

CIKLIČNO CYCLICAL AERIAL AEROFOTOGRAFIRANJE PHOTOGRAPHY OF SLOVENIA SLOVENIJE – DIGITALNO – DIGITAL ERA OBDOBJE

Vasja Bric, Katja Oven, Peter Prešeren

1 UVOD

Kmalu po odkritju fotografije in z uporabo dovolj zmogljivih zračnih plovil (balonov) so bile prve aerofotografije zajete v Parizu leta 1858 in dve leti kasneje v Bostonu (Read in Graham, 2002). Že pred prvo svetovno vojno je bil v dno letala prvič vgrajen fotoaparatus večjega formata. Vojaške aktivnosti pred prvo svetovno vojno in med njenim potekom so zelo pospešile uporabo aerofotografij, zajetih iz letal. Prvi svetovni vojni je sledila komercializacija aerofotografiranja in razmah fotogrametrije z namenom topografskega kartiranja. V drugi svetovni vojni so vojaška letala vzletela tudi več kot stokrat dnevno in zajela tudi do 50.000 fotografij, ki jih je bilo treba hitro interpretirati, za kar je skrbelo množica fotointepretatorjev. Obdobje analogne aerofotogrametrije je na prehodu stoletja zamenjala digitalna aerofotogrametrija, katere razvoj na Slovenskem predstavljamo v nadaljevanju.

Prve aerofotografije na območju naše države, ki se hranijo v Arhivu Geodetske uprave Republike Slovenije (GURS), so izdelali Nemci v letu 1943 na območju cestne povezave Železniki–Škofja Loka–Gorenja vas. Posnetih je bilo 483 aerofotografij. Od leta 1953 do leta 1970 so slovensko ozemlje aerofotografirale ekipe iz Vojnega geografskega inštituta v Beogradu s svojimi letali in opremo.

Sledilo je obdobje do leta 2008, ko je aerofotografiranje Slovenije skoraj v celoti izvajal Geodetski zavod RS (GZS) z lastno posadko, letali in opremo. Začetek in nadaljevanje tega samostojnega aerofotografiranja je v eni od prejšnjih številčk Geodetskega vestnika lepo opisal Boris Krotec (Krotec, 2020), ki je večino časa svoje delovne aktivnosti posvetil aerofotografiranju.

Pomembna letnica pri aerofotografiranju v Sloveniji je leto 1975, ko se je začel izvajati projekt *Ciklično aerofotografiranje Slovenije* (CAS), ki se še vedno izvaja vsako leto. Takrat se je začelo celotno območje države sistematsko aerofotografirati v različno dolgih časovnih ciklih, od enega do petih let, večinoma pa so bili in so še triletni. Sedanji cikel CAS (2020–22) je 14. po vrsti. Analogna doba zajema aerofotografij se je končala z letom 2006, ko se je pri izvedbi CAS prvič uporabil profesionalni digitalni velikoformatni aerofotoaparatus (Intergraph Z/I DMC).

Po letu 2008 so CAS, na podlagi Gursovih razpisov, opravljali različni domači izvajalci v sodelovanju s tujimi fotogrametričnimi podjetji. Večinoma so se uporabljali aerofotoaparatus proizvajalca Vexcel, v letu 2015 je bil v projektu CAS uporabljen prvi digitalni aerofotoaparatus, in sicer Z/I Imaging DMC II 230.

Vse aerofotografije, ki niso bile izdelane v okviru projekta CAS, so del tako imenovanega posebnega aerofotografiranja Slovenije (PAS). Izvajalo se je pri posameznih večjih ali manjših lokalnih projektih (na primer projektiranju avtocest, aerofotografiranju posameznih občin, izdelavi topografskih načrtov velikih meril, na primer 1 : 1000, izdelavi panoramskih pogledov ...) in so običajno fotografirane v večjih merilih kot aerofotografije CAS. Zadnji posnetki PAS v arhivu GURS so iz leta 2005, saj se kasneje zaradi različnih razlogov v arhiv niso več predajali.

V nadaljevanju prikazujemo zadnje petnajstletno obdobje izvajanje projekta CAS, ko se je zamenjala tehnologija aerofotografiranja, menjali so se tudi izhodni rezultati. Uporabnikom izdelkov projekta CAS želimo tudi prikazati, katera območja države so bila aerofotografirana in v kakšnih časovnih ciklih ter kateri so bili osnovni izdelki.

2 CAS 2006 – PRVI DIGITALNI ZAJEM

Ponudnikov oziroma proizvajalcev analognih velikoformatnih aerofotoaparotov je bila vedno le peščica. Do začetka komercializacije aerofotoaparotov digitalne dobe (okrog leta 2000) sta bila le dva večja proizvajalca: Zeiss in Wild oziroma njuna naslednika Z/I-Imaging in Leica-Geosystems. S prehodom v digitalni način aerofotografiranja za potrebe kartiranja se je precej razširilo število ponudnikov v razredu srednjeformatnih aerofotoaparotov, le malo pa v ponudbi velikoformatnih.

Leta 2006 je bila na GZS sprejeta odločitev o nakupu velikoformatnega digitalnega aerofotoaparata. Pri digitalnih sistemih so bile na voljo tri možnosti: Leica ADS40, Z/I Imaging DMC in Vexcel UltraCam. ADS40 je bil takoj izločen, saj je bil to linijski senzor, bolj namenjen aplikacijam daljinskega zaznavanja in precej občutljiv že za manjše izpade zajema podatkov GNSS in INS. Preostala sistema sta vsebovala ploskovni senzor, kjer je bila izhodna fotografija enaka kot pri običajnem digitalnem fotoaparatu in podobna skenogramu analognih aerofotografij. Tudi za obstoječo fotogrametrično prakso in programsko opremo domačih izvajalcev stereozajema in drugih izdelkov je bil ploskovni senzor primernejša izbira. Kot prvi digitalni aerofotoaparat, uporabljen pri izvedbi projekta CAS, je bil izbran DMC (glej sliko 1).

Odločilna pri izbiri aerofotoaparata je bila informacija o izkušnjah nemškega uporabnika z Vexcelovim aerofotoaparatom, ki takrat še ni bil najbolj zanesljiv. Čeprav se je ekipa za izbor digitalnega aerofotoaparata sprva bolj nagibala k avstrijskemu ponudniku (Vexcel), je bil potem izbran DMC (glej sliko 1).

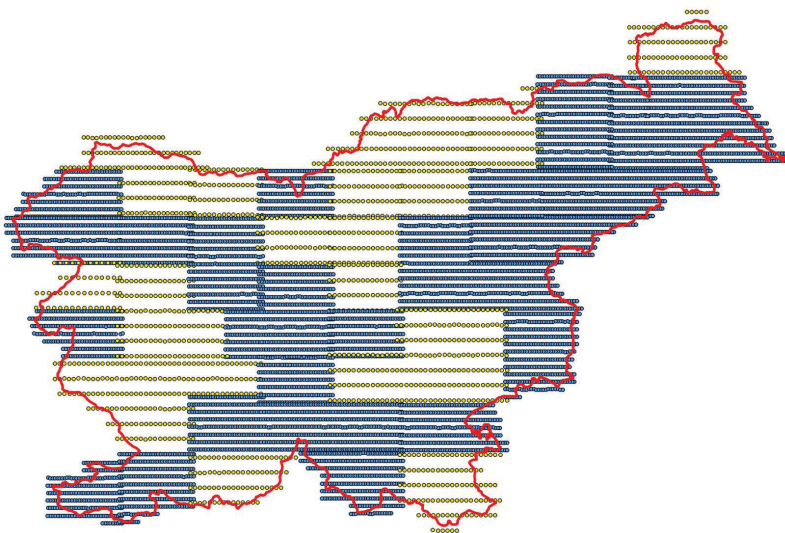
CAS se je v letu 2006 izvajal po trigonometričnih sekcijah, kar pomeni, da je bila vsaka trigonometrična sekcija (22,5 x 15 kilometrov), razen ob državni meji, kjer so se manjši deli trigonometričnih sekcij priključili večjim, svoj fotogrametrični blok. Vseh fotogrametričnih blokov je bilo 59. Aerofotografiranje je potekalo od 27. junija do 2. septembra 2006, skupno v sedemnajstih delovnih dnevih. Osnovni izdelek so bile aerofotografije s parametri zunanje orientacije, izračunane v procesu aerotriangulacije in narejene z dvema različnima nominalnima dolžinama talnega intervala (DTI), in sicer z DTI 25 centimetrov za območja, obarvana v modro, in z DTI 50 centimetrov za območja, ki so obarvana svetleje (glej sliko 2). Glavni izdelek projekt je bil barvni ortofoto s prostorskima ločljivostma 25 in 50 centimetrov ter barvni infrardeči ortofoto z ločljivostjo enega metra.

Skupaj je bilo v letu 2006 zajetih 10.341 barvnih aerofotografij, ki so bile orientirane v procesu aerotriangulacije (Klanjšček in sod., 2007). Vsaka aerofotografija ima tudi podatke o notranji in zunanji ori-

entaciji, kar omogoča izvajanje stereomeritev. Poleg orientiranih aerofotografij in ortofotov je bil izdelan digitalni model reliefa (DMR) v mreži 5 x 5 metrov, iz katerega so bili izračunani tudi nakloni terena.



Slika 1: Digitalni aerofotoaparati velikega formata Digital Mapping Camera (DMC), ki je bil vgrajen v letalo Geodetskega zavoda Slovenije Piper PA-31-350 Navajo Chieftain (S5-CGC) (foto: Rok Valič).

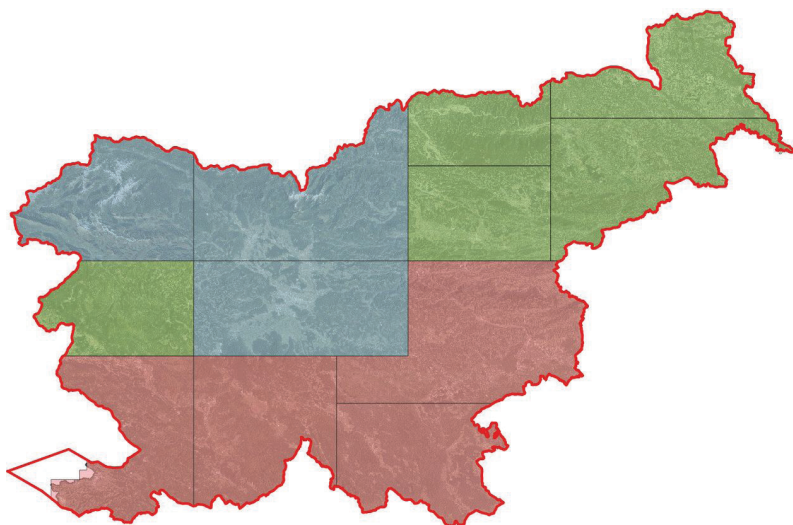


Slika 2: Lokacije aerofotografij v okviru CAS 2006 glede na različni ločljivosti (vir: GI).

3 CAS 2009–11

Spremembe v tem ciklu CAS glede na CAS 2006 so predvsem število in velikost fotogrametričnih blokov ter vračanje na triletno izvedbo. Število fotogrametričnih blokov se je zmanjšalo z 59 na 12, ki pa so zaradi tega večji, njihova izvedba po letih pa je v različnih barvah prikazana na sliki 3. Število blokov se je zmanjšalo zaradi povečanja ploskovnih senzorjev v novih velikoformatnih aerofotoaparatih in posledične možnosti aerofotografiranja večjih površin v krajšem času. Ker je bilo blokov manj, se je zmanjšalo tudi število aerofotografij, ki so se prekrivale na robovih blokov, torej tudi količina dvojnega pokritja.

Prostorska ločljivost ortofotov oziroma nominalna DTI aerofotografij v nadirju je bila določena za celoten cikel, in sicer 25 centimetrov, dejanska DTI pa se je spreminjala med vrednostma 20 in 25 centimetrov. Ločljivosti digitalnih aerofotoaparatorov se je zaradi napredka razvoja tehnologije s 104 megapikslov (MP, angl. megapixel) povečala na 136 MP (tretjina aerofotografij tega cikla CAS) oziroma 196 MP (dve tretjini aerofotografij tega cikla CAS).



Slika 3: Delitev območij v CAS 2009–11 po letih (2009 rdeča, 2010 zelena, 2011 modra) (vir: GI).

V tem ciklu CAS je bilo zajetih 11.472 aerofotografij. Kljub njihovi dovolj veliki prostorski ločljivosti so bili ortofoti izdelani samo v ločljivosti DTI 50 centimetrov. Poleg aerofotografij so bili rezultati projekta tudi že omenjeni listi brvnega ortofota in listi barvnega infrardečega ortofota (DTI 1 m) ter digitalni model reliefa (DMR) v mreži 5 x 5 metrov (Klanjšček in sod., 2010).

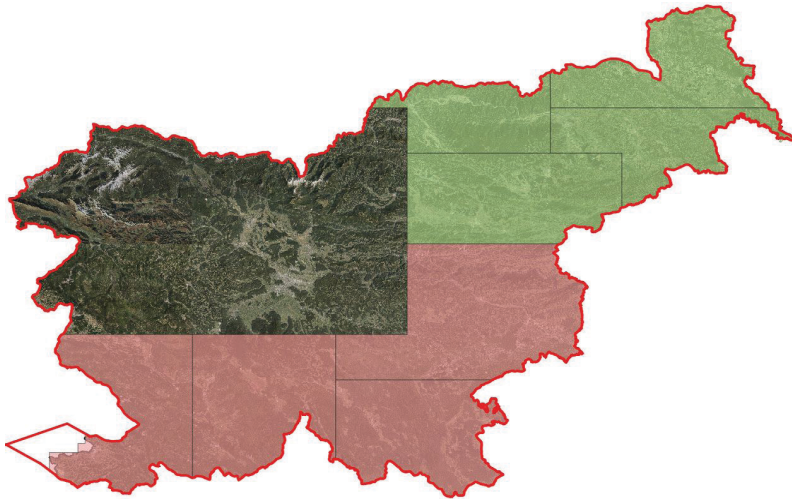
4 CAS 2012–16

Ta cikel CAS je za obdobje digitalne aerofotografije najmanj sistematičen, ker se je v letu 2014 poleg zaključevanja triletnega obdobja (2012–14) (Oven in sod., 2014a) izvedlo še dodatno aerofotografiranje približno dveh tretjin države (zelena barva na sliki 5). V letih 2012 in 2013 je projekt potekal po načrtu (glej sliko 4). Zaradi slabega vremena leta 2014 nista bila dokončana dva fotogrametrična bloka na območju Julijskih Alp (modra barva na sliki 5), ki sta bila nato izvedena leta 2015. V letu 2016 pa

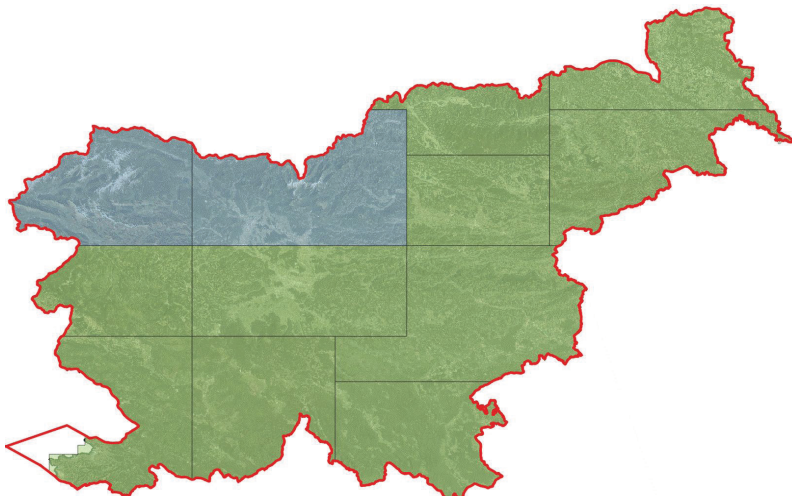
se je zaradi lovljenja triletnega časovnega zamika spet izvedlo isto, oziroma nekoliko večje, območje kot v letih 2013 in 2014 (slika 6) (Oven in sod., 2014b).

Delitev Slovenije na posamezne fotogrametrične bloke oziroma območja aerofotografiranja (OAF) se ni bistveno spremenila glede na CAS 2009–2011, se pa je precej spremenila časovna izvedba.

Aerofotografiranje vremensko najbolj zahtevnega dela Slovenije (Julijskih in Kamniško-Savinjskih Alp) je bilo v dosedanjih izvedba CAS vedno predvideno v zadnjem letu cikla. To se je izkazalo za problematično, saj je bilo običajno na voljo zelo malo vremensko ugodnih dni za aerofotografiranje tega območja. Težava je bila delno odpravljena v ciklu CAS 2017–19, ko so bile Julijske Alpe zajete v 1. letu, Kamniško-Savinjske Alpe pa v 2. letu cikla. Če bi bilo vreme slabo, bi namreč ta del Slovenije še vedno lahko aerofotografirali tudi še v letu 2019, ko še ne bi potekle pogodbene obveznosti izvajalca.



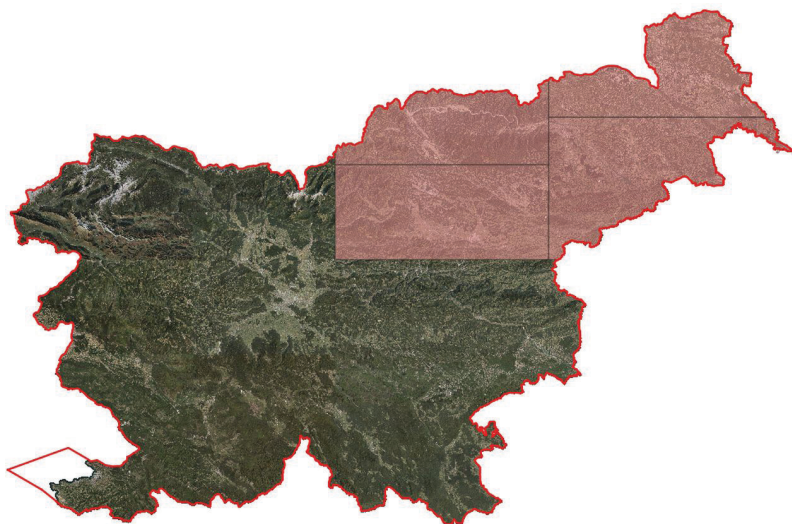
Slika 4: CAS 2012–16 v letih 2012–13 (leto 2012 rdeče, leto 2013 zeleno) (vir: GI).



Slika 5: CAS 2012–16 v letih 2014–15 (leto 2014 zeleno, leto 2015 modro) (vir: GI).

V tem ciklu je bilo (brez ponovitve aerofotografiranja dveh tretjin območja države v letu 2014 in brez aerofotografiranja v letu 2016) zajetih 11.374 aerofotografij. Uporabljeni so bili štiri tipi aerofotoaparatorov, in sicer: UltraCam Xp (196 MP), UltraCam Eagle (262 MP), Z/I DMC II (220 MP) in v letu 2016 tudi UltraCam Eagle Prime (340 MP). Razmerje med vzdolžnim in prečnim preklopom med aerofotografijami je bilo večinoma 60 % : 30 %, za 6 OAF, izvedenih v letih 2015 in 2016, pa že 80 % : 30 %. Vsi ortofoti so bili izdelani v prostorski ločljivosti 25 in 50 centimetrov v barvnem (RGB) načinu ter v prostorski ločljivosti 50 centimetrov v barvno infrardečem (BIR) načinu.

V letih 2014–15 je bila aerofotografirana celotna država, in sicer večina v letu 2014 (slika 5), v letu 2015 pa tisti del, ki zaradi slabega vremena ni bil zajet dotlej (Oven in sod., 2014).



Slika 6: CAS 2012–16 v letu 2016 (leto 2016 rdeče) (vir: GI).

V letu 2016 je bil spet aerofotografiran isti del kot v letih 2013 in 2014, ker bi bil pri prehodu na novo delitev v CAS 2017–19 ta del na vrsti šele leta 2019, kar bi bila prevelika časovna razlika (Bric, Tršan in Oven, 2016).

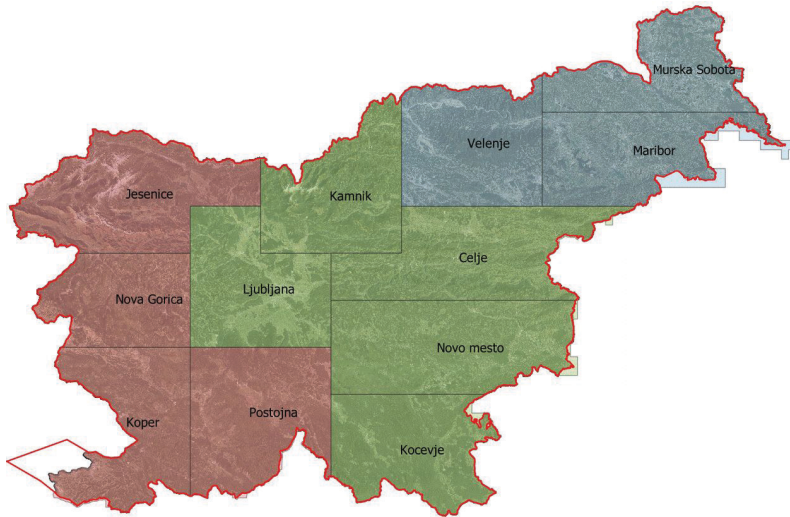
Poleg aerofotografij in njihovih orientacij so bili rezultati projekta kot običajno barvni ortofoti (DTI 0,25 in 0,50 m) in barvni infrardeči ortofoti (DTI 0,5 m) ter digitalni model reliefa (DMR) v mreži 5 x 5 metrov. Poleg barvnih aerofotografij so od takrat na voljo tudi originalni zapisi posameznih spektralnih pasov: pankromatski, rdeči, zeleni, modri in infrardeči.

V letih 2015 in 2016 so izvajalci za izdelavo ortofota že uporabljali DMR v mreži 1 x 1 meter, ki je bil izdelan iz podatkov projekta Lasersko skeniranje Slovenije (LSS).

5 CAS 2017–19

Na nekaterih območjih aerofotografiranja sta se poleg časovnega zaporedja izvedbe spremenila tudi oblika in velikost, predvsem zaradi izenačevanja njihovih površin, in tudi zaradi spremenjenih prioritet izvedbe nekaterih državnih projektov (slika 7). Načrtovano je bilo, da naj bi se vsako leto zajele aerofotografije za

štiri OAF-je, vendar je bilo leta 2018 zajetih pet OAF-jev in tako so za leto 2019 ostali le še trije (Bric, Tršan in Oven, 2018). OAF-ji enega leta so se iz že opisanih razlogov združili po vertikali in tako so bili leta 2017 zajeti trije najzahodnejši OAF-ji, in sicer: Jesenice, Nova Gorica in Koper, ter srednji južni OAF Postojna. V letu 2018 je bilo zajetih pet OAF-jev, in sicer: Kamnik, Ljubljana, Novo mesto, Kočevje in Celje. Slednje je bilo sicer prvotno predvideno za izvedbo v letu 2019.



Slika 7: Izvedba CAS 2017–19 po letih (2017 rdeča, 2018 zelena, 2019 modra) (vir: GI).

Skupno število zajetih aerofotografij v tem ciklu CAS je bilo 17.089 (Bric, Tršan in Oven, 2019). Ostali izdelki so enaki kot v letih 2015 in 2016, dodan je bil še digitalni model površja (DMP), ki so ga izvajalci računali z uporabo slikovnega ujemanja. Zapisan je v formatu LAS, kjer pa ima vsaka točka DMP tudi barvo (RGB) iz barvnih aerofotografij.

6 CAS 2020–22

Prostorska in časovna delitev projekta CAS je enaka kot v predhodnem ciklu, ker se je izkazala kot ustrezna. Tehnične zahteve so se le malo spremenile v primerjavi s prejšnjim ciklom. Spremenjeno bo število izvedenih OAF-jev v letu 2021, in sicer bodo zajeti štiri namesto petih OAF-jev. V letu 2022 se bodo tako izvedli štiri OAF-ji namesto treh, OAF Celje se bo izvedel v letu 2022 (Oven in sod., 2019; Bric in sod., 2020). Drugih sprememb pri izvajanju projekta CAS v tekočem ciklu 2020–2022 ni predvidenih.

7 CAS 2023–25

Razpis za izvedbo cikla CAS 2023–25 se bo izvedel v letu 2022. Prostorska razdelitev in izvedba števila OAF po letih naj se ne bi spreminjala. Še vedno se predvideva uporaba velikoformatnih aerofotoaparatorov oziroma sistemov, ki lahko izdelajo vertikalne aerofotografije v štirih kanalih velikosti najmanj 180 MP z odpravljenjo distorzijo. Možne so spremembe pri zmanjšanju dolžine talnega intervala (DTI) na 20 ali celo na 15 centimetrov ter povečanje prečnega preklopa med pasovi s 30 % na 60 %, kar bi pomenilo povečanje ločljivosti aerofotografij, ortofota ter tudi gostejši in kakovostnejši DMP.

7 SKLEPNE UGOTOVITVE

Projekt CAS, ki od leta 1975 poteka neprekinjeno, je v letu 2006 prešel iz analogne tehnologije zajema aerofotografij na digitalno. Tudi vsi nadaljnji procesi obdelave in uporabe aerofotografij potekajo na vse zmogljivejši opremi, z učinkovitejšimi algoritmi in procesi. Uporabljajo se tudi avtomatizirani postopki izdelave osnovnih izdelkov projekta in tudi nadaljnje obdelave teh izdelkov so vse bolj avtomatizirane.

Velikokrat se dogaja, da uporaba rezultatov projektov CAS časovno preveč zaostaja za zajemom. Veliko zbirk, ki bi morale biti sprotno vzdrževane (na primer digitalni topografski model, topografske karte večjih in manjših meril...), zato čaka in izgublja svojo geoinformacijsko vrednost oziroma uporabnost pri zainteresiranih uporabnikih prav zaradi neažurnosti.

Spremembe tehničnih parametrov izvedbe CAS bodo odvisne tudi od uspešnosti vpeljave cikličnega laserskega skeniranja Slovenije (CLSS), s katerim naj bi predvidoma v treh letih prekrili celotno državo in ki naj bi se najverjetneje začelo leta 2022.

Literatura in viri:

- Read, R., Graham, R. (2002). *Manual of Aerial Survey: Primary Data Acquisition*. Dunbeath, Whittles Publishing.
- Bric, V., Tršan, S., Oven, K. (2016). Kontrola kakovosti izvedbe projekta »Ciklično aerofotografiranje Slovenije 2015–16«: pogodba o financiranju nalog javnega pooblastila št. 2552-15-000030: končno poročilo. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije, 2016.
- Bric, V., Tršan, S., Oven, K. (2018). Kontrola kakovosti izvedbe projekta »Ciklično aerofotografiranje Slovenije 2017–19 za leto 2018«: pogodba o financiranju nalog javnega pooblastila št. 2552-17-000041: letno poročilo. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije, 2018.
- Bric, V., Tršan, S., Oven, K. (2019). Kontrola kakovosti izvedbe projekta »Ciklično aerofotografiranje Slovenije 2017–19 za leto 2019«: letno poročilo za leto 2019. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije, 2019.
- Bric, V., Tršan, S., Oven, K. (2020). Kontrola kakovosti izvedbe projekta Ciklično aerofotografiranje Slovenije 2020–22: letno poročilo za leto 2020. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije, 2020.
- Klanjšček, M., Berk, S., Bric, V., Fajdiga, D., Kovačič, B., Oven, K., Žagar, T. (2009). »Kontrola kakovosti aerofotografij, DMR in ortofota 2009–10«: letno poročilo za leto 2009. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije, 2009.
- Klanjšček, M., Ipša, A., Barborič, B., Potočnik, B., Fajdiga, D., Karmičnik, I., Grobovšek, J., Oven, K., Triglav Čekada, M., Brajnik, M., Mesner, N., Tršan, S., Babič, U. (2007). »Kontrola kakovosti AT, DOF in DMR«: letno poročilo za leto 2006. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije, 2007.
- Krotec, B. (2020). 50-letnica ustanovitve in pričetka dejavnosti lastne aerosnemalne službe v Sloveniji. *Geodetski vestnik*, 64 (2), 257–264.
- Oven, K., Tršan, S., Berk, S., Bric, V. (2014a). Kontrola kakovosti izvedbe projekta »Ciklično aerofotografiranje Slovenije 2012–2014« (CAS12–14): elaborat: končno poročilo. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije, 2014.
- Oven, K., Berk, S., Tršan, S., Bric, V. (2014b). Kontrola kakovosti izvedbe projekta »Ciklično aerofotografiranje Slovenije 2014 (CAS 2014)«: elaborat: končno poročilo. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije, 2014.
- Oven, K., Tršan, S., Bric, V. (2019). Kontrola kakovosti izvedbe projekta »Ciklično aerofotografiranje Slovenije 2017–19«: elaborat: zbirno poročilo celotnega cikla in dopolnitev tehnične dokumentacije za nov razpis CAS 2020–22. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije, 2019.

mag. Vasja Bric, univ. dipl. ing. geod.

Geodetski inštitut Slovenije
Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana
e-naslov: vasje.bric@gis.si

Peter Prešeren univ. dipl. ing. geod.

Geodetska uprava Republike Slovenije
Zemljemerska ulica 12, 1000 Ljubljana
e-naslov: peter.preseren@gov.si

mag. Katja Oven univ. dipl. ing. geod.

Geodetski inštitut Slovenije
Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana
e-naslov: katja.oven@gis.si