

SMERNICE ZA UPORABO DIGITALNIH ORTOFOTO NAČRTOV

Andrej Bilc
Geodetski zavod Slovenije, Ljubljana
Prispelo za objavo: 16.9.1994

Izvleček

Avtor pojasnjuje nekatere poglede na izdelavo in uporabo digitalnih ortofoto načrtov, planiranje ustreznega aerosnemanja in vključevanje v programe geodetskih del.
Ključne besede: aerosnemanje, analogni izdelki, digitalni ortofoto načrti, Geodetski dan, Radenci, standardizacija, uporaba, 1994

Abstract

The author explains some aspects of elaboration and usage of digital orthophoto maps, of planning adequate aerial surveys, and integration into spatial databases.

Keywords: aerial survey, analog products, digital orthophoto maps, Geodetic workshop, Radenci, standardization, usage, 1994

1. UVOD

Tehnologiji in praktičnemu uvajanju izdelave digitalnih ortofoto načrtov (v nadaljevanju: DOF) sem posvetil v zadnjih letih precej svojega časa. Od leta 1987, ko smo na takratnem Inštitutu Geodetskega zavoda SRS zasnovali to tehnologijo, pa do danes, smo uspeli oblikovati majhno, a kvalitetno ekipo strokovnjakov. Ko smo se v letu 1993 odločili za nakup opreme (skanerja in digitalne fotogrametrične postaje Leica Helava), smo dokončno začrtali našo usmeritev na tem področju. S študijem in praktičnim delom na razmeroma obširnih testnih primerih smo pridobili nekaj preverjenega znanja in izkušenj, ki nas navajajo na to, da damo nekaj pobud za razvoj in uporabo digitalnih ortofoto načrtov v Sloveniji.

Ocenjujem, da se bo uporaba digitalnih ortofoto načrtov in njihove analogne – tiskane variante – razvijala predvsem v dveh smereh:

- za splošno uporabo bo v okviru državnega programa izdelan (izdelovan) DOF 5, katerega uporaba naj bi bila po svoji namembnosti primerljiva z uporabo TTN 5. Sistem bo imel podvarianto v DOF 10, ki pa v nasprotju s TTN 10 ne bo le manj natančna varianta za hribovite in manj intenzivne predele, temveč bo v splošnem variantna rešitev, ki bo bolj ustrezala določenemu krogu uporabnikov. Prvenstveno se bo uporabljal kot topografska podlaga, skoraj vedno v kombinaciji z drugimi podatki iz tki. „topografske baze velike natančnosti“, ki pokriva precejšnji del podatkov

obstoječih TTN 5 oz. 10. Za del uporabnikov bo oblikovan sistem DOF 25, ki naj bi po uporabi ustrezal TK 25. Njegova bistvena prednost bo v digitalni obliki in možnosti računalniške uporabe. Sistem mora nujno dopolniti geodezija vsaj z DMR-jem, v samem informacijskem sistemu pa še z drugimi podatki, ki deloma tudi izvirajo iz geodetskih evidenc. DOF 25 je v dobršni meri tudi kartografsko orientiran, tehnološko gledano pa je posebna izvedenka DOF-a večje natančnosti.

- Za določena območja, na katera gledam vedno kot na območja posebnih ureditev – projektov v prostoru, bo smiselna in potrebna izdelava DOF-a večje natančnosti, ki jih bo mogoče uporabiti kot načrte meril od 1:1 000 do 1:2 500. DOF bomo vedno uporabljali skupaj z drugimi (topografskimi) podatki, ki pa so za ta merila le redkokdaj zbrani v primernih podatkovnih bazah (zbirkah), zato jih moramo izdelati istočasno z DOF-om. Sem prištevamo predvsem višinsko predstavo, zgradbe (zgradbe s tlorisom temeljev in specifikacijo vrste rabe; kot primarni atribut nastopa identifikacijska oznaka z naslovom ...) in druge objekte ter različne oznake, ki so v digitalni bazi podane kot atributi zgradb in objektov. Naročniki teh načrtov bodo običajno ožje skupnosti ali pooblaščen organizacije oz. projektanti, ki jih zastopajo v konkretnem primeru. Nekatera od teh območij so glede na frekvenco uporabe interesantna za oblikovanje stalnih projektov obnavljanja ortofoto načrtov in ostalih topografskih podatkov, za kar običajno poskrbi krajevno pristojna geodetska uprava.

Osnovo za tako oceno imam v obstoječi ureditvi geodetskih evidenc in v potrebi vsakega od uporabnikov, da bi za splošno uporabne načrte plačeval samo toliko, kolikor znaša njegov delež. Večinoma ni zainteresiran za lastništvo in distribucijske pravice, zato običajno ne želi plačati več, kot je nujno, ne planira dolgoročno svojih potreb in je prepričan, da je za to poklicana ravno geodetska služba. Tudi pristojnosti geodetske službe, ki jo reprezentira Republiška geodetska uprava v sklopu Ministrstva za okolje in prostor, so take, da bi bil le težko kdo lastnik karte ali načrta iz sistema geodetskih evidenc. Drugače je z načrti iz druge alineje. Naročajo jih občinske, medobčinske ali mestne geodetske uprave, včasih pa tudi investitorji in projektanti. Načrti, ki jih naročajo geodetske uprave, imajo večinoma podoben status kot načrti iz prve alineje. Če so naročniki investitorji ali projektanti, pa so zainteresirani za njihovo lastništvo in s tem povezane pravice.

2. STANDARDIZACIJA IZDELKOV

Tipične lastnosti topografskih načrtov, za katere razlikovanje običajno uporabljamo merilo kot karakteristično oznako, so podane z nekaterimi standardi (nimam namena, da bi v tem poglavju standardiziral izdelek, ker bo to verjetno storila Republiška geodetska uprava, želim pa na podlagi razvojnega dela podati nekaj usmeritev, ki se lahko v prehodnem obdobju uporabljajo kot prepoznavne lastnosti posameznih značilnih izdelkov), ki so običajno zbrani v tki. topografskem ključu. Topografski ključ predpisuje vsebino in način grafičnega ali opisnega prikazovanja, česar ne moremo prevzeti za DOF, katerega vsebina je definirana s fotografsko sliko prostora – terena. Druga določila, ki se nanašajo na razdelitev na liste, projekcijo in koordinatni sistem ter izvenokvirni opis, lahko

prevzamemo v večji meri. Dopolnitve se bodo nanašale predvsem na podatke v digitalni obliki. V nadaljevanju podajam nekaj predlogov, s katerimi so določene tipične lastnosti nekaterih izdelkov s področja DOF-a.

2.1 Merilo

Podatek o merilu definira razmerje med dimenzijami na načrtu in v naravi, obenem govori tudi o natančnosti čitanja (risanja) ter prikazovanja podatkov. Z merilom sta povezani tudi standardna vsebina in stopnja posploševanja. Pri digitalnih topografskih podatkih je pojem merila nejasen, saj nam računalniška orodja omogočajo poljubno povečavo (pomanjšavo) digitalne slike. Zato moramo pri digitalnih podatkih uporabljati merilo predvsem kot omejitev oz. kot podatek o natančnosti in podrobnosti podatkov, ki je smiselno povezana z omejitvami, natančnostjo in podrobnostjo grafičnih načrtov teh meril. Pri analognih izdelkih – izrisih ortofoto načrtov na papir ali film ima merilo klasični pomen. Ker moramo pričakovati, da bo DOF vedno pretvorjen tudi v analogne izdelke, moramo pri njegovi zasnovi upoštevati tudi zahteve teh izdelkov. Tipična merila načrtov, ki se danes največ uporabljajo, so 1:1 000, 1:2 000 in 1:5 000, manj se uporabljajo merila 1:10 000 in 1:2 500. Svojo kategorijo predstavlja merilo 1:25 000, ki se veže predvsem na TK 25. Tem merilom primerne ločljivosti digitalnih ortofoto načrtov so informativno prikazane v Preglednici 1 (podatki v preglednici so rezultat lastnih primerjalnih študij in niso avtorizirani ali dočeni s standardom).

<i>Merilo načrta</i>	<i>„Grafična natančnost“ (0,2 mm)</i>	<i>Minimalna natančnost podatkov</i>	<i>Možna resolucija DOF</i>	<i>Priporočena resolucija DOF</i>
<i>1:25 000</i>	<i>5 m</i>	<i>3,5 m</i>	<i>1,7 – 5 m</i>	<i>2 m</i>
<i>1:10 000</i>	<i>2 m</i>	<i>1,4 m</i>	<i>0,7 – 2 m</i>	<i>1 m</i>
<i>1:5 000</i>	<i>1 m</i>	<i>0,7 m</i>	<i>0,35 – 1 m</i>	<i>0,5 m</i>
<i>1:2 500</i>	<i>0,5 m</i>	<i>0,35 m</i>	<i>0,18 – 0,35 m</i>	<i>0,25 m</i>
<i>1:2 000</i>	<i>0,4 m</i>	<i>0,28 m</i>	<i>0,15 – 0,28 m</i>	<i>0,20 m</i>
<i>1:1 000</i>	<i>0,2 m</i>	<i>0,14 m</i>	<i>0,07 – 0,20 m</i>	<i>0,15 m</i>

Preglednica 1

2.2 Digitalni podatki

Osnovni izdelek – oblika digitalnih ortofoto načrtov so datoteke, ki vsebujejo zapis slike, črno-bele ali barvne v ustreznem formatu in podatke o njihovem pravem položaju v prostoru. Trenutno najlažje uporaben format je TIFF, za njegovo umestitev v realnem prostoru uporabimo podatke iz datoteke tipa TIFW (TIF in TIW za MS-DOS okolje). Vsaka datoteka vsebuje podatke, ki pokrivajo del prostora, omejen z pravokotnikom Y_{min} , X_{min} do Y_{max} , X_{max} . Razdelitev na pravokotnike je lahko izvedena po različnih pravilih. Kot variantno rešitev bi lahko uporabili zapis v obliki JPEG, ki ima možnost komprimiranja podatkov. Možnosti:

- po standardnih listih topografskih načrtov. Delitev je standardizirana že za obstoječe linijske načrte, je manj primerna za avtomatizacijo sistema, čeprav sodobna programska oprema dovoljuje tudi take rešitve. Datoteke so razmeroma velike. Vsebina marsikatere je definirana le za del območja, ki naj bi bilo v njej upodobljeno.
- po koordinatnih kvadratih primerne velikosti. Delitev je matematično obvladljiva. Osnovni gradnik je vedno razmeroma majhna datoteka. Prednosti sistema so v njegovi enostavnosti in možnosti uporabe, ki ni vezana na „delitev na liste“. Majhne datoteke lahko obdelujemo tudi z manj zahtevno strojno in programsko opremo, kar širi krog uporabnikov.

Za izdelavo DOF-a splošne namembnosti v okviru državnega programa predlagam uporabo druge variante. Osnovni gradnik sistema DOF posameznega merila bi bil kvadrat s stranico 2 000 pikslov. Fizične velikosti kvadratov so v Preglednici 2. Datoteke bi bile v obliki TIFF, ker to najbolj ustreza sadanjim možnostim uporabe. Za določene namene, predvsem za zavarovanje in prenos podatkov, bi jih prevajali v obliko JPEG. Standardni faktor komprimiranja podatkov naj bi bil 10.

<i>Merilo</i>	<i>Velikost piksla</i>	<i>Površina kvadrata (ha)</i>	<i>Stranica kvadrata</i>
<i>1:25 000</i>	<i>2 m</i>	<i>1 600</i>	<i>4 000 m</i>
<i>1:10 000</i>	<i>1 m</i>	<i>400</i>	<i>2 000 m</i>
<i>1:5 000</i>	<i>0,5 m</i>	<i>100</i>	<i>1 000 m</i>
<i>1:2 500</i>	<i>0,25 m</i>	<i>25</i>	<i>500 m</i>
<i>1:2 000</i>	<i>0,20 m</i>	<i>16</i>	<i>400 m</i>
<i>1:1 000</i>	<i>0,15 m</i>	<i>9</i>	<i>300 m</i>

Preglednica 2

2.3 Analogni izdelki

Pri oblikovanju analognih izdelkov (v hiši smo prevzeli angleški izraz „hard copy“), ki so pravzaprav izpisi digitalnih ortofoto načrtov na papir ali film, moramo upoštevati, da se bodo največkrat uporabljali skupaj s klasičnimi linijskimi načrti. Kot začasno rešitev smo oblikovali dva izdelka:

- prvi je sestavljen samo iz ortorektificiranega aeroposnetka, ki so mu dodani: koordinatna mreža, okvir, merilo in poimenovanje lista v sistemu listov oz. ime projekta,
- drugi je sestavljen iz ortorektificiranega posnetka, v katerega so vrisane plastnice, vpisane kote karakterističnih višinskih točk, zemljepisna imena in druge informacije po posebnih naročilih. Vse dodatne informacije so bodisi privzete iz ustreznih baz podatkov ali izdelane posebej za prikaz na ortofoto načrtu.

Prvi izdelek je kot fotografska slika prostora boljše čitljiv, dodatne informacije pa kombiniramo z njim tako, da nanj polagamo filme z drugimi tematikami, kar je podobno delu z informacijskimi sloji v GIS-u. Največkrat bo uporabljen tam, kjer potrebujemo ažurno informacijo o prostoru, pa nimamo sredstev (znanja) za uporabo

digitalnih podatkov. Drugi izdelek je slabše čitljiv, posebno, če želimo interpretirati informacije fotografske podlage, je pa enostavnejši za uporabo in nekaterim bolj dopadljiv. Njegova prednost je predvsem v tem, da lahko nastaja tudi kot izhod iz uporabniških GIS-ov, ki kombinirajo sektorske podatke in rezultate analiz, odločitev, itd. z DOF-om kot topografskim ozadjem in so pravzaprav materiali, namenjeni javnim obravnavam, predstavitvam ... Iz takih izhodišč je jasno, da bo kot enota vzet standardni list ustreznega merila. Pri oblikovanju okvirja, koordinatne mreže in izvenokvirne vsebine moramo v največji možni meri upoštevati določila obstoječih pravilnikov.

V pogledu kvalitete izpisa se nam ponuja vrsta rešitev. Izpis na film daje največjo kvaliteto izdelka. Ločljivost tiskalnika je do 5 000 DPI. Poltonska slika je natisnjena kot točkovni raster gostote 150 do 200 DPI (60 do 80 linij na cm). Nosilec slike je poliestrski film. Načrt lahko tiskamo ali razmnožujemo z diazo in fotografskimi postopki. Izpis na ink-jet risalnik je druga možnost. Idelki ne dosegajo kvalitete izpisa na film. Običajni risalniki kot sta Nova Jet II in HP Design Jet nudijo ločljivost 300 DPI in edino z uporabo naključnih rastrov dobimo uporabne izdelke. Pomembni prednosti sta nizka cena in možnost izdelave barvnih načrtov. Tak izdelek bomo verjetno le redkokdaj tiskali, razmnoževanje z diazo postopki je možno, če je slika na prozornem materialu. V praksi se vse bolj uveljavljajo postopki elektrostatskega kopiranja. Ustrezna tehnika je že dosegljiva tako za črno-bele kot barvne načrte, je pa še razmeroma draga. Tretja varianta, ki se vse bolj uveljavlja v svetu, so ink-jet risalniki z večjo ločljivostjo, ki dajejo sliko skoraj fotografske kvalitete. So dokaj dragi, vendar pa je cena izdelka še sprejemljiva, ker povzročajo le majhne obratovalne stroške.

3. AEROSNEMANJE

Osnova za izdelavo vseh v prvem poglavju opisanih digitalnih ortofoto načrtov so trenutno letalski posnetki. Možnosti njihove izdelave so omejene z meteorološkimi pogoji, možnostjo prostega letenja nad območjem, ki ga želimo posneti in snemalno tehniko. Trenutno razpolagamo s tremi kamerami: Zeiss RMK 1523, Wild RC8 in Zeiss LMK z dvema objektivoma – 210 in 305 mm. Obe starejši kameri imata gorišnico 152 mm, z njima narejene slike pa imajo ločljivost do 50 lpm. Novejša kamera dosega ločljivost do 80 lpm, kar daje v kombinaciji s sistemom za kompenzacijo zamika slike (FMC) precej boljše rezultate. Poleg kamer na ločljivost letalskih posnetkov vplivajo tudi filmi. Uporabljajo se filmi z normalno ločljivostjo (50 lpm $\approx$ 1 200 DPI) in filmi s povečano ločljivostjo (80 lpm $\approx$ 2 000 DPI) – podatki za oba filma so v praksi odvisni tudi od osvetlitve in fotolaboratorijske obdelave. Uporaba slednjih je zaradi manjše občutljivosti in ločljivosti prilagojenih zahtev po natančnosti smiselna le skupaj z novejšo kamero.

Če se pri izbiri optimalnega merila aerosnemanja omejimo le na doseganje primerne natančnosti končnega izdelka, sta nam za odločanje na voljo dva kriterija: prvi je bil razvit na podlagi praktičnega dela na analognih in analitičnih fotogrametričnih instrumentih. Odvisnost merila aerosnemanja (M_s) od merila kartiranja (M_k) je podana z naslednjo formulo:

$$M_s = C \times \sqrt{M_k}$$

C je izkustveno dobljeni faktor, ki je odvisen od ločljivosti letalskih posnetkov, natančnosti fotogrametričnih instrumentov, vrste terena in namena uporabe. V praksi lahko za letalske posnetke z ločljivostjo 50 lpm uporabljamo faktor $C=120 \dots 220$ in za posnetke ločljivosti 80 lpm in več faktor $C=200 \dots 400$. Odvisnost merila aerosnemanja od faktorja C je prikazana v Preglednici 3.

Merilo kartiranja	M_s za $C = 120$	M_s za $C = 200$	M_s za $C = 300$	M_s za $C = 400$
1:25 000	1:19 000	1:31 600	1:47 400*	1:63 000*
1:10 000	1:12 000	1:20 000	1:30 000	1:40 000
1:5 000	1:8 500	1:14 200	1:17 700	1:28 000
1:2 500	1:6 000	1:10 000	1:15 000	1:20 000
1:2 000	1:5 400	1:9 000	1:13 400	1:17 900
1:1 000	1:3 800	1:6 300	1:9 500	1:12 600

Preglednica 3

Drugi kriterij je zasnovan na razmerju med ločljivostjo filma in velikostjo piksla na DOF-u. Odvisnost merila aerosnemanja od merila DOF-a, če upoštevamo ta kriterij, je prikazana v Preglednici 4. Pri realnem izračunu merila aerosnemanja po tem kriteriju bi morali upoštevati, da je relativna natančnost DOF-a različna od velikosti piksla. Natančnost je med 0,5 in 2 piksla. Srednja vrednost tega razmerja je verjetno 1,4 piksla, zato bi morali izbrati ustrezno večje merilo snemanja (primer: za DOF v merilu 1:5 000 bi morali izbrati M_s med 1:28 300 in 1:17 700).

Merilo kartiranja	Željena velikost piksla DOF-a (m)	M_s pri resoluciji 2 000 DPI (12,5 μ)	M_s pri resoluciji 1 200 DPI (20 μ)
1:25 000	2	1:160 000*	1:100 000*
1:10 000	1	1:80 000*	1:50 000*
1:5 000	0,5	1:40 000	1:25 000
1:2 500	0,25	1:20 000	1:12 500
1:2 000	0,20	1:16 000	1:10 000
1:1 000	0,15	1:12 000	1:7 500

Preglednica 4

(* obstoječe tehnične možnosti ne omogočajo izvedbe snemanja v teh merilih)

Pri izbiri merila za določeno nalogo moramo upoštevati vedno strožjega od obeh kriterijev.

Ze danes lahko uporabljamo tudi satelitske posnetke LANDSAT TM, SPOT, ZERS-1 in MIR, v razvoju pa so še nekateri drugi sistemi, med katerimi se mi zdi obetaven predvsem nemški (evropski) projekt MOMS. Trenutno so dostopni predvsem posnetki LANDSAT TM z ločljivostjo 30 m in SPOT z ločljivostjo 10 m in

20 m. V kratkem bodo dostopni tudi ruski posnetki, narejeni na vesoljski postaji MIR. Pričakovana ločljivost je med 2 in 10 m. Če satelitske posnetke primerjamo z aeroposnetki, potem bi ustrezali za izdelavo DOF-a naslednjih meril (Preglednica 5).

Satelit/senzor	Ločljivost na tleh (m)	Merilo aerosnemanja za 1 200 DPI	Merilo kartiranja za C=400	Merilo kartiranja za C=300
Landsat TM	30	1:1 500 000		
Spot color	20	1:1 000 000		
Spot pan.	10	1:500 000		
MIR	2	1:100 000	1:62 500	1:110 000

Preglednica 5

Seveda moramo upoštevati, da satelitski posnetki niso namenjeni izdelavi topografskih, temveč tematskih kart, kjer se uporabljajo drugačni kriteriji in drugačne metode dela. Iz tuje prakse je znano, da se posnetki SPOT-a uspešno uporabljajo za topografska, geološka in vegetacijska kartiranja aridnih (suhih stepskih in puščavskih) območij severne Afrike v merilih od 1:200 000 do 1:500 000. Izdelanih je tudi več primerov ortofoto kart v merilu 1:500 000 za različna območja v Evropi. Ne moremo jih primerjati s klasičnimi topografskimi kartami, s svojim karakterističnim prikazovanjem prostora pa se lahko uspešno uporabijo pri izdelavi marsikaterih študije. V določenem smislu so lahko izjema ruski posnetki, ki so narejeni z metričnimi kamerami, katerih goriščnica je 1 000 mm. Prvi testi teh posnetkov v zahodni Evropi so dali dokaj dobre rezultate.

V okviru pričakovanega razvoja satelitskih snemanj si največ obetam od novih sistemov, ki se razvijajo pretežno v Evropi. Gre za aktivne in pasivne sisteme, katerih cilj ni več zgolj registracija sevanj, ki jih oddajajo ali odbijajo predmeti na zemeljski površini, temveč tudi registracija nekaterih bolj specifičnih pojavov. V tem okviru pričakujem, da bo v bližnji bodočnosti možno s pomočjo satelitskih snemanj izdelati DMR, ki bi po natančnosti ustrezal vsem potrebam regionalnega planiranja, teledetekcije in izdelave DOF-a v merilu 1:25 000.

Literatura:

- Donasy et al., 1983, *Daljska istraživanja u geoznanostima*, JAZU, Zagreb.
 Kraus, K., Schneider, W., 1988, *Fernerkundung, Band 1: Physikalische Grundlagen und Aufnameverfahren*, Duemmler Verlag, Bonn.
 Kraus, K., 1990, *Fernerkundung, Band 2: Auswertung photographischer und digitaler Bilder*, Duemmler Verlag, Bonn.
 Igea, Geodetski zavod Slovenije, 1994, *Projekt digitalni ortofoto načrti in karte – 1. del, raziskovalna naloga*, MOP-Republiška geodetska uprava.

Recenzija: Miroslav Črnivec (v delu)
 Katarina Horvat