

# Aerofotografiranje in aerolasersko skeniranje Slovenije

Vasja Bric\*, Sandi Berk\*, Katja Oven\* in Mihaela Triglav Čekada\*

## Povzetek

Kombinacija aerofotografiranja in aerolaserskega skeniranja omogoča izkoriščanje prednosti obeh metod zajema podatkov: večjo višinsko točnost, ki sledi iz aerolaserskega skeniranja, in boljšo vizualno interpretacijo prostora, ki jo omogočajo aerofotografije. Najprej je na kratko opisana zgodovina fotogrametričnega aerofotografiranja v Sloveniji, ki se je pričelo izvajati v letu 1971. Potem je predstavljen trenutno potekajoč projekt aerolaserskega skeniranja Slovenije. Obravnavane so možnosti izboljšav cikličnega aerofotografiranja Slovenije in možne alternative profesionalnim velikoformatnim aerofotoaparatom. Prav tako so podani predlogi za vzdrževanje izdelkov aerolaserskega skeniranja v prihodnosti. Opisani so najpomembnejše vplivi na kakovost najbolj uporabljanih izdelkov obeh metod: ortofotov in digitalnega modela reliefa.

**Ključne besede:** aerofotografiranje, digitalni model reliefa, aerolasersko skeniranje, ortofoto

**Key words:** aerial photography, aerial laser scanning, orthophoto, digital terrain model

## Uvod

Od preloma tisočletja naprej se je zdelo, da bo lasersko skeniranje izpodrinilo klasično fotogrametrijo. Vendar se to ni zgodilo. Aerolasersko skeniranje postaja komplementarna metoda zajema podatkov o zemeljskem površju, ki skupaj z aerofotografijami daje optimalne rezultate. Kot bomo opisali v nadaljevanju, aerolasersko skeniranje daje točne višine, medtem ko aerofotogrametrija omogoča dobro vizualno interpretacijo prostora. Tako se skoraj vedno ob naročilu aerolaserskega skeniranja za manjša in srednje velika območja istočasno vključuje tudi aerofotografiranje.

Da bomo ločili med klasičnim aerolaserskim skeniranjem in kombinacijo aerolaserskega skeniranja in istočasnega aerofotografiranja, bomo to kombinacijo imenovali aerolasersko snemanje, ki se večinoma uporablja pri zajemu podatkov vzdolž različnih infrastrukturnih objektov (cest, železnic, daljnovodov) in drugih po površini manjših projektov. Pri zajemu podatkov za celo državo ali večjo regijo se aerolasersko skeniranje in aerofotografiranje izvajata ločeno, saj aerofotografiranje zahteva boljše vremenske in svetlobne pogoje ter se običajno izvaja precej višje nad terenom kot lasersko skeniranje. Istočasna uporaba velikoformatnega aerofotoaparata in laserskega skenerja zato zaenkrat še vedno ni gospodarna.

Vsedrjavno aerolasersko snemanje so izvedli v Švici, medtem ko so aerolasersko skeniranje ločeno od aerofotografiranja izvedli na Nizozemskem, Finskem, Švedskem, Danskem, v nekaterih deželah Nemčije, v Avstriji in v nekaterih regijah Italije, med njimi v nam sosednji Furlaniji - Julijski krajini, ki je bila skenirana med leti 2006 in 2009 (Triglav Čekada in sod., 2012).

Sam princip in uporabnost podatkov aerolaserskega skeniranja sta že bila podrobneje opisana (Bric in sod., 2011). V pričujočem članku se osredotočimo na primerjavo aerolaserskega skeniranja in aerofotografiranja ter izpostavimo možnosti hkratne uporabe

---

\* Geodetski inštitut Slovenije, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana

oblaka točk in aerofotografij. Najprej na kratko opišemo dolgoletni projekt Cikličnega aerofotografiranja Slovenije (v nadaljevanju: CAS) s poudarkom na zadnjih treh ciklih ter morebitne spremembe pred naslednjimi cikli. Potem opišemo projekt Lasersko skeniranje Slovenije (v nadaljevanju: LSS), ki se je začel ponovno izvajati v letu 2014. Na koncu obravnavamo še kakovost različnih izdelkov pridobljenih iz podatkov aerolaserskega skeniranja ali aerofotografiranja.

### **Ciklično aerofotografiranje Slovenije (CAS)**

Aerofotografiranje v Sloveniji se je z lastno ekipo začelo leta 1971 na Geodetskem zavodu Slovenije (v nadaljevanju: GZS). Leta 1975 se je začelo sistematično izvajanje projekta CAS. Po letu 1985 so se izvajali triletni cikli v različnih merilih in tehnologijah, na podlagi katerih ločimo analogno in digitalno dobo aerofotografiranja (Portal prostor, 2014).

Ves ta čas so se spreminjale zahteve, tehnologija in izvedba, število uporabnikov pa je naraščalo. Za financiranje je ves čas skrbela Geodetska uprava Republike Slovenije (v nadaljevanju: GURS). Izvajanje CAS je vse do leta 2007 opravljal GZS, potem je operativa izvedba prešla v tuja podjetja.

Potreba po vsedržavnem aerofotografiranju je danes še večja, kot je bila v preteklosti, ob tem je treba spremljati razvoj tehnologij, ki neposredno in posredno vplivajo na izvajanje CAS in uporabo njegovih izdelkov.

### **Analogna doba (1971–2005)**

Analogno dobo aerofotografiranja je zaznamovala uporaba aerofotoaparata, ki za medij zaznavanja svetlobe uporabljajo fotografski film. Sprva so bili to črno-beli filmi, ki so jih kasneje zamenjali barvni filmi ter barvni infrardeči filmi občutljivi na bližji infrardeči del svetlobnega spektra, rdečo in zeleno, kar je omogočalo boljšo interpretacijo v kmetijstvu, gozdarstvu, hidrologiji in geologiji.

Do leta 1985 sta se merilo aerofotografiranja, ki se izračuna kot količnik med goriščno razdaljo aerofotoaparata in višino letala nad terenom, kot tudi čas izvedbe cikla, spreminjala. Z letom 1985 se je pričelo izvajati aerofotografiranje s triletnim ciklom, kar pomeni, da je bila vsako leto aerofotografirana tretjina slovenskega ozemlja. Merilo ni bilo enotno. Za ruralna in gorata območja je bilo izbrano merilo 1 : 17 500 in za urbana območja 1 : 10 000. Merilo 1 : 17 500 je bilo izbrano zaradi pokrivanja lista temeljnega topografskega načrta v merilu 1 : 5000 (v nadaljevanju: TTN 5), ki v naravi pokriva območje 2,25 km × 3 km, z enim stereomodelom, kar je pomenilo enostavnejše vzdrževanje TTN 5.

Merilo aerofotografiranja se je leta 1992 poenotilo na 1 : 17 500, za potrebe izdelave topografskih načrtov večjih meril pa so se izvajala t. i. posebna aerofotografiranja (npr. v merilu 1 : 5000 za potrebe izdelave načrtov v merilu 1 : 1000), vendar samo lokalno.

V začetku devetdesetih let se je v Sloveniji pričela doba digitalne fotogrametrije z nakupom optičnih skenerjev in računalnikov z možnostjo stereoopazovanja t. i. digitalnih fotogrametričnih postaj, sledila je izdelava digitalnih modelov reliefa (v nadaljevanju: DMR) in ortofotov.

Pred začetkom izvedbe novih ciklov aerofotografiranja so strokovnjaki dopolnili tehnične zahteve izvajanja projekta CAS. Eden izmed mejnikov v izvajanju CAS je bil cikel 2000–2002, ko so se natančneje določila območja izvedbe aerofotografiranja v

posameznem letu in so trigonometrične sekcije postale zaključene enote predaje izdelkov projekta.

Med tehnološkimi prelomnicami je leto 1999, ko je GZS kupil takrat najkakovostnejši analogni aerofotoaparater Leica RC30, ki je že omogočal zajem podatkov GNSS za natančen izračun koordinat perspektivnih centrov in s tem izboljšanje kakovosti aerotriangulacije. Isto leto je bil nabavljen tudi skener Leica DSW300, ki je omogočal bistveno hitrejše skeniranje filmov od leta 1993 kupljenega DSW100.

Prelomnica v načinu prikaza je leto 2003, ko je bil del slovenskega ozemlja v okviru projekta CAS prvič fotografiran v barvni tehniki.

### **Digitalna doba (2006–2014)**

Digitalna doba systemskega aerofotografiranja v Sloveniji se prične leta 2006, ko je GZS z novim velikoformatnim profesionalnim digitalnim aerofotoaparatom Zeiss/Intergraph Digital Mapping Camera (v nadaljevanju: Z/I DMC) aerofotografiral celotno državo.

Izdelki CAS so bili do leta 2009 georeferencirani v državnem koordinatnem referenčnem sistemu D48/GK, odtlej v D96/TM. Vsi izdelki so predmet nadzora kakovosti, pri čemer se vzorčno ugotavljata absolutna ravninska točnost ortofota in absolutna višinska točnost DMR. Preverjajo se tudi druga morebitna odstopanja od specifikacij v razpisni dokumentaciji.

#### CAS 2006–2007

GURS je v sodelovanju s sofinancerji poskrbela za razpis izvedbe CAS, ki je bilo prvič izvedeno v digitalni tehniki (Javna naročila: Razpisna dokumentacija za izvedbo CAS 2006). Čas izvedbe aerofotografiranja za celotno državo, aerotriangulacije in izdelave DMR ter ortofota je bil zelo kratek, saj je naročnik želel s tem pridobiti časovni presek stanja v prostoru za celotno državo.

Osnovni izdelki so bili: aerofotografije in njihovi parametri zunanje orientacije, DMR – prvič s celico mreže velikosti 5 m × 5 m, za vsako točko izračunan nagib in orientacijo nagiba ter barvni in barvni infrardeči ortofoto. Nominalna dolžina talnega intervala (v nadaljevanju: DTI) oz. velikost celice rastra aerosnetkov na terenu je bila 50 cm za 37 in 25 cm za 22 trigonometričnih sekcij. Ortofoti so bili za celotno državo izdelani z DTI = 50 cm.

Osnovna enota vseh izdelkov je bil fotogrametrični blok, ki je bil izenačen z velikostjo trigonometrične sekcije (22,5 km × 15 km) oz. je bil povečan ali zmanjšan ob državni meji ter ob morju.

Pri izvedbi aerofotografiranja je bil uporabljen aerofotoaparater Z/I DMC z goriščno razdaljo 12 cm in velikostjo najmanjšega slikovnega elementa 12 μm.

#### CAS 2009–2011

V letu 2009 je Slovenija prvotno pristopila k izvajanju CAS v dvoletnem ciklu, vendar se je v letu 2010 aerofotografiranje severozahodnih fotoblokov preneslo v leto 2011 (Javna naročila: Razpisna dokumentacija za izvedbo CAS 2009–2010).

V okviru tega CAS so bili izdelki enaki kot v predhodnem ciklu razen izračuna nagiba in orientacije nagiba terena na točkah DMR ter barvnih infrardečih ortofotov. Izdelano je bilo tudi manjše število ortofotov z DTI = 25 cm, tj. samo 34 listov v merilu 1 : 5000. Velika večina ortofotov je bila izdelana z DTI = 50 cm. Poostrila se je zahteva glede nominalne velikosti najmanjšega slikovnega elementa aerofotografije na terenu, in sicer na DTI = 25 cm.

Novo v ciklu 2009–2011 je bilo predvsem to, da so se vsi izdelki predali v izvornem koordinatnem referenčnem sistemu D96/TM, medtem ko so se vsi izdelki, razen parametrov zunanje orientacije aerofotografij, transformirali v D48/GK. Za posamično sekcijo so bile izdelane tudi datoteke s končnico DMRO, ki so bile glede na datoteke DMR spremenjene samo na večjih viaduktih in daljših mostovih in so bile uporabljene pri izdelavi ortofotov. Za vse omenjene spremembe je bila podlaga podana v tehničnih navodilih iz leta 2008.

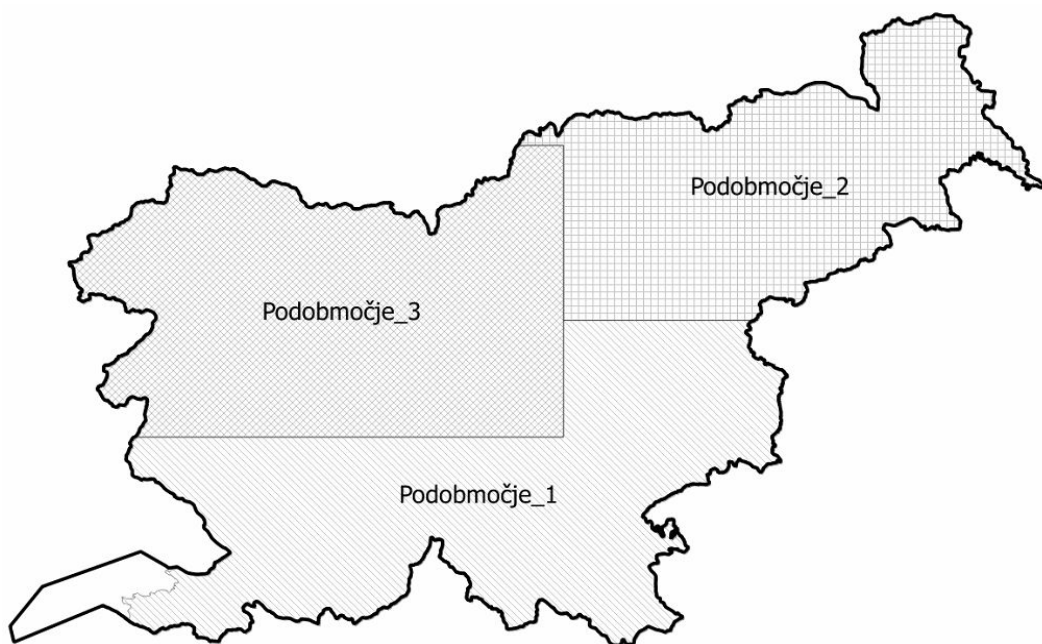
#### CAS 2012–2014

V izvedbi CAS 2012–2014 je bil predviden triletni izvedbeni cikel in s tem približno enako velika podobmočja kot v predhodnem ciklu. V primerjavi s prejšnjim ciklom CAS je bilo spremenjeno to, da so aerofotografije vsebovale vse štiri kanale (rdeči, zeleni, modri in bližnji infrardeči) izdelani pa so bili tudi barvni infrardeči ortofoti z DTI = 50 cm.

Izdelki za podobmočji 1 in 2 (glej Sliko 1) iz aerofotografij zajetih v letih 2012 in 2013 so že na razpolago, v letu 2014 pa predvsem zaradi slabega vremena v visokogorju podobmočje 3 ni bilo aerofotografirano v celoti (Javna naročila: Razpisna dokumentacija za izvedbo CAS 2012–2014). Izpada sta fotogrametrična bloka Kranj in Bovec.

#### CAS 2014

Zaradi dodatnih potreb je država za leto 2014 razpisala ponovno aerofotografiranje podobmočij 1 in 2, kar bi pomenilo nov časovni presek stanja na sloju ortofota, podobno kot za leto 2006 (Javna naročila: Razpisna dokumentacija za izvedbo CAS 2014), ki se zaradi izpada dveh od štirih fotogrametričnih blokov iz podobmočja 3 ni uresničilo. Vseh osem blokov v okviru podobmočij 1 in 2 je bilo uspešno aerofotografiranih, dokončani so bili tudi vsi zahtevani izdelki.



Slika 1: Delitev na tri podobmočja izvedbe CAS

### Alternative obstoječemu CAS

Ob vsakokratni pripravi na izvedbo CAS se zastavijo vprašanja kot so: Ali je treba in kaj spremeniti v specifikacijah? Kako najnovejša tehnologija vpliva na izvedbo CAS? Ali obstaja cenejša rešitev? Ali so satelitski posnetki ali aerolasersko skeniranje ustrezna zamenjava (Nex in sod., 2011)? Ali je razdelitev na podobmočja ustrezna? Katere izdelke bi dodali, da bi bila uporabnost CAS še večja?

Zaradi možnosti izdelave kakovostnejših izdelkov bi bilo smiselno povečati vzdolžni preklop s 60 % na 80 %, kar ne poveča količine letenja, temveč le količino podatkov ter čas procesiranja, vendar minimalno vpliva na končno ceno projekta. Povečanje prečnega preklopa z 20 % na 60 % bi več kot podvojilo količino letenja in s tem bistveno povečalo stroške aerofotografiranja. Po drugi strani bi povečanje prečnega preklopa izboljšalo kakovost ortofota, ki bi postal podoben popolnemu ortofotu (angl. true orthophoto).

S povečanjem preklopa in z uporabo novih metod slikovnega ujemanja (Hirschmuller, 2008) bi kakovost povečali tudi digitalnemu modelu površja (v nadaljevanju: DMP), ki ga lahko samodejno izdelamo iz aerofotografij. DMP opisuje ploskev, ki jo določajo strehe stavb in vrhovi vegetacije, torej vse kar najprej zazna senzor pred seboj oz. je vidno na sami aerofotografiji. Izboljšanje algoritmov slikovnega ujemanja bi na neporaščenih območjih, z nekaj slabšo točnostjo, omogočalo celo vzdrževanje DMR, ki bo na novo izdelan v okviru projekta LSS. DMR za razliko od DMP prikazuje ploskev, ki je opredeljena z golimi tlemi, torej prikazuje tla brez vegetacije in stavb.

Mogoča je zamenjava tehnologije velikoformatnih profesionalnih aerofotoaparatur z različnimi večslikovnimi sistemi, ki uporabljajo dva ali več srednjeformatnih aerofotoaparatur (Li in sod., 2008; Nex, 2010). Postavitev dveh takih aerofotoaparatur skupaj poveča širino pasu aerofotografiranja, lahko se uporabi tudi več aerofotoaparatur obrnjenih v različne smeri, ki zajemajo delno nagnjene (angl. oblique) aerofotografije (Höhle, 2008; Wagner in sod., 2013). Informacij je na nagnjenih aerofotografijah, še posebej, če je isti objekt fotografiran večkrat, več kot na vertikalnih aerofotografijah. Ravno večja količina informacij o posameznih zgradbah je prepričala Malto, da so celotno državo posneli na ta

način (Formosa in sod., 2013). V primerjavi z vertikalnimi aerofotografijami velikoformatnih aerofotoaparatorov je treba leteti nižje in več, kompleksnejša je tudi orientacija in interpretacija nagnjenih aerofotografij. Pri vsedržavnih aerofotografiranjih, kjer je treba velike površine zajeti v čim krajšem času, je zelo pomembna radiometrična izenačenosti aerofotografij za namene samodejne klasifikacije objektov. Na nagnjenih aerofotografijah je radiometrično izenačenost še težje doseči.

Če primerjamo profesionalne velikoformatne aerofotoaparate z uporabo enega ali več srednjeformatnih, so pomanjkljivosti slednjih sledeče: manjša višina zajema oz. več letanja, večja občutljivost na veter zaradi uporabe lažjih letal, slabša določljivost nagibov zaradi neuporabe stabilizacijskega podnožja, večja možnost neostriin zaradi neuporabe kompenzacije pomika slike, slabša točnost neposredne orientacije zaradi uporabe cenejših rešitev za georeferenciranje, slabša geometrična kakovost, saj izdelava srednjeformatnih fotoaparatorov ni namenska. Večino teh pomanjkljivosti je mogoče odpraviti z ustrezno dodatno opremo in izboljšavami (Wagner, 2011), vendar to dvigne ceno izdelave srednjeformatnim fotoaparatom in pod vprašaj postavi konkurenčnost nasproti profesionalnim velikoformatnim aerofotoaparatom.

Satelitskim senzorjem so prostorsko ločljivost v zadnji dveh desetletjih povečali iz nekajmetrske na polmetrsko oz. na 31 cm na WorldView-3 (DigitalGlobe, 2014), ob tem so izboljšali tudi spektralno, časovno in radiometrično ločljivost. Satelitski posnetki pokrivajo velike površine in se običajno več uporabljajo v velikih, manj razvitih državah za osnovno državno kartiranje, medtem ko jih razvite države uporabljajo za prostorske, agrarne, okoljske in druge analize ter izdelavo in vzdrževanje topografskih kart manjših meril. V primerjavi z velikoformatnimi aerofotoaparati imajo slabšo prostorsko, primerljivo radiometrično ter boljšo spektralno in časovno ločljivost. Slabša je geometrična točnost in možnost uporabe za stereozajem. Cena satelitskih posnetkov je v mononačinu do trikrat, v stereonačinu pa do šestkrat višja (LANDinfo Worldwide Mapping: Cenik satelitskih posnetkov) v primerjavi z aerofotografijami. Ob tem je treba upoštevati še, da je število pripadajočih licenc uporabe teh podatkov majhno (do pet), kar podatke pri množični uporabi še podraži.

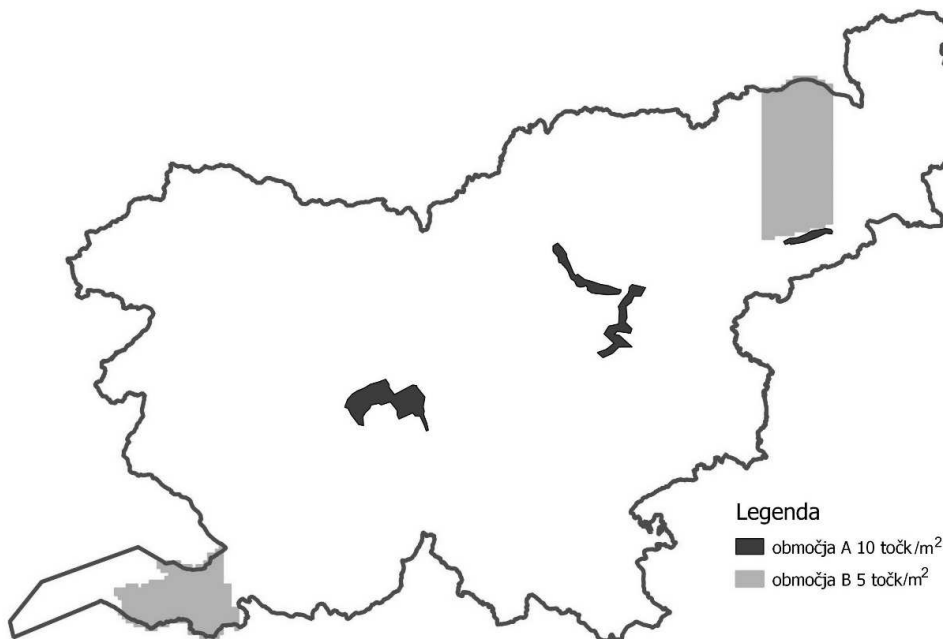
Resna alternativa aerofotografiranju je aerolasersko snemanje, ki vključuje aerofotografiranje z velikoformatnim aerofotoaparatom in istočasno aerolasersko skeniranje z zmogljivim laserskim skenerjem (Landtwinig in Whitacare, 2008; Rinaudo, 2011). Največji strošek aerolaserskega skeniranja ali aerofotografiranja je faza zajemanja podatkov. Istočasno aerolasersko skeniranje in aerofotografiranje prepolovi strošek ločenega dvakratnega letenja, vendar zahteva visokozmogljive instrumente in ustrezno veliko zračno plovilo, v katero je mogoče opremo namestiti in ji zagotoviti dovolj energije za večurno delovanje. Laserski skener bi ob čakanju na ustrezno vreme za aerofotografiranje lahko skeniral na drugih območjih, kar precej zmanjša gospodarnost istočasnega zajema podatkov

### **Lasersko skeniranje Slovenije (LSS)**

Prvo aerolasersko skeniranje Slovenije se je pričelo izvajati v letu 2011, vendar je izbrani izvajalec po uspešnem začetku zašel v težave in nato tudi v stečaj. Projekt je bil poimenovan Lasersko skeniranje in aerofotografiranje Slovenije (v nadaljevanju: LSA). Trenutno poteka drugi poskus vsedržavnega aerolaserskega skeniranja, ki naj bi bil zaključen do sredine leta 2015.

Prvi projekt aerolaserskega skeniranja Slovenije je poleg skeniranja celotnega območja države vseboval še devet poplavno ogroženih območij in štiri območja večjih zemeljskih plazov (glej Sliko 2). Na teh lokacijah je bila zahtevana gostota laserskih točk večja, in sicer najmanj 10 točk na  $m^2$  (t. i. območja tipa A), medtem ko je bila predvidena gostota za večino države 5 točk na  $m^2$  (t. i. območja tipa B). Za območja Julijskih in Kamniško-Savinjskih Alp ter velikih gozdov je bila zahtevana gostota 2 točki na  $m^2$  – t. i. območja tipa C.

Rezultati projekta LSA (Triglav Čekada in sod., 2012) poleg georeferenciranega oblaka točk (v nadaljevanju: GOT) vsebujejo še standardno klasifikacijo oblaka laserskih točk v razrede, imenovano georeferenciran in klasificiran oblak točk (v nadaljevanju: GKOT), oblak točk reliefa (v nadaljevanju: OTR), DMR ločljivosti 1 m (DMR 1), ter za omenjenih 13 ožjih območij tudi aerofotografije in ortofoto. DMR 1 je shranjen v ASCII-datoteki v obliki višin točk mreže ter v rastrski obliki kot podoba analitičnega senčenja (v nadaljevanju: PAS). Vsi izdelki so shranjeni v datotekah, ki pokrivajo območja velikosti 1  $km^2$ , razen PAS, kjer ena datoteka pokriva območje velikosti 25  $km^2$  (5000 m  $\times$  5000 m). V okviru projekta so bili lasersko posneti štirje bloki območja tipa A ter dve večji območji tipa B (glej Sliko 2), ki skupaj ne dosežajo 10 % celotne površine države.



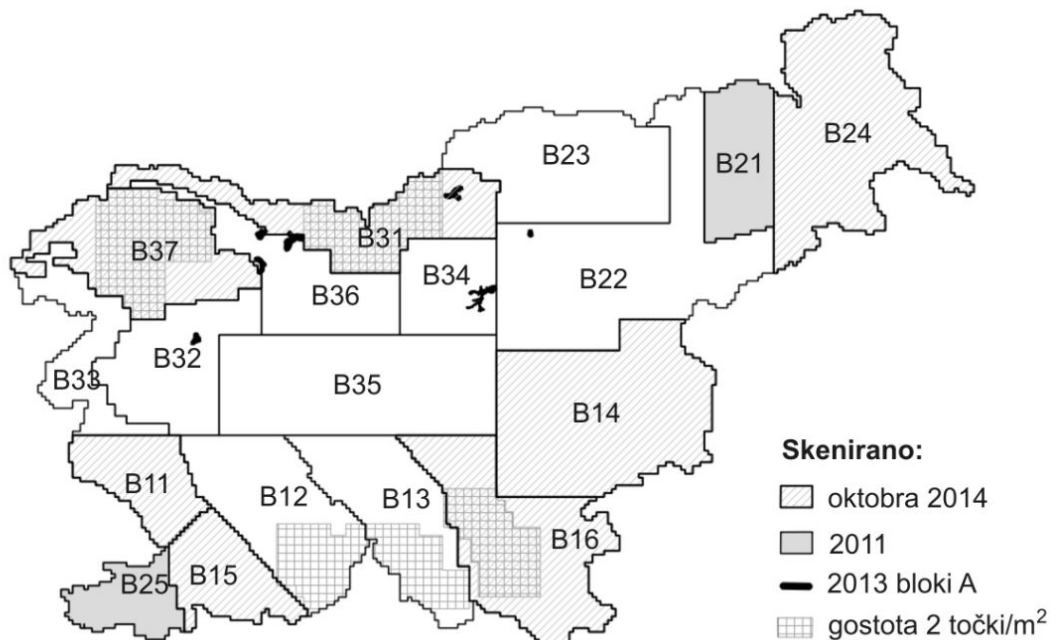
Slika 2: Pregled območij predanih izdelkov v projektu LSA 2011

V letu 2013 je bilo na novo določenih sedem poplavno ogroženih območij, kjer se je tudi izvedlo aerolasersko snemanje, kot je prej opisano za območja tipa A (glej Sliko 3). Seznam izdelkov je bil enak kot v okviru projekta LSA 2011.

Projekt LSS, ki se trenutno izvaja (2014–2015) vsebuje le območja tipa B in C. Predvideni rezultati so enaki kot v prekinjenem projektu. Celotna država je bila za potrebe natečaja razdeljena na tri podobmočja, ki so enaka delitvi v okviru projekta CAS za vse cikle po letu 2000 (glej Sliko 3).

Za izvedbo laserskega skeniranja vsakega podobmočja posebej so se v javnem razpisu potegovala tri na predhodnem razpisu usposobljenosti izbrana podjetja. V primeru stečaja prvo izbranega podjetja bi dokončanje projekta prevzelo na razpisu izbrano drugouvrščeno podjetje. Za vsa tri območja je bilo kot najugodnejši ponudnik za izvedbo skeniranja izbrano podjetje Flycom, d. o. o.

Končni izdelki GKOT, OTR, DMR in PAS so, za razliko od preteklih skeniranj, izdelani s programom gLidar (Mongus in sod., 2014) na Geodetskem inštitutu Slovenije.



Slika 3: Pregled načrtovanih podobmočij izvedbe LSS

### Možnosti vzdrževanja DMR

Najbolj uporabljan izdelek projekta LSS bo DMR 1, ki bo pokrival celotno državo v ločljivosti 1 m. Treba bo zagotoviti njegovo vzdrževanje s periodo največ 3 leta. Možnosti vzdrževanja DMR 1 so naslednja: vsaka tri leta se izvede novo LSS, uvede se istočasna izvedba LSS in CAS, izvedejo se posebna aerolaserska skeniranja na območjih sprememb DMR ali pa se za vzdrževanje uporabijo orientirani stereopari aerofotografij iz CAS. Pri slednjem je mogoče vzdrževati samo izdelek DMR 1 in OTR, seveda le izven gozdov, in ne tudi ostalih izdelkov, ki nastanejo samo pri aerolaserskem skeniranju.

Strošek izvedbe LSS je pet- do šestkrat večji od stroška izvedbe CAS. Če vzdrževanja ne bi mogli zagotoviti za celotno državo, predlagamo ciljano vzdrževanje. Območja, kjer



bi izvajali pogostejša ponovna aerolaserska skeniranja v npr. triletnem intervalu, bi bilo treba zožiti na približno 40 % površine države, kjer se zgodi največ sprememb in bi jih bilo mogoče odkriti v okviru projekta CAS. Tako skeniranje bi imenovali aerolasersko skeniranje Slovenije za potrebe vzdrževanja OTR in DMR 1. Na ostalih 60 % območij države bi spremembe DMR 1 zaznali in spremljali administrativno in na njih izvedli t. i. ciljano letno aerolasersko skeniranje na vnaprej poznanih zaključenih območjih. Po potrebi bi spet izvedli LSS v celoti vendar šele, če bi zelo spremenili specifikacije oz. zahteve po npr. večji točnosti ali gostoti, ali če bi se DMR spremenil na veliko lokacijah.

Če bi lahko dobili zanesljive lokacije in območja sprememb DMR iz drugih npr. administrativnih virov, bi bilo smiselno izvajati samo ciljano aerolasersko skeniranje. Tak način vzdrževanja bi bil sicer najcenejši, ker bi bilo samega zajema podatkov najmanj, vendar je tak način zbiranja podatkov o lokacijah spremenjenega DMR povezan z obsežnimi administrativnimi postopki, ki običajno ne zgotovijo 100 % registracije sprememb prostoru, verjetno bi bilo treba dopolniti tudi zakonodajo, da bi kar največ podatkov o spremembah res dobili. Vsakih nekaj ciklov ciljanega vzdrževanja bi bilo treba spet izvesti LSS v celoti.

Istočasna izvedba CAS in LSS bi bila idealna rešitev, vendar je vprašljivo, ali bi se na razpis sploh prijavil kdo, ki bi zadovoljeval pogoje o uporabi vrhunske opreme za istočasno izvedbo aerofotografiranja in aerolaserskega skeniranja. Stroški takega projekta bi se v primerjavi s CAS zelo verjetno precej povečali. Mogoča bi bila sicer tudi uporaba opreme za aerolasersko snemanje s srednjeformatnimi fotoaparati, kjer je geometrična točnost in radiometrična kakovost aerofotografij v primerjavi s profesionalnimi velikofORMATnimi aerofotoaparati slabša. Podaljšal bi se tudi čas zajema podatkov.

Smiselno bi bilo preveriti tudi kakovost izdelave DMR iz aerofotografij CAS na neporaščenih ravninskih območjih, kjer se zgodi največ sprememb. Samodejna izdelava DMP iz aerofotografij CAS omogoča objektivno primerjavo z DMP iz aerolaserskega skeniranja ali z DMP iz aerofotografij predhodnega CAS in samodejno iskanje sprememb ter vzdrževanje DMR na neporaščenih območjih. Seveda bi lahko pričakovali nekaj slabšo višinsko točnost v primerjavi z aerolaserskim skeniranjem, vendar se le-ta vsa leta izboljšuje.

Katera možnost bo uporabljena pri vzdrževanju DMR 1 in drugih izdelkov LSS je odvisno od razvoja tehnologije, finančnih zmožnosti in potreb po vzdrževanju. Bolj kot izbira metode vzdrževanja je pomembno, da se za vzdrževanje vnaprej pripravi vse potrebno in da se le-to prične takoj po vzpostavitvi zbirke DMR 1 in ostalih izdelkov LSS.

### **Kakovost podatkov aerofotografiranja in aerolaserskega skeniranja**

Pri obravnavanju kakovosti podatkov aerofotografiranja in aerolaserskega skeniranja najprej opredelimo ključne izdelke obeh metod daljinskega zaznavanja. Za vsak izdelek opredelimo ključne sestavine kakovosti ter vplivne dejavnike nanje, posebej na vsedravnih projektih CAS in LSS. Na koncu obravnavamo še postopke kontrole kakovosti zajetih podatkov.

### **CAS in druga aerofotografiranja**

Največ uporabljan izdelek aerofotografiranja je ortofoto. Uporabnost ortofota za različne namene je odvisna predvsem od (Kosmatin Fras, 2004): semantične kakovosti ortofota (radiometrična ločljivost, barvna lestvica, kontrastnost, ostrina), geometrične

ločljivosti ortofota (velikosti celice rastra na terenu oz. prostorska ločljivost) in geometrične kakovosti ortofota (točnosti georeferenciranja).

Semantična kakovost ortofota je odvisna od lastnosti aerofotoaparata, pri klasičnem aerofotografiranju še od kakovosti aerofilma, ter od kakovosti obdelave digital(izira)nih aerofotografij. Na semantično kakovost zelo vpliva tudi ustrezno izbran čas aerofotografiranja – odvisno od namena snemanja je treba izbrati ustrezen letni čas (običajno, ko je neolistan in brez snega), čas dneva (dovolj svetlobe, čim manj senc), ustrezne vremenske razmere (brez megle, visoke zračne vlage, smoga).

Geometrična ločljivost ortofota izhaja iz tehničnih karakteristik aerofotografiranja – merila aerofotografiranja, ki je odvisno od višine leta nad površjem, goriščne razdalje in ločljivosti aerofotoaparata, v primeru klasičnih aerofotografij pa tudi ločljivosti filmov in skeniranja le-teh. Geometrična kakovost ortofota je odvisna predvsem od:

- kakovosti parametrov zunanje orientacije in
- kakovosti uporabljenega digitalnega modela višin.

Kakovost parametrov zunanje orientacije je odvisna od kakovosti GNSS- in INS-instrumentov in izvedbe aerotriangulacije, pa tudi od kakovosti realizacije samega koordinatnega referenčnega sistema ter kakovosti razpoložljivih lokacijskih storitev za določanje položaja v realnem času. Zelo pomembno je zagotoviti zadostno število ustrezno razporejenih oslonilnih točk, kakovostno izmerjenih na terenu, ki morajo biti na aerofotografijah nedvoumno in natančno določljive.

Kakovost digitalnega modela višin obravnavamo z vidika dosegljive točnosti rekonstrukcije višine za katerokoli točko terena in ne zgolj točnosti višin vogalnih točk celic mreže (Kosmatin Fras, 2004). Na njegovo kakovost vplivajo način izdelave, geometrična ločljivost modela (velikost celice mreže), geometrična kakovost modela (točnost višin vogalnih točk celic mreže) in izbor ustrezne metode interpolacije (ki mora upoštevati tudi geomorfološke značilnosti terena).

Oglejmo si osnovne dejavnike in posamezne parametre kakovosti ortofota za različna časovna obdobja projekta CAS. Kot prvi relevantni mejnik, ki je dejansko omogočil sistematično masovno izdelavo ortofota, štejemo leto 1994. Takrat je GZS nabavil sistem za digitalno fotogrametrijo (skener, digitalno fotogrametrično postajo in programsko opremo).

V letu 1999 je nabava novega klasičnega velikoformatnega aerofotoaparata in zmogljivejšega optičnega skenerja pomenila tudi dvig kakovosti izdelkov.

Naslednji mejnik je leto 2003, ko se v okviru CAS prične izdelovati barvni ortofoto, kar pomeni bistveno izboljšanje njegove semantične kakovosti. Za nekatera zemljepisno omejena območja je bil sicer barvni ortofoto izdelan tudi že nekaj let prej.

Od leta 2006 so na projektu CAS v uporabi velikoformatni digitalni aerofotoaparati, ki prinesejo kakovostni preskok tako v smislu semantične (istočasni zajem v infrardečem spektru) kot tudi geometrične kakovosti. Odpadejo namreč vplivi kakovosti filma, deformacij analognih aerofotografij in kakovosti skeniranja le-teh.

Istega leta (2006) beležimo tudi prehod izdelave ortofota s pomočjo DMR ločljivosti 25 m na DMR ločljivosti 5 m (DMR 5). Že samo povečanje ločljivosti DMR seveda pomeni bistveno izboljšanje geometrične kakovosti končnega ortofota, čeprav gre bolj za metodološko spremembo (zahtevo v okviru tehničnih specifikacij), saj so vhodni podatki za izdelavo DMR ostali bolj ali manj nespremenjeni. Osnova za izdelavo DMR 5 je bilo deloma slikovno ujemanje in deloma državni digitalni model višin ločljivosti 12,5 m, ki je bil prevzorčen na DMR 5. Območja ugotovljenih odstopanj so bila izboljšana na osnovi stereoizvrednotenja aerofotografij CAS (Podobnikar, 2008). Na splošno je največja težava pri ugotavljanju različnih vplivov na kakovost ortofota pred letom 2006 ravno sledljivost

uporabljenih virov in načina izdelave DMR. Odtlej je bil DMR v okviru CAS opredeljen kot eden izmed izdelkov, katerega kakovost je naročnik tudi vzorčno kontroliral.

Kot zadnji mejnik omenimo še leto 2009, ko se prične izdelava ortofota v novem državnem koordinatnem referenčnem sistemu D96/TM, katerega vzpostavitev temelji na GNSS-tehnologiji. Izboljšanje kakovosti samega koordinatnega referenčnega sistema pomeni izboljšanje kakovosti koordinat oslonilnih točk, posledično parametrov zunanje orientacije in s tem geometrične kakovosti ortofota. Šele končni ortofoto se z modelom državne trikotniške transformacije (Berk in Komadina, 2010) zagotovi tudi v starem državnem koordinatnem referenčnem sistemu D48/GK – različici, ki ima še vedno največ uporabnikov. Pri tem se ne podvoji celotna rastrska zbirka, ampak se za rastrske podatke (tiff) generirajo samo nadomestne geolokacijske datoteke (tfw). Dobimo sicer nekoliko slabšo kakovost geolokacije ortofota, vendar je bilo z analizo ugotovljeno, da je to poslabšanje glede na trenutno geometrično ločljivost ortofota zanemarljivo (Berk in sod., 2007).

Za konec si oglejmo rezultate nedavne raziskave položajne točnosti ortofota od pričetka njegove sistematične izdelave do danes (Fabiani, 2014). Osnova za analizo so bili štirje listi ortofota na območjih, izbranih po merilih čim večje razgibanosti reliefa vendar hkrati tudi primerne poseljenosti, saj samo takšna območja zagotavljajo zadostno število točk za izvedbo analize. Za izbrana testna območja je bilo na voljo od štiri do šest serij ortofotov iz let od 1994 do 2012. Za vse štiri liste so bili rezultati skladni in nakazujejo splošni trend izboljševanja položajne točnosti. Koren srednjega kvadratnega pogreška (v nadaljevanju: RMSE, angl. root mean square error) položaja se je zmanjšal iz okoli 1,4 m v 1994 na okoli 40 cm v 2012. Pri tem je zanimiv splošni trend poslabšanja položajne točnosti nekje med leti 1998 in 2005, ki ga bo treba še pojasniti, tudi s pomočjo zgoraj omenjenih vplivnih dejavnikov in z njimi povezanih mejnikov pri izdelavi ortofota.

Če se ozremo še v prihodnost, je velik potencial za izboljšanje kakovosti ortofota predvsem DMR, ki bo rezultat vsedravnega aerolaserskega skeniranja. Gre za ogromen kakovostni preskok tako glede ločljivosti (1 m), kot tudi predvidene višinske točnosti (15 cm). Pomanjkljivost LSS je sicer, da gre za enkratni projekt. O možnih načinih njegovega vzdrževanja smo govorili v prejšnjem poglavju.

Kot morebitno dodatno izboljšanje kakovosti ortofota se poraja še ideja o izdelavi popolnega ortofota, saj je eden izmed izdelkov aerolaserskega skeniranja lahko tudi DMP, ki aproksimira strehe stavb in drugih objektov ter vrhnjo ploskev vegetacije (vrhovi krošenj dreves ipd.).

Kot rezultat hkratne uporabe lidarskega DMP in multispektralnega ortofota je bila razvita tudi metoda samodejnega zajema in iskanja sprememb v topografskem sloju stavb (Grigillo in sod., 2011). Prednosti kombiniranja različnih metod daljinskega zaznavanja so bile analizirane tudi pri opazovanju in kartiranju vodnih površin (Veljanovski in sod., 2012).

### **LSS in druga aerolaserska skeniranja**

Izdelki LSS, ki bodo na voljo za vso državo, so že omenjeni GOT, GKOT, OTR, DMR 1 in iz njega izvedeni PAS. V nadaljevanju se omejimo zgolj na DMR 1, ki je med njimi najbolj uporabljan in se glede na različne namene presoja predvsem na podlagi:

- geometrične ločljivosti modela (velikosti celice mreže) in
- geometrične kakovosti modela (točnosti georeferenciranja).

Optimalna geometrična ločljivost modela izhaja iz tehničnih karakteristik skeniranja – gostote zajema (število točk na m<sup>2</sup>). Geometrična kakovost modela je odvisna predvsem od (Bric in sod., 2013):

- kakovosti neposrednega georeferenciranja zajetega oblaka točk,
- naknadne medsebojne korekcije pasov in absolutne korekcije zajetega oblaka točk,
- kakovosti klasifikacije izvirnega oblaka točk (da res dobimo samo točke terena),
- kakovosti transformacije višin točk (iz elipsoidnih v nadmorske) in
- metode interpolacije.

Kakovost klasifikacije izvirnega oblaka točk je odvisna od strategije in algoritmov klasifikacije, ki temeljijo na geometriji oblaka točk in na dodatnih atributih zajema, na primer zaporedne številke odboja, jakosti odboja idr. Kakovost neposrednega georeferenciranja je neglede na uporabljeni način aerolaserskega skeniranja (instrumentarij, metoda zajema) odvisna od kakovosti realizacije uporabljenega koordinatnega referenčnega sistema (ETRS89) in kakovosti zagotavljanja lokacijskih storitev (korekcij GNSS-signalov). Na točnost neposrednega georeferenciranja vplivajo:

- napake skenerja oziroma napake laserja,
- napake, ki so posledica spreminjanja geometrije skeniranja oz. spreminjanja vpadnega kota žarka na podlago, in
- napake določanja položaja (GNSS) in nagibov skenerja (INS).

Kakovost transformacije višin oblaka zajetih točk je odvisna od kakovosti uporabljenega modela geoida ter od kakovosti realizacije državnega višinskega referenčnega sistema. Kakovost datumske transformacije horizontalnih koordinat oblaka točk v stari koordinatni referenčni sistem (D48/GK) je odvisna od kakovosti modeliranja distorzij starega koordinatnega referenčnega sistema.

Oglejmo si sedaj osnovne parametre kakovosti rezultatov projekta LSS. Za območja C (visokogorje, veliki gozdovi) je gostota skeniranja 2 točki na m<sup>2</sup> in za območja B (preostali del države) 5 točk na m<sup>2</sup> (Triglav Čekada in sod., 2012). Izbrane gostote so precej skladne s teoretično določeno optimalno gostoto lidarskih točk, ki naj bi za topografsko kartiranje v merilu 1 : 5000 znašalo med 12 in 20 točk na m<sup>2</sup> in v merilu 1 : 10 000 med 3 in 5 točk na m<sup>2</sup> (Triglav Čekada in sod., 2010). Iz pridobljenega oblaka točk se ne glede na gostoto skeniranja območja tvori končni DMR 1.

Zahtevana geometrična kakovost LSS je glede na tehnične specifikacije projekta opredeljena posebej za obe sestavini koordinatnega referenčnega sistema, in sicer (Bric in sod., 2013):

- 30 cm točnost položajnih koordinat (RMSE) v D96/TM (ETRS89) in
- 15 cm točnost elipsoidnih višin (RMSE) na elipsoidu GRS80 (ETRS89).

Navedeni parametri kakovosti se torej nanašajo na geometrično kakovost izdelka v povsem geometrijsko definiranem in kakovostno realiziranem koordinatnem referenčnem sistemu. Ker je DMR uporaben le, če so višine podane v državnem višinskem sistemu, ki temelji na fizikalni definiciji (Zemlja kot geoid), se elipsoidne višine transformira v nadmorske. Poleg tega je večina prostorskih podatkov v Sloveniji še vedno geolociranih v starem državnem koordinatnem referenčnem sistemu D48/GK, zato se tudi horizontalne koordinate zajetih lidarskih točk transformira v ta sistem. Geometrična kakovost DMR s koordinatami v D48/GK in nadmorskimi višinami H se s tem precej poslabša.

Na kakovost transformiranih višin vplivata:

- kakovost obstoječega državnega višinskega referenčnega sistema in

- kakovost absolutnega modela geoida.

Na kakovost višinskega referenčnega sistema vplivajo (Bric in sod., 2013):

- določitev višinskega geodetskega datuma,
- definicija višinskega sistema (tipa višin) in
- sama realizacija višinskega sistema.

Višinski geodetski datum v Sloveniji temelji na zgolj enoletnih mareografskih opazovanjih, in sicer daljnega leta 1875 (datum Trst). Napaka izhodiščne točke naj bi glede na rezultate raziskav znašala med 10 cm in 20 cm (Koler in sod., 2007). Ta napaka je pomembna predvsem za hidrološke študije v priobalnem pasu ter pri čezmejnih študijah, kjer se kaže neuskklajenost s podatki sosednjih držav.

Višinski sistem v Sloveniji je definiran kot sistem normalnih ortometričnih višin, ki je danes zastarel, saj točke z isto višino ne ležijo na ploskvi z enakim težnostnim potencialom (Koler in sod., 2007). Zato je predviden prehod na nov, sodoben višinski sistem normalnih višin (Kuhar in sod., 2011).

Problemi realizacije višinskega sistema so v dolgi periodi izmere različnih redov nivelmanskih zank (problem različnih epoh), ki glede na ocenjene hitrosti vertikalnih pomikov v Sloveniji (geodinamika) lahko pomeni tudi napako velikosti 10 cm (Koler in sod., 2007).

Za transformacijo elipsoidnih višin v nadmorske višine rabimo kakovosten model geoida, ki je še večja težava kot slaba kakovost obstoječega višinskega referenčnega sistema. Po zadnjih raziskavah je natančnost transformacije, ki jo zagotavlja obstoječi absolutni model geoida AMG 2000, približno 8 cm (standardni odklon), največja absolutna odstopanja pa dosežejo skoraj 30 cm (Kuhar in sod., 2011).

Transformacija koordinat lidarskega DMR iz novega v stari koordinatni referenčni sistem je vendarle nekoliko manjši problem. Z modelom državne trikotniške transformacije, ki se uporablja za transformacijo lidarskih točk, so za pretežni del države zagotovljena položajna odstopanja, manjša od 10 cm (Berk in Komadina, 2010).

Za konec navedimo še nekaj statistik nadzora kakovosti georeferenciranja izdelkov LSA iz leta 2011 (Bric in sod., 2013). Izvedena je bila kontrola točnosti nadmorskih višin na DMR (na osmih lokacijah), ki je bil izdelan iz lidarskih točk. Na območjih naselij je višinska točnost lidarskega DMR (RMSE) med 4 cm in 14 cm, na travnikih med 3 cm in 12 cm, v grmičevju med 5 cm in 31 cm in v gozdovih med 5 cm in 18 cm. Na eni sami lokaciji je bila izvedena tudi kontrola položajne točnosti (planimetrično); le-ta je bila znotraj zahtevane točnosti, torej boljša od 30 cm. Na 75 lokacijah (100 točk na lokacijo na štirih tipih pokrovnosti) so bile izvedene terenske GNSS-meritve, ki bodo uporabljene tudi v kontroli kakovosti podatkov aerolaserskega skeniranja LSS 2013–2015. Za aerolaserska skeniranja izvedena v letu 2014/2015 se izvajajo kontrole višinske in položajne točnosti za vhodne podatke GOT ter tudi za končna izdelka OTR in DMR 1.

## Sklep

V članku smo osvetlili glavne karakteristike dveh podatkovnih virov: cikličnega aerofotografiranja in aerolaserskega skeniranja Slovenije, ki bosta konec leta 2014 predstavljala presečno stanje topografskih podatkov za celotno Slovenijo. Zaradi prehodnega obdobja v katerem prehajamo na nov koordinatni referenčni sistem moramo ob uporabi teh podatkov upoštevati, v katerem koordinatnem sistemu so izvorni podatki in, če se le da, uporabljati izvirne podatke. V obratnem primeru, ko izvajamo raziskave v starem

koordinatnem referenčnem sistemu D48/GK, se moramo zavedati napak, ki jih le-te lahko prinesejo.

V preteklosti so bili stereomodeli aerofotografiranj uporabljani za izmero višin in oblik različnih topografskih objektov z ročnim sledenjem terenu. Danes lahko s kombinacijo stereomodela in točnejših aerolaserskih podatkov o terenu (ki so v stereomodelu vidni ali tudi ne) vršimo sledenje in zajem objektov na tleh, brez ročnega spreminjanja višine prostorske markice. Za zajem objektov nad terenom pa samodejni način sledenja izklopimo oz. preklopimo na običajen način fotogrametričnega opazovanja in izvedenja stereomodela. Tako nam hkratna razpoložljivost aerolaserskih podatkov in stereoparov CAS odpira nove možnosti, kako izvajati trirazsežni zajem. Še več možnosti seveda nudi avtomatizacija postopkov izvedenja objektov v prostoru.

### Literatura in viri

- Berk, S., Janežič, M., Kete, P., Mesner, N., Radovan, D. (2007). Razvoj ortofota v novem koordinatnem sistemu. Končno poročilo projekta. Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana.
- Berk, S., Komadina, Ž. (2010). Trikotniško zasnovana transformacija med starim in novim državnim koordinatnim sistemom Slovenije. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009–2010. Ljubljana, 28. september 2010. GIS v Sloveniji, 10. Založba ZRC, Ljubljana, str. 291–299.
- Bric, V., Berk, S., Triglav Čekada, M. (2013). Zagotavljanje kakovosti georeferenciranja podatkov aerolaserskega skeniranja za upravljanje voda. Geodetski vestnik, 57, 2, str. 271–285.
- Bric, V., Triglav Čekada, M., Bitenc, M. (2011). Uporaba laserskega skeniranja pri zaščiti in reševanju ter vojaških aktivnostih. Geoprostorska podpora obrambnemu sistemu Republike Slovenije. Ministrstvo za obrambo Republike Slovenije, Ljubljana, str. 181–204.
- DigitalGlobe,  
[http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/DG\\_Pixels\\_to\\_Products\\_forWeb.pdf](http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/DG_Pixels_to_Products_forWeb.pdf)  
(25. 11. 2014)
- Fabiani, N. (2014). Analiza položajne točnosti državnega ortofota glede na časovno obdobje njegove izdelave. Diplomaska naloga, št. 947/G. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.
- Formosa, S., Briguglio, L., Calleja, E., Formosa Pace, J., Moncada, S. (2013). One Small State's Preparation for Climate Change: Building an Integrated Socio-Technic Informational Infrastructure. International Journal of Geoinformatics, 9, 1, str. 11–18.
- Grigillo, D., Kosmatin Fras, M., Petrovič, D. (2011). Samodejen zajem in iskanje sprememb v topografskem sloju stavb iz digitalnega modela površja in multispektralnega ortofota. Geodetski vestnik, 55, 1, str. 11–45.
- Hirschmuller, H. (2008). Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 30, 2, str. 328–341.
- Höhle, J. (2008). Photogrammetric Measurements in Oblique Aerial Images. Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation, 2008, 1, str. 7–14.
- Javna naročila. Ministrstvo za infrastrukturo in prostor, GURS: Razpisna dokumentacija za izvedbo CAS 2006, [http://www.gu.gov.si/si/javna\\_narocila/?tx\\_t3javnirazpis\\_pi1\[show\\_single\]=577](http://www.gu.gov.si/si/javna_narocila/?tx_t3javnirazpis_pi1[show_single]=577)  
(25. 11. 2014)
- Javna naročila. Ministrstvo za infrastrukturo in prostor, GURS: Razpisna dokumentacija za izvedbo CAS 2009–2010,  
[http://www.gu.gov.si/si/javna\\_narocila/?tx\\_t3javnirazpis\\_pi1\[show\\_single\]=811](http://www.gu.gov.si/si/javna_narocila/?tx_t3javnirazpis_pi1[show_single]=811)  
(25. 11. 2014)
- Javna naročila. Ministrstvo za infrastrukturo in prostor, GURS: Razpisna dokumentacija za izvedbo CAS 2012–2014,  
[http://www.gu.gov.si/si/javna\\_narocila/?tx\\_t3javnirazpis\\_pi1\[show\\_single\]=894](http://www.gu.gov.si/si/javna_narocila/?tx_t3javnirazpis_pi1[show_single]=894)  
(25. 11. 2014)

- Javna naročila. Ministrstvo za infrastrukturo in prostor, GURS: Razpisna dokumentacija za izvedbo CAS 2014, [http://www.gu.gov.si/si/javna\\_narocila/?tx\\_t3javnirazpis\\_pi1\[show\\_single\]=947](http://www.gu.gov.si/si/javna_narocila/?tx_t3javnirazpis_pi1[show_single]=947) (25. 11. 2014)
- Koler, B., Medved, K., Kuhar, M. (2007). Uvajanje sodobnega višinskega sistema v Sloveniji. *Geodetski vestnik*, 51, 4, str. 777–792.
- Kosmatin Fras, M. (2004). Vpliv kakovosti vhodnih podatkov na kakovost ortofota. *Geodetski vestnik*, 48, 2, str. 167–178.
- Kuhar, M., Berk, S., Koler, B., Medved, K., Omang, O., Solheim, D. (2011). Vloga kakovostnega višinskega sistema in geoida za izvedbo GNSS-višinomerstva. *Geodetski vestnik*, 55, 2, str. 226–234.
- LANDinfo Worldwide Mapping: Cenik satelitskih posnetkov, <http://www.landinfo.com/satellite-imagery-pricing.html> (25. 11. 2014)
- Landtwing, S., Whitacre, J. (2008). Simultaneous Data Acquisition with Airborne Lidar and Large-Format Digital Camera. International Lidar Mapping Forum. Denver, 21.–22. februar 2008. Conference Proceedings, str. 1–11.
- Li, J., Liu, X., Liu, F., Liu, Z., Zhao, L. (2008). SWDC-4 Large Format Digital Aerial Camera System. XX1st ISPRS Congress. Peking, 3.–11. julij 2008. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVII-B3a, str. 139–146.
- Mongus, D., Lukač, N., Horvat, D., Žalik, B., Triglav Čekada, M., Mladenovič, U. (2014). Zmožnosti aplikacij za obdelavo in izkoriščanje podatkov LiDAR. Informatika v javni upravi »Izza oblaka posije Sonce«, 8.–9. 12. 2014.
- Nex, F. C. (2010). Multi-Image Matching and LiDAR Data New Integration Approach. Doktorska disertacija. Politecnico di Torino, Torino.
- Nex, F., Rinaudo, F. (2011). LiDAR or Photogrammetry? Integration is the Answer. *Italian Journal of Remote Sensing*, 43, 2, str. 107–121.
- Podobnikar, T. (2008). Nadgradnja modela reliefa Slovenije z visokokakovostnimi podatki. *Geodetski vestnik*, 52, 4, str. 834–853.
- Portal Prostor. Ministrstvo za infrastrukturo in prostor, GURS: Aerofotografije, [http://www.e-prostor.gov.si/si/zbirke\\_prostorskih\\_podatkov/topografski\\_in\\_kartografski\\_podatki/aerofotografije/](http://www.e-prostor.gov.si/si/zbirke_prostorskih_podatkov/topografski_in_kartografski_podatki/aerofotografije/) (25. 11. 2014)
- Rinaudo, F. (2011). Digital Aerial Cameras and LIDAR Acquisition Systems: A State of Art and Possible Evolutions. *Geomatics Technologies in The City – GTC 2011. 1st International Geomatics Symposium in Saudi Arabia. Jeddah*, 10.–13. maj 2011. Proceedings, str. 1–6.
- Triglav Čekada, M., Bric, V., Oven, K. (2012). Prvo vsedrjavno lasersko skeniranje Slovenije. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2011–2012. Ljubljana*, 25. september 2012. GIS v Sloveniji, 11. Založba ZRC, Ljubljana, str. 191–196.
- Triglav Čekada, M., Crosilla, F., Kosmatin Fras, M. (2010). Teoretična gostota lidarskih točk za topografsko kartiranje v največjih merilih. *Geodetski vestnik*, 54, 3, str. 403–416.
- Veljanovski, T., Pehani, P., Lamovec, P., Oštir, K. (2012). Uporabnost podatkov satelitskega in letalskega daljinskega zaznavanja za opazovanje in kartiranje vodnih površin. *Geodetski vestnik*, 56, 4, str. 786–801.
- Wagner, R. (2011). The Leica RCD30 Medium Format Camera: Imaging Revolution. 52nd Photogrammetric Week '11. Stuttgart, 5.–9. september 2011. Wichmann, Berlin, str. 89–95.
- Wagner, R., Lieckfeldt, P., Roth, R., Markram, J. (2013). The Leica Geosystems CityMapper Solution. 54th Photogrammetric Week '13. Stuttgart, 9.–13. september 2013. Wichmann, Berlin, str. 89–99.