

KAKOVOST DRŽAVNEGA ORTOFOTA V RAZLIČNIH LETNIKIH NJEGOVE IZDELAVE

QUALITY OF THE NATIONAL ORTHOPHO IN DIFFERENT YEARS OF ITS PRODUCTION

Mojca Kosmatin Fras, Niko Fabiani, Mihaela Triglav Čekada

UDK: 528.7"1994/2012" (497.4)
Klasifikacija prispevka po COBISS.SI: 1.01
Prispelo: 3.9.2014
Sprejeto: 21.11.2014

DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2014.04.695-709
SCIENTIFIC ARTICLE
Received: 3.9.2014
Accepted: 21.11.2014

IZVLEČEK

Predstavljeni so rezultati raziskave, v kateri smo preverjali domnevo, da se kakovost (predvsem položajna točnost in semantična kakovost) državnega ortofota istega območja z izboljšanjem vhodnih virov v različnih obdobjih izboljšuje. Predstavljen je tudi pregled izdelave ortofota in postopkov ocenjevanja kakovosti v proučevanem obdobju (1994–2012). Za analizo smo izbrali vzorec štirih listov, za katere obstaja od 4 do 6 letnikov in prikazujejo primerno razgiban teren. Na vsakem listu smo izbrali več (med 29 in 42) kontrolnih točk, ki smo jih izmerili na terenu in ortofotu. Za vsak list in letnik smo izračunali koren srednjega kvadratnega pogreška – RMSE (angl. root mean square error) iz odstopanj med terenskimi koordinatami in koordinatami iz ortofota ter izdelali preglednice in grafe. Numerična in grafična analiza rezultatov jasno kaže trend padanja RMSE od starejših do novejših letnikov, s čimer se naša domneva potrjuje. Planimetrična točnost, ki smo jo ocenili z RMSE, se je v proučevanem obdobju precej izboljšala (okvirno z 1,4 metra na 0,4 metra), kar potrjuje pozitivne vplive tehnoloških in drugih sprememb na kakovost državnega ortofota.

KLJUČNE BESEDE

državni ortofoto, kakovost, položajna točnost, obdobje 1994–2012

ABSTRACT

The results of our research are presented in which we tested the hypothesis that the quality (especially positional accuracy and semantic quality) of national orthophoto of the same territory in different time periods has been improved as a consequence of more quality input data. A review of orthophoto production and the methods of quality assessment in the observed time frame (1994–2012) are presented. Four orthophoto map sheets have been selected for the analysis, that were produced in 4 to 6 different years and where we can find also high relief. A great number of check points (between 29 in 42) has been selected in each orthophoto map sheet, which were measured in the field and orthophoto. For each map sheet and the year we calculated a root mean square error (RMSE) from discrepancies between the field and orthophoto coordinates, we also produced tables and graphs. Numerical and graphical analyses of the results clearly show the trend of decreasing RMSE value from the older to the newer orthophoto issues, thus we can confirm our hypothesis. Planimetric accuracy, assessed with the RMSE value, has been significantly improved in the observed period (roughly from 1.4 m to 0.4 m), which proves a positive impact of technological and other changes on the national orthophoto quality.

KEY WORDS

national orthophoto, quality, positional accuracy, the period 1994–2012

1 UVOD

Državni ortofoto se je v Sloveniji začel izdelovati hkrati z uvajanjem digitalne fotogrametrije, okvirno od sredine 90. let 20. stoletja. Številni uporabniki ga v povezavi z drugimi prostorskimi podatki zelo pogosto uporabljajo pri svojem delu (Kosmatin Fras et al., 2006), tudi zaradi pomanjkanja drugih ažurnih topografskih podatkov (Petrovič et al., 2011).

Glavna domneva naše raziskave je, da se kakovost ortofota (predvsem položajna točnost in semantična kakovost) istega območja izboljšuje v različnih časovnih obdobjih z izboljšanjem vhodnih virov. Glavni tehnološki prispevki in procesi izdelave ortofota, ki nas napeljujejo k takšni tezi, so predvsem: vpeljava digitalnega letalskega snemanja, višja kakovost fotogrametrične opreme za snemanje (fotografski objektiv, visoka ločljivost slike ...), kinematične meritve položaja in zasukov v času snemanja (GNSS, INS) ter večja ločljivost in točnost digitalnega modela reliefa. Domnevo smo preverili s primerjavo koordinat kontrolnih točk, izmerjenih na izbranih listih ortofota in na terenu, pri čemer smo obravnavali časovni razpon med letoma 1994 in 2012. Na izbranih listih smo hkrati vizualno ocenjevali semantično kakovost ortofota in ugotovili, da se je v obravnavanem obdobju stalno izboljševala (od črno-belih in barvnih analognih posnetkov do večspektralnih digitalnih podob visoke prostorske in radiometrične ločljivosti). Za analizo smo v gradivih o izvedenih projektih na Geodetski upravi Republike Slovenije iskali tudi podatke o uporabljenih vhodnih virih na obravnavanih območjih (vrsta fotogrametrične snemalne opreme, uporabljen digitalni model višin idr.) ter ugotovili, da je navajanje teh podatkov velikokrat pomanjkljivo ali pa jih v gradivih sploh ni. Opisana raziskava je glede na časovni razpon in tudi metodološko (primerjava več letnikov) za državni ortofoto izdelana prvič. Ugotovljeni rezultati analize omogočajo temeljitejšo razumevanje ortofota kot izdelka fotogrametričnega procesa.

2 PREGLED IZDELAVE IN KONTROLE KAKOVOSTI ORTOFOTA V PROUČEVANEM OBDOBJU (1994–2012)

Državni ortofoto se izdeluje iz posnetkov državnega letalskega snemanja, znanega pod imenom Ciklično aerosnemanje (aerofotografiranje) Slovenije (CAS). Nekje od leta 1995, ko se je ortofoto začel izdelovati z digitalnim postopkom (pred tem je bilo izdelanih le nekaj listov analogno), pa do leta 2005 je bilo treba letalske posnetke najprej skenirati, saj se je fotografiralo z analognimi aerofotoaparati. Za ortofoto, izdelan iz teh posnetkov, se je uporabljal termin digitalni ortofoto oziroma kratica DOF 5 (številka 5 nakazuje analogijo s karto oziroma načrtom v merilu 1 : 5000). Od leta 2006 se fotografira v digitalni in večspektralni tehniki (poleg barvnih kanalov R, G, B tudi bližnji infrardeči kanal), v prostorski ločljivosti 0,5 metra oziroma 0,25 metra; temu so se prilagodile tudi kratice za državni izdelek, na primer DOF050, DOF025, DOF100IR. Ker se v novejšem času ortofoto izdeluje le na digitalni način, avtorji menimo, da je pridevnik digitalni odveč, torej govorimo le o ortofotu. S terminom državni ortofoto pa poudarimo, da gre za sistemski državni izdelek.

V procesu izdelave ortofota je nujen vhodni podatek digitalni model reliefa (DMR) oziroma, če želimo izdelati popolni ortofoto (angl. true orthophoto), digitalni model površja (DMP). Za izdelavo državnega ortofota se uporablja digitalni model reliefa, ki je strukturiran v obliki kvadratne mreže višin (DMV – digitalni model višin). Od začetnih serij ortofota do prvega digitalnega snemanja se je uporabljal digitalni model višin z velikostjo celice 25 metrov (DMV 25), ki je bil izdelan s samodejnim postopkom slikovnega

ujemanja iz skeniranih stereoparov CAS in naknadno vizualno korekcijo. Ocenjena povprečna višinska točnost DMV 25 je 3,2 metra oziroma 1,1 metra za ravnine, 2,3 metra za gričevje, 3,8 metra za hribovje in 7,0 metra za gorovja (Prostorski portal GURS: DMR 25 m).

S prvim digitalnim aerofotografiranjem leta 2006 je bil, deloma s slikovnim ujemanjem in deloma z interpolacijo DMV 12,5 (zaradi nekaterih tehničnih težav), izdelan DMV s celico 5 metrov (DMV 5) (Podobnikar, 2008). Zaradi tega na vseh območjih ni bil ustrezne kakovosti, kar se je ob sprotni kontroli izdelkov, ki jo naroča Geodetska uprava RS, pokazalo tudi na nekoliko slabši kakovosti ortofota. V poznejših serijah so posamezni izvajalci ta DMV 5 preverjali, spet zajeli ali popravili. Žal podrobnejša študija in analiza kakovosti teh podatkov ni bila izvedena. Ocenjena povprečna višinska točnost DMV 5 je približno 3 metre (Petrovič et al., 2011). V razpisni dokumentaciji CAS za obdobja 2009–2011 in 2012–2014 je navedena zahtevana točnost DMV 5 in ortofota (Razpisna dokumentacija za izvedbo CAS 2009–2010, 2008; Razpisna dokumentacija za izvedbo CAS 2012–2014, 2011). Za DMV 5 je največja dovoljena vrednost RMSE (koren srednjega kvadratnega pogreška; angl. root mean square error) 1 meter na odprtem in delno poraščenem ter 3 metre na poraščenem terenu. V obeh navedenih snemanjih CAS je bil izdelan ortofoto v dveh ločljivostih, in sicer 0,5 metra za večino države in 0,25 metra za večja urbana območja. Za obe ločljivosti je največja dovoljena vrednost RMSE 1,0 metra in maksimalno dovoljeno odstopanje je trikratna vrednost RMSE, torej 3 metre.

Uporabnost ortofota za različne namene je odvisna predvsem od njegove (Kosmatin Fras, 2004): semantične kakovosti (barvne globine, barvne lestvice, kontrastnosti, ostrine), prostorske ločljivosti (velikosti piksla v naravi) in geometrične kakovosti (točnosti georeferenciranja).

Semantična kakovost ortofota je odvisna od lastnosti aerofotoaparata, pri klasičnem aerofotografiranju še od kakovosti fotografskega filma in fotografskega procesa, ter od kakovosti obdelave digitalnih aerofotografij. Nanjo zelo vpliva tudi čas aerofotografiranja – glede na namen snemanja je treba izbrati ustrezen letni čas (običajno, ko je neolistano in brez snega), čas dneva (dovolj svetlobe, čim manj senc), ustrezne vremenske razmere (brez megle, mrča, smoga). Prostorska ločljivost ortofota izhaja iz tehničnih lastnosti aerofotografiranja – merila aerofotografiranja, ki je odvisno od višine leta nad površjem, goriščne razdalje in slikovne ločljivosti ter formata slikovnega senzorja v aerofotoaparatu, pri analognih aerofotografijah pa tudi od ločljivosti filmov in njihovega skeniranja.

Geometrična kakovost ortofota je odvisna predvsem od (Bric et al., v tisku 2014): kakovosti parametrov zunanje orientacije in kakovosti uporabljenega digitalnega modela višin. Kakovost parametrov zunanje orientacije je odvisna od kakovosti izvedbe aerotriangulacije, pa tudi od kakovosti realizacije samega koordinatnega sistema ter kakovosti razpoložljivih lokacijskih storitev za določanje položaja v realnem času. Zelo pomembno je zagotoviti dovolj ustrezno razporejenih oslonilnih točk, ki morajo biti kakovostno izmerjene na terenu ter nedvoumno in natančno določljive na aerofotografijah.

Tehnološki preskoki, ki vplivajo na izdelavo in kakovost ortofota (delno po: Bric et al., v tisku 2014):

- Geodetski zavod Slovenije je leta 1994 nabavil sistem za digitalno fotogrametrijo (skener, programsko in strojno opremo), zaradi česar je bila mogoča sistematična masovna izdelava ortofota. Poleg tega je podjetje DFG Consulting d. o. o. v približno istem obdobju razvilo lastno produkcijsko linijo za izdelavo ortofota.

- V letu 1999 je Geodetski zavod Slovenije nabavil analogni velikoformatni aerofotoaparata Leica RC30, ki je poleg bolj kakovostnega aerofotografiranja omogočal določitev koordinat perspektivnih centrov aerofotografij z GNSS, tako da je bilo mogoče uporabljati naprednejše postopke aerotriangulacije. Obenem se je z novim skenerjem Leica DSW300 pospešilo skeniranje.
- V letu 2003 se v okviru CAS prične izdelava barvnega ortofota, kar pomeni bistveno izboljšanje njegove semantične kakovosti. Za nekatera zemljepisno omejena območja je bil sicer barvni ortofoto izdelan tudi že nekaj let prej.
- Z letom 2006 se v projektu CAS začne uporabljati velikoformatni digitalni aerofotoaparati, ki prinesejo kakovostni preskok na področju semantične (istočasni zajem v barvnem vidnem in infrardečem delu spektra) in geometrične kakovosti. Nenadoma namreč niso več pomembni vplivi kakovosti filma, deformacij analognih aerofotografij in kakovosti njihovega skeniranja.
- Leta 2009 se začne ustvarjanje izdelkov CAS in ortofota v novem državnem koordinatnem sistemu D96/TM, katerega vzpostavitev temelji na GNSS-tehnologiji. Uporaba bolj kakovostnega koordinatnega sistema pomeni izboljšanje kakovosti koordinat oslonilnih točk, posledično parametrov zunanje orientacije in s tem geometrične kakovosti ortofota. Izdelan ortofoto se z modelom državne trikotniške transformacije (Berk in Komadina, 2010) transformira tudi v star koordinatni sistem D48/GK. Za rastrske podatke (format TIFF) se generirajo samo nadomestne geolokacijske datoteke (format TFW). S tem se kakovost geolokacije ortofota nekoliko poslabša, vendar je to glede na tedanjo geometrično ločljivost ortofota zanemarljivo (Berk et al., 2007).

Na splošno je največja težava pri ugotavljanju različnih vplivov na kakovost ortofota pred letom 2006 ravno sledljivost uporabljenih virov in načina izdelave DMV, kar smo ugotovili tudi s pregledom gradiv (elaborati izvedbenih projektov) za našo raziskavo.

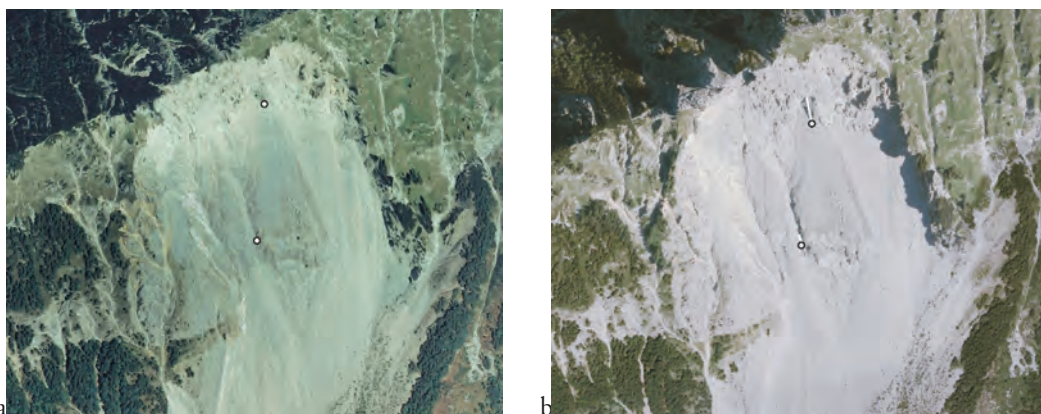
Prva sistematična raziskava kakovosti ortofota je bila opravljena v okviru doktorske disertacije (Lipej 1997, str. 118, 141–145, 153–155). Lipejeva je med drugim raziskovala odstopanja med digitalnim ortofotom ter GNSS-izmerjenimi kontrolnimi točkami na terenu za razširjen del Ankaranskega polotoka, ki obsega površino 27,3 km² in skupaj pokriva območje desetih listov TTN5. Preučevani listi ortofota so bili narejeni v letu 1993 in na osnovi CAS 1992 ter DMR, izdelanim iz vektoriziranih plastnic TTN5. Avtorica omeni, da je ločljivost detajlov boljša na originalnih posnetkih CAS kot na ortofotu, na katerem je bila velikost slikovnega elementa 0,5 m × 0,5 m, saj so bile fotografije skenirane le z ločljivostjo 800 dpi. Od skupnih izmerjenih 48 točk jih je za analizo ortofota uporabila 31. Na opisanem območju je ocenjeno povprečno položajno odstopanje znašalo 1,54 metra, minimalno odstopanje 0,62 metra in maksimalno odstopanje 4,05 metra.

Kontrolo digitalnega ortofota in DMV, ki se izdelujejo v okviru CAS, od leta 1999, ko se je začela redna sistemska izdelava ortofota, v sodelovanju izvajata Geodetski inštitut Slovenije in Geodetska uprava Republike Slovenije. Najprej se je izvajala kontrola semantične kakovosti in geometrične ločljivosti ortofota. Geometrična kontrola višin DMV se je izvajala z vnovičnim zajemom točk na istih planimetričnih lokacijah (XY) obstoječega DMV s stereozajemom in uporabo istih orientacijskih parametrov kot v postopku izdelave ortofota. Na vzorcu se je iskalo in velikokrat tudi našlo predvsem grobe napake. Šele s CAS 2006 se je pričela izvajati tudi kontrola položajne točnosti ortofota in s slikovnim ujemanjem izdelanega DMV na podlagi na terenu izmerjenih kontrolnih točk (Bric et al., v tisku 2014). Kontrolne

točke za kontrolo ortofota so opremljene s fotografijo točke, da se lažje identificira njena točna lokacija. Za kontrolo CAS 2009–2012 se je izmerilo nove kontrolne točke s koordinatami v koordinatnem sistemu D96/TM. Položajna točnost ortofota se preverja na vzorcu.

Leta 2011 se je začel izvajati projekt državnega laserskega skeniranja (Triglav Čekada et al., 2012; Bric et al., 2013), ki pa se je prekinil in se v letu 2013 spet obudil z drugim izvajalcem (Pegan Žvokelj et al., 2014). Območje celotne Slovenije bo pokrito z gostoto 5 točk/m² ali 2 točki/m² za visokogorja in območja večjih gozdov. Bistven izdelek, ki bo uporaben tudi za izboljšanje položajne točnosti ortofota, je DMV z velikostjo celice 1 m × 1 m. Zahtevana planimetrična točnost v koordinatnem referenčnem sistemu D96/TM je 0,30 metra (RMSE), točnost (elipsoidnih) višin pa 0,15 metra (RMSE), ki je tako veliko višja kot višinska točnost fotogrametričnega DMV 5, izdelanega v okviru CAS.

Čeprav je položajna točnost ortofota predpisana in se v zadnjih letih redno izvaja kontrola na vzorcu, pa lahko v hribovju ali visokogorju nastanejo večja položajna odstopanja od dovoljenih. Na sliki 1 predstavljamo primer takšne napake. Spodnji bel vektor napake na sliki 1 je dolg 13 metrov, zgornji pa celo 48 metrov. Izsek na sliki 1 predstavlja Karavanke v okolici Ljubelja. Vzroka za napaki sta verjetno nenatančen DMV v visokogorju in postopek retuširanja vsebine robov med posnetki, ki ga lahko slutimo na sliki 1a tik pod vrhom gore.

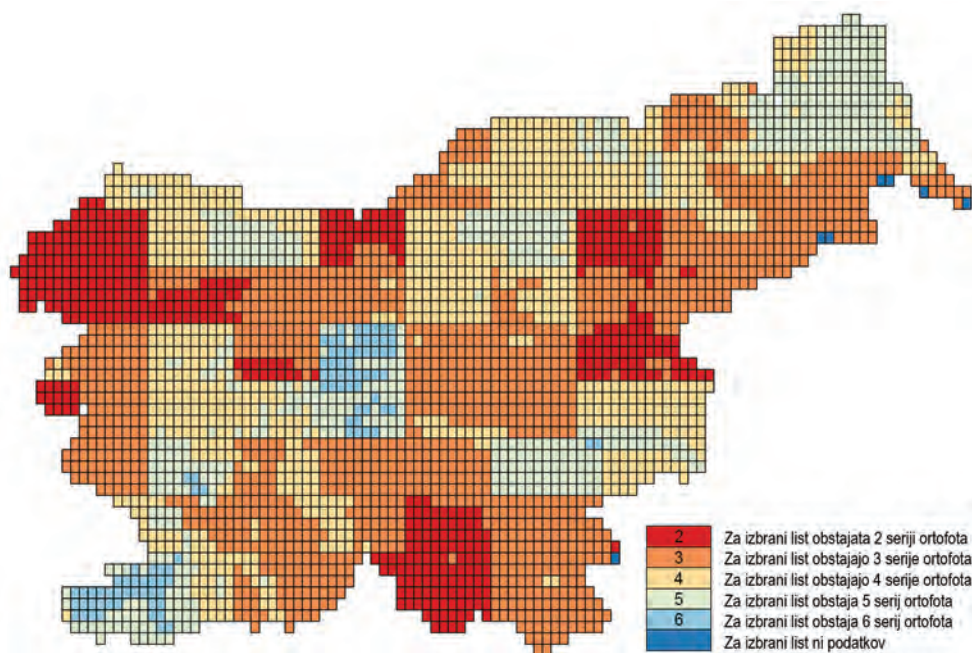


Slika 1: Razlika v legi dveh detajlov na CAS 2006 a) in CAS 2011 b) v koordinatnem sistemu D48/GK. Lega detajla na posameznem letniku je označena s krožcem, vektor razlike v legi pa z belo črto na CAS 2011.

3 METODOLOGIJA RAZISKAVE

3.1 Izbor listov ortofota in kontrolnih točk

Raziskavo smo začeli s pregledom vseh izdelanih listov državnega ortofota v obdobju 1994–2012, saj smo želeli ugotoviti konkretno število časovnih serij po posameznih listih. Osnovne podatke in elaborate projektov smo pridobili od Geodetske uprave Republike Slovenije, morali pa smo vložiti kar precej dodatnega dela, da smo izluščili zelene informacije. Rezultat te faze je izdelan tabelarnični in grafični pregled po listih ortofota glede na število izdelanih časovnih serij za obravnavano obdobje (slika 2).



Slika 2: Razdelitev ozemlja Slovenije na liste ortofota, obarvano glede na število letnikov (za obdobje 1994–2012).

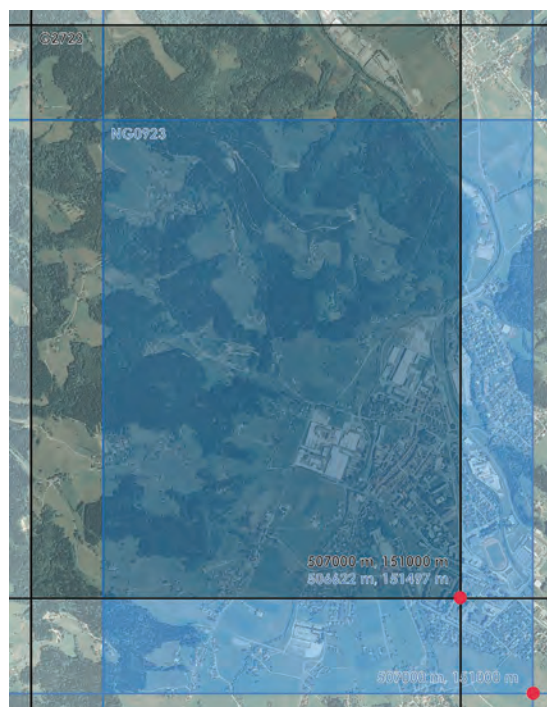
Sledila je izbira območij za analizo, pri kateri smo upoštevali naslednja glavna merila: čim daljšo časovno pokritost posameznega območja (štirje letniki in več), primernost terena (čim bolj višinsko razgiban in z različnimi topografskimi vsebinami) in dovolj primernih detajlov za izbor kontrolnih točk. Ta faza raziskave je bila časovno zelo zamudna, potrebna je bilo veliko ročnega dela in vizualnega pregledovanja. Izvedli smo jo v več korakih, tako da smo po postavljenih merilih opravili grob izbor ustreznih trigonometričnih sekcij in nato za izbrane sekcije izvedli vizualni pregled vseh posameznih listov, ki smo jim glede na primernost za izvedbo analize dodelili ocene primerno, pogojno primerno in neprimerno.

Kot vidimo na sliki 2, je bilo največ letnikov ortofota med letoma 1994 in 2012 izdelanih za območja primorske regije in Ljubljanske kotline. Ker smo meritve kontrolnih točk načrtovali za jesen 2013, smo se odločili, da alpskega sveta, kjer obstaja tudi pet letnikov ortofota in odlično izpolnjuje pogoj razgibanosti terena, ne bomo uporabili v raziskavi, saj bi nas tam lahko med meritvami prehitel sneg. Skrajni vzhodni del države, kjer imamo na voljo tudi pet letnikov, pa izpade zaradi pogoja razgibanosti terena, ker tam lahko najdemo le nizko gričevje. Zato smo se odločili za naslednje štiri liste ortofotov, zapisane v nomenklaturi D48/GK:

- **B2046** – teren lista je dovolj razgiban, obenem je na njem enakomerno razporejenih več manjših naselij s primernimi mesti za kontrolne točke. Ker so to istrske vasice Šmarje, Gažon in Kampel, smo predvidevali, da je bilo v celotnem časovnem obdobju na listu najmanj sprememb (gradnja novih objektov, cest) in bo najlažje poiskati iste točke na vseh letnikih ortofota (šest letnikov: 1994, 1997, 2000, 2003, 2006, 2012);

- **C2317** – teren lista je zelo razgiban, na njem stoji mesto Idrija. Samo mesto se proti severu vzpenja, predvidevali smo tudi, da v starem mestnem jedru ni veliko sprememb (štirje letniki: 2001, 2005, 2006, 2010);
- **C2416** – teren lista je od vseh izbranih najbolj razgiban, na njem je več manjših naselij in vasi, na južnem delu lista pa je mesto Cerkno (štirje letniki: 1998, 2005, 2006, 2010);
- **D2334** – list pokriva območje Zaplane pri Vrhniki, južni del lista pa Logaško polje z industrijsko cono Zapolje z manj razgibanim terenom (štirje letniki: 1998, 2001, 2006, 2011).

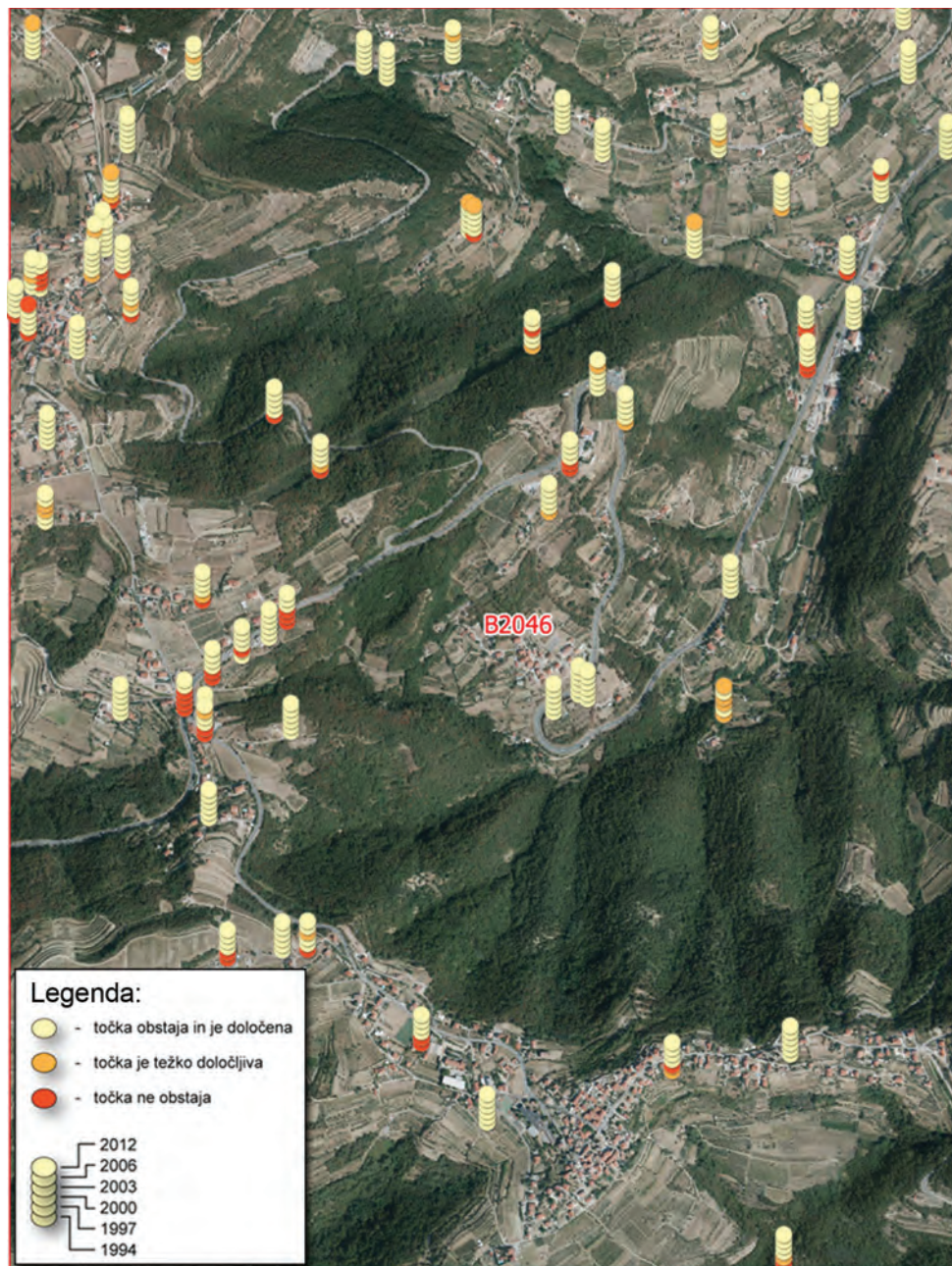
Pri opredelitvi listov ortofota smo upoštevali tudi, da so se s prehodom CAS na nov koordinatni sistem v letu 2009 premaknili vogali listov v sistemskem razrezu (slika 3). Ker je večina listov predstavljena v D48/GK, smo se odločili, da analizo izvedemo v tem koordinatnem sistemu. Listi ortofota iz leta 2009 imajo v star koordinatni sistem transformirane samo geolokacijske datoteke (TWF), razrez pa ostane tudi po transformaciji enak kot v D96/TM (Berk in sod., 2007). Zato smo morali listom iz CAS 2009 ali CAS 2011 dodati vsebino sosednjih listov, da smo jih pokrili v celoti glede na razdelitev v D48/GK.



Slika 3: Vpliv uvedbe novega državnega koordinatnega sistema na razdelitev listov na primeru enega lista (Kete in Berk, 2012).

Sledila je določitev kontrolnih točk na vsakem izbranem listu za vsako izbrano leto posebej. Za vsak list smo ustvarili točkovni sloj, v katerega smo zapisovali točke, ki smo jim dodali nekaj atributov (id – zaporedna oznaka točke; opomba – opis točke; primernost – ocena primernosti za izbor, pri čemer je vrednost 1 – točka ni primerna, vrednost 10 – točka je zelo primerna). Če se je detajl videl na vseh oziroma na večini letnikov, smo točko izbrali. Kot primerni detajli so se izkazale naslednje topografske značilnosti: vogali črt na tleh (cestne oznake, oznake na igriščih ipd.), vogali dobro vidnih dvorišč, vogali

nizkih škarp, ostra križišča, večji jaški, ožje poti, večji kovinski stebri daljnovodov idr. Na koncu smo za posamezne liste izbrali naslednje število točk: B2046: 73 točk, C2317: 81 točk, C2416: 68 točk in D2334: 38 točk, skupaj torej 260 kontrolnih točk. Na sliki 4 je prikazan primer izbora točk za list B2046 in status točk v posameznem letniku.



Slika 4: Izbor kontrolnih točk na listu B2046 in njihov status v posameznem letniku (podlaga slike: ortofoto; GURS 2010b).

3.2 Meritve kontrolnih točk na terenu in ortofotu

Sledila je izvedba meritev vseh izbranih kontrolnih točk na terenu in na vseh letnikih ortofota. Na terenu smo kontrolne točke izmerili z GNSS-metodo izmere. Za meritve smo uporabili instrument Trimble R8, ki smo ga povezali z državnim omrežjem permanentnih GNSS postaj SIGNAL. Uporabili smo RTK-metodo izmere. Vse meritve so potekale v novembru 2013. Ocenjena natančnost meritev je v območju nekaj centimetrov. Po opravljenih meritvah smo izmerjeno točko fotografirali tudi z digitalnim fotoaparatom, da smo jo lahko pozneje natančno identificirali in izmerili še na ortofotu (primer na sliki 5).

Na ortofotu lahko merimo le planimetrične koordinate, zato smo v nadaljevanju odstopanja lahko računali le na koordinatah X in Y (zaradi splošnosti uporabimo matematični zapis koordinat; X za absciso in Y za ordinato).



Slika 5: Primer točke na terenu (levo) in ortofotu (desno).

3.3 Izračun odstopanj položaja na posameznih listih ortofota

Za analizo in preverjanje naše domneve smo iz koordinat kontrolnih točk na terenu in na ortofotu za vsak list posebej najprej izračunali odstopanja po koordinatah X in Y (enačbi 1 in 2) ter skupno planimetrično odstopanje (razdalja d v enačbi 3). Terensko izmerjene koordinate (GNSS) smo obravnavali kot referenčne koordinate za kontrolo.

$$\Delta X = X_{GNSS} - X_{DOF} \quad (1)$$

$$\Delta Y = Y_{GNSS} - Y_{DOF} \quad (2)$$

Planimetrično odstopanje smo izračunali kot oddaljenost točke, izmerjene na terenu, od iste točke, izmerjene na ortofotu, po enačbi (3):

$$d = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (3)$$

Iz vseh planimetričnih odstopanj na posameznem listu za posamezen letnik smo izračunali RMSE po enačbi 4:

$$RMSE = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + \dots + d_n^2}{n}} \quad (4)$$

kjer so

$d_1^2, d_2^2, \dots, d_n^2$ razdalje med točkami, izmerjenimi na terenu, in na posameznem listu ortofota
 n število točk na posameznem listu

4 REZULTATI IN ANALIZE

Za izbrane liste smo konkretne meritve in izračune izvedli po metodologiji, opisani v poglavju 3. Najprej smo odstopanja položaja na kontrolnih točkah izračunali za vse izbrane kontrolne točke (poglavje 4.1), ker pa te niso bile vse enako kakovostno določljive (slabše definiran detajl, slabša prepoznavnost v posamezni časovni seriji ipd.), smo na koncu izračunali še odstopanja le na najbolj kakovostnih kontrolnih točkah (poglavje 4.2).

4.1 Rezultati odstopanj položaja kontrolnih točk po letnikih ortofota

Za vsak posamezen letnik izbranega lista ortofota smo izračunali RMSE, rezultati so prikazani v preglednicah od 1 do 4.

Preglednica 1: Odstopanja (RMSE) med položajem na ortofotu in na terenu za list B2046.

Letnik ortofota	Število uporabljenih točk v izračunu	Minimalno odstopanje	Maksimalno odstopanje	RMSE
1994	31	0,24 m	2,78 m	1,62 m
1997	35	0,09 m	4,02 m	1,14 m
2000	41	0,16 m	3,03 m	1,13 m
2003	42	0,31 m	4,08 m	1,35 m
2006	42	0,11 m	2,00 m	0,86 m
2012	42	0,08 m	2,23 m	0,76 m

Za list B2046 lahko iz preglednice 1 razberemo, da se je v preučevanem obdobju (1994–2012) položajna točnost izboljševala z 1,62 metra na 0,76 metra. Izjema je leto 2003, ko se je glede na predhodno obdobje (leti 1997 in 2000) položajna točnost nekoliko poslabšala in je znašala 1,35 metra.

Preglednica 2: Odstopanja (RMSE) med položajem na ortofotu in na terenu za list C2317.

Letnik ortofota	Število uporabljenih točk v izračunu	Minimalno odstopanje	Maksimalno odstopanje	RMSE
2001	33	0,15 m	2,62 m	0,96 m
2005	35	0,06 m	2,28 m	1,01 m
2006	33	0,13 m	2,46 m	0,87 m
2010	35	0,08 m	1,41 m	0,71 m

Za list C2317 lahko iz preglednice 2 razberemo, da se je v preučevanem obdobju (2001–2010) položajna točnost izboljševala s približno 1 metra na 0,71 metra.

Preglednica 3: Odstopanja (RMSE) med položajem na ortofotu in na terenu za list C2416.

Letnik ortofota	Število uporabljenih točk v izračunu	Minimalno odstopanje	Maksimalno odstopanje	RMSE
2001	38	0,09 m	1,97 m	1,07 m
2005	40	0,10 m	2,35 m	0,93 m
2006	39	0,13 m	2,42 m	0,81 m
2010	40	0,02 m	1,83 m	0,74 m

Za list C2416 lahko iz preglednice 3 razberemo, da se je v preučevanem obdobju (2001–2010) njegova položajna točnost stalno izboljševala z 1,07 metra na 0,74 metra.

Preglednica 4: Odstopanja (RMSE) med položajem na ortofotu in na terenu za list D2334.

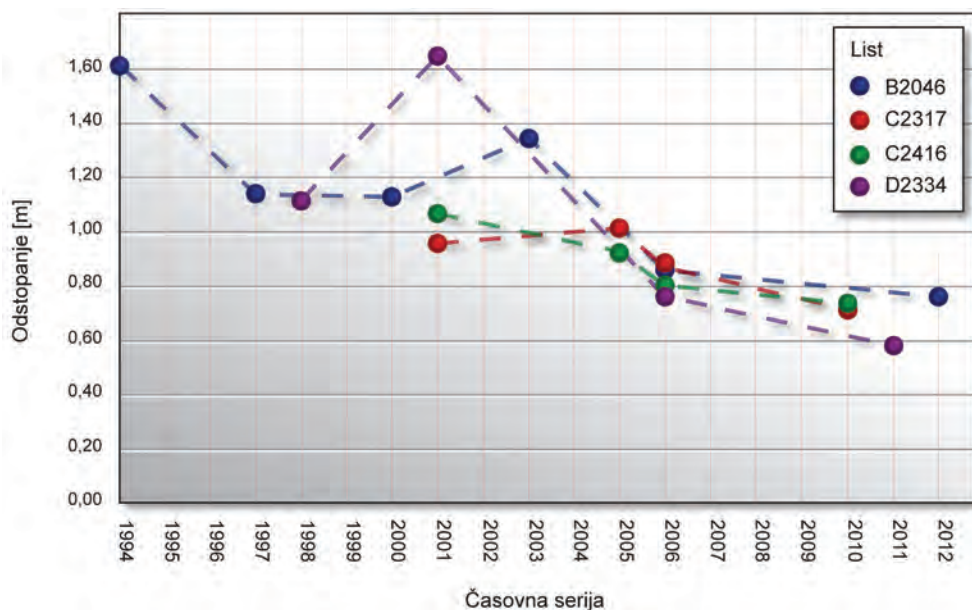
Letnik ortofota	Število uporabljenih točk v izračunu	Minimalno odstopanje	Maksimalno odstopanje	RMSE
1998	31	0,26 m	2,96 m	1,12 m
2001	29	0,07 m	2,99 m	1,65 m
2006	31	0,15 m	2,27 m	0,76 m
2011	31	0,02 m	1,15 m	0,58 m

Za list D2334 lahko iz preglednice 4 razberemo, da se je v preučevanem obdobju (1998–2011) njegova položajna točnost izboljševala z 1,12 metra na 0,58 metra. Izjema je leto 2001, ko se je glede na predhodni letnik 1998 njegova točnost poslabšala (1,65 metra), oziroma je sploh najslabša v vsem preučevanem obdobju.

Za boljšo preglednost in končno analizo rezultatov smo rezultate za vsa območja in časovne serije prikazali še v skupni preglednici 5 in grafu (slika 6).

Preglednica 5: Povzetek odstopanj (RMSE) za vsa obravnavana območja in letnike.

Letnik serija	List B2046	List C2317	List C2416	List D2334
1994	1,62 m			
1997	1,14 m			
1998				1,12 m
2000	1,13 m			
2001		0,96 m	1,07 m	1,65 m
2003	1,35 m			
2005		1,01 m	0,93 m	
2006	0,86 m	0,87 m	0,81 m	0,76 m
2009				
2010		0,71 m	0,74 m	
2011				0,58 m
2012	0,76 m			



Slika 6: Grafični prikaz odstopanj (RMSE) za vse obravnavane liste in posamezne letnike.

Numerična in grafična analiza rezultatov jasno kažeta trend padanja RMSE od starejših do novejših časovnih serij, s čimer lahko potrdimo našo domnevo. V letih 2001–2003 sicer na listih B2046 in D2334 opazimo slabše rezultate, a vzroka za to ne moremo natančno opredeliti, morda je preprosto v tem, da so izvajalci nekoliko slabše izvedli projekt. Planimetrična točnost, ki smo jo opredelili z mero RMSE, se je izboljšala najmanj za faktor 2 (okvirno od vrednosti 1,6 metra do 0,6 metra), kar seveda potrjuje vpliv spremembe tehnologije (iz analogne v digitalno), vse bolj kakovostne opreme, izboljšave vhodnih podatkov in ne nazadnje sistemskih kontrol izdelkov, ki jih naroča Geodetska uprava RS.

4.2 Izračun položajnih odstopanj na izbranih, najbolj kakovostnih kontrolnih točkah

Ker smo že med pripravo podatkov ugotovili, da ni mogoče vseh kontrolnih točk identificirati na vseh letnikih ortofota enako kakovostno, smo se za končno oceno planimetrične točnosti ortofota (RMSE) posamezne časovne serije odločili, da za izračun uporabimo samo najboljše kontrolne točke, ki smo jih že v predhodni analizi ocenili z najvišjimi ocenami. Za primer navajamo podrobne podatke za list B2046, druge rezultate po listih najdete v Fabiani (2014), tukaj pa podajamo le skupne rezultate za vse štiri liste (preglednica 7 in slika 7).

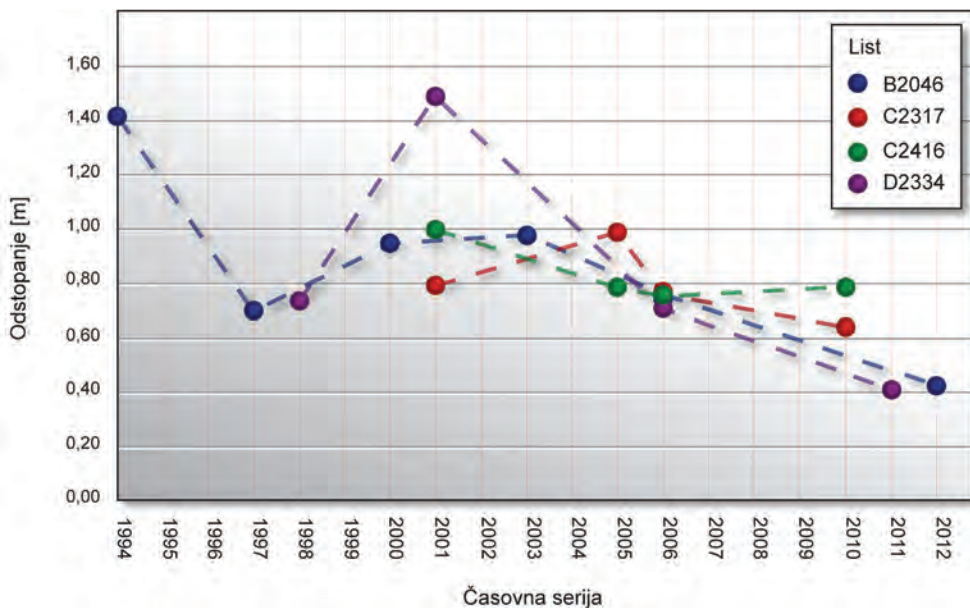
Zmanjšanje vrednosti RMSE je, glede na vse uporabljene kontrolne točke (predstavljeno v preglednici 1), v povprečju 0,25 metra. Vpliv kakovostne določitve kontrolnih točk na ocenjeno položajno točnost seveda ni zanemarljiv, se mu pa, predvsem pri nesignaliziranih kontrolnih točkah, ne moremo povsem izogniti. Večjega odstopanja v letu 2003 glede na splošni trend pri oceni, ko upoštevamo le najboljše kontrolne točke, ne opazimo.

Preglednica 6: Odstopanja (RMSE) na izbranih kontrolnih točkah med položajem na ortofotu in na terenu za list B2046.

Letnik ortofota	Število uporabljenih točk v izračunu	Mínimalno odstopanje	Maksimalno odstopanje	RMSE
1994	9	0,24 m	2,18 m	1,42 m
1997	9	0,34 m	1,10 m	0,70 m
2000	11	0,26 m	1,52 m	0,95 m
2003	11	0,54 m	1,40 m	0,98 m
2006	11	0,11 m	1,14 m	0,77 m
2012	11	0,08 m	1,01 m	0,43 m

Preglednica 7: Povzetek odstopanj (RMSE) za izbrane kontrolne točke za vse liste ortofota in letnike.

Časovna serija	List B2046	List C2317	List C2416	List D2334
1994	1,42 m			
1997	0,70 m			
1998				0,73 m
2000	0,95 m			
2001		0,79 m	1,00 m	1,49 m
2003	0,98 m			
2005		0,99 m	0,79 m	
2006	0,77 m	0,77 m	0,76 m	0,71 m
2010		0,64 m	0,79 m	
2011				0,41 m
2012	0,43 m			



Slika 7: Grafični prikaz odstopanj (RMSE) za izbrane kontrole točke za vse obravnavane liste.

Če v analizi položajne točnosti upoštevamo samo res dobro določljive kontrolne točke (preglednica 7 in slika 7), se izračunane vrednosti seveda izboljšajo. Trend izboljšanja planimetrične točnosti je tudi v tem primeru zaznaven, konkretne vrednosti pa se okvirno gibljejo od 1,4 metra do 0,4 metra. Zanimiva je tudi ugotovitev, da so vse vrednosti odstopanj, razen za list B2046 v letu 1994 in list D2334 v letu 2001, manjše od enega metra, kar je v okviru specifikacij kakovosti izdelka. Pri tem moramo poudariti, da so lokalna srednja odstopanja na posameznih listih ortofota, v kateremkoli časovnem obdobju, kljub tem ugotovitvam lahko večja od te vrednosti zaradi različnih razlogov (lokalno odstopanje DMV, slabša semantična kakovost, slabo definiran naravni detajl idr.), čemur se v celoti, kljub še tako skrbni izdelavi in kontroli izdelka, ki se lahko izvede le na izbranem vzorcu, ne moremo izogniti.

5 SKLEP

Rezultati predstavljene raziskave potrjujejo našo domnevo, da se točnost ortofota v splošnem izboljšuje. Od leta 2006 je opazno precejšnje izboljšanje točnosti ortofota, na najnovejših serijah iz let 2011 (list D2334) in 2012 (list B2046) se je povprečno odstopanje koordinat na ortofotu merjenih točk od terenskih točk zmanjšalo že na približno 0,5 metra, kar je pri ločljivosti ortofota 0,25 metra tudi skrajna mogoča meja. To je posledica Nyquist-Shannonovega teorema, po katerem je najboljša možna položajna točnost rastrskega izdelka dvakratnik velikosti slikovnega elementa (Triglav Čekada in drugi, 2010). Še enkrat pa poudarimo, da so lokalna odstopanja položajne točnosti ortofota zaradi različnih objektivnih razlogov lahko večja od splošne ocenjene natančnosti posameznega letnika ali posameznega lista.

Zaradi dolžinske omejitve članka se nismo mogli tako podrobno kot analizi položajne točnosti posvetiti tudi drugim problematikam, in sicer semantični kakovosti ortofota in dostopnosti ter popolnosti metapodatkovnih opisov izdelka. Tako je na primer za opis kakovosti ortofota ključnega pomena informacija o uporabljenem DMV za njegovo izdelavo in njegovi kakovosti, ki pa jo za pretekla obdobja težko izbrskamo. To problematiko lahko umestimo v širši koncept opisovanja kakovosti prostorskih podatkov in izdelkov. Eno od mogočih rešitev ponuja Triglav (Triglav, 2012) v obliki uporabe različnih matrik prostorsko-časovne ločljivosti. Ta koncept je enostaven in pregleden za uporabo, kar je na praktičnem primeru in z anketo med različnimi uporabniki prostorskih podatkov potrdila tudi Lenarčič (2014). V tem viru najdemo primer metapodatkovne baze za opis kakovosti ortofota, s katerim bi lahko odpravili opisane pomanjkljivosti.

Zahvala

Za podatke in gradiva, ki smo jih uporabili v raziskavi, se najlepše zahvaljujemo Geodetski upravi Republike Slovenije, še posebej gospodu Petru Prešernu, ki nam je veliko pomagal. Nekateri podatki, ki so napisani predvsem v pregledu izdelave in kontrole ortofota (poglavje 2), so poleg navedenih virov pridobljeni tudi iz lastnega poznavanja problematike avtorjev članka ter po spominu kolegov Vasje Brica in Staneta Tršana z Geodetskega inštituta Slovenije, ki se jima avtorji tudi lepo zahvaljujemo.

Literatura in viri:

- Berk, S., Janežič, M., Kete, P., Mesner, N., Radovan, D., 2007. Razvoj ortofota v novem koordinatnem sistemu. Končno poročilo projekta. Ljubljana: Geodetski inštitut Slovenije.
- Berk, S., Komadina, Ž., 2010. Trikotniško zasnovana transformacija med starim in novim državnim koordinatnim sistemom Slovenije. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009–2010, 291–299.
- Bric, V., Berk, S., Oven, K., Triglav Čekada, M. (v tisku 2014). Aerofotografiranje in aerolasersko skeniranje Slovenije. 20. Srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko "Raziskave s področja geodezije in geofizike 2014", v tisku.
- Bric, V., Berk, S., Triglav Čekada, M. (2013). Zagotavljanje kakovosti georeferenciranja podatkov aerolaserskega skeniranja za upravljanje voda. Geodetski vestnik, 57(2), 271–285. DOI: <http://dx.doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2013.02.271-285>.
- Fabiani, N. (2014). Analiza položajne točnosti državnega ortofota glede na časovno obdobje njegove izdelave. Diplomsko naloga. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Kete, P., Berk, S. (2012). Stari in novi državni koordinatni sistem v Republiki Sloveniji ter koordinatni sistem zveze Nato. Geoprostorska podpora obrambnemu sistemu Republike Slovenije, 259–279.
- Kosmatin Fras, M. (2004). Vpliv kakovosti vhodnih podatkov na kakovost ortofota. Geodetski vestnik, 48(2), 167–178.
- Kosmatin Fras, M., Drobne, S., Gregorič, H., Oven, J. (2006). Raziskava uporabe ortofota (DOF5) v praksi. Geodetski vestnik, 50(2), 258–269.
- Lenarčič, A. (2014). Opis prostorsko-časovne kakovosti državnih fotogrametričnih in kartografskih izdelkov. Diplomsko naloga. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Lipej, B. (1997). Optimizacija prostorskega planiranja kot posledica GIS tehnologije in prostorskega managementa. Doktorska disertacija. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Pegan Žvokelj, B., Bric, V., Triglav Čekada, M. (2014). Lasersko skeniranje Slovenije. Geodetski vestnik, 58(2), 349–351.
- Podobnikar, T. (2008). Nadgradnja modela reliefa Slovenije z visokokakovostnimi podatki. Geodetski vestnik, 52(4), 834–853.
- Prostorski portal GURS: DMR 25 m, http://www.e-prostor.gov.si/si/zbirke_prostorskih_podatkov/topografski_in_kartografski_podatki/digitalni_model_visin/digitalni_model_visin_z_locljivostjo_dmv_125_dmv_25_dmv_100/#jfmulticontent_c666-1, pridobljeno 4. 8. 2014.
- Petrovič, D., Podobnikar, T., Grigillo, D., Kozmus Trajkovski, K., Vrečko, A., Urbancič, T., Kosmatin Fras, M. (2011). Kaj pa topografija? Stanje in kakovost topografskih podatkov v Sloveniji, Geodetski vestnik, 55(2), 304–318. DOI: <http://dx.doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2011.02.304-318>.
- Razpisna dokumentacija za izvedbo CAS 2009–2010 (2008). Ljubljana: Ministrstvo za infrastrukturo in prostor, Geodetska uprava Republike Slovenije. [http://www.gu.gov.si/si/javna_narocila/?tx_t3javniarazpis_pi1\[show_single\]=811](http://www.gu.gov.si/si/javna_narocila/?tx_t3javniarazpis_pi1[show_single]=811), pridobljeno 4. 8. 2014.
- Razpisna dokumentacija za izvedbo CAS 2012–2014 (2011). Ljubljana: Ministrstvo za infrastrukturo in prostor, Geodetska uprava Republike Slovenije. [http://www.gu.gov.si/si/javna_narocila/?tx_t3javniarazpis_pi1\[show_single\]=894](http://www.gu.gov.si/si/javna_narocila/?tx_t3javniarazpis_pi1[show_single]=894), pridobljeno 4. 8. 2014.
- Triglav Čekada, M., Crossilla, F., Kosmatin Fras, M. (2010). Teoretična gostota lidarskih točk za topografsko kartiranje v največjih merilih. Geodetski vestnik, 54(3), 403–416. DOI: <http://dx.doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2010.03.403-416>.
- Triglav Čekada, M., Bric, V., Oven, K., 2012. Prvo vsedravno lasersko skeniranje Slovenije. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2011–2012, 191–196.
- Triglav, J. (2012). Analiza pomena geolokacije kot funkcije časa. Doktorska disertacija. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Kosmatin Fras M., Fabiani N., Triglav Čekada M. (2014). Kakovost državnega ortofota v različnih letnikih njegove izdelave. Geodetski vestnik, 58 (3): 695–709.
DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2014.04.695-709

Doc.dr. Mojca Kosmatin Fras, univ. dipl. inž. geod.
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: mojca.kosmatin-fras@fgg.uni-lj.si

Niko Fabiani, univ. dipl. inž. geod.
Geodetski inštitut Slovenije
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: niko.fabiani@gis.si

Dr. Mihaela Triglav Čekada, univ. dipl. inž. geod
Geodetski inštitut Slovenije
Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana
e-naslov: mihaela.triglav@gis.si