrovnosti v Sloveniji zadošča zgolj za analize na ravni države oz. statistične regije. Pri tem smo kot vir uporabili različne podatke lidarskega snemanja, kot so višina, intenziteta in standardni odklon višine. Potrdili smo spoznanja drugih raziskovalcev, da je intenziteta opazovanega objekta odvisna od vrste dejavnikov in zato težavna za interpretacijo. Po njeni preučitvi in nekaterih izboljšavah smo kljub vsemu zelo dobro razločili kategorije pokrovnosti trava, njive in asfalt, za razločitev dreves in stavb pa smo morali uporabiti še standardni odklon višin.

Na osnovi samostojnih lidarskih podatkov smo uspeli izdelati kakovostno karto pokrovnosti krajevnega območja, ki loči pet osnovnih kategorij, po potrebi pa bi jih lahko ločili tudi več. Ko je postopek izdelave karte znan, lahko karto izdelamo povsem samodejno, z minimalnim naporom in stroški. Pri tem dobimo karto zelo dobre položajne in tematske natančnosti.

Prednosti tako izdelanih kart so uporabnost za krajevne študije, hiter in cenovno ugoden način pridobitve sloja, časovna usklajenost podatkov, objektivna določitev pokrovnosti, možnost uporabe v geografskih informacijskih sistemih, možnost prilagoditve sloja za specifične študije, možnost pogostega osveževanja sloja ter možnost prikaza karte v trirazsežnem prostoru.

KLJUČNE BESEDE

pokrovnost, lidar, intenziteta

Abstract

While the majority of land cover maps of Slovenia are intended for analyses at the level of the whole country or a statistical region, the book discusses how to create a map that could be used for local projects, by processing various lidar data, such as height, intensity and standard deviation of height. Observations of several researchers have been confirmed: the intensity of the observed object depends on many factors and is therefore not easy to interpret. The categories of grass, field and asphalt could nevertheless be classified distinctively by carefully studying the problem and implementing various improvements. The use of intensity alone, however, could not extract trees and buildings, so standard deviation of height was calculated from the lidar data, which has actually proved very successful.

On the basis of independent lidar data, a three dimensional high quality land cover map of local area has been successfully generated. It distinguishes five basic categories (trees, buildings, asphalt, grass, field), although more detailed sub-categories could be introduced if necessary. Once the methodology is determined, products can be generated fully automatically, with minimal effort and costs. What is even more important, the resulting maps are of very high positional and thematic accuracy.

Advantages of such maps are their usefulness for local studies, prompt and cost-friendly method of layer acquisition, time adjustment of data, objective land cover identification, direct GIS usability, possibility to adjust the layer for specific studies, simple frequent updating, and the possibility of a three dimensional display.

KEY WORDS

land cover, lidar, intensity

Vsebina

1	Uvod.....	8
2	Primerjava različnih kart pokrovnosti in rabe tal v Sloveniji	11
3	Zračno lasersko skeniranje	13
3.1	Osnoven postopek zračnega laserskega skeniranja.....	13
3.2	Interakcija laserskega pulza s površjem.....	14
3.3	Zajemanje odbojev.....	15
3.4	Obdelava podatkov.....	17
3.4.1	Filtriranje	18
3.4.2	Rastriranje.....	20
3.4.3	Klasifikacija	21
3.4.4	Modeliranje	21
3.5	Natančnost trirazsežnih koordinat laserskih točk	22
3.6	Uporaba ZLS v praksi	23
4	Intenziteta odboja laserskega žarka.....	25
4.1	Opredelitev intenzitete odbitega laserskega žarka	25
4.2	Vrednosti merjene intenzitete.....	26
4.3	Prečni prerez odbitega laserskega žarka.....	28
4.4	Podoba intenzitete podatkov ZLS.....	30
4.5	Uporaba intenzitete odboja	34
5	Uporabljeni podatki.....	38
6	Klasifikacija pokrovnosti.....	45
6.1	Začetna klasifikacija.....	45
6.2	Razdelitev podatkov na višinske pasove.....	47
6.3	Uvedba standardnega odklona (SO)	54
6.4	Uvedba funkcij združi in presej	63
6.5	Uporaba klasifikacije lidarskih podatkov pri sencah BDOF1	68
6.6	Uvedba načinov izboljšav, ugotovljenih s podrobnejšo analizo lidarskih podatkov	69
6.6.1	Vpliv višine snemanja na intenziteto.....	70
6.6.2	Vpliv reda odboja na intenziteto	75

6.7	Klasifikacija vode	77
6.8	Omejitve klasifikacije lidarskih podatkov zaradi strukture pokrovnosti	80
6.9	Uporabnost klasifikacije lidarskih podatkov v praksi	82
7	Zaključek.....	86
	Viri in literatura	91
	Priloge.....	99
	Priloga A: Osnovne značilnosti najpomembnejših kart rabe oziroma pokrovnosti tal za območje celotne Slovenije	99

1 Uvod

Že več stoletij je znano, da moramo biti za uspešno načrtovanje in gospodarjenje z zemljišči seznanjeni z njihovo pokrovnostjo in rabo. Prva je opazovan fizični pokrov na površju Zemlje, druga pa socialno ekonomska funkcija površine Zemlje in predstavlja funkcionalno koriščenje prsti za poljedelske in industrijske namene ter za gradnjo stanovanj. Raba tal in pokrovnost sta bili zanimivi že fevdalcem, ko so želeli dobiti čim višje dajatve, zelo aktualni pa sta tudi danes, ko npr. načrtujemo prostorske posege ter spremljamo posledice globalnega segrevanja. Ker večina odločitev temelji na vizualni predstavi, so ljudje od nekdaj želeli pokrovnost in rabo tal vizualizirati, jih prikazati na kartah. Prve karte so bile za današnji čas sicer skromne, z napredkom tehnologije pa so se izboljševale. Že od začetka so dobro služile namenu, pravi razcvet pa je povzročila tehnologija geografskih informacijskih sistemov (GIS), ki je uporabnost teh kart v kombinaciji z drugimi kartami eksponentno povečala. Različni nameni uporabe so prinesli izdelavo mnogovrstnih kart iste tematike. Za celotno območje Slovenije obstaja nekaj kart rabe tal oz. pokrovnosti v digitalni obliki. Narejene so bile na podlagi različnih virov in z različnimi postopki. Zaradi različnih namenov se razlikujejo njihova kakovost, podrobnost ter opredelitve in število kategorij. Pomembna razlika je v času, ki je bil potreben za njihovo izdelavo, v številu ljudi, ki so sloj izdelovali, in potrebnih finančnih sredstvih. Razlikujejo se tudi formati zapisa, saj so nekatere karte v rastrskem in druge v vektorskem zapisu.

Za pridobitev predstave o kartah pokrovnosti, ki so na voljo v Sloveniji, v začetnem poglavju knjige predstavljamo osnovne značilnosti najpomembnejših kart s to tematiko. Razvidno je, da se karte med seboj razlikujejo in da večinoma zadoščajo zgolj analizam na ravni države oz. statistične regije. Ker poleg državne uporabnosti pokrovnost vse bolj zavzema mesto kot pomembna osnova za razne krajevne projekte, je bil cilj naše raziskave izdelati karto pokrovnosti, ki bi bila primerna tudi za tovrstne projekte (zahteva po kar se da majhni enoti kartiranja), njena izdelava bi bila

hitra in ekonomsko sprejemljiva, postopek izdelave pa odprt za možnost prilagoditve sloja za specifične študije (prilagoditev razredov, velikosti najmanjše enote). Poleg hitre izdelave karte smo želeli uporabiti vir podatkov, ki ga brez večjih težav znova pridobimo (zaradi možnosti pogostih časovnih primerjav). Poleg omenjenih lastnosti mora biti karta uporabna v sistemih GIS ter združljiva z drugimi prostorskimi podatki. Osnovni vir, ki bi lahko zadostil takšni karti pokrovnosti, so barvni digitalni ortofoto načrti merila 1:1000 (v nadaljevanju BDOF1). Poleg teh danes vse večji potencial kažejo prostorski podatki lidarskega snemanja.

Izboljšanje naprav globalnega pozicioniranja in inercialnih navigacijskih sistemov, ki smo mu bili priča na prelomu tisočletja, je pospešilo razvoj lidarskega snemanja oziroma zračnega laserskega skeniranja (ZLS). Izraz lidar je okrajšava za Light Detection And Ranging oziroma svetlobno zaznavanje in merjenje razdalj. Osnovni princip tehnologije je, da na podlagi izhodiščnega položaja, smeri in merjenja časa potovanja laserskih pulzov do opazovanih objektov, določimo podatke o trirazsežnem položaju objektov. Prednosti ZLS pred fotogrametrijo so večja gostota zajetih točk, boljša višinska natančnost, zmožnost prodiranja v rastje in s tem zajem točk na tleh pod njim itd. Meritve ZLS zaradi uporabe aktivnega senzorja niso odvisne od časa zajema, t.j. od dnevne svetlobe, kot tudi niso obremenjene s sencami. Prav tako na zajem ne vplivajo vremenske razmere – oblaki. Lidar s svojimi pridobljenimi podatki o višinah trenutno predstavlja najbolj natančno tehniko za izdelavo digitalnih modelov višin, vse več pa se uporablja tudi v geologiji, gozdarstvu, arheologiji, mobilnih telekomunikacijah, atmosferski fiziki in drugih panogah.

Poleg prostorske lokacije opazovanega objekta lidar beleži tudi intenziteto odbitega signala od tega objekta. Intenziteta opazovanega objekta sicer nudi dodano vrednost podatku o trirazsežnem položaju (služi predvsem kot vizualni prikaz opazovanih objektov), vendar je odvisna od vrste dejavnikov in je težavna za interpretacijo. Zato se je številni uporabniki ZLS v interpretaciji izogibajo ali pa jo uporabljajo pavšalno, kar uporabniku ne more nuditi ustrezne pomoči. Zanjih nekaj let zato mnogi znanstveniki testirajo in analizirajo vrednosti intenzitete, da bi določili vrste in vplive motečih faktorjev in zapisali najprimernejši model odbojnosti, ki bi omogočal vsaj takšno kalibracijo surovih podatkov intenzitete, da bi le-ti nudili

zadovoljivo uporabo. Odkrili so že nekaj tehnik za osnovno izboljšavo intenzitete, ki je po popravkih, poleg lažje prostorske predstave o izmerjenih točkah, nudila precejšnjo pomoč tudi pri različnih interpretacijah podatkov (Hu idr. 2004; Song idr. 2002; Donoghue idr. 2007). Če ne kot samostojni podatek, pa vsaj v kombinaciji z drugimi podatki, ne nujno lidarskimi (Brenner idr. 2002; Lutz idr. 2003; Tao in Yasuoka 2001).

Ker je uporaba intenzitete zelo omejena, je bil namen naše raziskave dobro preučiti lastnosti intenzitete lidarskih odbojev ter določiti nadaljnje možnosti njene uporabe v interpretaciji podatkov.

Osnovni namen raziskave je pridobiti podrobno karto pokrovnosti, izdelano na osnovi lidarskih podatkov in BDOF1, samostojno in v njunih medsebojnih kombinacijah, pri čemer bi poleg intenzitete odboja uporabili tudi druge lidarske podatke. Zaradi želje po hitri pridobitvi karte, čim manjšemu številu potrebnih interpretatorjev ter veliki odprtosti karte za prilagoditev specifičnim študijam, smo za izdelavo karte uporabili kar se da samodejen postopek.

V knjigi najprej navajamo primerjavo različnih kart pokrovnosti in rabe tal v Sloveniji. Temu sledi opis postopka zračnega laserskega skeniranja ter lastnosti lidarskih podatkov, zlasti intenzitete. Osrednji del knjige začnemo z opisom uporabljenih podatkov ter po korakih nadaljujemo z opisom postopka klasifikacije pokrovnosti in njenih značilnosti.

2 Primerjava različnih kart pokrovnosti in rabe tal v Sloveniji

Namen primerjave je na enem mestu predstaviti osnovne značilnosti najpomembnejših kart rabe¹ oz. pokrovnosti² tal za območje celotne Slovenije. Takšen nabor podatkov omogoča lažjo izbiro ustrezne karte za določen namen. Cilj primerjave je bil preučiti ustrezno literaturo in nazorno opisati lastnosti vsake karte ter omogočiti njihovo neposredno primerjavo. Preučili smo Zemljiški kataster, karto Dejanske rabe zemljišč, Zbirko dejanske rabe zemljišč, karto CORINE, Statistični GIS pokrovnosti tal in Karto pokrovnosti ZRC SAZU. Njihove podrobne lastnosti, kot npr. postopek izdelave, kakovost in uporabnost, so naštetje v prilogi A, v nadaljevanju pa podajamo kratko primerjavo.

Naštete karte pokrovnosti se med seboj močno razlikujejo. Glavne razlike so v podrobnosti (velikosti enote) zajema, vrstah pokrovnosti, vezanosti na parcele, ažurnosti, položajni in tematski natančnosti, zanesljivosti, možnosti uporabe v GIS, časovni primerljivosti, primerljivosti z drugimi bazami, hitrosti in ceni izvedbe idr. Vse te razlike so logična posledica namena uporabe in na tej osnovi temelječih preiščeno določenih postopkov izdelave. Tako vsaka karta bolj ali manj uspešno služi svojemu namenu.

Izdelavo večine kart (vseh razen karte ZRC SAZU) predpisuje zakonodaja, saj služijo pomembnim analizam in raziskavam na območju države, statistične regije ali občine. Postopek njihove izdelave je natančno določen in zaprt za prilagoditve. Poleg uporabnosti na državni ravni pokrovnost vse bolj zavzema

¹ Raba tal (angl. *land use*) je namen, za katerega ljudje izkoriščajo neko zemljišče, s poudarkom na njegovi funkcijski vlogi v ekonomskih aktivnostih, na primer industrija, rekreativne površine idr. Je abstraktna in je včasih ne moremo objektivno določiti niti s podrobnim ogledom (Oštir 2006).

² Pokrovnost (angl. *land cover*) je konkretna stvarnost, ki pokriva površje Zemlje, in jo lahko neposredno opazujemo, na primer gozd ali travnik (Campbell 1996).

mesto kot pomembna osnova za krajevne projekte, tudi v privatni sferi. V tem primeru mora izdelava karte temeljiti na povsem drugačnem postopku od večine zgoraj naštetih kart. Karta mora biti v prvi vrsti primerna za čim manjšo osnovno enoto pokrovnosti, njena izdelava mora biti hitra in ekonomsko sprejemljiva, postopek izdelave pa odprt za možnost prilagoditve sloja za specifične študije (prilagoditev razredov, velikosti najmanjše enote). Za kratkoročne časovne primerjave je poleg hitre izdelave karte treba zagotoviti tudi vir podatkov, ki ga brez večjih težav znova pridobimo. Poleg omenjenih lastnosti mora biti karta uporabna v sistemih GIS ter združljiva z drugimi prostorskimi podatki.

Osnovni vir, ki bi lahko zadostil takšni karti pokrovnosti, so barvni digitalni ortofoto načrti merila 1:1000 (v nadaljevanju BDOF1). Poleg teh pa danes vse večji potencial kažejo prostorski podatki lidarskega snemanja, zato smo jih uporabili kot vir za določitev pokrovnosti. Samostojno in v povezavi z BDOF1.

3 Zračno lasersko skeniranje

Zračno lasersko skeniranje (ZLS) je hitro razvijajoč se postopek daljinskega zaznavanja, s katerim pridobivamo trirazsežne informacije o zemeljskem površju in objektih na njem.

3.1 Osnoven postopek zračnega laserskega skeniranja

Za zajem podatkov se uporablja aktivni senzor tj. laserski skener (LS), ki je nameščen v dno nosila tj. helikopterja ali letala. Laserski vir oddaja lasersko svetlobo proti napravi za odklon žarkov (skener, angl. *scanner*), od katere se odbije in usmeri proti tlom pod nosilcem. Glede na tip skenerja se na tleh zariše značilen vzorec skeniranja prečno na smer leta. Zaradi različne geometrije znotraj pasu snemanja, ustavljanja in pospeševanja na robovih pasu, so lahko točke razporejene zelo nepravilno, zato pri lidarju ne govorimo o značilnih razdaljah, ampak le o gostoti točk na kvadratni meter.

Ko se valovanje na tleh (največkrat) difuzno odbije in en del vrne nazaj v smeri sensorja, lahko detektor LS zazna odboj in registrira čas potovanja žarka. Posredno preko časa potovanja laserske svetlobe (angl. *round trip travel time*) se meri dvojno razdaljo od detektorja do tal (tarče, na kateri se je žarek odbil). Hkrati se dodatno zabeleži kot odklona žarka na skenerju. Premikanje nosilca sistema v smeri leta pa omogoča zajem točkovnih podatkov v prostoru.

Za določitev tridimenzionalnih koordinat zajetih lidarskih točk v referenčnem koordinatnem sistemu pritrjenem na zemljo moramo poznati položaj in orientacijo LS v trenutku oddaje vsakega laserskega pulza. Položaj je določen s simultanimi meritvami diferencialnega kinematičnega sistema za globalno pozicioniranje (DGPS, angl. *differential global positioning system*), orientacija pa z meritvami inercialnega navigacijskega sistema (INS, angl. *inertial navigation system*), ki beleži tri kote zasuka nosilca v prostoru. Tehnologija ne zagotavlja določitve koordinat v realnem času, ampak zahteva

dodatno obdelavo podatkov. Po končani zračni misiji se v procesu naknadne obdelave preko časovne informacije združijo podatki laserskih poševnih razdalj (meritve LS) s podatki položaja in orientacije (t.i. POS, integrirane meritve sistema GPS in INS). Za večjo relativno in absolutno natančnost trirazsežnih lidarskih podatkov se pri izračunu koordinat upoštevajo še kalibracijski podatki merskega sistema ZLS. V postopku georeferenciranja se za vsak odboj laserskega žarka izračunajo trirazsežne koordinate (X, Y, Z) v referenčnem koordinatnem sistemu, ki jih nato uporabimo za izdelavo končnih rezultatov ZLS tj. za digitalni model reliefa, površja, stavb, itd.

Ker je količina zajetih podatkov s tehnologijo ZLS ogromna, je za njihovo upravljanje in uporabo v postopkih obdelave (npr. za izračun trirazsežnih koordinat, DMR, itd.) izrednega pomena razvoj zmogljivih ter učinkovitih programov (angl. *software*). Danes je na voljo že mnogo programskih orodij (TerraScan, SCOP++, LASTools, OPALS itd.), ki omogočajo visoko stopnjo avtomatizacije postopkov za obdelavo ter analizo lidarskih podatkov. S tem zagotavljajo tudi časovno in stroškovno učinkovitost merske tehnike ZLS ter nadalje veliko število področij uporabe ZLS.

3.2 Interakcija laserskega pulza s površjem

Laser odda elektromagnetno valovanje (EMV). Valovanje, ki se v atmosferi ni absorbiralo ali sipalo, lahko doseže zemeljsko površje in z njim interagira (sodeluje). Ko energija pade na površino nekega predmeta, lahko pride do treh oblik interakcije: absorpcije – vpijanja, transmisije – prepusta in refleksije – odboja. Za vso vpadno energijo bo prišlo do medsebojnega vpliva s površjem na enega ali več zgoraj naštetih načinov. Deleži vsakega načina so odvisni od valovne dolžine energije ter vrste in stanja predmeta.

Z vidika določanja razdalje do predmeta absorpcija in transmisija nista zanimivi, pomemben pa je odboj. Poznamo dva skrajna primera odboja: zrcalni odboj in razpršeni (dispersioni) odboj. Ko je površina gladka (valovna dolžina je večja od značilne razdalje na površju), pride pri kontaktu EMV s površino do zrcalnega odboja, kjer se skoraj vsa energija odbije po odbojnem zakonu. Razpršeni odboj se pojavi, ko je površina, na katero pade valovanje, groba (valovna dolžina je približno enaka značilni razdalji na površju). Takrat

se valovanje razprši v vse smeri. V realnosti največkrat pride do kombinacije obeh odbojev.

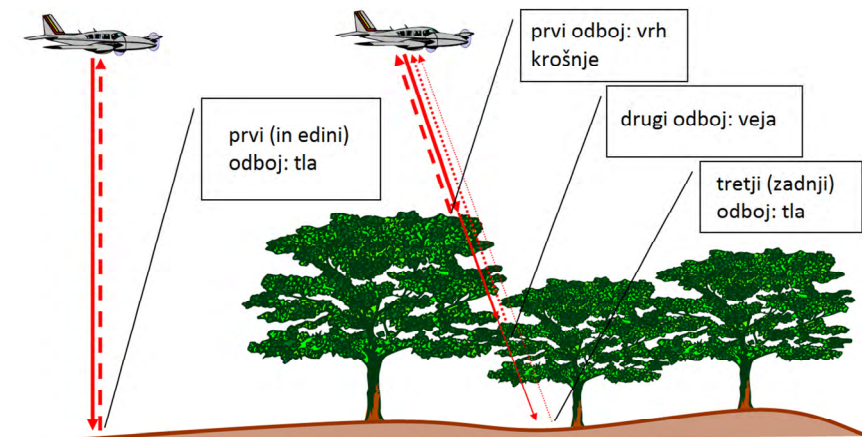
Lidar običajno oddaja svetlobo bližnjega infrardečega dela spektra (včasih tudi vidnega dela spektra), kar pomeni, da je valovna dolžina pulza majhna v primerjavi z gladkostjo površine večine predmetov na površju. Posledično se laserska svetloba od površja večinoma odbija disperzno, kar pomeni, da se del žarka vrne nazaj in zazna v sprejemniku. V nekaj primerih pa lahko pride tudi do zrcalnega odboja (npr. gladka streha avtomobila). V tem primeru laserski žarek načeloma ne pride nazaj do sprejemnika. Če slučajno ta usmerjeni odboj kasneje zadene drug objekt, od katerega se odbije difuzno, ga laserski sistem lahko zazna. Vendar je izmerjena razdalja predolga (angl. *multi path*) in predstavlja grobo napako.

Čeprav absorpcija in transmisija ne omogočata merjenja razdalje, sta pomembni količini pri interpretaciji objektov na zemeljskem površju. V primeru absorpcije je namreč odbiti signal prešibak za zajem (npr. mirne vodne površine). Absorpcija je odvisna od vpadnega kota laserskega žarka in je še posebej močna v primeru pravokotnega vpada na vodno površino. Posledica je nič oz. manj točk laserskega skeniranja na sredini pasu, ki poteka čez vodne površine (Bitenc 2007).

Absorpcija in transmisija tudi neposredno vplivata na intenziteto odbitega signala. Večjo količino signala, kot ga objekt absorbira ali prepusti, manj ga odbije nazaj proti sprejemniku.

3.3 Zajemanje odbojev

Večina današnjih lidarskih sistemov lahko registrira več odbojev za vsak oddan laserski pulz – najpogosteje merijo prvi in zadnji odboj signala, nekateri pa tudi do osem ali več. Pričakujemo lahko (slika 1), da se laserski žarek najprej odbije od najvišjih objektov (npr. krošenj dreves, visokonapetostnih daljnovodov, slemen streh), ki se registrirajo v načinu prvi odboj. Najkasneje pa se svetloba odbije od najnižjih površin (npr. deblo drevesa) oziroma od tal in se točke registrirajo v načinu zadnji odboj. Zadnji odboj ne pomeni nujno meritve na terenu.

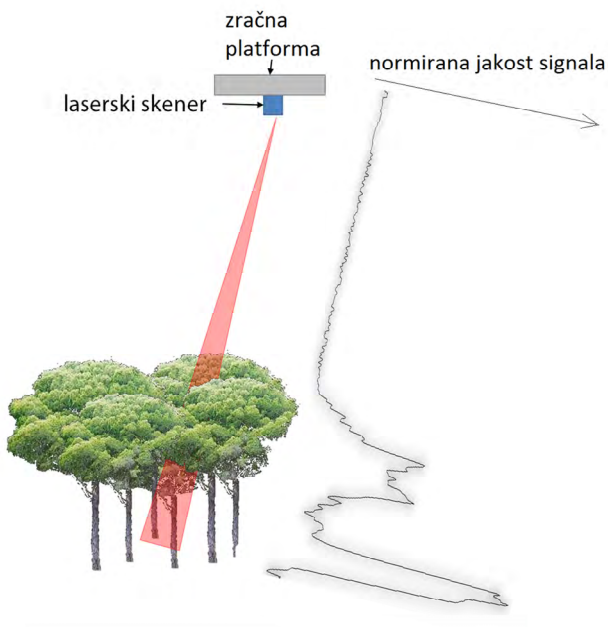


Slika 1: Več odbojev enega laserskega žarka na drevesu (FRA Nepal 2014).

Z večanjem števila registriranih odbojev enega pulza se povečajo zmožnosti zajema podatkov – dobimo vertikalni profil objekta (npr. drevesa), skozi katerega potuje laserski žarek. S tem v zvezi govorimo o osnovni lastnosti laserskega žarka, da je sposoben prodreti³ rastje in lahko meri višino terena. Količina zajetih podatkov je večja in jih je težje interpretirati. Še zlasti zato, ker je postopek zajemanja odbojev večkrat nepoznan. Zajemanje več odbojev je pomembno predvsem za zajem elektrovoda (žice so na različnih višinah) in za pridobivanje podatkov o rastju (volumen gozda, višina in gostota dreves, tip gozda, gostota podrasti itd.), sicer pa merjenje le prvega in zadnjega odboja zadostuje (Katzenbeisser 1999).

Poleg pulznih laserjev so v uporabi tudi valovni oz. zvezni laserji (angl. *full waveform lidar*). Pri teh razdaljo določamo z določitvijo faznih razlik med oddanim in sprejetim signalom, ki se registrira v sistemu po odboju na površju. V tem primeru laserski sistem oddaja signal neprekinjeno. Glavna prednost valovnega lidarja v primerjavi s pulznim je zmožnost beleženja vertikalnega profila predmetov, na katerih je prišlo do odboja (slika 2).

³ Pod pojmom prodreti je mišljeno potovanje žarka mimo delov rastja, ne skozi njih.

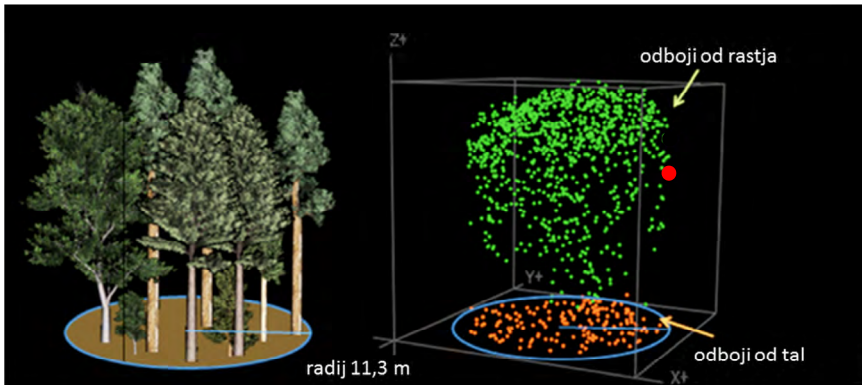


Slika 2: Shema odboja signala od gozdne površine, kot jo zazna valovni laser. (Pirotti 2011).

3.4 Obdelava podatkov

Po snemanju z lidarjem dobimo dve podatkovni zbirki – podatke o položaju sistema in orientaciji ter podatke o odbojih. Iz obeh podatkov lahko izračunamo položaje točk odboja na površju. Običajno odbojem kot atribut pripišemo tudi red odboja (prvi, drugi... zadnji), njegovo jakost ter kot snemanja. Končni rezultat je torej oblak točk, ki predstavljajo odboje na različnih predmetih (slika 3).

Oblak lidarskih točk je zapisan s tremi prostorskimi koordinatami in praviloma več atributi. Takšna oblika zapisa pa ni najprimernejša za analize, zato je treba lidarske podatke dodatno obdelati. Najpomembnejši koraki postopka obdelave lidarskih podatkov so: filtriranje, rastriranje, klasifikacija in modeliranje.



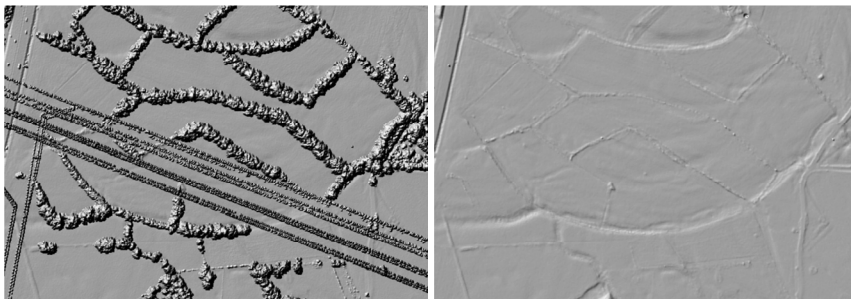
Slika 3: Oblak točk prvega (zelene točke) in zadnjega odboja (oranžne točke) (Wasser 2012).

3.4.1 Filtriranje

Pri filtriranju skušamo izločiti vse neželene odboje. Lidar nam nudi podatke o višini in intenziteti odbojev. Ti dve vrsti podatkov praviloma obravnavamo ločeno, zato poznamo filtriranje višin ter filtriranje intenzitet.

Filtriranje višin

Oblak lidarskih odbojev prikazuje pulze, ki so se odbili na različnih predmetih. Pri tem gre lahko za odboje na zunanji ovojnici površja, to je na vrhovih rastja in stavb, s čimer dobimo tako imenovani digitalni model površja (angl. *digital surface model*) (slika 4, levo). Do odboja pa lahko pride tudi znotraj predmetov, predvsem rastja, in na tleh. Talni odboji, če do njih seveda pride, podajajo obliko reliefa in omogočajo izdelavo digitalnega modela reliefa (angl. *digital terrain model*) (slika 4, desno).



Slika 4: Levo – digitalni model površja z vidnimi daljnovodi, linijami dreves in avtomobili na avtocesti, desno – digitalni model reliefa.

Za odstranjevanje neželenih točk – pri meritvah topografskih lastnosti površja so to vsi odboji, ki ne prihajajo od golih tal – uporabljamo različne algoritme, ki temeljijo na matematični morfologiji, iterativnem izločanju točk, segmentaciji ali modeliranju reliefa s celotnim oblakom. Filtriranje je eno izmed najbolj intenzivnih področij raziskav, saj še vedno ne obstaja univerzalna tehnika, ki bi bila primerna tako za urbane površine kot gozdove, tako za ravnine kot za strma pobočja. Kakovost končnih rezultatov je namreč močno odvisna od načina obdelave in zato operaterji lidarskega snemanja poleg nekaterih izdelkov, na primer modelov površja in terena, praviloma posredujejo uporabnikom tudi surove podatke. Rezultat filtriranja je digitalni model terena ali površja, zapisan v vektorski, na primer v obliki mreže TIN, ali rastrski obliki, to je v matriki z višino (in jakostjo odboja) kot atributom. Povedati je treba, da točke odbojev običajno ne zajemajo celotne površine tal, zato je pri trirazsežnem prikazu površja treba uporabiti tudi ustrezen postopek interpolacije.

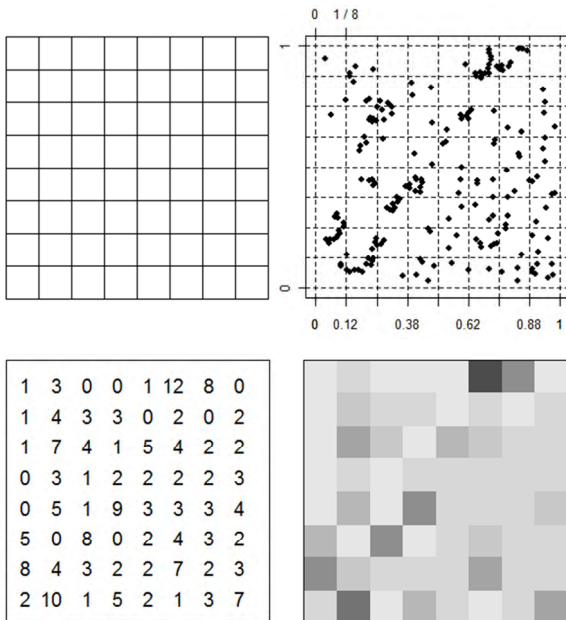
Filtriranje intenzitet

Vrednosti intenzitet praviloma prikažemo in obdelujemo v obliki rastrske podobe. Podatki vsebujejo tudi šum, ki ga skušamo zmanjšati z različnimi filtri, tj. računskimi operacijami, ki poudarijo ali zakrijejo elemente z določeno frekvenco na podobi (Oštir 2006). Več o filtriranju je zapisano v podpoglavju 6.3.

3.4.2 Rastriranje

Odboji poleg informacije o položaju (dveh dimenzijah) vsebujejo tudi informacije o višini ter intenziteti. Večino operacij z višinami lahko izvajamo (oz. je celo priporočljivo) s prvotnimi, vektorskimi podatki. Drugače je z intenziteto, ki v prvi vrsti še vedno služi za vizualizacijo zajetih točk. Vizualni prikaz je veliko primernejši v rastrski obliki, zato podatke o intenziteti praviloma rastriramo, tj. intenzitete prikažemo v obliki mreže, kjer vsaka celica v mreži vsebuje svojo vrednost intenzitete (slika 5).

Poleg vizualizacije so rastrski podatki primernejši za različne namene, kot je npr. prekrivanje z drugimi rastrskimi podobami, razne analize, klasifikacije in različne uporabe v GIS.



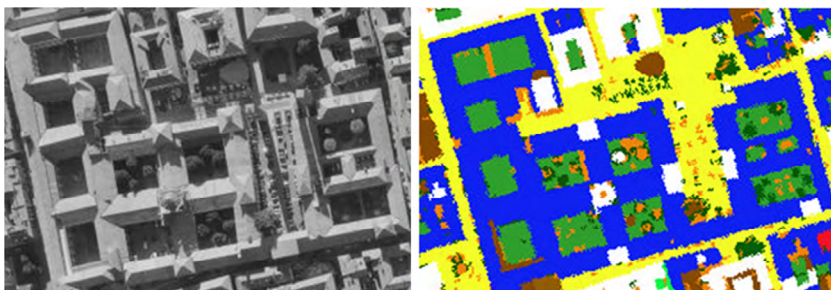
Slika 5: Interpolacija točk v raster (Wikimedia 2014).

Zavedati se moramo, da izbrana tehnika rastriranja pomembno vpliva na končne vrednosti intenzitete, zato za različne namene uporabe rastrske podobe le-to izdelamo na osnovi ustreznega postopka interpolacije ter

prostorske ločljivosti. Za podrobne analize moramo pred interpolacijo v raster podatke tudi kalibrirati.

3.4.3 Klasifikacija

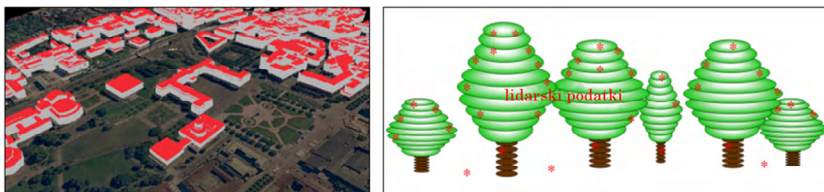
Pomemben korak pri interpretaciji lidarskih podatkov je klasifikacija, pri kateri prepoznamo določene geometrijske strukture ali objekte, na primer zgradbe, ceste, drevesa in podobno (slika 6). Klasifikacija rastrskih podatkov praviloma poteka z enakimi postopki kot obdelava drugih podob daljinskega zaznavanja, upoštevati moramo le veliko ločljivost lidarskih podatkov. Zavedati se moramo, da klasični postopki klasifikacije nudijo v primeru lidarskih podatkov manj zanesljive rezultate, zato je bil razvit postopek klasifikacije, ki temelji na geometrijskih strukturah (Tóvári 2004).



Slika 6: Levo – ortofoto, desno – rezultat klasifikacije na osnovi lidarskih podatkov (Nardinocchi 2003).

3.4.4 Modeliranje

Zadnji korak obdelave je modeliranje oziroma posploševanje (generalizacija) klasificiranih predmetov. Z modeliranjem, na primer, dobimo model stavb ali navpične profile pokrova rastja (slika 7).



Slika 7: Model stavb (levo) in model pokrova rastja (desno) (Andersen 2007).

3.5 Natančnost trirazsežnih koordinat laserskih točk

Z ZLS trirazsežni položaj tarče določimo na podlagi poznane lokacije žarka, poznane smeri žarka ter razdalje senzor – tarča. Kljub na videz preprostemu postopku, je natančnost lokacije (tako položajne, kakor tudi višinske) zapletena funkcija mnogih dejavnikov, ki jih lahko združimo v sledeče skupine (Ahokas 2003):

1. napake zaradi sistema ZLS: natančnost položaja sensorja, določitve smeri laserskega žarka, merjene razdalje in časovne sinhronizacije,
2. napake zaradi parametrov zajema: napake lokacije tarče (gostota točk, višina snemanja, kot skeniranja, divergenca laserskega žarka),
3. napake zaradi obdelave podatkov: napaka filtriranja in druge napake obdelave ter
4. napake zaradi značilnosti tarče: naklon terena, gostota rastlinskega pokrova, vrsta materiala tarče in usmerjenost tarče glede na smer žarka.

Različni viri napak različno vplivajo na rezultate meritev in nadalje na izračunane trirazsežne koordinate. Rečemo lahko, da je končna napaka koordinat laserskih točk dana kot kvadratni koren vsote kvadratov napak posameznih vplivov. Na podlagi analiz vseh obstoječih sistemov za ZLS je Briese (2007) prišel do naslednjih rezultatov natančnosti lokacije, ki veljajo za rezultate pridobljene v idealnih razmerah :

- natančnost višine: 0,05 – 0,20 m,
- natančnost položaja: 0,1 – 1 m.

Pri ZLS je torej natančnost višine precej boljša od natančnosti položaja. Pri realnih meritvah, zlasti v Sloveniji, ki je terensko razgibana ter gosto poraščena, lahko mnogi zgoraj naštetih dejavnikov bistveno vplivajo na pridobljeno natančnost meritev.

Zavedanje in poznavanje motečih faktorjev, ki slabšajo kakovost meritev, omogoča njihovo odpravo ali vsaj zmanjšanje in upoštevanje kakovosti pri nadaljnjih analizah s pridobljenimi podatki. V veliki meri je možno konstantni del napak, npr. INS in natančnost GPS, zmanjšati do najmanjše stopnje. Uporabiti je možno tudi najustreznejše parametre sistema, medtem ko je

kalibracija variabilnega dela (topografija, pokritost terena z rastjem idr.) precej zahtevnejša. Podatke lahko izboljšujemo s postopki, kot je npr. normalizacija dolžine laserskega žarka (Pfeifer 2007), ali z univerzalnimi postopki, osnovanimi na statističnih momentih (Roncat idr. 2014).

3.6 Uporaba ZLS v praksi

Zaradi sposobnosti laserskega žarka, da vidi tudi skozi majhne špranje v rastju, je bil prvoten cilj razvoja laserskega skeniranja topografsko kartiranje terena poraščenega z gozdom. Druga predvidena uporaba, ki prav tako izhaja iz fizikalnih lastnosti laserskega skenerja, je kartiranje območij z nezadostno teksturo in majhnimi kontrasti. Tekom časa se je uporabnost postopka ZLS razširila precej bolj, kot je bila prvotno zasnovana in lahko za določeno uporabo predstavlja dopolnjujoč ali konkurenčen postopek ostalim obstoječim tehnikam zajema. Današnji razvoj tehnike ZLS je usmerjen v združevanje informacij s tradicionalnimi detektorji kot so: standardna stereo kamera, digitalni fotoaparati, multispektralni skener ali termalna kamera. Kombinacija več dopolnilnih podatkovnih nizov je obetajoča za raziskavo prepoznavnosti objektov na površju, npr. za razločevanje zgradb ali trirazsežno modeliranje mest. Še vedno pa ZLS na nekaterih področjih kot sta gozdarstvo in obalno inženirstvo ponuja prednosti, ki niso dosegljive z nobeno drugo tehnologijo. Najbolj aktivna področja uporabe ZLS, ki so podrobno opisana in predstavljena na internetnih straneh ponudnikov ZLS (Airbornelasermapping, AeroMap, Helica, TopoSys), so:

- izdelava DMR za različne izdelke, ki se jih uporablja v GIS in kartografiji,
- gozdarstvo: digitalni model krošenj kot razlika višin DMP in DMR, horizontalne in vertikalne informacije o rastju, informacije o terenu in topografiji pod drevesnimi krošnjami, informacije o višini in gostoti dreves, občutno izboljšana spektralna klasifikacija,
- obalno inženirstvo: ZLS omogoča zajem slabo kontrastnih obalnih območij kot so peščene plaže, kar je s fotogrametrijo težko oz. nemogoče. Nadalje omogoča neprestano in rutinirano skeniranje hitro spreminjajočega se obalnega okolja in s tem neprekinjeno posodabljanje podatkov,

- kartiranje koridorjev: hitro in natančno kartiranje linearnih koridorjev nadzemne infrastrukture, kot so elektrovi, plinovodne cevi, avtoceste idr.,
- kartiranje poplavnih območij: na osnovi lidarskega DMR in DMP se glede na pričakovan porast naravne vode zaradi dežja ali topljenja snega izvajajo simulacije poplav,
- modeliranje mest: ZLS omogoča natančne meritve višin urbanih objektov in določitev položaja oboda stavb na površju,
- odziv na naravno nesrečo in ocenitev škode: ZLS v kratkem času zagotavlja natančne podatke, ki so lahko hitro in neposredno vključeni v urejanje posledic katastrofe, pomagajo oceniti nastalo škodo in so podlaga planiranju po naravni nesreči,
- zaščita naravne dediščine – mokrišča in druga težko dostopna območja,
- arheologija: hitri pregled večjih za arheologijo pomembnih območij in hkrati pridobitev natančnih podatkov. Razločijo se najmanjše spremembe višin in strukture (tudi pod rastjem), ki jih na tleh ne moremo zaznati.

Z razvojem tehnologije ZLS in praktičnim obdelovanjem lidarskih podatkov s strani končnih uporabnikov se njena uporaba nenehno spreminja in širi na nova področja. Omenimo le še merjenje odlagališč industrijskih in strupenih odpadkov (težje dostopna), kamnolomov, dnevnih kopov in drugih območij v gradnji (potrebna visoka natančnost), območij pokritih s snegom in ledom (minimalna tekstura in kontrastnost površja). Raziskave novih možnosti uporabe so usmerjene predvsem v področja, kjer bi tehnologija omogočila zmanjšanje stroškov meritev in bi imeli lidarski izdelki večjo dodano vrednost glede na tradicionalne postopke.

4 Intenziteta odboja laserskega žarka

Glavna pozornost pri preučevanju meritev zračnega laserskega skeniranja je namenjena podatkom položaja in višine skeniranega površja. Poleg teh trirazsežnih informacij (koordinat) pa novejši laserski sprejemniki simultano beležijo še informacijo o intenziteti odbitega laserskega žarka za vsak odboj valovanja. Z meritvami intenzitete dobimo poleg natančne morfologije, ki jo poda trirazsežen oblak lidarskih točk, še semantične podatke o skeniranem območju. Intenziteta se dejansko redko uporablja in predstavlja stranski produkt tehnike ZLS.

Poimenovanje te meritve se v različnih virih razlikuje. V angleškem jeziku zasledimo izraze kot so npr. *radiance*, *backscattering amplitude*, *intensity of the reflectance*, *ground reflectance*. V knjigi govorimo o intenziteti odbitega laserskega žarka ali krajše: intenziteti.

4.1 Opredelitev intenzitete odbitega laserskega žarka

Izraz intenziteta uporabljamo na mnogih področjih, kot so fizika, fotometrija, radiometrija in matematika, vendar se pomen termina lahko močno razlikuje. V knjigi se uporablja v kombinaciji z laserskim žarkom in v splošnem (Song idr. 2002) pomeni jakost odbitega signala oziroma razmerje med jakostjo sprejete svetlobe (P_r) na detektorju laserskega skenerja in jakosti iz laserja skenerja oddane svetlobe (P_t). Ta definicija sicer fizikalno ni točna, jo je pa glede na nekatera dejstva smiselno uporabiti. Intenziteta je namreč relativna količina⁴ in ne nujno linearna meritev, informacije o načinu beleženja intenzitete v posameznem lidarskem sistemu so težje dostopne, laserski skener ima monostatično konstrukcijo in s tem enako površino oddajnika in sprejemnika, vrednosti intenzitete pa so brez merske enote. Intenziteta registriranega odboja je namreč izražena z digitalno številko (Coren in Sterzai 2005) in pri 12

⁴ Velja za meritve iste misije ZLS-ja (višina leta, merski sistem).

bitnem načinu beleženja zavzema vrednosti od 0 (šibak odboj) do 4095 (zelo močan odboj).

4.2 Vrednosti merjene intenzitete

Vrednost merjene intenzitete odbitega laserskega žarka je zapletena funkcija več spremenljivk, kot so (Jelalian 1992):

- jakost oddanega laserskega žarka (P_i),
- razdalja senzor-tarča-senzor ($2R$), ki je odvisna od višine terena in višine leta nosilca sistema,
- nadmorska višina območja zajema – vpliva na karakteristike materiala (npr. spreminjanje prisotnosti vlage v zemlji glede na nadmorsko višino),
- kot gledanja laserskega skenerja (angl. *viewing angle*),
- vpadni kot (ξ) laserskega žarka na tarčo,
- vrsta odboja (difuzni, zrcalni) laserskega žarka na tarči,
- koeficient odbojnosti tarče (angl. *reflectivity*),
- velikost tarče glede na velikost odtisa laserskega žarka na tleh,
- atmosferski pogoji – čisti ali megleni zrak (glede na količino vodne pare in aerosolov) vplivata na absorpcijo in lom valovanja,
- sevanje iz okolja, ki ima valovno dolžino blizu laserski svetlobi (sončna svetloba odbita od tal in od delcev v ozračju, termalno sevanje površja Zemlje),
- jakost žarka, ki pride do tarče (glede na red odboja),
- oddaljenost tarče od centra odtisa.

Zaradi teh vplivov so meritve intenzitete popačene (angl. *noisy*) in jih ni mogoče neposredno uporabiti za identificiranje oz. določanje tipa tarče (vrste materiala). Potrebne so poenostavitve, ki se jih nato preverja z različnimi eksperimentalnimi analizami podatkov.

Po definiciji intenzitete, da jo določa razmerje med jakostjo sprejete P_r in oddane P_i svetlobe, lahko za primer, ko je odboj difuzen in homogen, ter vpad žarka na tarčo pravokoten, izračunamo merjeno intenziteto. Ker so meritve intenzitete relativne, lahko zanemarimo vplive, ki so konstantni za isti

merski sistem in za enake atmosferske pogoje. Enačbo radarja⁵ zapišemo poenostavljeno (Jelalian 1992):

$$I_m \approx \frac{P_r}{P_t} = \frac{\rho \cdot \cos^2 \xi}{R^2} \cdot konst \quad (1)$$

kjer je konstanta $konst = \frac{D_r^2}{4} \cdot \eta_{sis} \cdot \tau_{atm}^2 \cdot \pi$.

I_m ... izmerjena intenziteta

P_r ... jakost sprejetega signala [watt],

P_t ... jakost oddanega signala [watt],

ρ ... koeficient odbojnosti tarče,

ξ ... vpadni kot laserskega žarka na tarčo,

R ... razdalja tarča-senzor [meter],

D_r ... premer odprtine sprejemne optike [meter],

η_{sis} ... faktor prenosa žarka v sistemu,

τ_{atm} ... faktor prenosa žarka v atmosferi.

Merjene vrednosti intenzitete so tako odvisne od materiala tarče (vrednosti koeficienta odbojnosti ρ) in se manjšajo s kvadratom razdalje R . Iz enačbe (1) je razvidno, da bo imela ista površina ($\rho = konst.$), osvetljena in opazovana z istim aktivnim senzorjem, vendar na različnih razdaljah (R), različne vrednosti merjene intenzitete I_m . Ker se vpadni kot ξ večinoma le malo razlikuje od 90° , je njegov vpliv na merjeno intenziteto majhen. Upoštevamo ga le v primeru zahtev po visoki natančnosti merjenja odbojnosti.

Vrednost intenzitete je manjša, čim večji je vpadni kot ξ ter večja kot je razdalja R . Vrednosti merjene intenzitete po enačbi (1) tako niso odvisne od spremenljivk kot so jakost oddanega žarka, atmosferski pogoji, sevanje iz okolja, kot gledanja laserskega skenerja (jih ne upoštevamo pri določanju funkcijske odvisnosti intenzitete), ampak so v največji meri odvisne od

⁵ Ker ZLS uporablja merski princip prvič predstavljen pri radarskem daljinskem zaznavanju, je tudi osnovna enačba za izračun moči signala poimenovana po tej tehniki (Jelalian 1992).

spremenljivk:

- razdalje R in
- vrste tarče (glede na odbojnost, usmerjenost, velikost).

Razdalja R je merjena količina in jo poznamo za vsak registriran odboj laserskega žarka. Bolj zapleten je vpliv vrste tarče, ki se imenuje prečni prerez odboja laserskega žarka σ (angl. *backscattering cross-section*) (Wagner 2005).

4.3 Prečni prerez odbitega laserskega žarka

Prečni prerez odbitega laserskega žarka je odvisen od koeficienta odbojnosti (dielektrične lastnosti) tarče, nagnjenosti oz. usmerjenosti tarče glede na vpadni in proti sprejemniku odbiti laserski žarek ter velikosti tarče glede na velikost odtisa laserskega žarka na tleh. Kot nakazuje že samo ime, prečni prerez odboja poda efektivno površino interakcije laserskega žarka s tarčo, pri čemer sta upoštevani usmerjenost in odbojnost tarče (Jelalian 1992, cit. po Wagner 2005). Razumevanje spremenljivk, ki določajo prečni prerez odboja in so pomembne pri računanju jakosti sprejetega valovanja, je poglobitnega pomena za analizo vrednosti intenzitete ter za ugotavljanje vplivov na meritve intenzitete.

Vpliv usmerjenosti tarče na merjeno intenziteto je odvisen od tipa odboja laserske svetlobe (difuzen, zrcalen, ni odboja) na tej tarči. Ker je valovna dolžina laserske svetlobe ($\lambda = 1 \mu\text{m}$) majhna glede na hrapavost večine tarč pri ZLS, velja Lambertov odbojni zakon: žarek se odbije difuzno, na vse strani enakomerno in velja $\Omega = \pi$ (Lambertova tarča) (Wagner 2005). Tako je vpliv usmerjenosti tarče glede na smer odboja žarka na intenziteto zanemarljiv. Redke izjeme, kjer pride do zrcalnega odboja (površine obravnavamo kot gladke) in kjer moramo pri analizi intenzitete upoštevati smer odboja žarka, so območja pokrita z ledom in snegom (Lutz iidr.dr. 2003).

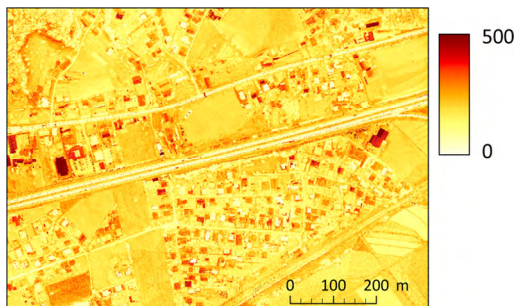
Čeprav kot med normalo (difuzne) tarče in smerjo sprejemnika (kot odboja laserskega žarka) nima vpliva na jakost sprejetega signala (P_r), pa je leta odvisna od kota med normalo (difuzne) tarče in smerjo vira svetlobe, torej od t.i. vpadnega kota. Večji kot je vpadni kot, večja je osvetljena površina na tleh in s tem manjša gostota energije na tarči, ki se difuzno odbije na vse strani. Zato je manjši tudi tisti del odbite svetlobe, ki se zazna na detektorju

laserskega sistema. Izračun vpadnega kota je v realnih primerih (npr. listi drevesa, skalnato gorsko pobočje) zapleten. V enačbi po Lutz idr. (2003) potrebujemo podatke o orientaciji laserskega sistema, ki poda smer laserskega žarka, in digitalni model višin, s katerim sta določena nagib in usmerjenost tarče. Zadnje raziskave so empirično pokazale, da radiometrija intenzitete odbitega laserskega žarka ni spremenjena, če je kot skeniranja majhen (Ahokas 2003; Coren 2005; Morsdorf 2006).

Vpliv velikosti tarče glede na velikost odtisa laserskega žarka na tleh je Wagner (2005) opisal za štiri primere tarč: majhne tarče (npr. list na drevesu), linearne tarče (npr. žica daljnovoda), razprostrte tarče (npr. cesta) in prostorninske tarče (npr. krošnja drevesa). Če predpostavimo, da tarča prestreže celoten žarek z divergenco (β), je njena velikost kar enaka velikosti odtisa žarka. Velikost razprostrte tarče vpliva na merjeno intenziteto preko spremenljivke vpadnega kota (ξ) (glej enačbo (1)).

Koeficient odbojnosti (ρ) za tarče (oz. objekte) z difuznim odbojem opišemo z razmerjem med odbito in sprejeto energijo na tarči. Njegova vrednost se spreminja glede na uporabljeno svetlobo in lastnosti materiala tarče. Tipične vrednosti koeficientov odbojnosti za različne materiale in za valovne dolžine, ki se največkrat uporabljajo v komercialnih laserskih sistemih, so na voljo na spletnih straneh, npr. USGS. Spektralne lastnosti teh materialov so bile določene v laboratoriju s spektrometrom, kar pomeni, da jih v svojih analizah ne smemo uporabiti brez razmisleka. Upoštevati moramo valovno dolžino, ki je bila uporabljena v laboratoriju, vlažnost površja (suha tla imajo lahko precej manjši koeficient odbojnosti kakor mokra (Kaasalainen idr. 2007), zaporedni red odboja (v primeru, da je isti predmet zaznan enkrat s prvim odbojem, drugič pa z drugim odbojem, ker je bil prvi odboj odbit od rastja nad tem objektom, bo imel drugi odboj precej manjšo intenziteto (Göpfert in Heipke 2006), v primeru rastja moramo upoštevati njegovo gostoto, upoštevati moramo dejstvo, da je laboratorij brez vpliva atmosfere in drugih zunanjih vplivov. Vpliv odbojnosti tarče ($\rho_{tarča}$) na merjeno intenziteto je že po definiciji intenzitete (glej enačbo (1)) največji in najpomembnejši.

4.4 Podoba intenzitete podatkov ZLS



Slika 8: Podoba intenzitete, ki prikazuje del Brezovice pri Ljubljani z avtocesto.

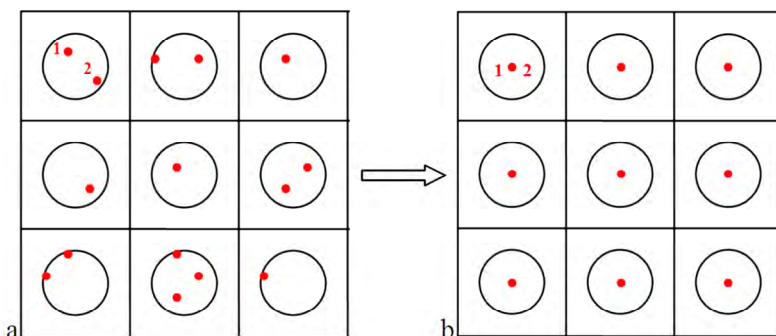
Podoba intenzitete je rastrski prikaz vrednosti izmerjene intenzitete (vsak piksel vsebuje svojo vrednost intenzitete). Takšna oblika prikaza je primerna za vizualizacijo intenzitete, ki je osnovna vrsta uporabe tega podatka. Podoba je narejena z barvnim kodiranjem (običajno sivimi toni) prostorsko pravih lidarskih podatkov in je tako že georeferencirana in ortorektificirana⁶, na njej ni senc (kot so na ortofotu) in ima pravo merilo (slika 8). Za razliko od običajnih pankromatskih podob (npr. ortofoto), ki zajemajo vse valovne dolžine vidnega spektra, zajema podoba intenzitete ZLS samo eno valovno dolžino in še ta obsega človeku nevidni bližnji infrardeči del spektra. To je običajno slabost, na nekaterih področjih uporabe pa tudi prednost. Kljub sicer zelo ozki spektralni ločljivosti je običajno uporabljena valovna dolžina (tipično okoli 1 μ m) le malo večja od valovnih dolžin vidnega spektra, zato je podoba intenzitete odbitih laserskih žarkov precej podobna naravnemu dojetanju odbite vidne svetlobe. Glede na gostoto posnetih točk lahko tako na površju jasno ločimo nekatere predmete, kot so ceste, poti, stavbe, drevesa in drugo rabo tal.

Vse tarče, ki ležijo znotraj enega odtisa, imajo takšen trirazsežen položaj, kot da bi ležale na osnovni smeri žarka (v središču odtisa). Napaka položaja zaradi tega vpliva je zato v velikosti polmera odtisa.

⁶ Vsaka točka ima določen položaj (X, Y, Z), relativno glede na koordinatno mrežo.

Običajno pulzni lidarji beležijo intenziteto vsakega odboja znotraj enega pulza. To pomeni, da je lahko na eni dvorazsežni lokaciji več vrednosti intenzitete, odvisno od števila odbojev. Ta je lahko en sam (tarča leži na območju celotnega laserskega odtisa), običajno sta dva (prvi in zadnji odboj), lahko pa jih je tudi več. To precej zaplete način prikaza podobe intenzitete. Raster je namreč dvorazsežen, kar pomeni, da vsak piksel prikazuje zgolj eno vrednost intenzitete. Toda katero?

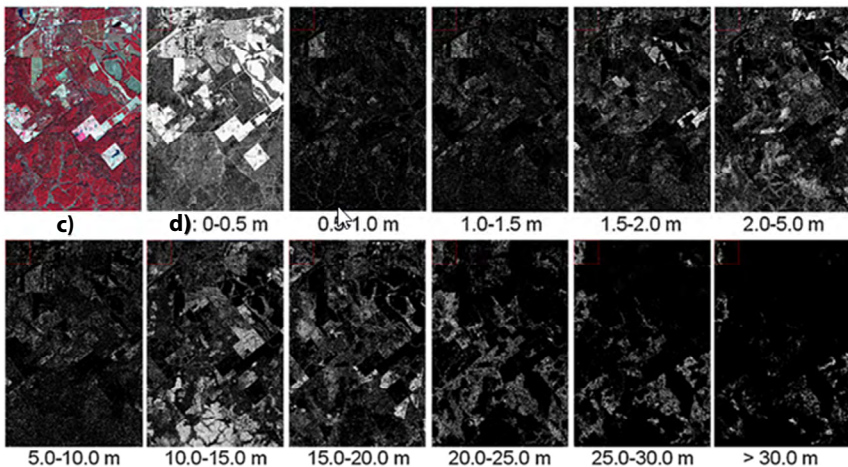
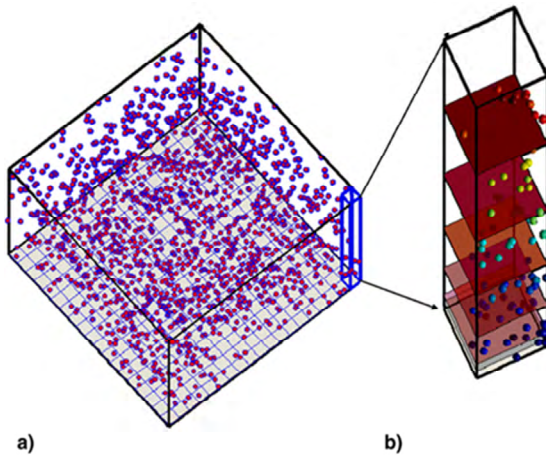
Ker podobo intenzitete običajno izdelamo sami, si tudi način prikaza izberemo sami. Ena možnost je prikaz povprečne vrednosti intenzitete. Ta način je zgolj za vizualno uporabo podobe intenzitete zadovoljiv. To sklepamo na podlagi dejstva, da tudi ostale, originalno rastrske, podobe na območju enega piksla prikazujejo eno vrednost, ki je lahko npr. kombinacija trave in drevesa, čeprav obe tarči nimata enakega spektralnega odboja.



Slika 9: Dejanska (a) in v podatkih zapisana (b) razporeditev tarč znotraj odtisa.

Druga možnost, ki je za podrobnejše analize intenzitete primernejša, je prikaz intenzitete po višinskih slojih (Popescu 2007). V tem primeru oblak točk razdelimo glede na najustreznejše višinske sloje in za vsakega posebej izdelamo podobo intenzitete (slika 10).

Uporaben prikaz je tudi uporaba zgolj prvih odbojev, saj prvi odboj najverjetneje (še posebej na gozdnatih območjih) predstavlja takšno intenziteto, kot jo zaznajo pasivni bližnje infrardeči senzori (Gaveau in Hill 2003).



Slika 10: Zgoraj – Oblak točk (a) in razdelitev na višinske sloje (b). Spodaj – večspektralna podoba QuickBird (c) ter podobe intenzitete glede na višinski razpon (d) (Popescu 2007).

Naslednji pojav, kjer bi natančno lokacijo tarče znotraj odtisa lahko s pridom uporabili, je interpolacija vrednosti intenzitete v raster. Slika 9 prikazuje skico primera dejanskih ter v podatkih zapisanih razporeditev tarč znotraj odtisa.

Predstavljamo si lahko, da bi bila interpolacija v primeru znane lokacije tarče znotraj odtisa bolj kakovostna. Žal pa ni točne formule, ki bi določala kje

znotraj pulza je bil odbit posamezen odboj (Maier 2006). Zaznava odbojev je odvisna od intenzitete na celotni poti žarka ter postopka zaznavanja odbojev, ki pa jo posamezni proizvajalci skrbno čuvajo.

Poleg tega, četudi bi poznali postopek zajema odbojev, v nekaterih primerih ne bi mogli določiti točne lokacije. Možno je na primer, da se ob popolnoma enakem časovnem trenutku žarek odbije od strehe hiše ali od drevesa, ki stoji poleg nje. To težavo lahko delno rešimo, če poznamo intenziteto drevesa in strehe. Pomaga tudi, če premer laserskega žarka zelo zmanjšamo, saj bo potem verjetnost, da en žarek zadane tako drevo kakor hišo, majhna.

Ker je velikost odtisa običajno med 25 in 60 cm (odvisno od višine snemanja in lastnosti skenerja), vpliv položaja tarče znotraj odtisa na rezultat rastriranja ni zanemarljiv. Vendar pa zna še večji vpliv imeti razporeditev odtisov oz. točk. Točke po prostoru namreč niso razporejene enakomerno, ampak se spreminjajo glede na geometrijo znotraj pasu snemanja, zaradi ustavljanja in pospeševanja zrcala na robovih pasu in drugih vpivov.

Tudi zaradi neenakomerne prostorske razporeditve točk, ima pri rastriranju pomembno vlogo postopek interpolacije (Boyd 2007). Navadno uporabljamo tri postopke interpolacije: metoda najbližjega sosedu, Delaunayjeva triangulacija ter kriging. Uporabimo tisto, ki za določen namen nudi najustreznejše rezultate.

Pomembno je, da še pred interpolacijo podatke kar se da kalibriramo. To storimo predvsem z uskladitvijo podatkov med različnimi pasovi leta (Boyd 2007), lahko pa tudi z upoštevanjem spreminjanja vpadnega kota na teren. S temi popravki je podoba intenzitete bolj homogena (Willem van der Vegt in Hoffmann 2007).

Kljub kalibraciji pa izdelana podoba intenzitete zaradi različnih vzrokov vsebuje šum (npr. zrnatost), ki otežuje njeno nadaljnjo uporabo. Zato jo skušamo popraviti z različnimi postopki, kot so: glajenje, mozaičenje, normalizacija, filtriranje, uravnavanje histogramov, ki pa zopet vplivajo na kakovost podobe intenzitete. Izberemo tisti postopek obdelave, ki je najprimernejši za naš namen in ki najmanj spremeni prvotne podatke.

Merjena intenziteta zaradi vpliva motečih faktorjev ni popolnoma v skladu s teoretičnimi vrednostmi za odbojnost materiala, ampak jim sledi relativno. Kljub vsemu je Boyd (2007) pri primerjavi prvih odbojev ZLS s hkratno zajetimi podatki hiperspektralnega skenerja HyMap, ki meri odboj žarkov pri isti valovni dolžini, ugotovil, da kljub različnim spremenljivkam tarče (npr. grobost in usmerjenost površja, velikost tarče) vrednosti lidarske intenzitete ustrezajo sevanju bližnjega infrardečega spektra, če jih kalibriramo glede na višino posameznih pasov snemanja. Tako je mogoče ločiti različne materiale in bi podatke o intenziteti odboja teoretično lahko uporabili za razločevanje različnih površin. Pogoj pa je, da se odbojnosti (s tem tudi vrednosti intenzitete) teh površin dovolj razlikujejo med seboj (raziskave na to temo opisujejo na primer Hasegawa (2006) ter Song idr. (2002).

4.5 Uporaba intenzitete odboja

Intenziteta, kot stranski produkt lidarskega snemanja, nosi potencialno pomembne informacije o odbojnosti objektov, ki bi jih lahko koristno uporabili pri različnih interpretacijah lidarskih podatkov. To so na različnih področjih že storili številni avtorji. V nadaljevanju je naštetih nekaj najpomembnejših dognanj in možnosti uporabe, seveda pa se raziskave na tem področju še zdaleč niso zaključile.



Slika 11: Ortofoto (levo) in podoba intenzitete (desno).

Najpogostejša uporaba intenzitete je za vizualizacijo območja snemanja (vizualno lahko ločimo na primer ceste, poti, stavbe, drevesa in podobno). Preko informacij o odbojnosti zajetih objektov (merjena intenziteta) lahko

sklepamo na vrsto materiala objekta od katerega se je laserska svetloba odbila.

V primeru zajema podatkov na nestrukturiranih površinah (npr. ledeniška območja) ali na območjih brez večjih višinskih sprememb (npr. peščene obale, obsežne ravnine), model intenzitete prekaša ortofoto glede na zmožnost razločevanja pojavov na površju in omogoča boljšo položajno orientacijo (Lutz idr. 2003).

Intenziteta je lahko npr. uspešno uporabljena za identifikacijo in klasifikacijo karakteristik površja ledeniških območij. Ledene površine namreč oddajajo nižjo intenziteto kakor zasnježene. Iz tega razloga je meja med snegom in ledom veliko očitnejša na podobi lidarske intenzitete kakor na ortofotu (Lutz 2003).

Zelo podobno velja pri identifikaciji vodnih površin, kjer ima voda običajno nižjo intenziteto kakor tla na kopnem (absorpcija valovne dolžine bližnjega infrardečega sevanja je v vodi višja kakor v zemlji) (Brzank 2006).

V nenehni želji po izboljšanju kakovosti lidarskih podatkov lahko intenziteto uporabimo pri iskanju homolognih pojavov med prekrivajočimi se pasovi, tj. za združevanje pasov, za odpravo napak meritev ter za kontrolo kakovosti (zanesljivosti) podatkov (Maas 2001; Kraus idr. 2006). Dobro vidne pojave na podobi intenzitete (npr. križišča cest ali dominantna drevesa) uporabimo kot terenske oslonilne točke.

Uporaba intenzitete za izboljšanje klasifikacije podatkov in/ali ekstrakcije pojavov. Razvoj aplikacije poteka v smeri klasifikacije talnih in netalnih točk (osnovna klasifikacijska rutina) in klasifikacije ali ekstrakcije točk glede na različno rabo tal. Primer je npr. izločitev cest, kjer lahko s pridom izkoristimo dejstvo, da imajo ceste homogeno intenziteto in enako višino kakor gola tla (Hu idr. 2004). Poleg tega je razločljivost cest od trave in dreves na podlagi intenzitete zelo visoka (Song idr. 2002).

Uporaba intenzitete se je kot uspešna pokazala tudi pri kartiranju tokov lave ter definiciji relativne kronologije položaja lave (velja inverzna korelacija med starostjo lave in jakostjo intenzitete) (Brenner idr. 2002).

Meritve intenzitete odboja se prav tako uporabljajo v gozdarstvu in sicer za izboljšanje ocene gostote krošenj (intenziteta močno narašča z naraščanjem gostote krošenj) (Donoghue idr. 2007) ter volumna gozda (funkcija višine in števila odbojev laserskega žarka od krošenj) (Lovell 2003), za določitev lokacije in oblike posameznih dreves (Andersen 2007) in za identifikacijo vrste rastja. Za identifikacijo vrst so bile dosedanje raziskave sicer precej neuspešne (npr. Holmgren 2003; Holmgren in Persson 2003; Hyypä in Inkinen 1999; Moffiet 2005; Watt 2005), vendar pa kažejo koristnost za klasifikacijo nekaterih drevesnih vrst (Brandtberg idr. 2003; Donoghue idr. 2007).

Na podlagi mnogih raziskav se je izkazalo, da surovi podatki o intenziteti v večini primerov uporabe niso zadovoljivi. To je posledica prevelike popačenosti vrednosti merjene intenzitete zaradi motečih dejavnikov (v laserskem sistemu, ozračju in na tarči). Zato zadnjih nekaj let mnogi strokovnjaki na tem področju eksperimentalno preučujejo in analizirajo vrednosti intenzitete, da bi ugotovili vplive na meritve in zapisali najprimernejši model odbojnosti (Song idr. 2002; Lutz idr. 2003; Hasegawa 2006; Yan in Shaker 2014). V vseh zgoraj naštetih primerih uporabe intenzitete je bila s podatki izvedena vsaj ena izmed sledečih operacij: interpolacija, filtriranje, normalizacija (glede na višino snemanja (Brenner idr. 2002) ali kot odboja laserskega žarka (Song 2002; Donoghue idr. 2007; Yan in Shaker 2014), popravek zaradi spremembe velikosti laserskega pulza (Luzum 2004; Donoghue idr. 2007) in podobno. S temi operacijami meritev so podobo intenzitete precej izboljšali, intenziteta na posameznih objektih je očitno bolj homogena. Še vedno pa je zaželen univerzalen model za popravke laserskega odboja, še posebej, ker v uporabo prihajajo multispektralni lidarski podatki ter aplikacije, ki uporabljajo časovno vrsto lidarskih podatkov (Fritzmann idr. 2011) ter samodejno prepoznavanje tarč na osnovi razdalje in intenzitete lidarskih podatkov (Fukuda idr. 2014).

Dokler intenziteta kot samostojni podatek ni v veliko pomoč, pa je zelo dobrodošla v kombinaciji z drugimi podatki. Izredno dobre rezultate so pokazale kombinacije intenzitete z ostalimi podatki, ki jih da lidar (višina objektov, naklon, zgrešene točke, dolžina odseka, gostota točk) (Brzank 2006; Tao 2001), ortofotom, multispektralnimi satelitskimi podobami, raznimi

vektorskimi podatki idr. V raziskavi smo za določitev pokrovnosti najprej uporabili zgolj intenziteto lidarskih točk, nato smo jo dopolnili z višino in iz nje izpeljanimi podatki (standardnim odklonom višine točk), dopolnilni vir pa so bile podobe BDOF1.

5 Uporabljeni podatki

Poleg lidarskih podatkov, ki so bili v tej raziskavi osnova za klasifikacijo pokrovnosti, smo uporabili tudi barvne digitalne ortofoto posnetke (BDOF1). Kot je opisano v nadaljevanju tega poglavja, gre za dve različni vrsti podatkov (vektorske in rastrske), katerih kombinacija ni pogosto uporabljena, vendar je njihova povezava nakazovala obetajoče rezultate.



Slika 12: BDOF1 območja Slivnice.

Območja proučevanja

Klasifikacijo smo izvajali na šestih območjih z različnimi razredi pokrovnosti. Poleg osnovnih razredov pokrovnosti, ki smo jih v raziskavi želeli klasificirati (stavbe, drevesa, asfalt, trava, njive), so na območjih vidne tudi nekatere posebnosti, na osnovi katerih bi dodatno analizirali zmožnosti klasifikacije (voda, vinogradi, hmelj, daljnovodi, vzpenjača). Izbrali smo eno območje Slivnice (Slika 12) ter pet območij Maribora (slika 13). Lidarske podatke za Maribor smo pridobili od podjetja Geoin, za območje Slivnice od ZRC SAZU, podatke BDOF1 za vsa navedena območja pa od GURS.

Območje Slivnice (slika 12) vsebuje vse osnovne razrede. Nekatere strehe na BDOF1 so rdeče, druge sive. Opazimo lahko tako velika kakor tudi majhna drevesa (grmovje). Travniki so večinoma ekstenzivni, deloma močno pomešani z zemljo. Njive so majhne. Ceste so asfaltirane, prav tako tudi nekatera dvorišča. Kamnito je tudi pokopališče. Čez celotno podobo so prisotne sence. Opaziti je nekaj vrtnih lop oz. pokritih vrtov. Avtomobilov ni.

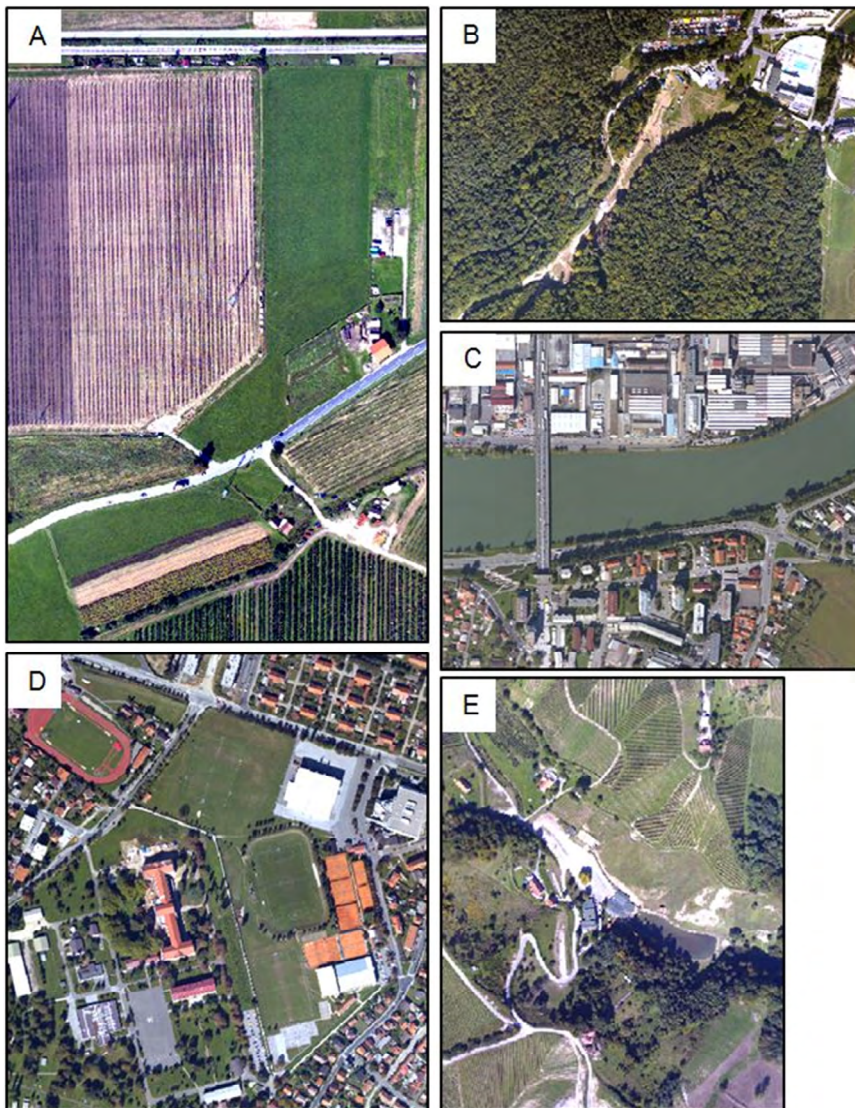
Prvo območje Maribora (v nadaljevanju MB 1) (slika 13 A) vsebuje pretežno njive. Videti je, da na njih raste večinoma hmelj, ki pa je na veliki njivi že obran. Na severu podobe lahko opazimo železniško progo, ki je ob straneh obdana s peščenima nasipoma. Prisotna je tako asfaltna kot tudi makadamske ceste, nekaj hiš in dreves ter travnikov. Za analizo lidarskih podatkov je pomemben elektrovod (južni del podobe). Opaziti je tudi nekaj avtomobilov.

Drugo območje Maribora (v nadaljevanju MB 2) (slika 13 B) je z vidika klasifikacije pomembno predvsem zaradi kolesarske proge ter vzpenjače, ki poteka čeznjo. Lokacija je zanimiva tudi zato, ker je locirana na robovih štirih BDOF1 in se zato barve istih vrst objektov rahlo razlikujejo. Lokacijo delajo zanimivo tudi precejšen naklon terena, parkirišče polno avtomobilov, hotel z bazenom ter del jezera na skrajnem severovzhodu podobe.

Tretje območje Maribora (v nadaljevanju MB 3) (slika 13 D) zajema večinoma športne objekte (nogometna igrišča, atletski stadion, tenis igrišča, asfaltirano igrišče). Ti so zanimivi zaradi svojega materiala (leš ali drugi umetni materiali). Poleg tega vsebujejo tudi vse druge osnovne objekte.

Četrto območje Maribora (v nadaljevanju MB 4) (slika 13 C) smo izbrali zaradi vode, mostu, nekaj visokih stavb (morebitne manjkajoče talne točke za stavbami) ter industrijske cone (morebitne manjkajoče talne točke zaradi goste pozidave).

Peto območje Maribora (v nadaljevanju MB 5) (slika 13 E) je hribovito in je zanimivo predvsem zaradi vinogradov in jezera, ki je v veliki meri prekrito s senco. Ostali prisotni objekti so: posamezne stavbe, drevesa, makadamske ceste, njive, travniki.



Slika 13: (A) BDOF1 Maribora - območje 1. (B) BDOF1 Maribora - območje 2. (C) BDOF1 Maribora - območje 4. (D) BDOF1 Maribora - območje 3. (E) BDOF1 Maribora - območje 5.

Barvni digitalni ortofoto posnetki (BDOF1)

V geodeziji že dobro uveljavljen barvni digitalni ortofoto posnetek (BDOF1) sodi v skupino rastrskih podatkov. Vsak geolociran piksel nosi informacijo o sivini. Radiometrična ločljivost BDOF1 je 24 bitna, kar da približno 16 milijonov barvnih tonov: od 0 (črna) do 255 (bela) v treh kanalih (rdeči, modri, zeleni). BDOF1 se trenutno uporablja predvsem kot podlaga za prikaz različnih prostorskih informacij, v raziskavi pa se je izkazal kot odlična osnova za samodejno izločitev nekaterih vrst pokrovnosti.

Lastnik podatkov je Geodetska uprava RS (GURS). Podobe zajemajo prilagojene vrednosti⁷ spektralnih kanalov rdeč, moder in zelen in so ortorektificirane v GK-KS.

V preglednici 1 so navedeni nekateri tehnični podatki BDOF1 vseh šestih testnih območij.


Preglednica 1: Nekateri tehnični podatki BDOF1.

Podatek \ Območje	Slivnica	MB 1	MB 2	MB 3	MB 4	MB 5
razpon X (m)	145	300	800	650	750	450
razpon Y (m)	139	450	600	700	600	570
razpon Z (m)	17,1	4,1	168,9	63,9	41,4	90,2
velikost piksla	0,25			0,2		
datum snemanja	8.05.2007		10. 09. 2007			

Podatki laserskega skeniranja – lidarski podatki

Podatki laserskega skeniranja (lidarski podatki) v izvorni obliki sodijo v skupino vektorskih podatkov. Lastnosti in uporabo teh podatkov smo podrobneje opisali v poglavju 4, tu pa navajamo nekaj dejstev o podatkih, uporabljenih v raziskavi. Lidarski podatki so zapisani kot oblak točk, postavljen v koordinatni sistem ter z različnimi atributi (slika 14).

⁷ V postopku izdelave BDOF1 se originalne fizikalne spektralne vrednosti prilagodijo vizualno primernemu prikazu. Kot take nimajo več neposredne povezave s fizikalnimi vrednostmi spektra, temveč predstavljajo digitalne vrednosti slike / prikaza.



GPS čas	kot	X	Y	Z	int	odb	vsi_odb
19166347	4	45254,84	7486,07	610,77	17	1	2
19166347	5	45255,01	7487,99	611,32	22	1	2

Slika 14: Oblak točk lidarskega snemanja (levo) ter prikaz nekaterih atributov (desno).

O vsaki točki se vodi mnogo informacij. Nekatere izmed njih so:

- GPS čas, v katerem je bila točka posneta,
- kot, pod katerim je bila točka posneta,
- koordinata točke v trirazsežnem prostoru,
- intenziteta odbitega žarka v tej točki,
- zaporedna številka odboja in skupno število odbojev, ki skupaj določujeta red odboja (edini, prvi, zadnji ali srednji odboj).

Pretvorba lidarskih podatkov v rastrsko obliko

Za vsa območja smo izdelali naslednje rastrske podobe s prostorsko ločljivostjo 0,5 m.

Podoba intenzitete:

- izhajali smo iz atributov X , Y in intenziteta,
- uporabili smo točke, ki so reda prvi in edini, saj te točke predstavljajo objekte, ki so vidni od zgoraj – kakor pri ortofotu,
- glede na gostoto točk smo uporabili velikost piksla 0,5 m (pri tem smo uporabili enačbo za določitev optimalne ločljivosti celice, ki so jo na ZRC SAZU modificirali po Henglu (2006),
- v postopku rastriranja smo uporabili postopek najbližjega sosedu, kjer vsakemu pikslu dodelimo povprečno vrednost okoliških točk.

Podoba digitalnega modela reliefa (DMR):

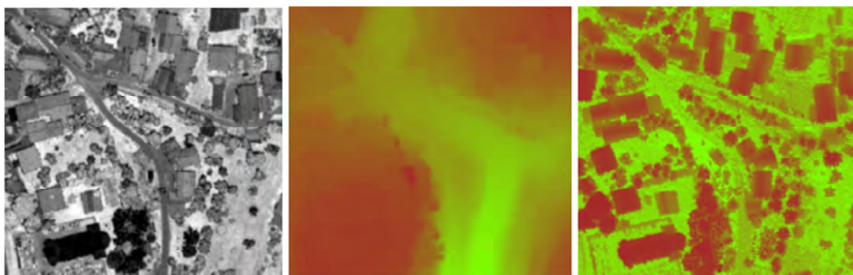
- izhajali smo iz atributov X , Y in Z ,
- uporabili smo vse točke, ki jih je program LasEdit določil kot talne (kakovost določitve DMR je opisana v nadaljevanju knjige),
- velikost piksla je enaka kot pri podobah intenzitete.

Podoba digitalnega modela površja (DMP):

- izhajali smo iz atributov X , Y in Z ,

- uporabili smo vse točke, ki jih je program LasEdit določil kot netalne točke, in ki so reda prvi in/ali edini, saj srednji in zadnji odboji ne predstavljata dejanske višine objekta,
- velikost piksla je enaka kot pri podobah intenzitete.

Za vseh šest območij smo naredili zgoraj navedene osnovne podobe. Slika 15 prikazuje primer podob za območje Slivnice. Po potrebi smo za analize izdelali še dodatne podobe, navedene v nadaljnjih poglavjih.



Slika 15: Od leve proti desni: intenziteta, DMR in DMP.

Lastnik lidarskih podatkov območja Slivnice je ZRC SAZU (pridobili so jih v okviru projekta M1-0137 Postopek izdelave podrobne digitalne karte višine in gostote pokrova rastja), območij Maribora pa podjetje Geoin d.o.o.. Na vseh območjih je bil uporabljen pulzni laser podjetja Optech ALTM 3100EA z naslednjimi tehničnimi lastnostmi:

- število odbojev na pulz: 4,
- vzorec skeniranja: žagasti (skener z nihajočim zrcalom),
- divergenca laserskega žarka: 0,3 mrad,
- zajem intenzitete: DA, 12 bitni,
- geolociranost podatkov: DA, in
- koordinatni sistem: Gauss-Krueger.

Dodatni tehnični podatki o uporabljenih lidarskih podatkih so navedeni v preglednici 2.

Preglednica 2: Nekateri tehnični podatki o lidarskih podatkih (Pavlek 2007).

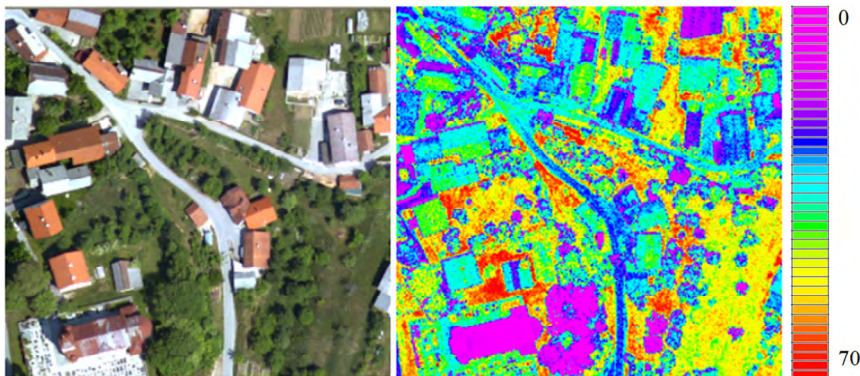
Podatek \ Območje	Slivnica	MB 1	MB 2	MB 3	MB 4	MB 5
datum snemanja	8.5.2007	september 2007				
število točk	145400	363100	879100	1627000	2748500	448900
število točk na m ² (min.; maks.; povpr.)	3; 20; 8,3	0; 12; 1,5	0; 24; 2,3	0; 34; 3,3	0; 124; 5,3	0; 21; 1,6
nad. višina snemanja	1650 m				1300 m	
največji kot snemanja	9°	22°	21°	21°	25°	21°
število preletnih linij	1	3	2	4	7	5
frekvenca snemanja	100 kHz				70 kHz	
položajna natančnost	< 30 cm				< 40 cm	
višinska natančnost	< 15 cm				< 20 cm	

6 Klasifikacija pokrovnosti

Na osnovi podatkov BDOF1 in podob intenzitete, dobljenih iz oblaka točk lidarskih podatkov, smo na vseh šestih testnih območjih določili pet osnovnih razredov: drevesa, stavbe, asfalt, travniki in njive. Začeli smo s preprosto klasifikacijo, že vsebovano v uporabljeni programski opremiti⁸. Ker z rezultati nismo bili zadovoljni, smo postopoma uvajali različne postopke za boljšo klasifikacijo. Celoten postopek je opisan v nadaljevanju tega poglavja.

6.1 Začetna klasifikacija

Osnovne razrede smo določevali z nenadzorovano klasifikacijo podob. Vzemimo za primer območje Slivnice in prikažimo BDOF1 (slika 16 levo) ter barvno podobo intenzitete (slika 16 desno), ki sta bili osnovi za klasifikacijo.



Slika 16: BDOF1 Slivnice (levo) ter barvna podoba intenzitete Slivnice (desno).

Interpretator lahko na videz med seboj loči različne vrste objektov na obeh podobah, vendar pri tem izhajajo iz enega ali več osnovnih elementov vizualne

⁸ Programa Erdas Imagine ter Excelis VIS Envi.

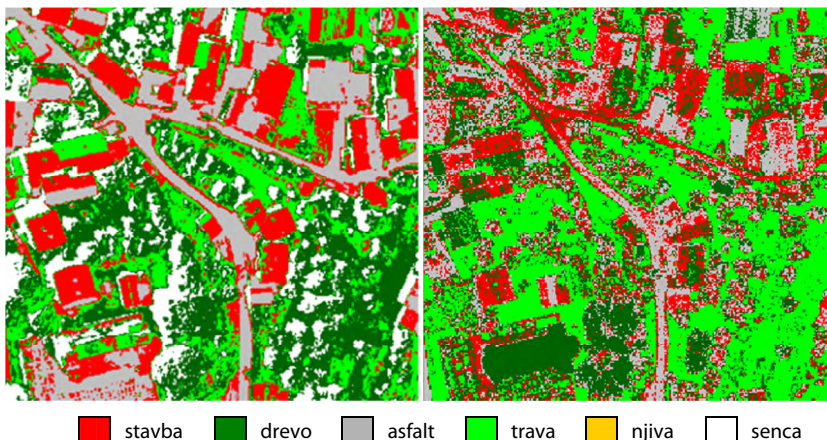
interpretacije (ton, oblika, velikost, vzorec, tekstura, senca in povezava). Pri nenadzorovani klasifikaciji imamo na voljo samo eno značilnost, to je vrednost piksla. Piksle razporedimo v razrede glede na njihovo naravno združevanje v spektralnem prostoru. V prvem koraku ne potrebujemo nikakršnega védenja o površju. Pri tem predpostavljamo, da so vrednosti enake rabe tal (ali podobni predmeti) blizu v spektralnem prostoru, vrednosti različnih tipov rabe tal pa so daleč narazen. To je sicer idealizirano, saj vedno pride do določenega prekrivanja razredov in je zato ločevanje med njimi težavno, poleg tega pa je posamezen informacijski razred pogosto sestavljen iz več spektralnih. Za nenadzorovano klasifikacijo lahko rečemo, da najprej z upoštevanjem številčnih vrednosti podatkov določimo spektralne razrede, ki jim v nadaljevanju priredimo informacijske razrede (Oštir 2006).

Klasifikacija torej temelji na združevanju pikslov z enakimi oz. podobnimi (stopnja podobnosti je odvisna od števila razredov, ki jih želimo klasificirati) spektralnimi lastnostmi. Tako lahko že na osnovi vizualnih značilnosti slike (slika 16) presodimo, katere razrede bomo na določeni podobi lahko razločili in kje bodo nastopile težave.

Pri BDOF1 lahko opazimo, da je cesta enake barve kakor skoraj polovica streh na stavbah, kar pomeni težave pri razlikovanju stavb in asfalta. Zelo podobno barvo imajo nekatere krošnje dreves ter opečnate strehe, ki ležijo na senčni strani. Tudi tukaj lahko pričakujemo težave. Prav tako so spektralno zelo podobni nekateri travniki in drevesa, dodaten problem so sence.

Tudi pri klasifikaciji intenzitete bomo najverjetneje imeli velike težave. Na prvi pogled objekte med seboj sicer lahko ločimo. Če pogledamo pazljiveje, pa opazimo, da ima lahko enako intenziteto kakor streha tudi krošnja ali njiva, med seboj neločljive so ceste in strehe. Videti pa je, da bi lahko dobro klasificirali travnike (slika 16, vrednosti obarvane z rdečo in rumeno).

Slika 17 prikazuje rezultate nenadzorovane klasifikacije podob s slike 16.

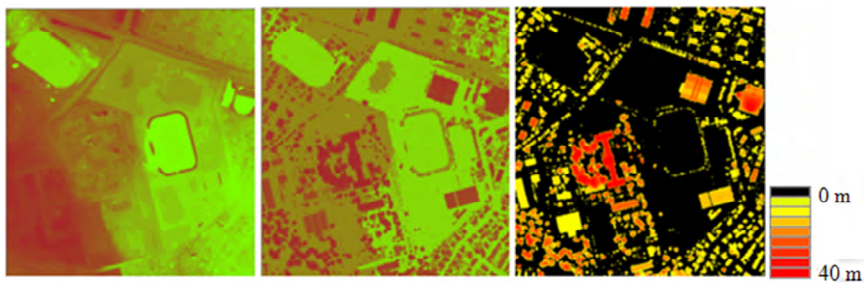


Slika 17: Klasifikacija BDOF1 (levo) in klasifikacija podobe intenzitete (desno).

Začetna opažanja so se izkazala pravilna. Nobena osnovna podoba ne zadošča za dobro izločitev kateregakoli osnovnega razreda. Še najboljše se loči razred trave, dobljen na osnovi intenzitete. Poleg že navedenih težav lahko pri podobi BDOF1 opazimo zelo temne sence, ki pri postopku klasifikacije tvorijo svoj razred. Ta razred bo težko razbiti na ustrezno pokrovnost, saj sta v senci temne barve tako trava kot asfalt. Ker smo na vseh testnih območjih prišli do praktično neuporabnih rezultatov, smo postopek klasifikacije začeli znova s postopki, opisanimi v naslednjih podpoglavjih.

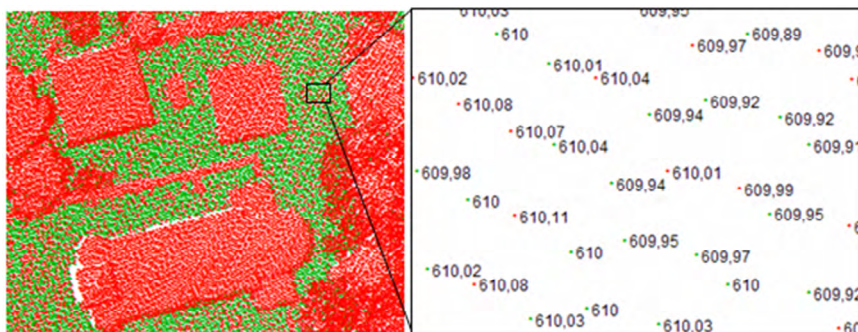
6.2 Razdelitev podatkov na višinske pasove

Klasifikacijo smo izboljševali z vpeljavo informacije o višini objektov, ki je izpeljani podatek lidarskih točk. Višino objektov smo določili tako, da smo od digitalnega modela površja (v nadaljevanju DMP) odšteli digitalni model reliefa (v nadaljevanju DMR). Primer določitve višin objektov območja MB 3 prikazuje slika 18.



Slika 18: Od leve proti desni: DMR, DMP, višine območja MB 3.

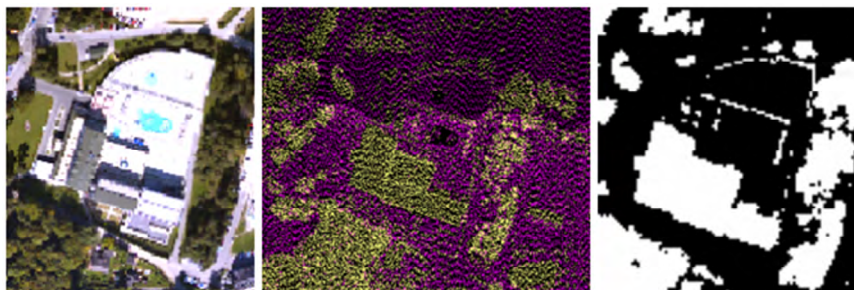
Poudariti je treba, da je kakovost določitve višine posameznih objektov tesno odvisna od kakovosti DMR in DMP. Podrobne analize kakovosti DMR nismo izdelali, prav tako smo morali zaupati izboru točk, ki jih je program LasEdit določil kot točke tal (algoritem izdelave le-teh namreč uporabniku ni znan). Določitev točk na talne in netalne smo preverili »na grobo«. Naj opišemo primer. Slika 19 prikazuje razdelitev točk na talne (zelene) in netalne (rdeče točke), kot jih je razdelil program LasEdit. Slika desno je podrobna.



Slika 19: Razdelitev točk na talne (zelene točke) in netalne (rdeče točke). Desno so za izsek leve podobe prikazane lidarske točke z višinami.

Ker navodila ne navajajo algoritma, lahko le sklepamo, da program kot netalne določi točke, ki imajo glede na okoliške točke prevelike skoke višin (so previsoke glede na okolico). Opazimo lahko, da je na dejanskih tleh izločenih precej točk, ki od okoliških točk v višini odstopajo tudi samo za nekaj cm. Lahko, da je bila izločitev teh točk pravilna (gre za vrhove trav ali drugega rastja), lahko pa smo izgubili informacije o reliefu. O kakovosti določitve talnih

točk tudi ne moremo sklepati iz reda odboja. Opazimo lahko, da sta prvi in srednji odboj vedno definirana kot ne-tla, zadnji in edini odboj pa nista nujno definirana kot tla. Oboje je pravilno.



Slika 20: Primer napačne določitve DMR-ja. Od leve proti desni: BDOF1; talne točke (vijolične) in netalne točke (rumene); točke, višje od 1 m.

Med obdelavo in opazovanjem podob smo ugotovili, da je klasifikacija točk na talne in netalne ter s tem relief za naš namen raziskave dovolj kakovostna. Na vseh območjih smo odkrili samo en primer napačne razdelitve točk na talne in netalne ter s tem napačen DMR in višine. To je mariborski hotel Habakuk (območje MB 2), katerega oblika je zavedla program, da ga je polovico določil kot tla (primer slika 20 od leve proti desni: BDOF1, talne točke (vijolične) in netalne točke (rumene) ter točke, višje od 1 m).

Preglednica 3: Vrste objektov glede na višino objekta.

Višina objekta	Vrsta objekta
nad 3 m	celotne stavbe, višje od 3 m (večina stanovanjskih objektov), deli stavb, ki so delno višji od 3 m (garaže, vrtno lope, pritlične hiše), višja drevesa
nad 2 m	večji del stavb, večina dreves
nad 1 m	vse stavbe in drevesa, grmovje, deli avtomobilov idr.
nad 0,5 m	stavbe, garaže, vrtno lope, drevesa, grmovje, avtomobili, vodnjaki, smetnjaki, nekatere ograje idr.

Na območju MB 3 sedaj razdelimo objekte po višini na višje od 0,5 m, 1 m, 2 m, 3 m in razdelitev prikažimo na izseku. Slika 21 na podlagi BDOF1

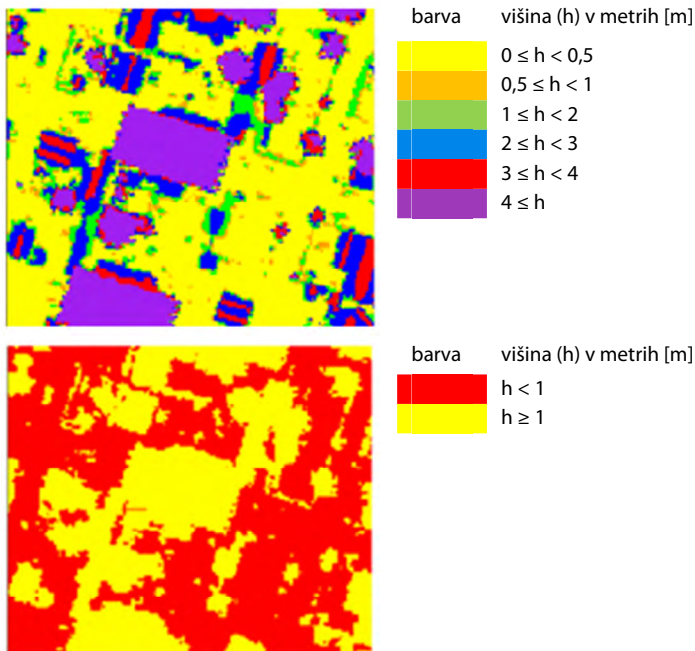
prikazuje objekte, višje od 0,5 m, 1 m, 2 m, 3 m. Nato ocenimo vidnost objektov na izseku glede na njihovo višino (preglednica 3).



Slika 21: Na podlagi BDOF1 prikazani objekti, višji od 0.5 m, 1 m, 2 m, 3 m (od leve proti desni in od zgoraj navzdol).

Ker višina objekta pomembno vpliva na določitev posameznih razredov, jo je treba dobro preučiti. Pred njeno izbiro moramo vedeti katere razrede želimo klasificirati. Določiti moramo kaj spada v določen razred. Ali sta npr. vrtna lopa in lesena garaža stavba ali ne, ali je okrasno grmičevje drevo ali ne itd. Slika 22 prikazuje primer razporeditve objektov v več višinskih pasov.

Opazimo lahko, da za izločitev dreves in stavb potrebujemo vsaj vse tri razrede objektov, višjih od 2 m. Če želimo v to skupino dodati še grmovje, moramo dodati tudi objekte, višje od 1 m. Pri tem se moramo zavedati, da so v tej skupini zajeti tudi avtomobili in drugi »nezaželeni« objekti, ki pa imajo manjšo površino in jih bomo odstranili v postopku poobdelave. Enako velja za objekte, visoke med 0,5 m in 1 m. To so večinoma zelo majhni objekti, za katere je najbolje, da jih priključimo k skupini tal in jih kasneje s filtriranjem izločimo (prepišemo s prevladujočimi okoliškimi kategorijami). Na podlagi teh opažanj smo podatke po višini razdelili v dva razreda in sicer na objekte višje oz. nižje od 1 m.



Slika 22: Prikaz objektov glede na njihovo višino. Več višinskih pasov (zgoraj) in dva višinska pasova (spodaj).

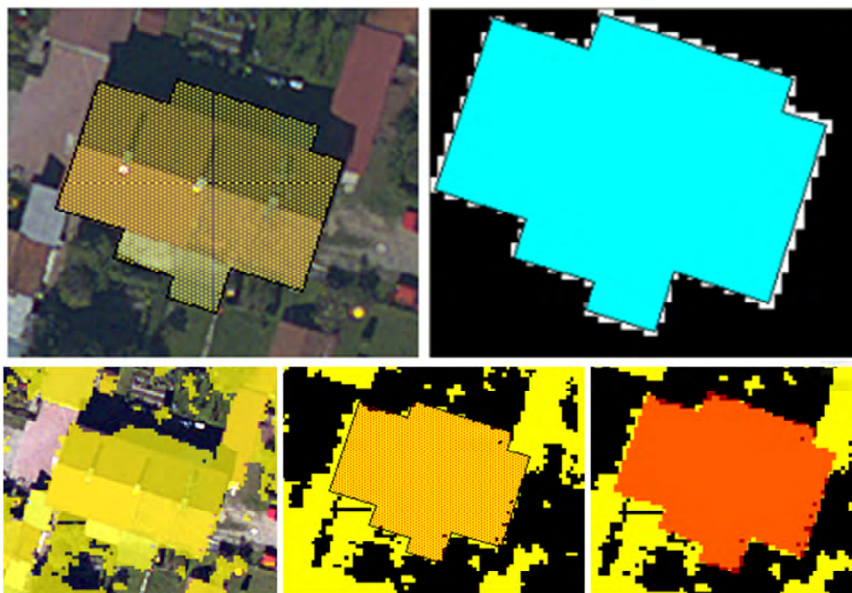
Šum in napake na podobi višin

Ko izdelamo podobo višin, lahko takoj opazimo, da objekti nimajo realne oblike. Vzroke so:

- povprečenje vrednosti višin v postopku rastriranja: z rastriranjem smo vrednosti DMR in DMP določili glede na povprečno vrednost višin točk v tem pikslu,
- neenakomerna razporeditev točk: lahko se zgodi, da v kakšnem pikslu ni nobene točke odboja (predvsem na robovih stavb), zato je tam vrednost piksla določena glede na okoliške točke,
- širina snopa laserskega žarka: lokacija točke je vedno določena s sredino laserskega žarka, s čimer lahko lokacija odstopa tudi za več 10 cm,
- napaka DMR: in s tem napaka višine (razloženo zgoraj),

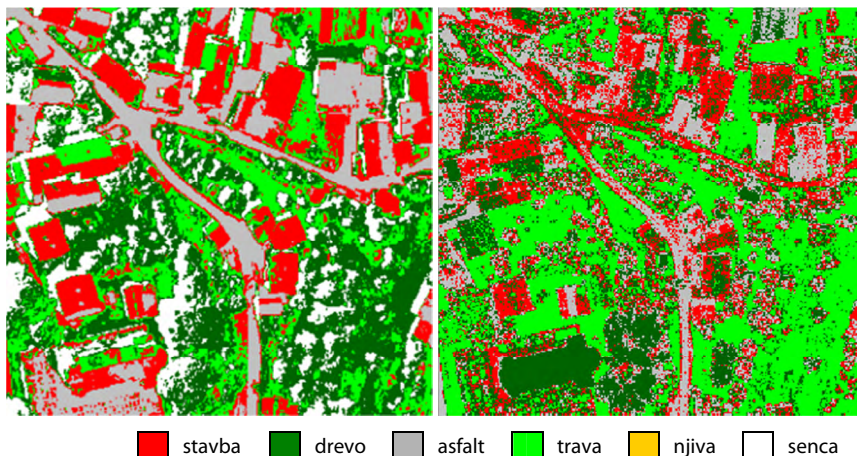
- odboji od drugih objektov: v teh primerih dobimo negativno višino, ki smo jo odpravili tako, da smo uporabili samo višine, višje od 0,
- rastrska podoba: podoba višin je rastrska, kar neposredno pomeni neeksaktno obliko objekta (slika 23).

Slika 23 zgoraj prikazuje obliko strehe, pridobljeno z ročno vektorizacijo strehe na BDOF1 (slika levo), ter popačenje tega poligona pri rastriranju (desno).

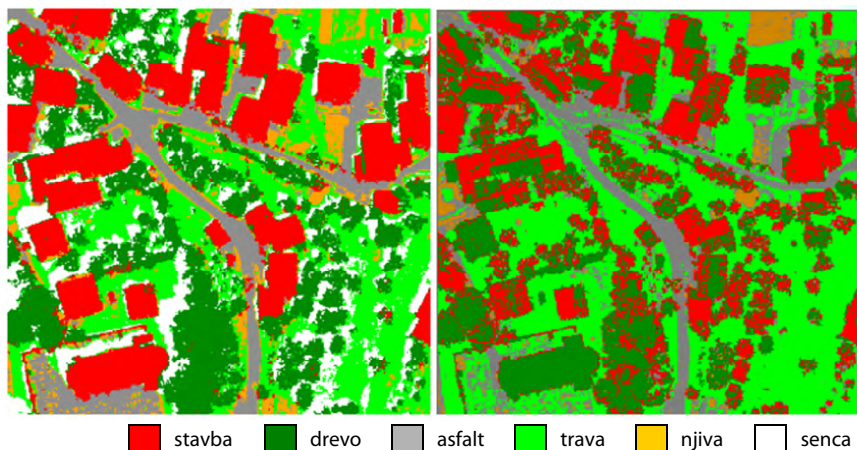


Slika 23: Ročno vektorizirana oblika strehe (zgoraj levo in zgoraj desno z modro) ter rastriran obod strehe (zgorajdesno z belo). Objekti z višino nad 1 m (spodaj levo rumeno) ter primerjava teh objektov z vektorizirano streho (spodaj na sredini) in rastriranim poligonom (spodaj desno).

Primerjajmo objekte, višje od 1 m z dejansko obliko strehe. Slika 23 spodaj od leve proti desni prikazuje podobo objektov z višino nad 1 m, primerjavo teh objektov z vektorizirano streho in primerjavo teh objektov z rastriranim poligonom.



Slika 24: Klasifikacija BDOF1 (levo) in intenzitete (desno) pred razdelitvijo na višine.



Slika 25: Klasifikacija BDOF1 (levo) in intenzitete (desno) po razdelitvi na višine.

Zavedati se moramo, da so na podobi objektov višjih od 1 m prikazani različni objekti. Poleg iskane stavbe tudi drevesa in strehe sosednjih stavb. Tudi če bomo stavbe in drevesa uspeli s klasifikacijo popolnoma pravilno ločiti, ne bo obris stavbe tako oster kot bi bil pri ročni vektorizaciji. Dejstvo pa je, da podobe višin nujno potrebujemo za uspešno klasifikacijo, zato jih moramo uporabiti, čeprav s tem zmanjšamo kakovost oblike dobljenih objektov.

Prikažimo v nadaljevanju nekaj primerov klasifikacije objektov po uvedbi razdelitve na višinska pasova. Slika 24 prikazuje območje Slivnice, klasificirano na osnovi BDOF1 ter intenzitete pred razdelitvijo na višinske pasove, slika 25 pa po razdelitvi na višinske pasove.

Slika 25 prikazuje klasifikacijo zgolj na območju Slivnice, vendar lahko do enakih ugotovitev, ki so navedene v nadaljevanju, pridemo tudi z analizo rezultatov pri vseh območjih Maribora.

Pri BDOF1 je končna klasifikacija bistveno boljša, uvedba višinskih pasov se je izkazala kot nujna; vsi razredi se skoraj pravilno izločijo; velik del podobe zajemajo sence, ki so združene v en razred in jih ni mogoče razdeliti v ustrezen razred (ne vemo kaj je pod sencami – trava ali asfalt); ostajajo majhna območja, ki predstavljajo šum.

Pri intenziteti je uvedba višinskih pasov klasifikacijo precej izboljšala; asfalt in lepa trava se med seboj zelo dobro ločita; dobro lahko izločimo njive; skoraj nemogoče je ločiti asfalt od pohojene trave, trave, skozi katero se vidi velik del zemlje; objekte, višje od 1 m (drevesa in stavbe) je med seboj nemogoče ločiti.

6.3 Uvedba standardnega odklona (SO)

Dreves in stavb se torej na osnovi intenzitete tudi po uvedbi višinskih pasov ne da učinkovito ločiti. Vendar lahko pri pregledu profila lidarskih točk opazimo, da so drevesa in stavbe zelo dobro ločljiva. Torej mora obstajati spremenljivka, ki bi omogočala ločitev teh dveh vrst objektov. Slika 26 zgoraj prikazuje profil širine 5 m, ki zajema drevo in stavbo.

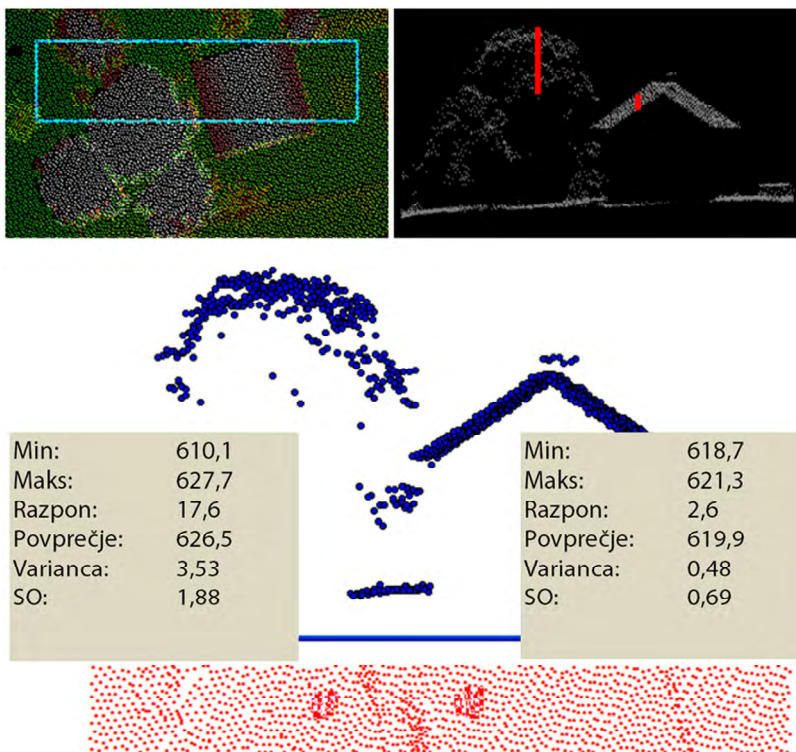
Opazimo lahko, da imajo točke v krošnji drevesa precej večje razlike v višini kakor točke, razporejene po strehi objekta. Potrebovali bi torej mero za višinsko razpršenost odbojev v pikslu. Statistike za območji 1 m² za drevo in streho prikazuje slika 26 spodaj.

Za nas zanimiva mera je standardni odklon, ki je za območje drevesa 1,88 in stavbe 0,69 ter tako omogoča razločevanje teh dveh objektov. Kaj je standardni odklon (v nadaljevanju SO)?

Standardni odklon (tudi standardna deviacija) (σ , sigma) je statistični kazalec, največkrat uporabljen za merjenje statistične razpršenosti enot. Z njim je moč izmeriti, kako razpršene so vrednosti, vsebovane v populaciji. Definiran je kot kvadratni koren variance, s čimer je v vsakem primeru dosežena pozitivna vrednost kazalca. Standardni odklon vseh enot statistične populacije je definiran s formulo:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad (2)$$

kjer je x_i i-ta enota v statistični populaciji, \bar{x} aritmetična sredina populacije, N pa število vseh enot.



Slika 26: Točke, zajete v pasu 5 m in profil tega pasu (zgoraj). Statistični podatki nadmorske višine izbranih točk na območju drevesa (spodaj levo) in strehe (spodaj desno).

Velik standardni odklon kaže na veliko razpršenost enot v populaciji, tj. enote so razporejene v velikem obsegu okoli aritmetične sredine. Majhen standardni odklon pa nasprotno pomeni veliko koncentracijo statističnih enot okoli aritmetične sredine.

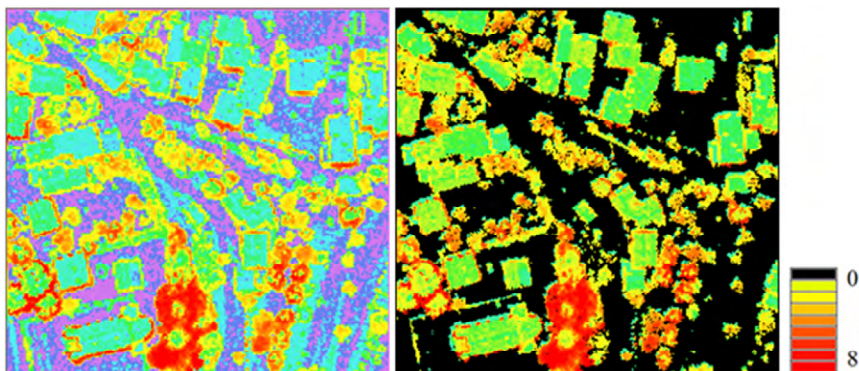
Za namen vpeljave SO v klasifikacijo potrebujemo rastrsko podobo, kjer vsak piksel nosi vrednost standardnega odklona. Pri tem se pojavi nekaj vprašanj: kako in v kakšnem programu izračunati SO, kako uporabiti vrednosti SO, kateri red točk izbrati, kako velik naj bo raster, kako lokacija piksla vpliva na SO, pri kateri gostoti točk je uporaba SO za klasifikacijo še uporabna ter kako SO vpliva na obliko objekta? Na ta vprašanja smo odgovorili v nadaljevanju.

Način izračuna standardnega odklona

Analize na kombiniranih rastrskih in vektorskih podatkih so pogosto onemogočene ali vsaj otežene. Zato smo za izračun SO najprej napisali program v Matlabu, ki je žal takšni količini podatkov podlegel. Zato smo točke uvozili v MapInfo ter tam nad vsemi točkami posameznega območja generirali mrežo z ustrežno velikostjo celice (1 m oz. 1,5 m). Za vsako celico smo izvedli izračun SO. Ker pretvorba mreže z vrednostjo pikselov v rastrsko podobo zopet ni možna, smo za vsako celico izračunali njen centroid (koordinati X in Y središča celice), nanj prenesli podatek o SO, centroide z atributi prenesli v tekstovno datoteko ter iz nje s programom Envi izdelali rastrsko podobo.

Omeniti moramo, da izračun SO v pikslu, ki ne vsebuje nobene točke, ni izvedljiv, saj imamo opraviti z deljenjem z ničlo. Ker so točke neenakomerno razpršene, smo prišli tudi do takšne situacije. Zato smo v primeru, ko v pikslu ni bilo točk, SO na koncu izračuna popravili na vrednost nič.

Pri prvi izdelavi podobe SO je izračun temeljil na osnovi višin vseh točk. Slika 27 levo prikazuje barvno podobo vrednosti SO za celotno območje, na desni pa podobo vrednosti SO za objekte, višje od 1 m. Pri objektih, nižjih od 1 m, je klasifikacija na osnovi spremenljivke SO nesmiselna, saj so vsi ti objekti ravni ($SO \approx 0$).



Slika 27: Barvna podoba vseh vrednosti SO (levo) in vrednosti SO za objekte, višje od 1 m (desno).

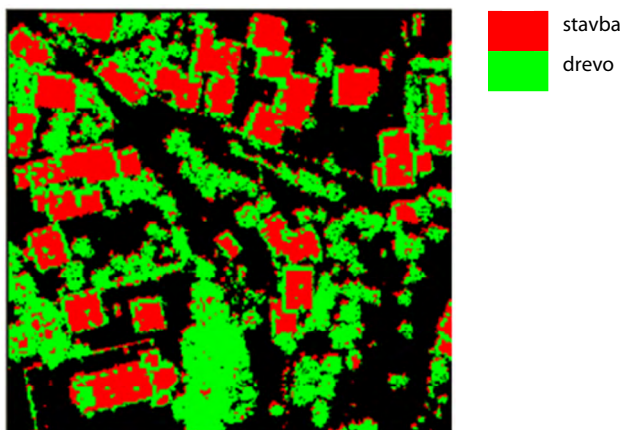
Uporaba standardnega odklona

Za razdelitev objektov, višjih od 1 m, na drevesa in stavbe, je treba določiti mejno število SO. Vrednosti, nižje od mejnega števila, bodo razvrščene v kategorijo stavb (točke na strehi imajo skoraj enako višino), vrednosti, višje od mejnega števila, pa v kategorijo dreves (točke na drevesu lahko imajo zelo različne višine). Mejnega števila SO ni mogoče izračunati, zato smo ga določili empirično. Tudi to ni bilo preprosto, saj imajo nekatere strehe velik naklon (večji SO), velik SO imajo tudi robovi stavb, saj tam SO računamo iz točk na tleh in točk na strehi, dodaten problem predstavljajo goste krošnje nekaterih dreves, ki zaradi neprebojnosti žarka skozi krošnjo SO zmanjšujejo. Na osnovi poskušanja je najboljšo razdelitev nudilo mejno število SO 0,35. Rezultat prikazuje slika 28.

Opazimo, da je klasifikacija na osnovi SO občutno boljša od klasifikacije na osnovi intenzitete (slika 25). Skoraj vse stavbe so pravilno izločene. Problem je njihova oblika ter prisotnost mnogih manjših območij, ki bi jih bilo potrebno odstraniti. Obe omenjeni slabosti smo vsaj deloma odpravili s filtriranjem.

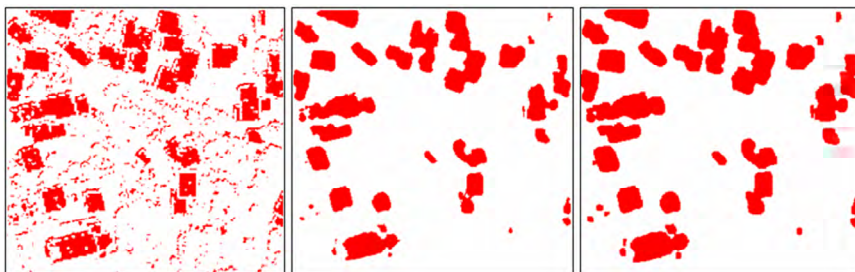
Filtriranje rastrskih podob obsega postopke, ki upoštevajo prostorske razsežnosti podatkov in različna merila na podobah (upoštevajo sosede) (Oštir 2006). S filtriranjem želimo, na primer, odstraniti šum na podobah in jih tako zgladiti ali pa poudariti meje med homogenimi območji in povečati

njihovo prepoznavnost. V raziskavi je filtriranje celotne podobe intenzitete negativno vplivalo na klasifikacijo objektov, zato smo to podobo uporabljali v prvotni, nespremenjeni obliki. Filtriranje pa smo uporabili na podobi objektov, dobljeni na osnovni vrednosti SO. Pri tem smo želeli odstraniti majhne objekte, večje objekte pa zapolniti in povečati. Kot primerno se je pokazalo konvolucijsko filtriranje, tj. filtriranje, ki uporablja relativno preproste matematične postopke v prostorski domeni. Pri tem uporabljamo premično okno velikosti nekaj pikslov, na primer 3 krat 3 ali 5 krat 5. Znotraj okna (računske matrice) opravimo določeno matematično operacijo in v izhodni sloj (v centralni piksel) zapišemo izračunano vrednost. S premikanjem okna vzdolž stolpcev in vrstic celotno podobo filtriramo in ustvarimo novo. S spreminjanjem računskih operacij znotraj okna in uteži, ki jih posamezni pikseli v njem imajo, vplivamo na obliko (učinek) filtra (Oštir 2006). Z uporabo filtra lahko podatke izboljšamo, vendar moramo biti pri njegovi izbiri zelo pazljivi. Kaj hitro se lahko zgodi, da kaj preveč povečamo, popačimo ali izbrišemo.



Slika 28: Razdelitev drevs (zeleno) in stavb (rdeče) glede na vrednost SO.

Za odstranitev majhnih objektov smo uporabili filter večine (*majority*). Pri tem postopku vrednost vsakega piksla zamenjamo z vrednostjo, ki je najpogostejša na območju filtra. Učinek filtra je prikazan na podobi stavb (slika 29 levo), kjer smo uporabili filter večine velikosti 7 krat 7 (slika 29 sredina).

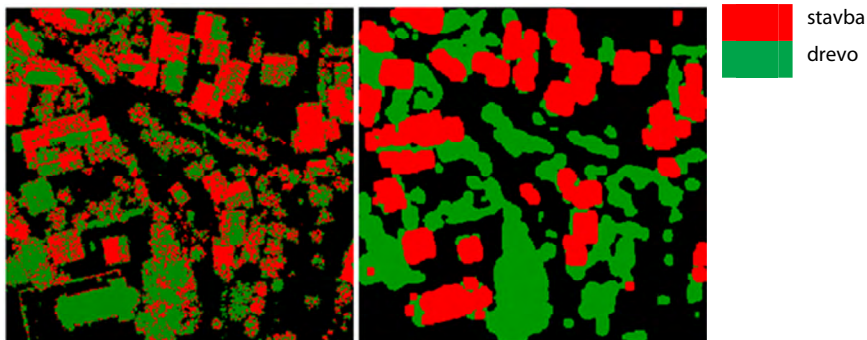


Slika 29: Stavbe po SO (levo), filtrirane s filtrom večine (sredina) in s filtrom največje vrednosti (desno).

Ker so robovi stavb zaradi velikega SO večinoma odrezani, smo vse stavbe, že filtrirane s filtrom večine, povečali s filtrom največje vrednosti (*max*). Pri tem postopku vrednost vsakega piksla zamenjamo z največjo vrednostjo na območju filtra. Uporabili smo velikost filtra 3 krat 3.

Vpliv SO in filtriranja na obliko objekta

Primerjajmo drevesa in stavbe, dobljena po višinski razdelitvi in klasifikaciji intenzitete (slika 30 levo) z drevesi in stavbami, dobljenimi po klasifikaciji s pomočjo SO ter filtriranjem (slika 30 desno).



Slika 30: Klasifikacija intenzitete po višinski razdelitvi (levo) ter na osnovi SO in filtriranja (desno).

Ugotovimo, da se je pravilnost klasifikacije izboljšala. Večjih napak skoraj ni opaziti. Ohranili smo vse stavbe in se hkrati znebili vseh manjših območij, določenih kot stavbe, ki dejansko niso stavbe. Poleg vsebinske izboljšave pa

na prvi pogled opazimo tudi precejšnje poslabšanje oblike objektov, predvsem stavb. Poslabšanje oblike je posledica velikega filtrirnega okna, brez katerega pa brez šuma ne moremo pridobiti posameznih stavb. Prav tako je treba omeniti, da je slabša oblika objektov tudi posledica večje velikosti piksla (1 m) kakor jo je imela podoba višin (0,5 m). Vendar manjše velikosti piksla zaradi premajhne gostote točk nismo mogli izbrati.

Odvisnost standardnega odklona od vrste točk

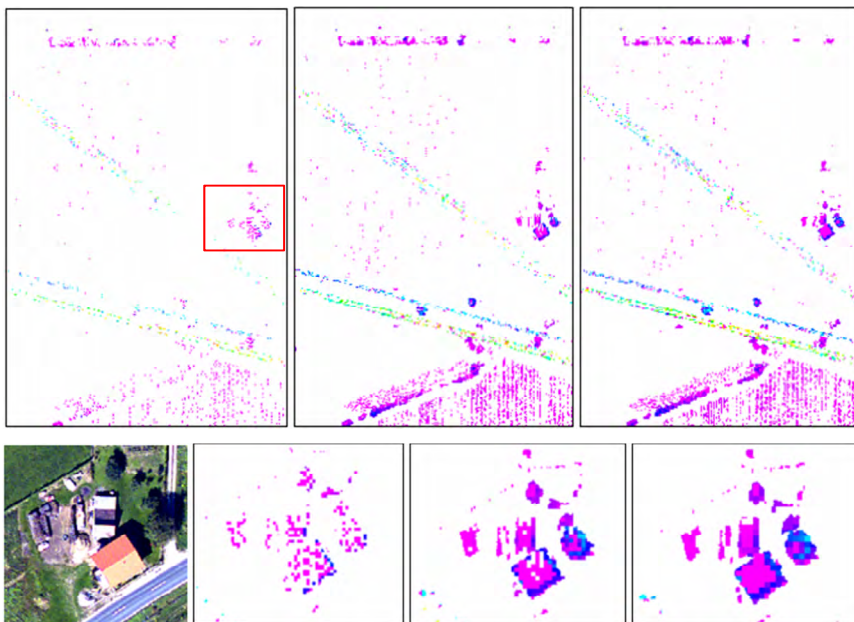
Pred izračunom SO je bilo potrebno razmisliti, katere točke je treba pri izračunu uporabiti. V prvotnem poskusu smo uporabili vse točke in rezultat je bil zelo obetaven. Vendar pa na podobi SO opazimo, da so moteči piksli, ki so na robovih stavb, saj so v teh pikslih zajete talne točke in točke s strehe, kar se izraža v visokem SO. Z izračunom SO brez talnih točk se možnost izločitve stavb ne poveča, možnost izločitve dreves pa celo zmanjša, saj izločimo točke, ki ležijo pod drevesi in pomembno pripomorejo k povečavi vrednosti SO pod drevesi.

Druga možnost za boljšo ločitev dreves in stavb bi lahko bila v ločitvi vseh netalnih točk od točk reda edini. Strehe so za svetlobne žarke namreč nepropustne, zato bi na njihovi površini pričakovali zgolj točke reda edini. Krošnje so za žarek deloma prepustne, zato naj bi bilo tam teh točk manj. Vendar pa je opaziti, da je gostota točk reda edini približno enaka tako na strehah kakor na krošnjah. Razlog je verjetno v tem, da so krošnje precej goste (morda bi morali snemati v drugem letnem času), strehe pa imajo nezanemarljiv naklon. Zaradi navedenih razlogov smo v nadaljevanju SO računali iz vseh točk.

Odvisnost SO od velikosti piksla

Izračun SO je izvedljiv samo v primeru, ko je točka v pikslu vsaj ena. Smiselno pa je šele v primeru, ko sta v pikslu vsaj dve točki (ena točka ne more biti razpršena). Zato je treba izbrati optimalno velikost piksla glede na gostoto točk. Za testiranje koristnosti SO glede na izbrano velikost piksla smo uporabili območje MB 1. Za celotno območje smo izračunali SO za objekte, višje od 1 m pri velikosti pikslov 1 m, 1,5 m in 2 m (slika 31 zgoraj od leve proti desni). Povprečna gostota točk na tem območju je 1,5 točke/m², kar je za ZLS

malo. Izseke (ločitev drevesa in stavbe po SO 1 m, 1,5 m, 2 m) prikazuje slika 31 spodaj.



Slika 31: Podoba SO območja MB 1 za objekte, višje od 1 m, pri velikosti pikslov 1 m, 1,5 m in 2 m (po vrsti, zgoraj). Povečan izsek gornjih podob (spodaj).

Opazimo, da je točk premalo, da bi SO računali v mreži z velikostjo celice 1 m. V objektih nastajajo luknje, SO dreves in stavb se ne razlikujejo. Boljše rezultate da SO, izračunan v mreži z 1,5 m velikimi celicami, najboljše razlikovanje pa nudi SO, izračunan na celice velikosti 2 m krat 2 m. Ker imajo robovi stavbe velik SO, jih morda ne bomo mogli izločiti. Velika celica lahko zajame tudi velik del strehe, ki ima značilno majhen SO, vendar pa je lahko na velikem območju naklon strehe že tako velik, da se vrednost SO strehe približa vrednosti SO drevesa, zato izbira prevelike celice tudi ni racionalna. Za vsa območja MB smo kot optimalno za izračun SO izbrali velikost piksela 1,5 m, za Slivnico pa 1 m, saj je tam gostota točk večja (8,3 točke/m²). Pravilnost izbire velikosti piksela, določene na osnovi vizualne primerjave dobljenih

podob, so potrdili tudi rezultati enačbe za določitev optimalne ločljivosti celice, ki so jo na ZRC SAZU modificirali po Henglu (2006):

$$r \approx 2 \cdot \sqrt{\frac{S}{N}} \quad (3)$$

kjer je r velikost piksla, S velikost celice, za katero poznamo število točk, in N število točk v celici.

Za območja Maribora je po tej enačbi priporočljiva velikost piksla 1,63 m, za območje Slivnice pa 1,05 m.

Odvisnost standardnega odklona od lokacije piksla

Mreža za izračun SO je položena čez celotno območje vseh točk. Njene celice so enakomerno razporejene, zato na lokacijo posamezne celice ne moremo vplivati. V večini primerov nas to ne moti in nima vpliva na klasifikacijo objektov. Moteči pa so primeri, ko celica zajame del stavbe in del tal. Tam je SO velik in tisti piksel bomo razporedili v razred z drevesi. Podobna situacija se pojavi tudi v primeru, ko ima stavba stopničasto obliko (večnivojska streha). Kot se vidi na zgornjih slikah, je takšnih primerov precej in nanje ne moremo vplivati.

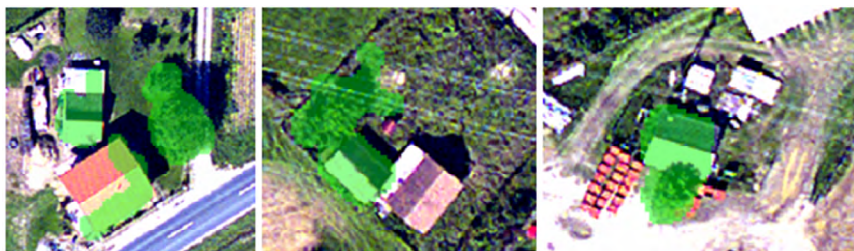
Gostota točk in uporabnost statistike standardni odklon

Na primeru Slivnice smo ugotovili, da je uvedba SO zelo smiselna za kategorizacijo dreves in stavb. Pravilno smo izločili praktično vse stavbe in drevesa (govorimo o lokaciji teh objektov, njihova oblika je obravnavana kasneje). Kako uspešen se je SO izkazal na območjih MB 2 in MB 3 prikazujeta slika 32 in slika 33.

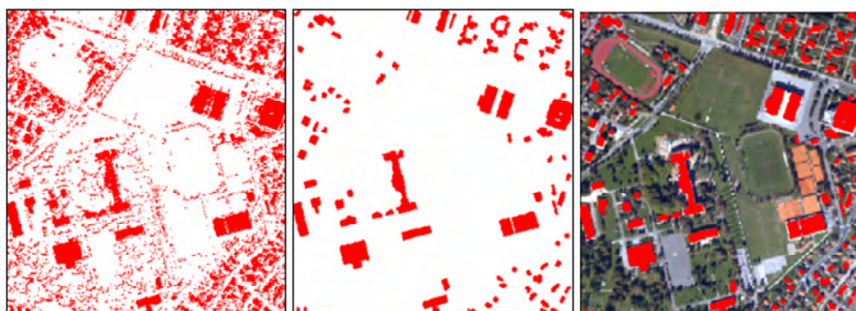
Nekatera večja drevesa, ki stojijo samostojno, smo izločili pravilno. Drevesa, ki so poleg stavb, so se v večini primerov spojila s slednjimi. Nekateri robovi stavb so se izločili kot drevesa. Izločitev dreves na osnovi standardnega odklona na tem območju torej ni uspela, razlog pa lahko iščemo v premajhni gostoti točk (2,3 točke/m²).

Slika 33 od leve proti desni prikazuje: stavbe po klasifikaciji s standardnim odklonom (levo), filtriranje (na sredini) ter prikaz stavb na BDOF1 (desno) na območju MB 3.

Učinkovitost klasifikacije na osnovi SO je odvisna tudi od normativov, ki jih določimo kot mejo za uspešnost klasifikacije. Če želimo na tem območju izločiti samo večje stavbe (tloris nad 100 m², lahko smatramo to klasifikacijo za uspešno. Če pa želimo izločiti tudi vse manjše stavbe in vrtno lopo, se klasifikacija na osnovi SO pri tej gostoti točk (3,3 točke/m²) izkaže za neuspešno.



Slika 32: Klasifikacija dreves na osnovi standardnega odklona na območju MB 2.



Slika 33: Stavbe po klasifikaciji s standardnim odklonom (levo), filtriranje stavb (na sredini) ter prikaz stavb na BDOF1 (desno) za območje MB 3.

6.4 Uvedba funkcij združi in presej

V primeru zadostne gostote točk uporaba standardnega odklona zadostuje za pravilno izločitev dreves in stavb. Žal pa oblika objektov precej odstopa od dejanskega stanja. To je posledica mnogih dejavnikov, opisanih v prejšnjem poglavju, večino krivde za popačenje oblike pa nosi postopek filtriranja, saj smo morali zaradi velikega šuma uporabiti precej močne filtre. Rešitev težave

smo videli v uporabi filtra, ki bi šum zmanjšal na najmanjšo možno mero. Zato smo uvedli funkciji združi in presej (Exelis 2007).

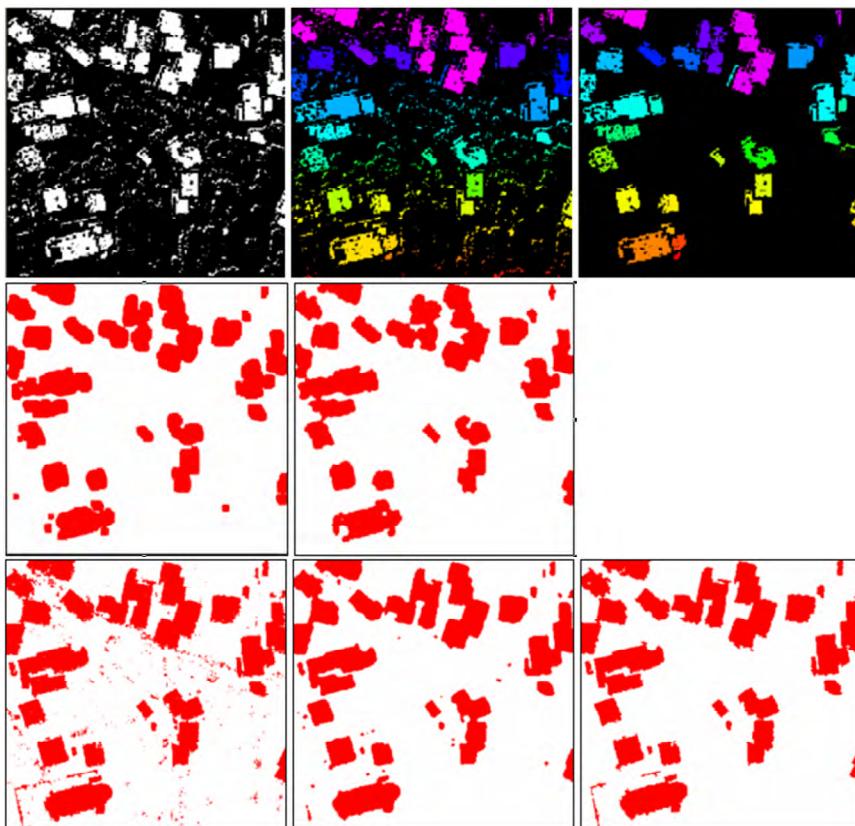
S funkcijo združi (ang. *clump*) na osnovi primerjave štirih oz. osmih sosednjih pikslov združujemo piksele v posamezne skupine. Vsaki skupini dodeli enolično identifikacijsko številko ter število pikslov v tej skupini (slika 34 sredina – vsaka skupina je obarvana s svojo barvo).

Funkcija presej (ang. *sieve*) je sito za podobo združenih pikslov. Kot vhodni podatek določimo, najmanj koliko pikslov mora vsebovati skupina pikslov, da jo ohranimo na podobi. Povedano drugače: izločimo lahko vse skupine, ki so sestavljene iz manj kot določenega števila pikslov. S tem se znebimo zelo majhnih objektov, ki dejansko predstavljajo šum (slika 34 zgoraj desno).

Čeprav sta funkciji preprosti, je treba pred vnosom vhodnih parametrov dobro preučiti katere piksele želimo združiti in kako velike objekte želimo obdržati. Pri funkciji združi smo temeljili na primerjavi štirih sosednjih pikslov, nad sitom pa smo obdržali vse stavbe, vključno z lesenimi lopami.

Z uporabo funkcij združi in presej smo obdržali obliko stavb, določeno s SO, znebili pa smo se vseh delov, ki predstavljajo šum. Pod takšnimi pogoji lahko uporabimo manjši filter, ki bo posledično tudi manj popačil oblike stavb. Uporabili smo filter največje vrednosti 3 krat 3 in filter večine 5 krat 5. Slika 34 sredina omogoča primerjavo stavb, kot smo jih dobili po prvotnem filtriranju (slika levo) ter stavbe, ki smo jih spustili skozi filter po uporabi funkcij združi in presej (slika desno).

Oblika je pri uvedbi funkcij združi in presej bolje ohranjena, majhnih, odvečnih območij ni več. Pokažimo rezultat enake zgodbe za klasifikacijo stavb na osnovi BDOF1 (slika 34 spodaj). Za prvotno filtriranje smo dvakrat uporabili filter večine 7 krat 7, za filtriranje po uvedbi funkcij združi in presej pa filter večine 5 krat 5. Ugotovitve so enake. Uspešno smo odstranili šum in skoraj v celoti ohranili obliko stavb.

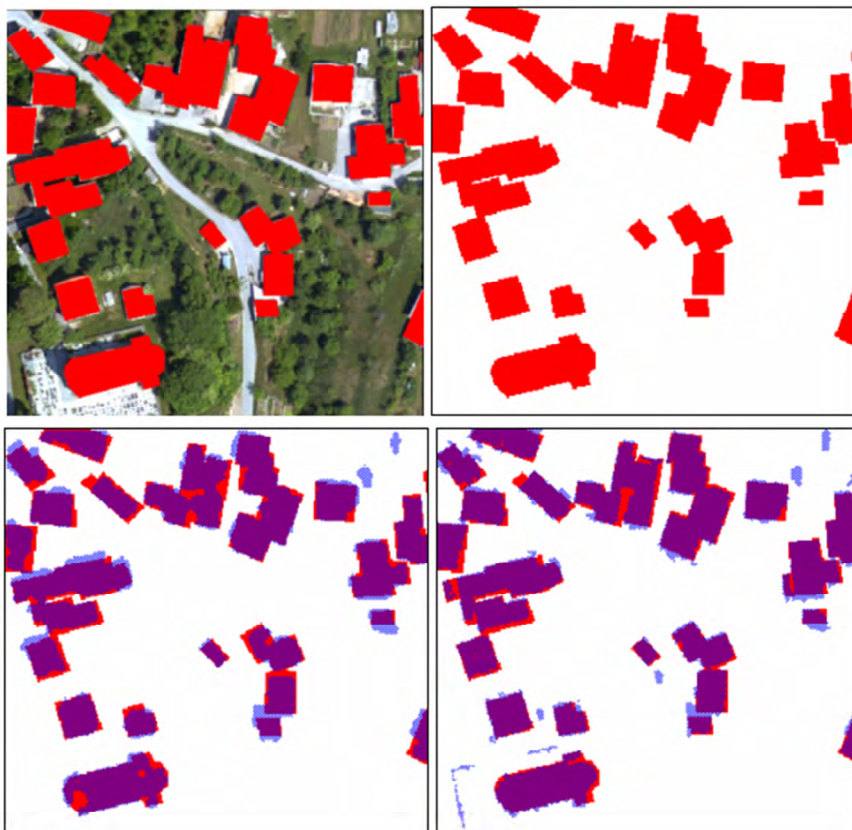


Slika 34: Zgoraj - Stavbe, dobljene na osnovi SO (levo) ter učinek funkcije združi (sredina) ter presej (desno). Sredina – Osnova je Lidar - Prvotno filtrirane stavbe (levo) ter filtriranje po uporabi funkcij združi in presej (desno). Spodaj – Osnova je BDOF1 - Stavbe po SO (levo), prvotno filtrirane stavbe (sredina) ter uporaba funkcij združi in presej (desno).

Kakovost določitve stavb

Za ugotovitev kakovosti izločitve stavb smo na osnovi BDOF1 ročno vektorizirali vse stavbe (slika 35 zgoraj levo) in jih pretvorili v rastrsko obliko (slika 35 zgoraj desno). Ta podoba je referenčna.

Na podobo teoretično najboljše določenih stavb položimo stavbe, dobljene na osnovi lidarskih podatkov (slika 35 spodaj levo) ter stavbe, dobljene s klasifikacijo BDOF1 (slika 35 spodaj desno).



Slika 35: Ročno vektorizirane stavbe v vektorski (zgoraj levo) in rastrski (zgoraj desno) obliki. Stavbe iz lidarskih podatkov (spodaj levo) ter stavbe iz BDOF1 (spodaj desno) na ročno izločenih stavbah. Vijolična območja se prekrivajo z referenčno podobo, modro so napačno vključene stavbe, rdeče pa manjkajoči deli stavb.

Ugotovimo, da se tako stavbe, dobljene na osnovi lidarskih podatkov, kakor tudi stavbe, dobljene na osnovi BDOF1, odlično ujemajo z dejanskimi stavbami. To smo potrdili tudi z izračunom korelacije, ki je za stavbe, klasificirane na osnovi lidarskih podatkov, 0,94, za stavbe, klasificirane na osnovi BDOF1 pa 0,95.

Morebitno neujemanje je tudi posledica subjektivnih odločitev osebe, ki je stavbe vektorizirala. Opazi se, da pri ročni vektorizaciji nismo zajeli nekaj

stavb, ki se nam niso zdele stavbe (npr. desno zgoraj). Izločitev stavb po obeh samodejnih postopkih (po SO ter po BDOF1) bi lahko nadomestila ročno, dolgotrajno in subjektivno vektorizacijo.

Položajna natančnost

Položajna natančnost je v prvi vrsti pogojena s položajno natančnostjo lidarja. Ta je na območju Slivnice 0,3 m (Pavlek 2007). Natančnost položaja tudi ne more biti boljša od velikosti piksla, ki je odvisen od gostote točk in je tako za Slivnico 1 m. Prav tako je odvisna od parametrov funkcij združi in presej ter predvsem filtra, s katerimi objekte dokončno klasificiramo. Na osnovi navedenega in nekaj meritev razlik med stavbami, vektoriziranimi na BDOF1, in klasificiranimi stavbami sklepamo, da je na primeru klasifikacije območja Slivnice položajna natančnost med 1 - 2 m in je zaradi učinka sence⁹ neenakomerno razporejena.

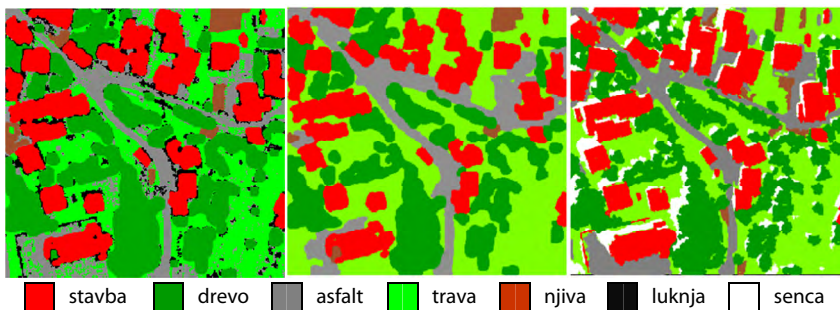
Združitev klasificiranih objektov

Po zgoraj opisanem postopku lahko dobro izločimo posamezne razrede. Vendar pa lahko pri njihovi združitvi opazimo luknje in prekrivanja (slika 36 levo), ki jih je treba odpraviti. To smo rešili z določitvijo prioritete liste, po kateri smo klasificirali objekte. Povedano drugače: določili smo vrsti red slojev posameznih razredov, in sicer (od najpomembnejše navzdol): stavbe, drevesa, njive, asfalt in trava.

To pomeni, da smo najprej klasificirali stavbe, nato iz sloja objektov, višjih od 1 m, izrezali stavbe in podobo razlik vzeli kot vhodni podatek za klasifikacijo dreves. Nato smo zopet od dobljenih dreves izrezali stavbe. Tako smo dobili končni sloj stavb in dreves. Ta sloj smo izrezali iz podobe intenzitete ter dobljeno podobo razlik z nenadzorovano klasifikacijo klasificirali na toliko razredov, da smo lahko izločili njive. Iz sloja končno oblikovanih njiv smo izrezali drevesa in stavbe. Po identičnem postopku smo nadaljevali še z asfaltom. Vsem pikslom, ki so ostali, smo pripisali razred trava.

⁹ "Shadow effect" – lastnost lidarskih podatkov, pri katerem je npr. dvokapna streha na strani preleta letala oz. na strani, katere površina je bolj pravokotna na žarek snemanja, večja od dejanskih dimenzij, manjša pa na strani, kjer žarek pada na streho pod večjim kotom (Pavlek 2007).

Po enakem postopku smo obdelali tudi objekte, ki smo jih dobili na osnovi BDOF1. Končne klasificirane podobe prikazuje slika 36 (sredina: klasifikacija na osnovi lidarskih podatkov, desno: klasifikacija na osnovi BDOF1).



Slika 36: Zdržitev stavb in dreves s tlemi (levo). Končna podoba klasifikacije na osnovi lidarskih podatkov (sredina). Končna podoba klasifikacije na osnovi podatkov BDOF1 (desno).

Končni podobi vsaka na svoj način dobro klasificirata objekte. Klasifikacija na BDOF1 ohrani oblike, vendar vsebuje precej velika območja senc, ki bi jih bilo potrebno v nadaljnji obdelavi odstraniti. Klasifikacija na osnovi lidarskih podatkov sicer malo popači oblike, vendar so objekti lokacijsko dobro definirani.

Velikokrat izvajamo klasifikacijo zato, da bi podatke lahko obdelovali z orodji GIS. Za ta namen potrebujemo vektorske podatke (poligone objektov). Čeprav končna klasifikacija (slika 36) morda na videz ni zelo drugačna od klasifikacije pred uvedbo funkcij združi in presej, pa je odstranitev majhnih območij zelo pomembna za samodejno pretvorbo podatkov v vektorsko obliko.

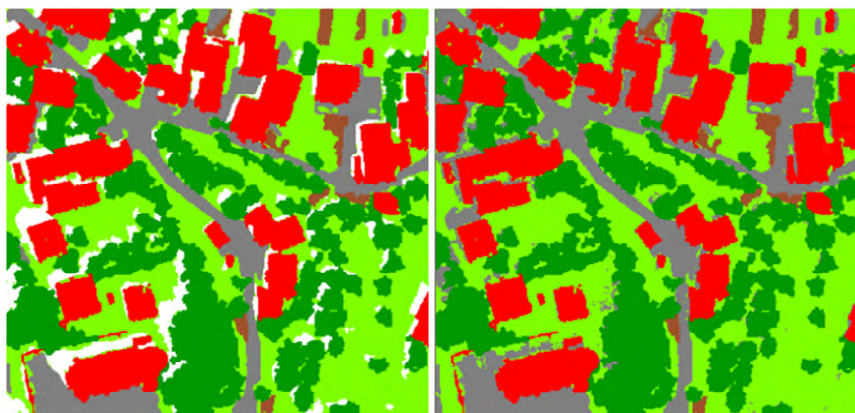
6.5 Uporaba klasifikacije lidarskih podatkov pri sencah BDOF1

V prejšnjem poglavju smo ugotovili, da so pri sicer uspešni klasifikaciji na osnovi BDOF1 velik problem območja senc, saj so vsa klasificirana kot poseben razred. Po drugi strani meritve ZLS zaradi uporabe aktivnega senzorja niso odvisne od dnevne svetlobe in na zajem ne vplivajo vremenske

razmere – oblaki, zato na podobah ni senc. Poskusimo izkoristiti to prednost laserskih podatkov in območja, na katerih BDOF1 prekrivajo sence, klasificirati z intenziteto.

Slika 37 prikazuje končno klasifikacijo na osnovi BDOF1; ta vsebuje sence. Na desni strani slike je prikazana ista podoba kot na levi, le da smo v tem primeru območja senc izvzeli, jih klasificirali s pomočjo intenzitete lidarskih podatkov ter jih ponovno vstavili v podobo klasificiranih objektov.

Ker je na osnovi intenzitete možno zelo dobro med seboj ločiti travo in asfalt, smo območja senc uspešno nadomestili, saj sence večinoma prekrivajo omenjena razreda. Nekaj težav povzroča zbita trava, kjer je vidno veliko zemlje, saj se ta območja zelo težko loči od asfalta. Vsekakor so bila območja senc z upoštevanjem intenzitete lidarskih podatkov uspešno klasificirana v razrede, kar je dokončno izpopolnilo podobo klasifikacije na osnovi BDOF1.



Legenda:  stavba  drevo  asfalt  trava  njiva  senca

Slika 37: Klasifikacija BDOF1, ki vključuje sence (levo) ter podoba, kjer so sence nadomeščene s klasifikacijo lidarskih podatkov (desno).

6.6 Uvedba načinov izboljšav, ugotovljenih s podrobnejšo analizo lidarskih podatkov

Klasifikacijo, ki smo jo obravnavali do sedaj, smo izvedli na osnovi intenzitete, katere vrednosti od samega sprejema signala do uporabe niso bile obdelane.

Ker se da rezultate z obdelavo podatkov običajno izboljšati, smo se za določitev glavnih spremenljivk naslonili na zelo posplošeno enačbo za izračun intenzitete:

$$I = \frac{\rho \cdot \cos(\xi)}{R^2} \quad (4)$$

Iz enačbe 4 razberemo, da je na istem objektu (teoretično enak ρ), intenziteta obratno sorazmerna s kvadratom merjene razdalje od senzorja do tarče (R) ter premo sorazmerna s kosinusom vpadnega kota laserskega žarka na tarčo (ξ). Najpomembnejša spremenljivka, ki jo moramo pri popravku intenzitete upoštevati, je torej razdalja R , zato smo njen vpliv skušali analizirati na praktičnih podatkih. Kot je razvidno iz nadaljevanja knjige, popravki intenzitete za razdaljo senzor – tarča precej stabilizirajo podobo intenzitete, vendar možnosti klasifikacije ne povečajo občutno. Iz tega razloga nismo uvajali ostalih popravkov, kot so popravek za vpadni kot laserskega žarka na tarčo, popravek za kot snemanja in drugih, saj zaradi precej majhnih kotov snemanja in nagibov terena k izboljšavi klasifikacije ne bi doprinesli.

Poleg omenjenih spremenljivk, za katere vemo, da vplivajo na intenziteto, smo preverili tudi vpliv reda odboja signala na intenziteto, čeprav v literaturi tej spremenljivki nihče ne posveča pozornosti. Rezultati so pokazali, da je informacijo o redu odboja vredno upoštevati.

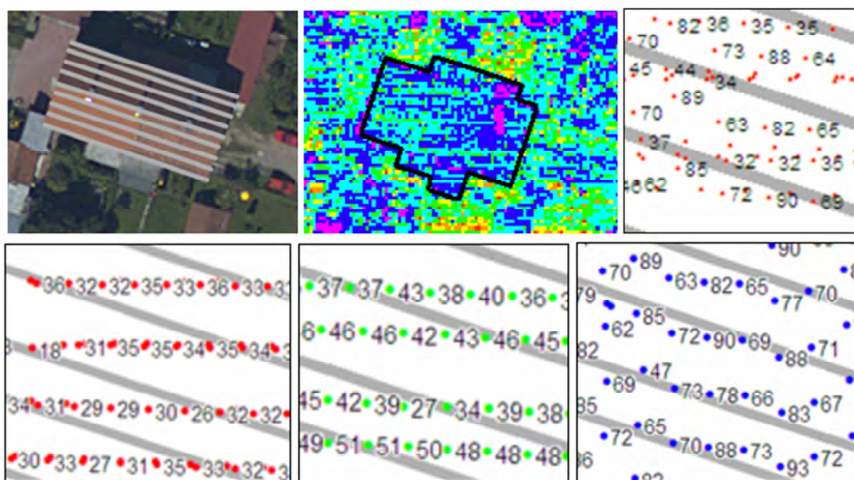
6.6.1 Vpliv višine snemanja na intenziteto

Podatki, na katerih smo temeljili, niso vsebovali informacije o razdalji senzorja do tarče, zato natančne določitve odvisnosti intenzitete od razdalje nismo mogli določiti. Raziskave smo se zato lotili malenkost drugače, pri čemer so rezultati še vedno obetali dovolj dober približek za ugotovitev odvisnosti ter vpeljavo morebitnih popravkov.

Najprej smo se naslonili na sklep, da je razdalja R v prvi vrsti odvisna od višine snemanja (višine leta letala nad tlemi), le-ta pa se spreminja glede na serijo (pas) snemanja. Poleg že omenjene neznane razdalje R smo se morali soočiti z novo neznanco: številko serije, v kateri je bila točka posneta. Za območje, zajeto na testnih podobah, nismo vedeli niti s kolikšnimi serijami so bile točke na njem posnete, kaj šele katera točka pripada kateri seriji.

Točke smo tematsko obarvali glede na kot snemanja. Opazili smo, da so bile točke, zajete pod koti -20° , -19° in -18° , zajete v smeri vzhod - zahod. Tudi točke, zajete pod koti 4° - 7° , nakazujejo smer snemanja, in sicer zahod - vzhod. Točke, ki so bile zajete pod koti 0° - 2° , ne nakazujejo smeri snemanja, poljubno so namreč razvrščene po prostoru. Na osnovi teh opažanj smo sklepali, da so bile točke posnete v vsaj treh serijah, ki so zajemale točke pod koti iz zgoraj navedenih skupin (serija 1: koti -20° do -18° , serija 2: koti 4° do 7° , serija 3: koti 0° do 2°).

Za analizo intenzitete smo morali uporabiti samo podatke, ki se nanašajo na en objekt (zaradi teoretične izločitve spremenljivke ρ). Izbrali smo streho stavbe v območju MB 3, na katero smo dodatno narisali linije enake višine, da smo lahko opazovali vrednosti intenzitete pri isti višini (slika 38 zgoraj levo). Prikažimo na tem območju podobo obarvane intenzitete – odboji reda prvi in edini (slika 38 zgoraj sredina) ter izsek z nekaj vrednostmi intenzitete (slika 38 zgoraj desno).



Slika 38: Linije enakih višin na strehi stavbe (zgoraj levo), podoba intenzitete (zgoraj sredina) ter izsek nekaj vrednosti intenzitete (zgoraj desno). Izsek vrednosti intenzitete strehe točk serije 1, 2 in 3 (spodaj od leve proti desni).

Primer, ki ga prikazuje slika 38 zgoraj, daje občutek, da so vrednosti zelo poljubno razdeljene, tako znotraj iste strehe, kakor tudi v okolici. Če

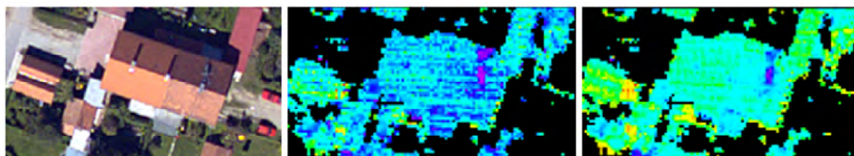
razdelimo vrednosti intenzitete glede na predvidene serije, dobimo razporeditev vrednosti, kot ga prikazuje slika 38 spodaj, od leve proti desni: serija 1, 2 in 3. Iz te slike je razvidno:

- vrednosti intenzitete znotraj ene serije so bistveno bolj enotne kakor iz vseh serij skupaj,
- vpliva različnih oddaljenosti tarče od sensorja zaradi naklona strehe ni opaziti,
- vrednosti intenzitete v tretji seriji so precej višje, vendar tega dejstva ne moremo pripisati zelo malemu kotu snemanja (0° do 2°), saj kot 4° ni toliko večji od 2° , da bi se lahko intenziteta tako znižala, ampak je letalo v seriji 3 po vsej verjetnosti letelo precej nižje kakor v drugih dveh serijah.

Na osnovi opazovanj smo sklepali, da razdalja R pomembno vpliva na intenziteto. Z uvedbo popravka bi vrednosti intenzitete poenotili in s tem morda izboljšali klasifikacijo. Kako pridobiti faktor popravka? S prikazom relacije med absolutnimi koti snemanja ter intenzitetami na grafikonu smo ugotovili, da ne moremo sklepati, da se vrednost intenzitete sistematično zmanjšuje s kotom snemanja. Grafikon je bližje teoriji, da so vrednosti intenzitete odvisne od serije snemanja. Zato smo za posamezno serijo izračunali nekatere statistične vrednosti: povprečni kot (absolutni), povprečna intenziteta ter standardni odklon intenzitete znotraj posamezne serije. Povezava točk povprečnih vrednosti je nakazovala krivuljo druge stopnje. To ustreza osnovni enačbi radarja, ki pravi, da intenziteta pada s kvadratom razdalje od sensorja do tarče. Na sicer empiričen način smo to odvisnost potrdili.

Preglednica 4: Faktor popravka za posamezno serijo.

Serija	Faktor popravka
3	1,0
2	1,8
1	2,1



Slika 39: Od leve proti desni: BDOF1, prvotna podoba intenzitete, popravljen podoba intenzitete.

Kako podatke poenotiti? Če pogledamo standardne odklone intenzitet znotraj posamezne serije (na istem objektu) ni težko opaziti, da so precej visoke. Na tem dejstvu smo temeljili sklep, da je dovolj, če vrednosti intenzitet vseh točk v posamezni seriji popravimo za isti faktor. Za izračun faktorjev popravka imamo dve možnosti. Lahko si izberemo referenčno serijo snemanja, in vrednosti intenzitet drugih dveh skupin priredimo tem vrednostim, lahko pa si izberemo neko poljubno vrednost in vse serije prilagodimo tej. Odločili smo se, da bo serija 3 (majhni koti) referenčna. Za izračun faktorjev popravka smo izhajali iz srednjih vrednosti. Tako smo dobili faktorje popravka, ki jih navaja preglednica 4.

V nadaljevanju je treba vrednosti intenzitet vseh točk pomnožiti z ustreznim faktorjem popravka. Rezultat, ki smo ga dobili, prikazuje slika 39.

Podobo intenzitete smo z uvedbo popravkov glede na višino snemanja močno poenotili. To potrjuje tudi statistika podatkov (preglednica 5).

Preglednica 5: Statistika intenzitete na strehi stavbe.

	Povprečje	Standardni odklon	Relativni standardni odklon
prvotna intenziteta	51,8	25,1	48,5
popravljen intenziteta	81,9	27,0	33,0

Relativni standardni odklon popravljen intenzitete je precej manjši glede na povprečno vrednost (prej 48 %, zdaj 33 %). Kot takšna je veliko primernejša za klasifikacijo objektov, čeprav bo le-ta še vedno zelo težavna (drevesa in stavbe, kot jih prikazuje slika 39, imajo zelo podobne vrednosti).

Če bi za vsako točko poznali razdaljo med tarčo in detektorjem R , potem bi lahko podatke dodatno izboljšali. Takrat bi izhajali iz zelo posplošene enačbe:

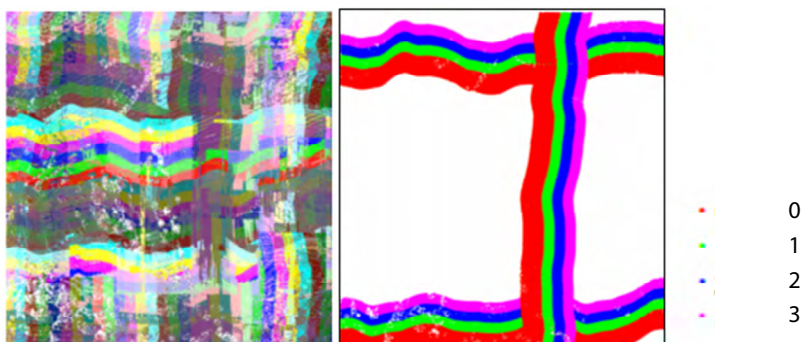
$$I = \frac{\rho}{R^2} \quad (5)$$

Pri istem objektu je ρ isti, zato za identični točki, posneti v serijah i in j velja:

$$\rho = I_i \cdot R_i^2 = I_j \cdot R_j^2 \quad (6)$$

Ker se objekti med seboj razlikujejo po koeficientu odbojnosti tarče (ρ), bi po zgornji enačbi (6) za vsako točko (ne glede na serijo snemanja) izračunali omenjeno vrednost. Dobljene vrednosti ρ bi delili s povprečno vrednostjo razdalj detektor – tarča, da bi se znebili prevelikih vrednosti za vrednosti ρ . Na končni vrednosti ρ bi potem temeljili klasifikacijo.

Kot že povedano, pa podatka R za testna območja nismo imeli. V datotekah LAS smo za vsako območje sicer lahko videli število serij, vendar kje je potekala posamezna serija in katere točke je zajemala, nismo mogli določiti. Ker smo kljub temu želeli izvedeti osnovne informacije o serijah na posameznih območjih, smo do rešitve prišli malo drugače. Posamezna območja smo obarvali glede na kot snemanja. Slika 40 prikazuje omenjena tematsko karto za celotno območje MB 3 (levo: vsi koti, desno: koti $0^\circ - 3^\circ$).

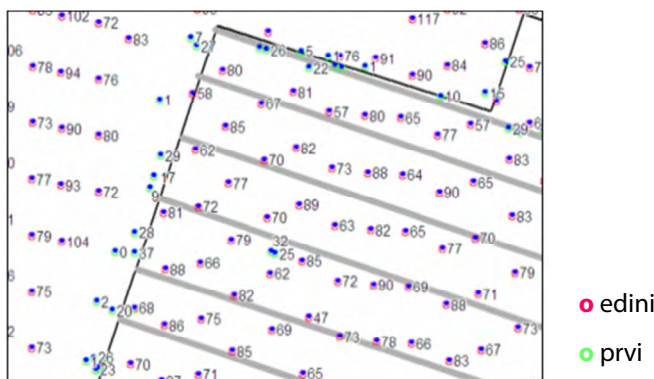


Slika 40: Prikaz kotov snemanja na območju MB 3 (levo – vsi koti, desno – koti manjši od 4°).

Ker je iz prikaza vseh kotov (slika 40 levo) zelo težko razbrati število serij, smo prikazali samo določene kote (slika 40 desno). Videti je, da so bile serije snemanja na območju MB 3 najmanj tri. Tudi v programu LasEdit dobimo informacijo, da so bile serije tri. Ker je na množici točk, združenih iz različnih serij ter brez podatka *R* zelo težko normalizirati intenziteto glede na višino snemanja, smo poiskali območje, kjer je bila serija samo ena. Takšno območje je ravno območje Slivnice, na katerem smo skozi celotno knjigo prikazovali rezultate klasifikacije.

6.6.2 Vpliv reda odboja na intenziteto

Pri izdelavi podobe intenzitete smo uporabili točke reda prvi in edini, saj le-ti predstavljajo točke, vidne tudi iz zraka (kot pri BDOF1). Pri analizi intenzitete na strehi neke stavbe v območju MB 3 je zaslediti, da intenzitete nekaterih točk na robu stavbe močno odstopajo od ostalih točk (slika 41). Pri iskanju vzroka smo točke označili glede na red odboja in dobili situacijo, kot jo prikazuje slika 41.



Slika 41: Intenziteta točk, prikazanih glede na red odboja.

Jasno je opaziti, da so vse odstopajoče točke prvega reda. To potrjuje dejstvo, da je intenziteta odvisna od reda odboja in se s povečevanjem reda odbojev zmanjšuje. Povezavo intenzitete in reda odboja smo skušali pridobiti na objektu, ki vsebuje točke različnih redov. Izbrali smo krošnje drevesa v območju Slivnice. Točke smo tematsko obarvali glede na isti GPS čas zajema točke (glede na isti snop žarka). Izmerili smo, da je lahko razdalja med točkami

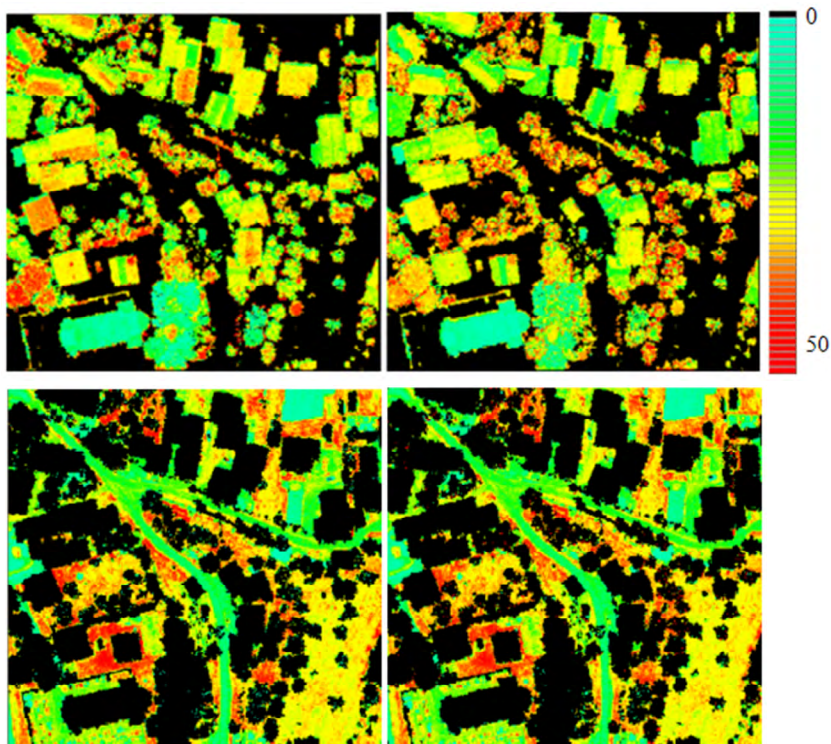
enega oddanega signala tudi več kot 1 m, kar pomeni, da z enim snopom lahko posnamemo več različnih objektov. Povezali smo območja, ki zajemajo točke snopov z različnim številom točk in ležijo zelo blizu skupaj. Opazimo lahko, da se vrednosti intenzitet točk več odbojev približno porazdelijo po posameznem odboju. Vsota intenzitet posameznih odbojev je približno enaka intenziteti enega samega odboja. To potrjuje tudi statistični izračun na osnovi vseh točk v izbrani krošnji drevesa.

Preglednica 6: Statistika intenzitete na izbranem območju.

	Povprečje
intenziteta odbojev reda edini	21,7
intenziteta vseh odbojev, ki niso reda edini	10,2
vsota intenzitete odbojev istega snopa	20,8
intenziteta odbojev reda prvi	7,1

Ker vrednosti intenzitete prvih odbojev očitno kvarijo podobo intenzitete, ki jo klasificiramo, bi bilo potrebno te vrednosti popraviti. Neupoštevanje točk reda prvi ni smiselno, saj na podobi nastanejo luknje. Vrednosti intenzitete odbojev reda prvi bi morali pomnožiti s faktorjem popravka $21,7 / 7,1 = 3,8$. To smo tudi storili. Razdelimo objekte na teh dveh podobah po višini in prikažimo njihovo intenziteto (slika 42).

Ugotovimo, da se s popravljenimi vrednostmi intenzitete odbojev reda prvi možnost klasifikacije precej izboljša. To velja zlasti za visoke objekte (drevesa in stavbe), saj je tam odbojev reda prvi veliko. Intenziteta nizkih objektov se skoraj ne spremeni, saj tam odbojev reda prvi skoraj ni. Kljub izboljšavi pa podoba intenzitete še vedno ni dovolj, da bi drevesa in stavbe lahko med seboj zanesljivo ločili.



Slika 42: Levo: podoba intenzitete objektov višjih (zgoraj) oz. nižjih (spodaj) od 1 m, izdelana na osnovi prvotnih točk reda prvi in edini; desno: podoba intenzitete objektov višjih (zgoraj) oz. nižjih (spodaj) od 1 m, izdelana na osnovi prvotnih točk reda edini ter popravljenih točk reda prvi.

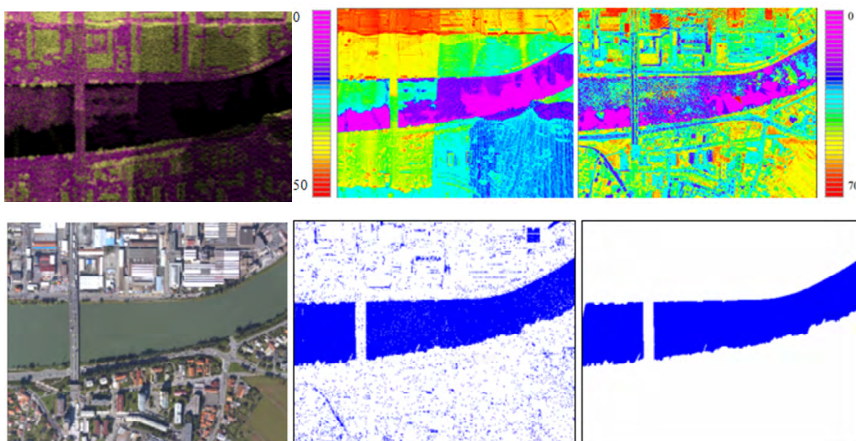
6.7 Klasifikacija vode

Razred, ki zaradi svojih značilnosti potrebuje posebno obravnavo, je voda. Glede na literaturo (Brzank 2006 in Bitenc 2007) bi moralo biti vodo na osnovi lidarskih podatkov zelo enostavno razločiti, saj vsebuje dve pomembni lastnosti:

- običajno ima nižjo intenziteto kakor tla na kopnem (absorpcija valovne dolžine bližnjega infrardečega svetlobnega spektra je v vodi občutno višja kakor na zemlji),

- zaradi velike absorpcije je signal večinoma tudi prešibak za zajem, kar posledično pomeni nič oz. manj točk odbojev nad vodnimi površinami.

Zgornje navedbe smo preverili na dejanskih podatkih. Prikažimo najprej območje, prekrito z vodo (del reke Drave v Mariboru). Z vijolično barvo so prikazane talne točke, z rumeno pa netalne točke (slika levo zgoraj).

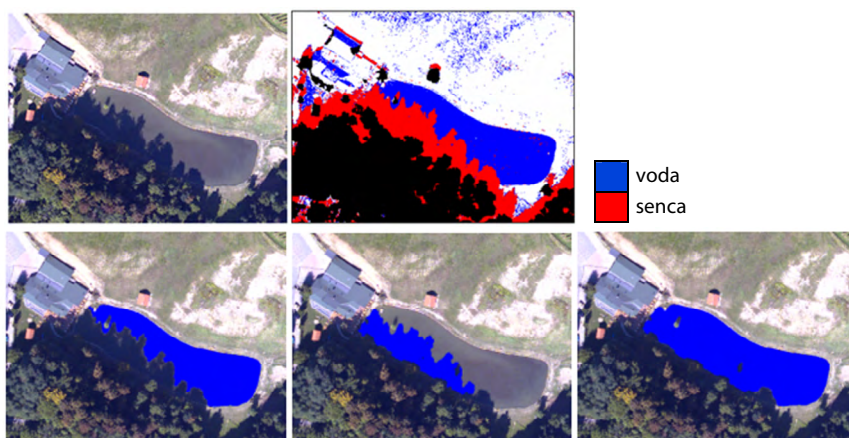


Slika 43: Območje vode v Mariboru. Zgoraj levo – Talne in netalne točke. Zgoraj sredina - Podoba, obarvana glede na število točk. Zgoraj desno - Podoba intenzitete. Spodaj - Od leve proti desni: BDOF1, klasifikacija na osnovi BDOF1 in njeno filtriranje

Opazimo, da točke na območju reke res manjkajo, vendar ne na celotnem območju. Vzrok je verjetno v sestavi vode, v globini vode ali v gladkosti vodne površine. Preverimo ali jih je ustrezno manjše število na m^2 , da lahko na tej osnovi izločimo vodo. Slika 43 zgoraj sredina prikazuje območje glede na število točk, na sliki desno zgoraj pa je podoba intenzitete istega območja. Vidi se, da bi bilo na osnovi števila točk del reke (obarvan roza) možno izločiti, dela pa ne. Enako velja za klasifikacijo na osnovi intenzitete. Del reke (prav tako obarvan roza) bi lahko izločili, ostalega dela pa ne. Ker je površina reke prav tako gladka kakor npr. asfalt, odpade tudi klasifikacija na osnovi standardnega odklona. Poskusimo vodno površino izločiti še na osnovi BDOF1. Slika 43 spodaj od leve proti desni prikazuje podobe: BDOF1,

klasifikacija vode na osnovi celotne podobe BDOF1, filtriranje vode, dobljene na osnovi klasifikacije BDOF1.

Voda se na osnovi celotne podobe BDOF1 zelo dobro izloči. V isti razred pade sicer nekaj ostalih objektov, ki pa se zaradi dejstva, da ima reka Drava zelo veliko površino, s funkcijami združi, presej in filtriraj zelo dobro odstranijo. Obliko reke malenkostno kvari območje senc na južnem robu reke, kar pa bi se dalo uspešno rešiti z vpeljavo lidarskih podatkov. Problem predstavlja tudi most čez reko. Tam reka ni zajeta niti z BDOF1 niti z lidarskimi podatki, zato izločitev tistega dela reke brez dodatnih obdelav ni mogoča.



Slika 44: Zgoraj – BDOF1 jezera (levo) ter klasifikacija vode in senc na osnovi BDOF1 (desno). Spodaj – Od leve proti desni: klasifikacija vode iz BDOF1; klasifikacija vode iz lidarskih podatkov; združeno.

Poglejmo si še izločitev jezera na območju MB 5. Slika 44 zgoraj levo prikazuje BDOF1 območja jezera, na desni pa sta razreda voda in sence, klasificirana na osnovi vrednosti BDOF1 objektov, nižjih od 1 m.

Na podobi BDOF1 je ogromno senc, ki pokrivajo približno polovico jezera. Na srečo lahko zaradi dejstva, da voda zajema veliko površino, uspešno izločimo del jezera. Poleg tega lahko vpeljemo podatke intenzitete, ki na območju sence uspešno klasificirajo vodo. Na koncu območja združimo (slika 44 desno). Vode ne bi mogli izločiti niti samo na osnovi BDOF1 niti samo na

osnovi intenzitete. Z dopolnjujočimi podatki pa je klasifikacija zelo dobro uspela.

6.8 Omejitve klasifikacije lidarskih podatkov zaradi strukture pokrovnosti

V knjigi smo že opisali nekaj vplivov na kakovost klasifikacije. Naj jih na kratko povzamemo:

- natančnost določitve položaja in intenzitete lidarskih točk (posledica lastnosti samega sistema – npr. premer laserskega žarka, postopek zajemanja odboja – ter značilnosti tarče),
- spremenljivi parametri snemanja (valovna dolžina, gostota točk, kot snemanja, višina snemanja, letni čas snemanja idr.),
- postopek klasifikacije (način obdelave podatkov in rastriranja, ustrezno izbrane točke in velikost piksla, postopek izdelave DMR, razdelitev objektov po višini, velikost filtra).

Pri obdelavi različnih testnih območij smo opazili tudi omejitve klasifikacije, ki pri v tej raziskavi uporabljenih podatkih in postopku klasifikacije nastanejo kot posledica lastnosti objektov. Ker so ta opažanja pomembna za praktično uporabo opisanega postopka klasifikacije, jih v nadaljevanju navajamo.

- Vrsta tarče (odbojnost, usmerjenost, velikost): neposreden vpliv na intenziteto in s tem na klasifikacijo nizkih objektov.
- Gosta pozidava: možnost manjkajočih talnih točk in s tem otežen izračun DMR. V našem primeru so bile talne točke zajete tudi na območjih z gosto pozidavo (industrijska cona v MB), kar je posledica dovolj velike gostote točk snemanja ter dovolj majhnega kota snemanja.
- Visoke stavbe: za visokimi stavbami so sence. Kakovost klasifikacija je tam omejena. Problem bi rešili z večjo gostoto točk ter ustreznim kotom oz. načinom snemanja.
- Nagnjen teren: vpliva na standardni odklon, vendar tal ne klasificiramo na osnovi te spremenljivke, zato na klasifikacijo nima vpliva.
- Velikost objekta: je pomembna. Večji kot je objekt, lažje ga bomo

razločili. Za majhne objekte obstaja možnost izbrisa s funkcijama združi in presej.

- Oblika objekta: za klasifikacijo je najprimerneje, če je objekt enostavnih oblik in dovolj širok.
- Prisotnost avtomobilov: avtomobili precej omejujejo klasifikacijo. Na njihovem območju (običajno so to ceste in parkirišča) nastajajo luknje. Pri gostem prometu celo onemogočajo razločitev ceste. Poleg njihove intenzitete povzroča težave tudi njihova višina, saj so višji od 1 m, kar jih razporedi v višinski razred dreves oz. stavb. Paziti moramo, da snemamo takrat, ko je avtomobilov čim manj (z lidarjem lahko snemamo tudi ponoči).
- Elektro, telefonska in druga napeljava: ni velik omejitveni dejavnik za klasifikacijo. Po njihovi izločitvi v talnih površinah nastajajo luknje, ki pa se s filtriranjem zapolnijo. Točke na zračnih napeljavah so sicer višje od 1 m, vendar jih s postopkom klasifikacije ne izločimo kot drevo oz. stavba, saj je njihova oblika neznatna, predvsem pretanka.
- Večnivojske strehe: omejujejo klasifikacijo. Obstaja velika možnost, da jih določimo kot drevesa. Omejitev se zmanjša s povečano gostoto točk in s tem zmanjšanjem piksla.
- Specifična vrsta materiala (npr. leš): izločimo lahko vsak material, katerega intenziteta se loči od drugih. Tak primer je tudi leš (območje MB).
- Vrsta rastja oz. kmetijske kulture (npr. ločitev nasada kumar od hmelja): njive se lahko izločijo, če so brez rastja. Če je na njih nizko rastje (npr. mlada pšenica), lahko to zamenjamo s travnikom. Če je na njih visoko rastje, npr. hmelj, lahko to zamenjamo z drevesi. Podobno je s koruzo in vinogradi. Klasifikacija s pomočjo lidarskih podatkov ni primerna za kmetijske površine brez dodatne prilagoditve. Ti podatki pa so lahko izredno pomembni kot dodana vrednost npr. podatkom DOF, saj lahko na osnovi znane višine objekta veliko lažje določimo njegovo vrsto. Za izločitev njiv je najbolje snemati pozno jeseni, ko na njivah ne raste nič. Za klasifikacijo kmetijskih zemljišč pa bi bilo potrebno izdelati drugo, specifično klasifikacijo.

Zgornje navedbe kažejo na precejšen vpliv strukture pokrovnosti na klasifikacijo. Precej težav lahko rešimo z določitvijo zelene klasifikacije pred lidarskim snemanjem in s tem določitvijo ustreznih parametrov snemanja kot so letni in dnevni čas snemanja, gostota točk, največji kot in višina snemanja in drugi.

6.9 Uporabnost klasifikacije lidarskih podatkov v praksi

Kot smo omenili že v uvodu knjige, imamo za celotno območje Slovenije nekaj kart rabe tal oz. pokrovnosti. Vsaka ima svoje vrste različno velikih kategorij, pridobljenih s postopkom, ki je za določen namen uporabe karte nudil najprimernejše rezultate. Postopki pridobitve karte se iz istega razloga razlikujejo v času, ki je bil potreben za njihovo izdelavo, v številu ljudi, ki so sloj izdelovali, in potrebnih finančnih sredstvih. Zakaj izdelati še eno karto pokrovnosti in zakaj uporabiti nov postopek?

Karta pokrovnosti, pridobljena na osnovi klasifikacije lidarskih podatkov, ima pet kategorij (stavbe, drevesa, asfalt, trava, njive), kar je precej manj od drugih kart. Od teh kategorij lahko tri, oblikovno boljše, pridobimo iz drugih kart: stavbe iz Katastra stavb, travo in njive pa iz Dejanske rabe zemljišč. Dreves in asfalta v drugih kartah ne najdemo, kar je prvi razlog za izdelavo nove karte. Drugi razlog je zelo majhna velikost najmanjše enote kartiranja. Tako lahko npr. določimo lokacijo njiv, velikih od 5 m² naprej (pri Dejanski rabi zemljišč se njive zajemajo pri velikosti od 500 m² naprej). Tretji razlog je ažurnost karte. Podatke lahko dobimo po potrebi in v kratkem času (neodvisno od letnega časa in vremena), njihova obdelava pa je zelo hitra (nekaj ur), zato karta praktično predstavlja dejansko stanje. Največji razlog nenazadnje predstavlja možnost prikaza pokrovnosti v trirazsežnem prostoru.

Nov postopek, klasifikacija lidarskih podatkov, je hiter, zahteva zgolj enega operaterja ter nudi položajno, tematsko in časovno natančnost, ki je primerljiva oz. preseže natančnost drugih postopkov.

Preglednica 7 prikazuje posamezne karte, označene z: Vrsta rabe v Zemljiškem katastru (ZK), Dejanska raba zemljišč (DRZ), Zbirka dejanske rabe zemljišč (ZDRZ), CORINE, Statistični GIS pokrovnosti tal (SURs), Karta

pokrovnosti ZRC SAZU (ZRC) in karta pokrovnosti izdelana na osnovi lidarskih podatkov (LIDAR).

Zakaj izdelati še eno karto pokrovnosti in zakaj uporabiti nov postopek?

Karta pokrovnosti, pridobljena na osnovi klasifikacije lidarskih podatkov, ima pet kategorij (stavbe, drevesa, asfalt, trava, njive), kar je precej manj od drugih kart. Od teh kategorij lahko tri, oblikovno boljše, pridobimo iz drugih kart: stavbe iz Katastra stavb¹⁰, travo in njive pa iz Dejanske rabe zemljišč. Dreves in asfalta v drugih kartah ne najdemo, kar je prvi razlog za izdelavo nove karte. Drugi razlog je zelo majhna velikost najmanjše enote kartiranja. Tako lahko npr. določimo lokacijo njiv, velikih od 5 m² naprej (pri Dejanski rabi zemljišč se njive zajemajo pri velikosti od 500 m² naprej). Tretji razlog je ažurnost karte. Podatke lahko dobimo po potrebi in v kratkem času (neodvisno od letnega časa in vremena), njihova obdelava pa je zelo hitra (nekaj ur), zato karta praktično predstavlja dejansko stanje. Največji razlog nenazadnje predstavlja možnost prikaza pokrovnosti v trirazsežnem prostoru.

Nov postopek, klasifikacija lidarskih podatkov, je hiter, zahteva zgolj enega operaterja ter nudi položajno, tematsko in časovno natančnost, ki je primerljiva oz. preseže natančnost drugih postopkov.

Preglednica 7: Izbrane lastnosti kart pokrovnosti.

Lastnost \ karta	ZK	DRZ	ZDRZ	CORINE	SURS	ZRC	LIDAR
Število kategorij	37	21	22	44	19	30	5
Vir	teren	DOF	DOF	Landsat	Landsat	Landsat	lidar
Najmanjša enota kartiranja (m ²)	0 - 200	10 - 5000	10 - 5000	250.000	10.000	625	5
Najmanjše območje uporabe	krajevno	krajevno	krajevno	državno	regijsko	regijsko	krajevno
Položajna natančnost (m)	2 - 50	1	1	100	30	25	1
Tematska natančnost (%)	80	95	95	85	86	92	90

¹⁰ Kataster stavb ni zvezna karta pokrovnosti, zato v preglednici 9 ni navedena.

Obnavljanje	dnevno	na 7 let	dnevno	na 10 let	na 4 leta	po potrebi	po potrebi
Zahtevnost izdelave (časovno)	velika	velika	velika	srednja	srednja	majhna	majhna
3D pokrovnost	ne	ne	ne	ne	ne	ne	da

Primeri uporabe

V nadaljevanju so navedeni primeri uporabe klasifikacije lidarskih podatkov in ne uporaba lidarskih podatkov kot takšnih (ti so uporabni v veliko širšem obsegu).

- Urbanistično planiranje. Proučevanje urbanističnih kazalcev kakovosti bivalnega okolja, npr. izračun razmerja stavb in dreves na določenem območju za potrebe gradnje novega objekta.
- Spremljanje sprememb pokrovnosti v kratkem časovnem obdobju (npr. sekanje dreves).
- Turizem. Npr. prikaz trase kolesarske proge na trirazsežnem modelu.
- Kontrola katastra stavb – iskanje črnih gradenj.
- Kontrola Dejanske rabe tal – spremljanje zaraščanja njiv (kjer so drevesa, ne more biti njiva).
- Določanje materiala cest – asfaltirane ceste, makadamske ceste. Gre za dejansko pokrovnost in ne za dopolnitev podatkov zemljiškega katastra, saj so tam ceste zelo neažurne, poleg tega precej odstopajo od dejanske lokacije. Lahko gre za dopolnitev Katastra cest.
- Izdelava trirazsežnega modela pokrovnosti.
- Pomoč pri popravi oz. ovrednotenju DMR. Na osnovi lidarskih podatkov izdelamo DMR, nato pa upoštevamo dejstva, kot so: na območju gozda DMR ni tako natančen kakor drugje, pod stavbami je DMR zgolj interpolacija točk okoli stavbe idr.
- Arheologija. Izdelava takšnega DMR-ja, kot bi bil, če na območju ne bi bilo stavb, cest, kanalov in drugih umetno grajenih objektov. Dejanski primer je iskanje arheoloških ostankov na območju Francije, ki je prepleteno z umetnimi vodnimi kanali. Na osnovi klasifikacije bi bilo potrebno poiskati kanale, jih odstraniti in izdelati DMR, kot je

najverjetneje bil pred leti, ko kanalov še ni bilo. Iskanje arheoloških ostankov bi bilo tako veliko preprostejše.

- Pomoč pri planiranju avtocest – število oz. površina dreves, ki jih bomo morali podreti.
- Določanje lokacije, števila dreves ter njihove višine, velikosti krošenj za bazo dreves občine (to večje občine potrebujejo, v Mestni občini Maribor ta projekt že poteka na osnovi terenskih GPS meritev posameznih dreves).
- Kot stranski rezultat lidarskega snemanja.

Klasifikacija lidarskih podatkov morda v praksi ni tako uporabna, da bi zračno lasersko skeniranje izvajali prav s tem namenom. Ker pa so lidarski podatki uporabni na precej vsebinskih področjih in se njihova uporaba še povečuje, lahko kot stranski produkt projektov ponudimo tudi klasifikacijo¹¹. Ob ustrezni programski in strojni opreми je namreč čas njene izvedbe v primerjavi z drugimi možnimi postopki (terenske meritve ali ročna vektorizacija po BDOF1) izredno kratek.

¹¹ Nekateri lidarski programi že ponujajo klasifikacijo, vendar gre za praviloma manj natančno klasifikacijo točk in nato le prikaz dreves, stavb, podrastja in terena, pri čemer posamezni objekti niso združeni (so v obliki razpršenih točk).

7 Zaključek

Tehnologija zračnega laserskega skeniranja je v zadnjih letih tudi v Sloveniji prešla v vsakodnevno uporabo. S tem imamo v mislih uporabo podatkov o trirazsežnih položajih objektov, uporaba intenzitete je namreč še vedno zelo omejena. Z njo se je sicer ukvarjalo nekaj slovenskih raziskovalcev (Kobler 2007; Oštir 2006; Bitenc 2007), in njihove ugotovitve so možnost uporabe intenzitete povečale, vendar ne do mere vsakodnevne, rutinske uporabe. Tako je tudi drugje po svetu. Znanstveniki s celega sveta so odkrili že vse vplive in moteče faktorje, ki vplivajo na intenziteto. Še več, v obliki funkcije imamo zapisane celo odnose med posameznimi vplivi (Wagner 2005). Prešli smo v obdobje, ko je intenziteta sicer dodobra analizirana, vendar njenih vrednosti ne znamo oz. ne moremo v celoti popraviti glede na različne vplive. Tudi na tem področju so že bili premiki. Normalizacija glede na višino snemanja je že dobro znana, približuje se ji kalibracija za kot odboja laserskega žarka. Raziskani so tudi vplivi različnih postopkov interpolacij v raster ter različnih filtriranj. Mnenja smo, da bi danes teoretično lahko odpravili vse vplive na meritve intenzitete in zapisali najprimernejši model odbojnosti, vendar to močno otežujejo faktorji, ki niso odvisni od raziskovanj samih. Odstraniti bi morali še štiri moteče vplive:

- pomanjkanje natančnega poznavanja lastnosti opazovanih objektov (naklon, koeficient odbojnosti tarče, velikost tarče glede na velikost odtisa laserskega žarka na tleh, količina rastja, skozi katero je prodril žarek, nad objektom, oddaljenost tarče od centra odtisa),
- nepoznavanje atmosferskih pogojev ter količine sevanja iz okolja, ki ima valovno dolžino enako laserski,
- pomanjkanje poznavanja parametrov opazovanj, npr. višina in kot snemanja,
- pomanjkanje poznavanja delovanja sistema ZLS, npr. način merjenja razdalje.

Vsi ti vplivi omejujejo odpravo napak intenzitete in s tem njeno uporabo. Pomanjkanje poznavanja delovanja sistema ZLS ter parametrov opazovanj je posledica poslovnih skrivnosti posameznih izdelovalcev opreme ZLS ter izvajalcev snemanja (Yan in Shaker 2014). S tem onemogočajo napredek uporabe intenzitete in razvoj novih storitev.

Sevanje iz okolja, ki ima valovno dolžino enako laserski, bi lahko dobili s hkratno uporabo pasivnega senzorja, ki zaznava takšno valovno dolžino. Najverjetneje pa okoljskega sevanja sploh ni potrebno poznati, saj se vrednost intenzitete samo poveča za konstantni faktor.

Največji omejitveni faktor je nepoznavanje lastnosti opazovanih objektov. Nekateri lastnosti bi sicer lahko pridobili (npr. naklon), vendar bi njihova implementacija v kalibracijo precej podaljšala čas pridobitve uporabnih podatkov intenzitete. Temu se lahko izognemo s snemanjem pri kotu ožjem od 10° , kakor so empirično dokazali nekateri avtorji, med drugimi Kaasalainen (2007).

Tehnični problem za potrditev lidarskih podatkov intenzitete je pomanjkanje referenčnih podatkov pri ustrezni prostorski, spektralni in časovni ločljivosti, s katerimi bi lahko primerjali vrednosti lidarske intenzitete (Boyd 2007).

Pomembno je, da so kalibracije, ki jih danes še ne moremo opraviti, pomembne predvsem za podrobne in zahtevne analize ter interpretacije podatkov intenzitete. Že danes pa lahko podatke popravimo do te mere, da jih lahko koristno uporabljamo pri precejšnjem številu nalog. Pri tem so se kot koristni v številnih eksperimentih pokazali bodisi kot samostojni podatek, npr. za klasifikacijo ali izločitev določenih objektov, bodisi v kombinaciji z drugimi podatki, kjer so rezultati še posebej obetavni. To smo prikazali tudi v sklopu te raziskave, kjer smo na osnovi lidarskih podatkov uspeli izdelati kakovostno karto pokrovnosti, primerno za krajevne projekte. Uporaba lidarskih podatkov se je kot zelo uspešna in nujno potrebna pokazala tudi pri izdelavi karte pokrovnosti na osnovi BDOF1. Seveda pa so nadaljnje raziskave še vedno dobrodošle in bodo vsekakor uporabo intenzitete še povečale.

Naj knjigo zaključimo z navedbo osnovnih značilnosti karte pokrovnosti, izdelane na osnovi lidarskih podatkov (preglednica 8). Značilnosti so opisane na enak način kakor pri ostalih kartah pokrovnosti (priloga A).

Preglednica 8: Lastnosti karte, izdelane na osnovi lidarskih podatkov.

Splošne lastnosti	
Opis	Rastrska ali vektorska trirazsežna karta pokrovnosti krajevnega območja.
Namen	Karta je bila izdelana v okviru raziskave z namenom ugotovitve možnosti izdelave karte pokrovnosti na osnovi lidarskih podatkov.
Uporaba	Karta ni vezana na parcele in s tem na zemljiškoknjižna stanja. Prav tako na karti ni določena vrsta rabe, temveč zgolj pokrovnost. Ker pa lahko osnovne elemente pokrovnosti poda v trirazsežnem prostoru, je kot takšna uporabna za številne krajevne projekte, kot so urbanistična planiranja, projekti na področju turizma, možnost uporabe karte za določitev črnih zgradb v občini idr.
Lastnik	Lastnik karte bi bil vsakokratni naročnik.
Datum	Karta v nalogi je bila izdelana leta 2008 na podlagi podatkov iz leta 2007.
Postopek pridobitve	
Osnovni princip	Uporaba različnih lastnosti lidarskih podatkov (višine, standardnega odklona višin in intenzitete) v avtomatiziranih postopkih.
Viri	Lidarski podatki in po potrebi BDOF1.
Klasifikacija	Izbrali smo pet osnovnih kategorij: stavbe, drevesa, asfalt, trava in njive. Po potrebi se da na osnovi lidarskih podatkov izločiti tudi vodo ter podrobnejše razrede, kot so grmičevje, različno visoko drevje in stavbe, ekstenzivni travniki in kategorija odprto. Nekaterih kultur, kot so vinogradi in hmelj, z opisanim postopkom ne moremo izločiti.
Klasifikacijski ključ	Mejno vrednost za standardni odklon, ki razločuje drevesa in stavbe, smo določili na osnovi primerjave objektov na BDOF1. Na enak način smo kategorije pripisali tudi razredom, določenim na osnovi nenadzorovane klasifikacije.
Merilo kartiranja	Merilo kartiranja ni bilo določeno, saj so se vrednosti pikselov določale po v naprej predpisani sistematiki.
Najmanjša enota kartiranja	Najmanjša enota kartiranja za objekte, nižje od 1 m, je piksel 0,5 krat 0,5 m, kar pomeni območje 0,25 m ² , za drevesa in stavbe pa piksel 1 x 1 m oz. 1 m ² . Kljub majhni velikosti piksla pa so zaradi postopka filtriranja najmanjše enote velike približno 5 m ² .
Predobdelava	Izbor ustreznih točk (red odboja, tla, netla), popravki vrednosti točk za red odboja in za višino snemanja, rastriranje (izbor ustreznega postopka), določitev zelenih razredov pokrovnosti.

Interpretacija	Sloj pokrovnosti je bil izdelan na osnovi različnih lastnosti lidarskih podatkov. V osnovi so bili podatki razdeljeni glede na višino (več oz. manj kot 1 m). Drevesa in stavbe so bile nato določene na osnovi standardnega odklona višine, njive, travniki in asfalt pa na osnovi nenadzorovane klasifikacije intenzitete. Vodo smo izločili z vpeljavo posnetka BDOF1.
Poobdelava	Vse vrste pokrovnosti so bile dokončno položajno določene z uporabo funkcij združi in presej ter ustreznim filtriranjem. Po potrebi podatke na koncu vektoriziramo s samodejno vektorizacijo.
Kakovost	
Položajna natančnost	1 m.
Tematska natančnost	Povprečna tematska natančnost karte presega 90 %, kar je za tovrstne naloge zelo dober rezultat.
Časovna natančnost	Podatki se nanašajo na stanje iz leta 2007.
Logična usklajenost	Vsakemu pikslu je določena vrednost za vrsto pokrovnosti.
Popolnost	Podatki popolnoma prekrivajo izbrano območje.
Uporabnost	
Prikaz dejanskega stanja	Prikaz dejanskega stanja je odvisen od starosti vira. V primeru, da imamo zelo svež vir podatkov, lahko glede na visoko hitrost izdelave karte izdelamo karto, ki prikazuje dejansko stanje (razen redkih tematskih napak).
Način osveževanja	Karta je bila izdelana za enkratni namen. Osveževanje ni predvideno. V primeru uporabe takšnih kart v praksi se kot način osveževanja uporabi ponovna izdelava celotne karte na novih podatkih.
Zahtevnost izdelave	Za relativno dobro izdelano karto pokrovnosti je potrebnih malo ur in finančnih sredstev. Problem predstavlja velikost območja obdelave, ki je lahko za operativno obdelavo precej majhno. Pri večjih območjih je zahteven predvsem postopek do pridobitve rastrskih podob, saj je točk zelo veliko in zahtevajo zelo sposobno strojno in programsko opremo. Zahtevnejša postane tudi izdelava specifičnih kart, ki zahtevajo npr. več kategorij pokrovnosti.
Napake – vzroki	Vzroke za napake lahko iščemo v premajhni gostoti lidarskih točk, nepoznavanju vseh atributov o točkah (predvsem višine snemanja) ter predvsem v preveč variabilni vrednosti intenzitete. Vzrok je lahko tudi premajhno število razredov, na osnovi katerih smo združevali kategorije pokrovnosti ter premalo zahtevni predobdelavi podatkov.
Napake – odprava	Potrebno gostoto lidarskih točk moramo določiti glede na konkretni projekt, preden naročimo lasersko snemanje na terenu. Od izvajalca snemanja moramo zahtevati vse attribute točk, ki jih potrebujemo za uspešno izdelavo karte.

Povezljivost z drugimi zbirkami	Karta se lahko uspešno uporabi kot rastrska podlaga drugih kart ali kot eden izmed slojev v GIS.
Prednosti	Velika podrobnost za krajevne študije; hiter in cenovno ugoden način pridobitve sloja (velika stopnja avtomatizacije); podatki se nanašajo na enak časovni trenutek; ni subjektivnih napak interpretatorja; možnost izboljšave sloja z ne preveliko napora; karta prikazuje zgolj pokrovnost in ne pravnih režimov; možnost uporabe v GIS; možnost prilagoditve sloja za specifične študije; možnost prilagoditve razredov po želji naročnika; možnost pogostega osveževanja sloja in s tem kratkoročnih časovnih primerjav; možnost prikaza karte v trirazsežnem prostoru.
Slabosti	Uporabna zgolj za študije na krajevni ravni; težavna klasifikacija zaraščenih njiv; velika količina točkovnih podatkov (potreba po zahtevni strojni in programski opremi); pomanjkanje ustrezne programske opreme, možnost objektivnih napak.

Zračno lasersko skeniranje se je uveljavilo zaradi pridobitve trirazsežnega položaja točk objektov. V raziskavi smo pokazali, da je intenziteta zelo koristna dodana vrednost podatkom o višini. Z njeno pomočjo smo izdelali karto pokrovnosti, ki ima na krajevni ravni precej več prednosti kakor slabosti. Z uvedbo ustrezne programske opreme (možnost kombiniranja ter velika hitrost obdelave vektorskih in rastrskih podatkov) ter (sicer precej dobrega) poznavanja lastnosti lidarskih podatkov in vplivov nanje bi bilo intenziteto smiselno uporabljati precej pogosteje. Vsekakor pa so tudi zgolj podatki o višini objektov na mnogih področjih zadosten razlog za pogostejšo rabo lidarja, še posebej v kombinaciji z drugimi vrstami podatkov (npr. DOF).

Viri in literatura

- AeroMap. 2007. Aeromap Technology Systems.
<http://www.aeromapss.com/lidar.htm>.
- Ahokas, E., H. Kaartinen in J. Hyyppä. 2003. A quality assessment of airborne laser scanner data.
http://www.isprs.org/commission3/wg3/workshop_laserscanning/papers/Ahokas_ALSDD2003.pdf.
- Airbornelasermapping. Overview – An emerging survey technology.
<http://www.airbornelasermapping.com/ALMSkinny.html#Applications>.
- Andersen, H. 2007. The use of airborne laser scanner data (LIDAR) for forest measurement applications.
<http://westernforestry.org/wmens/m2002/andersen.ppt>.
- Bitenc, M. 2007. Analiza podatkov in izdelkov zračnega laserskega skeniranja na projektu Neusiedler See. Diplomaska naloga, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Boyd, D. in R. Hill. 2007. Validation of airborne lidar intensity values from a forested landscape using hymap data: preliminary analyses. *IAPRS XXXVI* (3): 71-76.
- Brandtberg, T., T. Warner, R. Landenberger, J. McGraw. 2003. Detection and analysis of individual leaf-off tree crowns in small footprint, high sampling density LIDAR data from the eastern deciduous forest in North America. *Remote Sensing of Environment* 85: 290–303.
- Brenner, C., C. Dold, K. Jülge. 2002. Fusion, interpretation and combination of geodata for the extraction of topographic objects.
http://www.isprs.org/commission3/wg3/workshop_laserscanning/papers/Brenner_ALSDD2003.pdf.

- Briese. 2007. Airborne laser scanning – High quality digital terrain modelling. http://publik.tuwien.ac.at/files/pub-geo_1950.pdf.
- Brzank, A. in C. Heipke. 2006. Classification of lidar data into water and land points in coastal areas. http://www.ipi.uni-hannover.de/html/publikationen/2006/paper/Brzank_Alexander__Heipke_Christian__Waterextraction_final.pdf.
- Campbell, J.B. 1996. *Introduction to remote sensing*. New York: Taylor and Francis.
- Coren, F. P. Sterzai. 2005. Radiometric correction in laser scanning. <http://www.ingentaconnect.com/content/tandf/tres/2006>.
- CORINE ključ. Klasifikacijski ključ CORINE. 2007. http://www.corine.dfd.dlr.de/media/download/clc_lut_en.pdf.
- CORINE podatki. 2007. CORINE database. <http://image2000.jrc.it/>.
- CORINE poročilo. 2007. CORINE land cover report. <http://reports.eea.europa.eu/COR0-landcover/en>.
- Digidata. 2004. Poročila o izvajanju projekta prve vzpostavitve zbirke dejanske rabe zemljišč. Končna poročila podjetja Digidata, d.o.o.
- Donoghue, D., P. Watt, N. Cox, J. Wilson. 2007. Remote sensing of species mixtures in conifer plantations using LiDAR height and intensity data. *Remote Sensing of Environment* 110: 509–522.
- Exelis, 2007. Exelis VIS product documentation center. <http://www.exelisvis.com/docs/ClumpingClasses.html>
- Foody, G. M. 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment* 80: 185–201.
- FRA Nepal. Component 2 – LiDAR assisted multisource programme in TAL. http://www.franepal.org/?page_id=135.
- Fritzmann, P., B. Höfle, M. Vetter, R. Sailer, J. Stötter, E. Bollmann. 2011. Surface classification based on multi-temporal airborne LiDAR intensity data in high mountain environments. A case study from Hintereisferner, Austria. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues* 55 (2): 105–126.

- Fukuda, Y., K. Kobayashi, K. Watanabe, T. Kinoshita. 2014. Target object classification based on a fusion of LIDAR range and intensity data. *Proceeding of the SICE Annual Conference*. 9-12 Sept. 2014: 1312–1317.
- Gaveau, D. L. A., R. A. Hill. 2003. Quantifying canopy height underestimation by laser pulse penetration in small-footprint airborne laser scanning data. *Canadian Journal of Remote Sensing* 29: 650–657.
- Göpfert, J., C. Heipke. 2006. Assessment of lidar DTM accuracy in coastal vegetated areas.
http://www.ipi.uni-hannover.de/uploads/tx_tkpublikationen/ISPRS_Bonn_Goepfert_Heipke.pdf.
- GURS. 2007. Zbirka dejanske rabe tal. <http://www.gu.gov.si/>.
- Hasegawa, H. 2006. Evaluations of LIDAR reflectance amplitude sensitivity towards land cover conditions.
<http://www.gsi.go.jp/ENGLISH/RESEARCH/BULLETIN/vol-53/53-6.pdf>.
- Helica. 2007. <http://www.helica.it/eng/prod/applic.asp>.
- Hengl, T. 2006. Finding the right pixel size. *Computers & Geosciences* 32: 1283–1298.
- Holmgren, J. 2003. Estimation of forest variables using airborne laser scanning. Doktorska disertacija, Umeå: Swedish University of Agricultural Sciences.
- Holmgren, J., A. Persson. 2004. Identifying species of individual trees using airborne laser scanning. *Remote Sensing of Environment* 90 : 415–423.
<http://www.geolas.com/Pages/laser.html>.
- Hu, X., C. V. Tao. 2004. Automatic road extraction from dense urban area by integrated processing of high resolution imagery and lidar data.
<http://www.isprs.org/istanbul2004/comm3/papers/288.pdf>.
- Hyypä, J., M. Inkinen. 1999. Detecting and estimating attributes for single trees using laser scanner. *Photogrammetric Journal of Finland* 16: 27–42.
- Jelalian, A. V. 1992. *Laser radar systems*. Boston and London: Artech House.
<http://adsabs.harvard.edu/abs/1980easc.conf..546J>.

- Jutzi, B. in U. Stilla. 2006. Precise range estimation on known surfaces by analysis of full-waveform laser.
http://www.isprs.org/commission3/proceedings06/singlepapers/O_19.pdf.
- Kaasalainen, S., J. Hyypä, P. Litkey, H. Hyypä, E. Ahokas, A. Kukko, H. Kaartinen. 2007. Radiometric calibration of ALS intensity. *IAPRS XXXVI* (3): 201-2015.
- Katzenbeisser, R. 1999. Echo detection. Technical note. TopoSys GmbH Ravensburg.<http://www.toposys.com/pdf-ext/Engl/echo-detec3.pdf>.
- Kobler, A., N. Pfeifer, P. Ogrinc, L. Todorovski, K. Oštir, S. Džeroski. 2007. Repetitive interpolation: A robust algorithm for DTM generation from Aerial Laser Scanner Data in forested terrain. *Remote Sensing of Environment* 108: 9–23.
- Kraus, K., C. Ressler, A. Roncat. 2006. Least squares matching for airborne laser scanner data.
http://www.ipf.tuwien.ac.at/publications/kk_car_ar_Berlin_2006.pdf.
- Kukko, A., J. Hyypä. 2007. Laser scanner simulator for system analysis and algorithm development: a case with forest measurements. ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007, Espoo, September 12-14, 2007, Finland.
http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/3-W52/final_papers/Kukko_2007a.pdf
- Lipej, B. 2001. Državni projekti na območju evidentiranja nepremičnin. *Geodetski vestnik* 45 (3): 226–245.
- Lovell, J. L., D. L. B. Jupp, D. S. Culvenor, N. C. Coops. 2003. Using airborne and groundbased ranging LiDAR to measure canopy structure in Australian forests. *Canadian Journal of Remote Sensing* 29 (5): 607–622.
- Lutz, E., T. Geist, J. Stötter. 2003. Investigations of airborne laser scanning signal intensity on glacial surfaces-utilizing comprehensive laser geometry modelling and orthophoto surface modelling (a case study: Svartiseibreen, Norway).

- http://omega.utu.fi/reports/Lutz_ALSDD2003.pdf.
- Luzum, B., M. Starek, K. C. Slatton. 2004. Normalizing ALSM intensities. GEM center report No. Rep_2004-07-001. U.S.A.: University of Florida.
- Maas, H.G. 2001. On the use of pulse reflectance data for laserscanner strip adjustment. *IAPRS*, XXXIV (3/W4): 53-56.
- Maier, B., D. Tiede, L. Dorren. 2006. Assessing mountain forest structure using airborne laser scanning and landscape metrics.
http://www.commission4.isprs.org/obia06/Papers/08_Automated%20classification%20Lidar/OBIA2006_Maier_Tiede_Dorren.pdf.
- MKGP. 2007. Dejanska raba tal. <http://rkg.gov.si/GERK/>.
- Moffiet, T., K. Mengersen, C. Witte, R. King, R. Denham. 2005. Airborne laser scanning: Exploratory data analysis indicates potential variables for classification of individual trees or forest stands according to species. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 59 (5): 289–309.
- Morsdorf, F., O. Frey, E. Meier, K. Itten, B. Allgöwer. 2006. Assessment of the influence of flying height and scan angle on biophysical vegetation products derived from airborne laser scanning. Proceedings of Workshop on 3D Remote Sensing in Forestry, 14–15 February, Vienna, Austria: 145–150.
- Nardinocchi, C., G. Forlani, P. Zingaretti. 2003. Classification and filtering of laser data.
http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/3-W13/papers/Nardinocchi_ALSDD2003.PDF.
- Oštir, K., Z. Stančič, T. Podobnikar, Z. Vehovar. 2000. Pridobivanje in uporaba prostorskih podatkov visoke ločljivosti pri načrtovanju omrežja mobilne telefonije. V *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1999-2000*, ur. D. Hladnik, M. Krevs, D. Perko, T. Podobnikar in Z. Stančič, 143–152. Ljubljana: Založba ZRC.
- Oštir, K. 2006. *Daljinsko zaznavanje*. Ljubljana: Založba ZRC.
- Pavlek, F. 2007. Lidarsko in foto snemanje na območju jugozahodne Slovenije – območje Slivnice. Končno poročilo podjetja Geoin, d.o.o.

- Petek, F. 2005. *Spremembe rabe tal v slovenskem alpskem svetu (Zbirka Geografija Slovenije 11)*. Ljubljana: Založba ZRC.
- Pfeifer, N. in C. Briese. 2007. Laser scanning – principles and applications. http://publik.tuwien.ac.at/files/pub-geo_1951.pdf.
- Pirotti, F. 2011. Analysis of full-waveform LiDAR data for forestry applications: a review of investigations and methods. *Biogeosciences and Forestry*, 4: 100–106.
- Popescu, S. in K. Zhao. 2007. A voxel-based lidar method for estimating crown base height for deciduous and pine trees. *Remote Sensing of Environment* 112 (3): 767–781.
- Pravilnik o evidenci dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč. Uradni list RS 90/2006. Ljubljana.
- Pravilnik o vodenju vrst rabe zemljišč v zemljiškem katastru. Uradni list RS 41/82. Ljubljana.
- Pravilnik o vsebini in načinu vodenja zbirke podatkov o dejanski rabi prostora. Uradni list RS 9/2004. Ljubljana.
- Pravilnik za katastrsko klasifikacijo zemljišč 1979. Uradni list RS 28/79. Ljubljana.
- Kokalj, Ž., K. Oštir. 2013. *Vrednotenje pokrajinskoekoloških tipov Slovenije v luči pokrovnosti, izdelane s klasifikacijo satelitskih posnetkov Landsat*. Ljubljana: Založba ZRC. <http://zalozba.zrc-sazu.si/p/P02>
- RS MKGP. 2002. Interpretacijski ključ – priročnik za izobraževanje. http://rkg.gov.si/GERK/docs/RABA_Int-Kljuc.pdf.
- Roncat, A., C. Briese, J. Jansa, N. Pfeifer. 2014. Radiometrically calibrated features of full-waveform Lidar lidar point clouds based on statistical moments. *IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters* 11 (2): 549–553.
- Song, J.H., S. H. Han, K. Yu, Y. Kim. 2002. Assessing the possibility of land-cover classification using Lidar intensity data. <http://www.isprs.org/proceedings/xxxiv/part3/papers/paper128.pdf>.
- SURS. 2007. Karta pokrovnosti. http://www.stat.si/pub_rr815-05.asp.

- Tao, G., Y. Yasuoka. 2001. Combining high resolution satellite imagery and airborne laser scanning data for generating bareland dem in urban areas. <http://www.acrors.ait.ac.th/kunming/download/GuoTao.pdf>.
- TopoSys. 2007. Aerial data collection. <http://www.toposys.com>.
- Tóvári, D. in T. Vögtle. 2004. Object classification in laserscanning data. http://www.isprs.org/commission8/workshop_laser_forest/TOVARI.pdf.
- UPRAVA. 2007. Kako evidentiram spremembe vrste rabe, katastrske kulture in katastrskega razreda? <http://e-uprava.gov.si/e-uprava/dogodkiPrebivalci.euprava?zdid=1385&sid=1163>.
- USGS. Digital Spectral Library. 2007. <http://pubs.usgs.gov/of/2003/ofr-03-395/ofr-03-395.html>.
- Wagner, W. 2005. Physical principles of airborne laser scanning. Paper from University Course: Laser scanning - Data acquisition and modeling. TU Vienna: Institute of photogrammetry and remote sensing.
- Wagner, W., A. Roncat, T. Melzer, A. Ullrich. 2007. Waveform analysis techniques in airborne laser scanning. *IAPRS XXXVI (3/W52)*: 413-418.
- Wagner, W., A. Ullrich, T. Melzer, C. Briese, K. Kraus. 2004. From single-pulse to full-waveform airborne laser scanners: potential and practical challenges. http://www.ipf.tuwien.ac.at/publications/ISPRS_2004_Istanbul/Airborne_Laser_ww_tm_cb_kk.pdf.
- Wasser, L. 2012. Reflections on remote sensing, ecology and the NEON AOP. <http://www.neonnotes.org/2012/06/reflections-on-remote-sensing-ecology-and-the-neon-aop/>.
- Watt, P.J. 2005. An evaluation of LiDAR and optical satellite data for the measurement of structural attributes in British upland conifer plantation forestry. Doktorska disertacija, England: Durham University.

- Wikimedia, 2014. Raster data structure.
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_use_of_a_raster_data_structure_to_summarize_a_point_pattern.gif.
- Wikipedia. 2008. Intensity (physics). <http://en.wikipedia.org/wiki/Intensity>.
- Willem van der Vegt, J. in A. Hoffmann. 2007. Airborne laser scanning reaches maturity. <http://training.esri.com/campus/library>.
- Yan, W. Y., A. Shaker. 2014. Radiometric Correction and Normalization of Airborne LiDAR Intensity Data for Improving Land-Cover Classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 52 (12): 7658–7673.
- Zakon o državni statistiki. Uradni list RS 45/95. Ljubljana.
- Zakon o evidentiranju nepremičnin, državne meje in prostorskih enot. Uradni list RS 52/2000. Ljubljana.
- Zakon o urejanju prostora /ZUreP-1/. Uradni list RS 110/2002 (8/2003 - popr.), 58/2003 (8/2003 - popr.) – 151. člen. Ljubljana.
- Zemljiški kataster. 2007.
http://www.gu.gov.si/si/delovnapodrocja_gu/podatki_gu/zemljiski_kataster/.

Priloge

Priloga A: Osnovne značilnosti najpomembnejših kart rabe oziroma pokrovnosti tal za območje celotne Slovenije

Preglednica 9: Lastnosti karte Zemljiški kataster

Splošne lastnosti	
Opis	Vrsta rabe se vodi kot opisni podatek, vezan na osnovne enote zemljiškega katastra – parcele in parcelne dele.
Namen	Prostorski prikaz lege parcel, parcelnih delov ter nanje vezanih opisnih podatkov za potrebe vodenja in vzdrževanja evidence Zemljiškega katastra.
Uporaba	Geodetski operativi služijo podatki pri geodetskih postopkih, posameznim resorjem občinske in državne uprave pa kot podlaga za vodenje politike gospodarjenja s prostorom, varovanja okolja, vrednotenja in obdavčevanja nepremičnin, upravljanju z objekti prometne in komunalne infrastrukture, itd.
Lastnik	Geodetska uprava Republike Slovenije (v nadaljevanju GURS).
Datum	Prvič se je digitalni katastrski načrt (DKN) vzpostavil 01.01.1992. Od takrat naprej se karta (vsaj v položajnem smislu) vzdržuje dnevno.
Postopek pridobitve	
Osnovni princip	Za vsak parcelni del se na terenu določi vrsta rabe glede na klasifikacijski ključ.
Viri	Vir podatkov za vzpostavitev prvotnega digitalnega stanja so bili zemljiškokatastrski načrti različnih meril. Za vzdrževanje baze so vir terenske meritve, terenski ogledi in upravni postopki za spreminjanje katastrske kulture in namembnosti.
Klasifikacija	Zemljiški kataster na dveh nivojih loči 4 skupne vrste rabe (katastrske kulture, zemljišča pod gradbenimi objekti, zelene površine in nerodovitna zemljišča) in 37 vrst rabe.
Klasifikacijski ključ	GURS za vsak posamezen katastrski okraj z odločbo določi osnove za katastrsko klasifikacijo (UPRAVA 2007).
Merilo kartiranja	Osnovno kartiranje je potekalo v različnih merilih, odvisno od lokacije. Najpogostejša merila so bila 1:2880, 1:1440, 1:2500, 1:1000.

Najmanjša enota kartiranja	Strnjen zemljiški kos istega lastnika oziroma uporabnika se uvrsti v vrsto rabe glede na dejansko rabo, če dosega ali presega 200 m ² , razen za izjeme.
Predobdelava	Vzpostavitev digitalne evidence zemljiškega katastra, določitev vzorčnih parcel.
Interpretacija	Pravilnik določa, da se vrste rabe zemljišč ugotavljajo ob izvajanju zemljiško katastrske izmere in ob vzdrževanju zemljiškega katastra neposredno na zemljišču ter posredno na podlagi podatkov aerosnemanja in drugih tehničnih podatkov, ki zagotavljajo pravilnost uvrščanja zemljišč v vrste rabe.
Poobdelava	Poobdelava ni potrebna.
Kakovost	
Položajna natančnost	Relativna natančnost (med objekti) ustreza grafični natančnosti (0,2 mm · merilo načrta). Absolutna natančnost je med 2 m in lahko tudi do 50 m.
Tematska natančnost	Šifra vrste rabe na parcelnih delih je 80 % natančna. Enak odstotek je pravilno določenih katastrskih razredov.
Časovna natančnost	Permanentno vzdrževanje.
Logična usklajenost	Usklajenost med lokacijsko in pisno bazo je 99 %. Sloj je 95 % topološko urejen.
Popolnost	Podatki so vzpostavljeni za skoraj vso Slovenijo.
Uporabnost	
Prikaz dejanskega stanja	Na vrsto rabe, vezano na določeno parcelo, se ne moremo popolnoma zanesti. Zanesljivost je premajhna, da bi lahko karti zaupali in se nanjo pri pomembnih analizah naslanjali. Težavo predstavlja tudi relativno veliko položajno odstopanje parcel od dejanskega stanja, kar posledično pomeni položajno odstopanje vrste rabe.
Način osveževanja	Vzdrževanje opravlja občinski geodetski organ na prijavo lastnika oziroma uporabnika in po uradni dolžnosti (revizija naj bi se izvedla na vsakih 15 let).
Zahtevnost izdelave	Celoten postopek vzpostavitve baze in njenega vzdrževanja je zelo dolgotrajen. Zahteva veliko ljudi, ki to bazo vsak dan več ur dnevno vzdržujejo. Celotna nova izdelava baze je v kratkem času ekonomsko in časovno nerealna.
Napake – vzroki	Zastarelo stanje katastra zaradi zgodnje vzpostavitve, velikih sprememb v načinu kmetijske obdelave zemljišč in gospodarskih pogojev ter klasične in neracionalne tehnologije za vzdrževanje katastrske klasifikacije. Napake položaja katastra so posledica postopkov izmere in inštrumentarija v zgodovini ter digitalizacije prvotnih grafičnih načrtov.

Napake – odprava	Zaradi zgoraj opisanih pomanjkljivosti se je država odločila posodobiti zemljiški kataster (Lipej 2001: 226-227). Steklo je več državnih projektov na območju evidentiranja nepremičnin. Nezadostno kakovost izdelanega DKN v položajnem smislu sistemsko odpravljajo.
Povezljivost z drugimi zbirkami	Slaba usklajenost sloja s sloji, ki niso bili pridobljeni na osnovi DKN.
Prednosti	Majhna enota zajema; vrsta rabe je vezana na parcelo in s tem na lastništvo; vrsta rabe je zanesljivo določena (če je ažurna); vrsta rabe je na pozidanih območjih zelo natančno razdeljena; klasifikacijski ključ je narejen za vsak okraj posebej, kar pomeni upoštevanje naravnih značilnosti posameznih okrajev.
Slabosti	Neažurnost vrste rabe; slaba položajna natančnost; vezanost vrste rabe na parcele, ne na dejansko stanje; slaba povezljivost z drugimi zbirkami, ki niso vezane na DKN; dolg in drag postopek določanja vrste rabe na parceli (obvezen terenski pregled); stalno, (ne-) sistematično zaostajanje pri registraciji številnih sprememb vrste rabe.

Preglednica 10: Lastnosti karte Dejanska raba zemljišč

Splošne lastnosti	
Opis	Karta dejanske rabe zemljišč prikazuje stanje pokrovnosti tal, kot je v naravi. Vsako, s poligonom omejeno območje rabe, predstavlja strnjeno zemljišče z eno vrsto rabe, določeno na osnovi vnaprej dogovorjenih pravil.
Namen	Vzpostavitev prostorske podatkovne baze o rabi kmetijskih zemljišč, opredelitev postopkov vzdrževanja ter pripis podatkov o rabi kmetijskih zemljišč parcelam iz zemljiškega katastra.
Uporaba	Administrativni nadzor subvencijskih vlog, pomoč pri vzpostavljanju katastrov trajnih nasadov, registra kmetijskih gospodarstev in GERK, izvajanje drugih nalog s področja vodenja kmetijske politike.
Lastnik	Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP).
Datum	Pilotski projekt je potekal v letih 1996-1997. V letih 1998-1999 je potekala nadgradnja, razvoj informacijskega sistema MKGP. Leta 2004 so izdali priročnik za izobraževanje in dokončno izdelali sloj dejanske rabe.
Postopek pridobitve	
Osnovni princip	Dejanska raba se določa na osnovi vnaprej dogovorjenih pravil, s pomočjo katerih se na osnovi vizualne interpretacije digitalnih ortofoto posnetkov, neodvisno od lastnika zemljišč, razmejujejo posamezne osnovne vrste rabe.

Viri	Podatki so bili pridobljeni na osnovi digitalnih ortofoto načrtov v merilu 1:5000 (DOF5). Vir za določitev dejanske rabe so bile tudi terenske kontrole, kot pomoč pa so v dvoumnih situacijah služile tudi topografske karte, digitalni model reliefa, obvestila uporabnikov, itd.
Klasifikacija	Karta na drugem nivoju loči 21 kategorij rabe tal, na prvem nivoju pa: kmetijska zemljišča, gozdna in ostala poraščena zemljišča, pozidana in sorodna zemljišča, odprta zamočvirjena zemljišča, suha odprta zemljišča s posebnim rastlinskim pokrovom, odprta zemljišča brez nepomembnega rastlinskega pokrova ali z njim in vode.
Klasifikacijski ključ	Klasifikacijski ključ je del interpretacijskega ključa, ki ga je zelo podrobno določilo MKGP.
Merilo kartiranja	1:5000
Najmanjša enota kartiranja	Pravilnik določa, da je najmanjša površina zajema za vodo 10 m ² , za pozidana in sorodna zemljišča pa 25 m ² . Za kategorije kmetijskih zemljišč so predpisane najmanjše površine od 25 m ² (rastlinjak), preko 500 m ² (hmeljišče, vinograd, oljčnik in ostali trajni nasadi) in 1000 m ² (vse ostale kategorije kmetijskih zemljišč) do 5000 m ² (kmetijska zemljišča znotraj pozidanih površin in gozda ter ostala nekmetijska zemljišča).
Predobdelava	Priprava interpretacijskega ključa.
Interpretacija	Podatki se zajemajo s fotointerpretacijo DOF5, pri čemer je treba strogo upoštevati interpretacijski ključ. Po potrebi se uporabijo tudi dodatni podatki oz. terenski ogled.
Poobdelava	Preverjanje kakovosti interpretacije in topologije, nato prenos v evidenco.
Kakovost	
Položajna natančnost	1 m.
Tematska natančnost	95 % glede na interpretacijski ključ.
Časovna natančnost	Vzdrževanje bo predvidoma v sedemletnih ciklih.
Logična usklajenost	Lokacijska in pisna baza sta logično usklajeni, območja so definirana s topološko pravilnimi poligoni.
Popolnost	Podatki o dejanski rabi so vzpostavljeni za 100 % Slovenije.
Uporabnost	
Prikaz dejanskega stanja	Karta dejanske rabe tal je trenutno najbolj natančen enotni vir dejanske rabe tal za celotno ozemlje Slovenije, čeprav podatki niso povsem ažurni.

Način osveževanja	Podatki se prenašajo v evidenco sukcesivno, glede na obnavljanje podatkov s posnetki iz zraka ter glede na priglašene spremembe nosilca kmetijskega gospodarstva ali drugega uporabnika podatkov.
Zahtevnost izdelave	Za projekt izdelave rabe tal takšne ali podobne kvalitete je za večje območje (npr. celotno državno ozemlje) potrebno izjemno veliko finančnih sredstev in vloženega dela. Za operacije s podatki tolikšne natančnosti za večja območja je treba imeti zelo zmogljivo računalniško opremo.
Napake – vzroki	Predvidevamo, da je bila največja ovira za večjo zanesljivost končnih podatkov slabo poznavanje terena, ki ga je interpretator kabineto obdeloval (Petek 2005). Napake so lahko tudi posledica neažurnosti.
Napake – odprava	Minimalne napake interpretacije bodo vedno prisotne.
Povezljivost z drugimi zbirkami	Kategorij v podatkovnih zbirkah dejanske rabe tal in zemljiškega katastra ni mogoče neposredno primerjati (Petek 2005).
Prednosti	Lokacijsko natančni; možnost uporabe v GIS; precej ažurni; interpretacijski ključ je zelo podrobno definiran (interpretacija je možna skoraj brez napak); zelo podrobno določena dejanska raba (majhne površine zajema).
Slabosti	Niso časovno primerljivi (različni datumi zajema posameznih posnetkov, uporabljenih kot vir); težave na stikih (zaradi subjektivne interpretacije ima ista raba tal na dveh posnetkih različen atribut); nova izdelava baze je v kratkem časovnem terminu ekonomsko in časovno nerealna; vsebuje dejanske rabe, za katere MKGP ni pristojen.

Preglednica 11: Lastnosti Zbirke dejanske rabe zemljišč (Digidata 2004).

Splošne lastnosti	
Opis	Zbirka dejanske rabe zemljišč je del zbirke dejanske rabe prostora, kamor spada tudi zbirni kataster gospodarske javne infrastrukture. Dejanska raba prostora je poleg zbirke upravnih aktov in zbirke pravnih režimov del sistema zbirk prostorskih podatkov (SZPP), ki ga je predpisal Zakon o urejanju prostora (ZUreP-1). Hkrati je dejanska raba zemljišč del zbirke podatkov o nepremičninah, ki jih je predpisal Zakon o evidentiranju nepremičnin, državne meje in prostorskih enot (ZENDMPE). Zbirka dejanske rabe zemljišč združuje vse podrobnejše zbirke podatkov, ki jih vodijo pristojna ministrstva. Osnovno izhodišče projekta je, da dejanska raba zemljišč prikazuje dejansko stanje v naravi.
Namen	Glavni namen podatkov o dejanski rabi zemljišč je dopolnitev topografskih podatkov. Podatki bodo služili za primerjavo med planskim in obstoječim stanjem zemljišč. Uporabni bodo pri vrednotenju zemljišč, ker se bodo vodili

	skupaj z zemljiškim katastrom in bo možno njihove podatke izkazati na parcelo. V veliko pomoč bodo tudi ministrstvu za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano pri podeljevanju subvencij. Poleg tega je zbirka podatkov stično mesto podatkov različnih sektorjev, kar pomeni, da bo možno preko njene vzpostavitve uskladiti postopke za jasno razmejitev različnih kategorij dejanske rabe zemljišč. Podatki o dejanski rabi zemljišč bodo eden izmed kazalcev razvoja okolja.
Uporaba	Zbirka se trenutno še ne uporablja, uporabljala pa se bo v skladu z njenim namenom. Pravilnik o vsebini in načinu vodenja zbirke podatkov o dejanski rabi prostora določa, da dejanska raba zamenja vrsto rabe v zemljiškem katastru. Trenutno se podatki na osnovi istega pravilnika vodijo neodvisno od parcel, v prihodnosti pa bodo podatki zadostili tudi zahtevi, da so meje določene tudi tako, da je mogoče podatke izkazovati po parcelah.
Lastnik	Skupni lastnik celotne zbirke dejanske rabe zemljišč je Geodetska uprava Republike Slovenije (GURS), lastniki posameznih podatkov so Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP), Ministrstvo za okolje, prostor in energijo (MOPE) ter Agencija RS za okolje (ARSO).
Datum	Projekt se je začel leta 2004 in se še ni končal, zato zbirka še ni vzpostavljena.

Postopek pridobitve

Osnovni princip	Osnovni princip je spojitve določenih evidenc resornih ministrstev, odprava nesoglasij ter pretvorba na nivo parcele.
Viri	Zbirka je v osnovi zamišljena tako, da bodo vir podatkov DOF5 (pozidana zemljišča), DTN5 (vodna zemljišča) ter evidenca rabe MKGP (ostalo).
Klasifikacija	V Pravilniku o vsebini in načinu vodenja zbirke podatkov o dejanski rabi prostora so določene osnovne vrste dejanske rabe zemljišč: kmetijska zemljišča, gozdna zemljišča, vodna zemljišča, pozidana zemljišča, neplodna zemljišča. Podvrste so določene glede na vir, iz katerega so določeni podatki prevzeti.
Klasifikacijski ključ	Evidenca rabe zemljišč MKGP je izdelana na osnovi interpretacijskega ključa MKGP (glej poglavje o omenjeni evidenci), pozidana zemljišča se bodo v nadaljevanju vodila predvidoma na podlagi katastra stavb, gospodarska javna infrastruktura (GJI) se bo prevzela iz Katastra GJI, vode pa bodo predali vodarji.
Merilo kartiranja	Za vse evidence je bilo merilo kartiranja 1:5000.
Najmanjša enota kartiranja	Najmanjša enota kartiranja je določena po enakem ključu kakor pri Dejanski rabi zemljišč MKGP, le pozidana zemljišča so podrobneje definirana (16 m ²).
Predobdelava	Izdelava posameznih evidenc. Za namen tega projekta je bilo potrebno v

	celoti po novem postopku zajeti pozidana zemljišča, ostale evidence so že obstajale.
Interpretacija	Meje območij dejanske rabe zemljišč v posameznih evidencah so se evidentirale s topološko pravilnimi poligoni, ki se med seboj ne sekajo in neprekinjeno prekrivajo območje Republike Slovenije. Pri združitvi vseh evidenc v eno je prišlo do neustreznega sekanja poligonov. Manjša neskladja je GURS odstranil pretežno samodejno, večja pa posredoval pristojnim ministrstvom.
Poobdelava	Podatke je treba preoblikovati tako, da se izkazujejo na parcelo natančno. Ta naloga ni enostavna, saj položaji parcel precej odstopajo od dejanskega stanja (od DOF, na podlagi katerega je izdelan sloj dejanske rabe). GURS se problema zaveda in ga že rešuje skozi procese transformacij katastra.
Kakovost	
Položajna natančnost	1 m.
Tematska natančnost	95 % glede na interpretacijski ključ.
Časovna natančnost	Permanentno vzdrževanje (glede na spremembe in z evidenčnimi vpisi).
Logična usklajenost	Podatki so topološko urejeni, ni nepravilnih prekrivanj in lukenj.
Popolnost	Podatki o dejanski rabi so vzpostavljeni za vso Slovenijo.
Uporabnost	
Prikaz dejanskega stanja	Predvidoma bo to baza, ki bo najboljše prikazovala dejansko pokrovnost tal za celotno ozemlje Slovenije.
Način osveževanja	Permanentni prevzem evidence dejanske rabe zemljišč, spremembe v primeru ugotovitve neujemanja z dejanskim stanjem, spremembe na zahtevo lastnika ali uporabnika parcele (ZENDMPE, 14. člen).
Zahtevnost izdelave	Ves trud je zajet v posameznih zbirkah, dodaten čas zahteva združitev različnih evidenc, določanje neskladij in koordinacija med posameznimi ministrstvi.
Napake – vzroki	Zbirka še ne obstaja.
Napake – odprava	Zbirka še ne obstaja.
Povezljivost z drugimi zbirkami	Trenutno se položajno slabo ujema z bazo, v kateri se mora po zakonodaji voditi, to je z digitalnim zemljiškim katastrom. Po vzpostavitvi zbirke bo z drugimi zbirkami povezljiva.

Prednosti	Prikazovala bo podrobno dejansko stanje v naravi; dejansko rabo tal bo možno prikazati na parcelo natančno; možno bo določanje lastništva; posamezne podatke bodo posredovala ministrstva, ki so za to pristojna; na enem mestu bodo zbrani in vsebinsko usklajeni uradni podatki različnih ministrstev.
Slabosti	Trenutna nezmožnost določanja dejanske rabe na parcelo natančno; podatki se nanašajo na precej dolgo časovno obdobje (1997-2000), zato ne omogočajo časovne primerjave; ažuriranje bo prinašalo precejšnje stroške, porabo časa, delovne sile in organizacijske koordinacije; različne interpretacije dejanske rabe zemljišč med pristojnimi ministri; različni načini vodenja podatkov na pristojnih ministri; zapleten postopek obveščanja ministrstev ob vsaki spremembi osnovnih podatkov; nekatera ministri ne vodijo podatkov o dejanski rabi zemljišč za katera so pristojna.

Preglednica 12: Lastnosti karte CORINE (CORINE podatki 2007 in CORINE poročilo 2007).

Splošne lastnosti	
Opis	S strani Evropske komisije je bil leta 1985 sprejet program CORINE (COorRdination of INformation on the Environment), katerega namen je bil koordinacija informacij o stanju okolja. Svet Evrope je leta 1990 ustanovil Evropsko agencijo za okolje (EEA) in ji naložil vzpostavitev Evropskega okoljskega monitoringa. V okviru projekta se je izdelala tematska karta pokrovnosti tal, ki ažurno predstavlja realno stanje pokrovnosti kot ga je zaznal satelit, ne glede na morebitno rabo ali pravno stanje. Leta 2000 in 2006 sta sledila projekta Corine Land Cover (CLC) 2000 in 2006 z namenom korekcije baze podatkov iz prejšnjega CLC, nadgradnje podatkov ter ugotovitve glavnih sprememb.
Namen	Podatki so namenjeni za vsedrjavno podatkovno bazo pokrovnosti tal, ki je primerljiva z ostalimi državami v Evropi. Karta je v prvi vrsti namenjena integraciji v geografske informacijske sisteme, kjer lahko na nivoju širšega območja (EU) upravljamo z informacijami o pokrovnosti. Skupaj z informacijami reliefa so le-te temeljne za upravljanje s prostorom in naravnimi viri, zato so kot takšne osnovni vir različnih projektov.
Uporaba	Podatkovna baza CLC je podlaga za ekološke in panožne analize na evropski, regionalni in nacionalni ravni, za uporabno se je izkazala tudi na meddržavni ravni (INTERREG projekti, poročanje po EU direktivah).
Lastnik	CLC je skupen projekt Evropske agencije za okolje (EEA) in Skupnega raziskovalnega centra Evropske Komisije (Joint Research Centre (JRC)). V Sloveniji so projekt izvajali na Geodetski upravi RS v sodelovanju z Agencijo Republike Slovenije za okolje, Gozdarskim inštitutom Slovenije, Biotehniško

	fakulteto - Center za pedologijo in varstvo okolja, Inštitutom za geologijo, geotehniko in geofiziko ter podjetjem Gisdata.
Datum	Prvi zajem je nastal v letu 1990 (v Sloveniji 1995/1996), drugi v letu 2000 (v Sloveniji marec – november 2003), tretji pa leta 2006.
Postopek pridobitve	
Osnovni princip	Delo je potekalo po standardni in zelo natančno definiranim postopku Corine Land Cover (CLC), ki predvideva vektorizacijo na osnovi vizualne fotointerpretacije satelitske slike.
Viri	Satelitski posnetki Landsat TM ter Landsat 7 ETM+ (večspektralni posnetki ločljivosti 25 m ter pankromatski posnetki ločljivosti 12,5 m). Kot dopolnilni vir izdelave karte so posameznim državam služile sektorske baze podatkov, topografske karte in aeroposnetki.
Klasifikacija	Nomenklatura CORINE land cover je sestavljena iz treh nivojev: prvi nivo (5 razredov) predstavlja glavne kategorije, drugi nivo (15 razredov) za uporabo na kartah meril 1:500.000 in 1:1.000.000 in tretji nivo (44 razredov) za uporabo v projektu CLC (merilo 1:100.000).
Klasifikacijski ključ	Klasifikacijski ključ je bil sestavljen iz vrednosti RGB izbranega piksla, ki predstavlja točno določen razred (CORINE ključ). Ker je spektralni podpis prostorsko odvisen, je klasifikacijski ključ služil zgolj kot pomoč. Določanje rabe je moralo temeljiti na prepoznavanju značilnih oblik na površju Zemlje ter upoštevanjem drugih državnih kart, ki se tičejo pokrovnosti.
Merilo kartiranja	Merilo kartiranja je 1:100.000.
Najmanjša enota kartiranja	Z upoštevanjem teh zahtev je bilo določeno minimalno območje 25 ha, minimalna širina poligona 100 m in najmanjša zaznana sprememba v pokrovnosti 5 ha.
Predobdelava	Zbiranje podatkov ter priprava podatkov (ortorektifikacija, geolociranje, prevzorčenje, izboljšava podob, oblikovanje podatkovne baze in vnos podatkov).
Interpretacija	Računalniško podprta fotointerpretacija. Razredi v CORINE niso vezani zgolj na homogen spektralni odboj, zato je postopek izdelave močno odvisen od zmožnosti interpretatorja podobe. Upoštevati je bilo potrebno zahtevano kakovost interpretacije.
Poobdelava	Kontrola posameznih listov (kontrola kod, topologije, geometrije), integriranje (povezovanje posameznih delov v celoto), izročitev podatkovne baze (izvoz podatkov, poročilo, predaja podatkov).
Kakovost	
Položajna	Srednja položajna napaka sloja CORINE je 100 m ali manj.

natančnost	
Tematska natančnost	Vsaj 85 %.
Časovna natančnost	Baza se osvežuje na pet let.
Logična usklajenost	Med posameznimi poligoni ni prekrivanj, točke, linije in poligoni se ne podvajajo, centriodi ležijo znotraj poligonov.
Popolnost	Lokacijski podatki v digitalni obliki so vzpostavljeni za 100 % Slovenije.
Uporabnost	
Prikaz dejanskega stanja	Karta prikazuje grobo stanje izpred dveh let. Podatki v vsebinskem smislu niso bili popolnoma pravilno interpretirani, dejansko stanje v razdrobljeni Sloveniji pa ukrivlja tudi prevelika velikost najmanjše enote kartiranja.
Način osveževanja	Baza se vsakih pet let ponovno izdela po enakem postopku.
Zahtevnost izdelave	Za uporabo pripravljene vire ter celoten postopek so pripravili na EEA. Naloga vsake posamezne države je bila, da pravilno interpretira dejansko rabo na njenem območju po predpisanem postopku. Kljub temu projekt še vedno zahteva nekaj časa in interpretatorjev.
Napake – vzroki	Napake pri interpretaciji in velika enota kartiranja.
Napake – odprava	Izboljšava interpretacijskega ključa.
Povezljivost z drugimi zbirkami	Zaradi premišljeno določenega merila kartiranja je sloj neposredno primerljiv z drugimi zbirkami, ki so v merilu 1:100.000. Med seboj so primerljivi tudi podatki CORINE posameznih evropskih držav, saj so narejeni po enotnem postopku in kvalitativno preverjeni s strani ene ustanove.
Prednosti	Časovna in prostorska primerljivost na evropski ravni; zagotovljena osvežitev sloja na pet let; sofinanciranje izdelave sloja s strani EU; relativno hitra izvedba; stabilnost kakovosti: nabava podatkov, ortorektifikacija in kontrola kakovosti so centralizirane.
Slabosti	Za slovenske razmere prevelika enota kartiranja, veliko število mešanih razredov.

Preglednica 13: Lastnosti karte Statistični GIS pokrovnosti tal.

Splošne lastnosti	
Opis	Statistični GIS pokrovnosti tal Slovenije prikazuje prostorsko razporeditev osnovnih kategorij pokrovnosti tal.

Namen	Statistični urad Republike Slovenije (SURS) pridobiva podatke o splošni pokrovnosti tal za izpolnjevanje nacionalnih in mednarodnih potreb po teh podatkih. Zbiranje podatkov pomeni izpolnitev zakonskih obveznosti, ki jih ima SURS kot zbiralec in dajalec podatkov po določenih Zakona o državni statistiki.
Uporaba	Podatke o pokrovnosti tal uporablja SURS pri izdelavi raznih geografskih analiz in pri izdelavi tematskih kart. Sloj je primeren kot osnova za kartografsko prikazovanje drugih podatkov in tudi za povezovanje pokrovnosti tal z drugimi geografsko lociranimi podatki in ustrezno geomatično analizo prostorskih odvisnosti.
Lastnik	Statistični GIS pokrovnosti in rabe tal so izdelali na Oddelku za geomatiko in GIS pri SURS, kateri je tudi lastnik podatkov.
Datum	Karta je bila do sedaj izdelana že štirikrat, in sicer v letih 1993, 1997, 2001 in 2005.

Postopek pridobitve

Osnovni princip	Karto pokrovnosti so izdelali s klasifikacijo večspektralnih satelitskih posnetkov ter primerjavo in prekrivanjem rezultata z več pomožnimi zbirkami podatkov. Iz zbranih podatkov so izdelali vektorske sloje.
Viri	Satelitski posnetki Landsat ETM, podatki Zajema kmetijske rabe tal (MKGP), evidenca hišnih števil, podatki državnih cest, železnic, odlagališč, kamnolomov in peskokopov. Kot pomožni podatki so bili uporabljeni tudi DMR20, DOF, terenski vzorci ter Državna topografska karta DTK25.
Klasifikacija	Klasifikacija je razdeljena na dva nivoja. Na prvem loči 7 kategorij, na drugem pa 19. Prvi nivo tvorijo: gozdnate površine, vse kmetijske površine, pozidane površine, ceste, železnice, odprte površine, vode.
Klasifikacijski ključ	Vrsto pokrovnosti so določali na podlagi vadbenih vzorcev, uporabo logičnega filtriranja ter uporabo drugih baz podatkov o rabi zemljišč oz. pokrovnosti tal.
Merilo kartiranja	Uporabljeni podatki so bili zelo različne kakovosti (npr. železniške proge so bile digitalizirane iz kart v merilu 1:50.000, tekoče vode, jezera in zaježitve iz 1:25.000, ceste in gozdni rob iz 1:5.000).
Najmanjša enota kartiranja	Najmanjša enota kartiranja kmetijskih, gozdnatih, odprtih površin in voda je 1 ha. Najmanjša enota kartiranja pozidanih površin je povprečna velikost objekta s pripadajočo hišno številko (120 m ²).
Predobdelava	Zlivanje ločljivosti, georeferenciranje, razrez scen po statističnih regijah, priprava vadbenih vzorcev.
Interpretacija	Nadzorovana mehka večspektralna klasifikacija (gozdnate, kmetijske in odprte površine) ter generiranje vplivne cone okrog centroida hišne številke

	in linijskih podatkov cest in železnic.
Poobdelava	Logično filtriranje rezultatov klasifikacije ter dodajanje nekaterih podatkov.
Kakovost	
Položajna natančnost	Srednja napaka položaja ni večja od 30 m.
Tematska natančnost	Povprečna zanesljivost je 86 %.
Časovna natančnost	Statistični GIS pokrovnosti tal se izdeluje vsaka štiri leta (prvič 1993).
Logična usklajenost	Podatki so topološko urejeni. Med posameznimi kategorijami ni prekrivanj.
Popolnost	Podatki zajemajo celotno območje Slovenije.
Uporabnost	
Prikaz dejanskega stanja	Karta prikazuje stanje izpred treh let. Podatki v vsebinskem smislu niso bili popolnoma pravilno interpretirani, dejansko stanje v razdrobljeni Sloveniji pa ukrivlja tudi prevelika velikost najmanjše enote kartiranja.
Način osveževanja	Podatki se v celoti ponovno izdelajo vsake štiri leta, med tem se ne spreminjajo.
Zahtevnost izdelave	Območja pokrovnosti, ki so se določala na podlagi satelitskih posnetkov, so bila določena samodejno z nadzorovano klasifikacijo, za kar na SURS niso potrebovali veliko število operaterjev in njihovega časa. Podobno so na časovno komponento vplivali ostali dopolnilni podatki, saj so bili zgolj prevzeti od lastnikov ter pripeti na osnovni sloj pokrovnosti.
Napake – vzroki	Napake interpretacije, velika enota kartiranja.
Napake – odprava	Izboljšava postopka klasifikacije.
Povezljivost z drugimi zbirkami	Podatki o pokrovnosti tal so povezljivi z drugimi zbirkami, saj jih SURS uporablja pri izdelavi raznih geografskih analiz in pri izdelavi tematskih kart. Sloj je primeren kot osnova za kartografsko prikazovanje drugih podatkov in tudi za povezovanje pokrovnosti tal z drugimi geografsko lociranimi podatki in ustrezno geomatično analizo prostorskih odvisnosti.
Prednosti	Velika površina tal je zajeta na enem satelitskem posnetku (enak čas snemanja); možnost avtomatizirane interpretacije pokrovnosti tal; hitro in cenovno ugodno kartiranje pokrovnosti; možnost časovnih primerjav; zakonsko zagotovljena osvežitev sloja na štiri leta; ni negativnih posledic subjektivne interpretacije; možnost uporabe v GIS.
Slabosti	Slaba ločljivost za analize, ki se opravljajo za prostorske enote, manjše od statistične regije; posamezni podatki, ki določajo pokrovnost, so zelo različne

kakovosti (npr. kmetijske površine in železnice); možne napake samodejne klasifikacije in vektorizacije.

Preglednica 14: Lastnosti Karte pokrovnosti ZRC SAZU.

Splošne lastnosti	
Opis	Rastrska karta pokrovnosti Slovenije.
Namen	Osnovna karta je bila izdelana za potrebe načrtovanja omrežja mobilne telefonije. Končna karta je nadgradnja osnovne karte in je bila izdelana za namen diplomske naloge.
Uporaba	Satelitski podatki omogočajo hiter vpogled v razprostranjenost nekaterih pojavov in procesov na zemeljskem površju od države, prek regionalne do krajevne ravni (Kokalj in Oštir 2013) in so kot takšni primerni za študije na regionalni ali državni ravni.
Lastnik	Inštitut za antropološke in prostorske študije Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti (ZRC SAZU).
Datum	Karta je bila izdelana leta 2003 na podlagi posnetkov iz let 1999 in 2000.
Postopek pridobitve	
Osnovni princip	Sloj pokrovnosti je bil izdelan s klasično nadzorovano klasifikacijo satelitskih posnetkov. Kot glavni klasifikacijski algoritem je bil uporabljen postopek največje verjetnosti, natančnost je bila povečana z upoštevanjem klasifikacije v dva sloja, omejevanjem z višino in naklonom ter dodatnih slojev.
Viri	Osnovni vir so bili satelitski posnetki Landsat TM in ETM+ iz let 1999 in 2000. Kot pomožne podatke so uporabili: izbrane reke iz vektorskih podatkov slovenskih vodotokov (GURS), vektorske poligone slovenskih vod (GURS) in digitalni model višin s horizontalno ločljivostjo 25 x 25 m (DMV) (Oštir idr. 2000). Za kontrolo so uporabili digitalne ortofoto posnetke (DOF) (GURS) ter podatke o rabi kmetijskih zemljišč v digitalni obliki (MKGP).
Klasifikacija	Izvajalci so izbrali kompromis med velikim številom razredov in preprostostjo obdelave ter se odločili za sedem osnovnih kategorij: gozd, grmičevje in zaraščanje, ekstenzivna travniška raba, intenzivna kmetijska raba, pozidana in sorodna zemljišča, voda, odprto.
Klasifikacijski ključ	Osnova za določitev vrednosti posameznemu pikslu so bili skrbno izdelani vzorci, določeni na podlagi nenadzorovane klasifikacije, ogleda območja na digitalnem ortofotu ter slojev pokrovnosti posameznih resornih ministrstev.
Merilo kartiranja	Merilo kartiranja ni bilo določeno, saj so se vrednosti pikslov določale po v naprej predpisani sistematiki.

Najmanjša enota kartiranja	Najmanjša enota kartiranja je piksel 25 krat 25 m, kar pomeni območje 625 m ² .
Predobdelava	Prevzorčenje posnetkov, izločitev oblačnosti, razdelitev območja na kvadrante.
Interpretacija	Za začetno pridobitev naravne razporeditve vzorcev so uporabili nenadzorovano klasifikacijo. Dobljenim spektralnim razredom so v nadaljevanju priredili informacijske razrede, ki so jih uporabili kot vzorce za nadzorovano klasifikacijo.
Poobdelava	Mozaičenje, preklasifikacija, filtriranje, dodajanje sloja vod iz vektorskih podatkov.
Kakovost	
Položajna natančnost	25 m.
Tematska natančnost	Povprečna tematska natančnost karte presega 92 %, kar je za tovrstne naloge zelo dober rezultat (Foody 2002), zlasti za študije na regionalni ali državni ravni.
Časovna natančnost	Podatki se nanašajo na stanje iz leta 2000.
Logična usklajenost	Vsakemu pikslu je določena vrednost za vrsto pokrovnosti.
Popolnost	Podatki popolnoma prekrivajo območje Slovenije.
Uporabnost	
Prikaz dejanskega stanja	Karta prikazuje stanje leta 2000. Dejansko stanje v razdrobljeni Sloveniji ukrivlja prevelika velikost najmanjše enote kartiranja.
Način osveževanja	Karta je bila izdelana za enkratni namen. Osveževanje ni predvideno.
Zahtevnost izdelave	Glede na relativno dober rezultat so za projekt izdelave karte porabili malo ur in finančnih sredstev.
Napake – vzroki	Vzroke za napake lahko iščemo v preveliki posplošenosti in premalo zahtevni poklasifikaciji.
Napake – odprava	Točnost klasifikacije bi lahko malenkostno izboljšali z zahtevnejšo poklasifikacijo (Kokalj in Oštir 2013).
Povezljivost z drugimi zbirkami	Bistvena lastnost, po kateri se ta sloj razlikuje od drugih, je oblika podatkov. Sloj se namreč vodi v rastrski obliki, ostali sloji pa so v veliki večini vektorski. Vsekakor se kot rastrska podlaga lahko podložijo katerikoli vektorski karti, za potrebe različnih GIS analiz pa jih je mogoče tudi vektorizirati.

Prednosti	Velika podrobnost za krajevne in regionalne študije; hiter in cenovno ugoden način pridobitve sloja (velika stopnja samodejnosti); večina podatkov se nanaša na enak časovni trenutek; upoštevanje pokrajinskih raznolikosti pri klasifikaciji; ni subjektivnih napak interpretatorja; možnost izboljšave sloja z ne preveliko napora; karta prikazuje zgolj pokrovnost in ne pravnih režimov; možnost prilagoditve sloja za specifične študije; možnost prilagoditve razredov po želji naročnika; možnost pogostega osveževanja sloja in s tem kratkoročnih časovnih primerjav; analize z rastru so mnogo bolj enostavne kot z vektorji.
Slabosti	Premajhna podrobnost za krajevne študije; nezmožnost neposredne primerjave z drugimi zbirkami; v nekaterih primerih nezmožnost neposredne uporabe v GIS; ni primerljivosti na evropski ravni; premajhna tematska natančnost za specifične okoljske analize; kakovost vira je odvisna od vremenskih pogojev.

Urednika zbirke: Nataša Gregorič Bon in Žiga Kokalj, ZRC SAZU

Zbirka je namenjena objavi krajših tematsko zaokroženih znanstvenih raziskav s področja sodobnega merjenja prostora, ki temeljijo na geografskih informacijskih sistemih in daljinskem zaznavanju, kot tudi na družbenih in kulturnih konstrukcijah prostora in časa: kako ljudje v različnih obdobjih in pokrajinah mislimo prostor in čas, kako ju živimo, čutimo, ustvarjamo, spreminjamo in uporabljamo.

UPORABA LIDARSKIH PODATKOV ZA KLASIFIKACIJO POKROVNOSTI

Andreja Švab Lenarčič in Krištof Oštir

Mag. Andreja Švab Lenarčič je zaposlena na Centru odličnosti Vesolje, znanost in tehnologije. Ukvarja se z obdelavo optičnih satelitskih posnetkov in podatkov zračnega laserskega skeniranja, zlasti za preučevanje značilnosti in sprememb na kmetijskih zemljiščih.

Krištof Oštir je znanstveni svetnik na Znanstvenoraziskovalnem centru SAZU, vodja daljinskega zaznavanja pri Centru odličnosti Vesolje, znanost in tehnologije in izredni profesor na Univerzi v Ljubljani. Ukvarja se z raziskavami in uporabo optičnih in radarskih satelitskih posnetkov ter razvojem tehnologije malih satelitov za opazovanje Zemlje.

