

Oznaka poročila: ARRS-CRP-ZP-2012/11

ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH CILJNEGA RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	V2-1095	
Naslov projekta	Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov	
Vodja projekta	24314 Tomaž Žagar	
Naziv težišča v okviru CRP	5	Težišče 5: Povezovanje ukrepov za doseganje trajnostnega razvoja.
Obseg raziskovalnih ur	864	
Cenovni razred	B	
Trajanje projekta	10.2010 - 03.2012	
Nosilna raziskovalna organizacija	246	Geodetski inštitut Slovenije
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	618	Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti
	792	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
	1945	DFG CONSULTING informacijski sistemi, d.o.o.
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2	TEHNIKA
	2.17	Geodezija
Družbeno-ekonomski cilj	01.	Raziskovanje in izkoriščanje zemlje

2. Raziskovalno področje po šifrantu FOS¹

Šifra	2.07	
- Veda	2	Tehniške in tehnološke vede
- Področje	2.07	Okoljsko inženirstvo

3. Sofinancerji²

	Sofinancerji	
1.	Naziv	Geodetska uprava RS
	Naslov	Zemljemerska ul. 12, 1000 Ljubljana

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

4. Povzetek projekta³

SLO

Optimalni postopki vzdrževanja topografskih podatkov uporabljajo več izvornih podatkov (fotogrametrično aerosnemanje, aero-lasersko skeniranje, multispektralno satelitsko snemanje in radarsko snemanje) in vrsto samodejnih ter polsamodejnih postopkov prepoznavanja in zajemanja topografskih podatkov. Namen preučevanja omenjenih tehnologij in postopkov je v izboljšanju vzdrževanja topografskih zbirk za različna merila s poudarkom na državni topografski zbirki v merilu 1 : 5.000 (DTK5), ki jih vodi Geodetska uprava Republike Slovenije (GURS).

Projekt smo izvajali v 4 fazah in sicer:

1. FAZA: Analiza tehnologij in podatkovnih virov,
2. FAZA: Zasnova samodejnih in polsamodejnih postopkov za zajemanje, razpoznavanje in vzdrževanje topografskih objektnih razredov in objektnih tipov,
3. FAZA: Testiranje in implementacija postopkov za zajemanje, razpoznavanje in vzdrževanje,
4. FAZA: Izdelava priporočil za uvajanje novih postopkov, tehnologij in podatkov.

V 1. fazi smo za vse 4 tehnologije zajema podatkov daljinskega zaznavanja opisali in razložili njihove lastnosti. Opisali smo načine zajema podatkov ter uporabnost tehnologij za zaznavanje sprememb in vzdrževanje topografskih podatkov. Osredotočili smo se na naslednje topografske objektno tipe: relief, hidrografija, vegetacija, ceste in stavbe.

V 2. fazi smo najprej opisali obstoječe stanje vzdrževanja topografskih kart ter izbrane tuje izkušnje. V nadaljevanju smo posamezno tehnologijo in njihove postopke finančno ovrednotili in jih medsebojno primerjali. Ocenili smo stroške vzpostavitve in vzdrževanja posameznih topografskih zbirk in sicer za merila 1 : 5.000, 1 : 25.000 in 1 : 50.000. Nastavljene so bile tudi konkretne izvedbene naloge za naslednjo fazo.

V 3. fazi smo si partnerji razdelili naloge testiranja in implementacije postopkov zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja topografskih podatkov glede na izbrane objektno tipe. Vsak partner je izbral 2 ali 3 objektno tipe in jih je s samodejnimi ali polsamodejnimi postopki prepoznaval in izločal iz podatkov daljinskega zaznavanja. Ob tem je uporabil vsaj dve od treh tipov izvornih podatkov. Radarski posnetki so bili zaradi manj primernih lastnosti za prepoznavanje topografskih objektov izločeni.

V 4. fazi smo ovrednotili in klasificirali postopke za prepoznavanje in izločanje topografskih podatkov. Izdelali smo priporočila za uvajanje tehnologij in podatkovnih virov v standardne postopke vzdrževanja državnih topografskih podatkov in v distribucijski sistem GURS. Zaključili smo s predlogom nadaljnjih smernic sistema vzdrževanja topografskih zbirk na državnem nivoju.

Raziskave so pokazale, da je vsak topografski objektni tip mogoče zajeti na več različnih načinov, uspešnosti zajema pa ni mogoče predvideti vnaprej. Ta je v veliki meri odvisna od lastnosti uporabljenih podatkov in uporabljene metodologije obdelave. Sodelovanje partnerjev s širokim naborem izkušenj je omogočilo oblikovanje smernic za vzdrževanje državnega sistema topografskih zbirk.

ANG

Optimal procedures for updating of topographic data use data from more sources (photogrammetric aerial-survey imagery, data from aerial laser scanning, multispectral satellite imagery and radar data) and automatic, semiautomatic procedures for topographic object recognition and data collection. The purpose of studying mentioned procedures is to improve updating topographic databases for different scales with emphasis at the 1 : 5.000 scale (DTK5) which is managed by Survey Mapping Authority of Republic of Slovenia (SMARS).

The project was conducted in 4 steps:

Stage 1: Analysis of technology and data source

Stage 2: Design of automatic and semiautomatic procedures for collection, recognition and updating of topographic feature classes and types,
Stage 3: Testing and implementing procedures for data collection, object recognition and updating,
Stage 4: Recommendation of new procedures, technologies and data

In Stage 1 all 4 technologies of remote sensing data collection were described and their features were explained. Explained were data collection procedures, use of technologies for change detection and topographic data updating. Focus was on the following object types: relief, hydrology, vegetation, roads and buildings.

In Stage 2 we first described existing situation in topographic map updating in Slovenia and some foreign experiences. Then we elaborated each of mentioned technologies and costs of processes, so technologies can be compared. So we estimated costs for building and updating topographic database at the 1 : 5.000, 1 : 25.000, 1 : 50.000 scales. The tasks for Stage 3 were set up.

In Stage 3 task of testing and implementation of data collection procedures, object recognition and topographic map updating according to the chosen object types. Each partner selected 2 or 3 object types and by use of automatic and semiautomatic procedures and by object recognition procedures collected them from remote sensing data. Within the process at least two out of three data types (aerial and satellite imagery and laser scanning data) were tested. Radar data was eliminated as a source due to features which are not very appropriate for recognition of topographic objects.

In Stage 4 the procedures for topographic object recognition and data collection were evaluated and classified. Recommendations for implementing new technologies and data into standard procedures for updating of topographic databases within distribution system of SMARS have been made. At the end suggestions for updating topographic databases at national level have been proposed.

The research demonstrates that each topographic object type can be collected in different ways, while success can not be foreseen. Success greatly depends on used data and methods. Cooperation with all partners with all their experience was required to issue guidelines for updating topographic databases on the national level.

5. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu⁴

Hipoteza raziskovalne naloge je bila, da so optimalni postopki samodejnega zajemanja, prepoznavanja in vzdrževanja topografskih podatkov glede na kakovost in ceno tehnologij izvedljivi le s kombinacijo metod daljinskega zaznavanja, tj. z digitalno aerofotogrametrijo, multispektralnim satelitskim snemanjem, laserskim skeniranjem in radarskim snemanjem.

Raziskovalni projekt obsega dva sklopa od katerih vsak vsebuje dve fazi izvedbe:
V prvem sklopu smo proučili različne sodobne vire daljinskega zaznavanja, ki jih lahko uporabimo za zajem in vzdrževanje državnih topografskih podatkov.

V 1. fazi smo analizirali posamezne tehnologije zajema izvornih podatkov, njihove lastnosti z opisom opreme in postopkov obdelave podatkov ter stanje uporabe te tehnologije v Sloveniji. V nadaljevanju je bilo za vsako tehnologijo posebej opisan način zajema, zaznavanje sprememb in vzdrževanja topografskih podatkov. Sledil je opis prepoznavanja 5 osnovnih objektnih področij: relief, hidrografija, vegetacija, ceste in stavbe.

V 2. fazi smo najprej opisali stanje topografskih zbirk v Sloveniji glede na tri osnovna merila (1 : 5.000, 1 : 25.000 in 1 : 50.000) oz. primerljive stopnje podrobnosti ter izbrane tuje izkušnje vzdrževanja topografskih zbirk na državni ali regionalni ravni (Finska, Velika Britanija, Švica, Norveška). V nadaljevanju smo podrobneje opisali zasnovo samodejnih in polsamodejnih postopkov za zajemanje, razpoznavanje in vzdrževanje topografskih objektnih razredov in naredili stroškovno oceno zajema, dodelave ter georeferenciranja izvornih podatkov.

V drugem sklopu smo se osredotočili na postopke zajema, prepoznavanja in vzdrževanja topografskih podatkov iz sodobnih virov daljinskega zaznavanja ter raziskali možnosti implementacije različnih samodejnih oziroma polsamodejnih postopkov.

V 3. fazi smo testirali in implementirali postopke za zajem, razpoznavanje in vzdrževanje topografskih zbirk glede na posamezne objektne tipe in v različnih kombinacijah izvornih podatkov daljinskega zaznavanja.

V 4. fazi smo najprej ovrednotili in razvrščali tehnologije zajema izvornih podatkov in nove samodejne in polsamodejne postopke prepoznavanja in izločanja izbranih objektnih tipov. Sledila je izdelava priporočil za uvajanje novih tehnologij in podatkovnih virov v standardne postopke vzdrževanja državnih topografskih podatkov in v distribucijski sistem Geodetske uprave RS. Na koncu smo podali smernice za vzdrževanje topografskih zbirk na državnem nivoju.

Opis raziskovanja:

V raziskavi smo uporabili podatke, ki izhajajo iz operativno že uveljavljenih tehnologij zajema topografskih podatkov v svetu, in sicer podatke pridobljene z najsodobnejšimi satelitskimi sistemi, fotogrametričnem aerosnemanjem in lidarskem snemanjem. Izdelana je bila študija ponudbe dostopnih virov in njihovih karakteristik ter raziskane možnosti njihove implementacije pri zajemu in posodabljanju topografskih podatkov.

Študija se je izvedla z analizo aero-fotogrametričnih in VHR (Very High Resolution) satelitskih posnetkov, ki v pankromatskem in multispektralnih kanalih vsebujejo spektralne informacije o topografskih elementih na Zemljinem površju. Poleg aero in satelitskih posnetkov so bili v raziskavo vključeni tudi podatki laserskega skeniranja (lidarskega snemanja) v izvorni in v obdelani obliki. Radarski posnetki so bili zaradi manj ustreznih lastnosti za prepoznavanje topografskih objektov izločeni iz nadaljnje obravnave v 2. fazi projekta.

Analizirane so bile možnosti uporabe kombiniranih metod digitalne aerofotogrametrije skupaj s podatki satelitskih in lidarskih snemanj za izbiro optimalnih metod vzdrževanja topografskih podatkov. Primerno kombiniranje virov daljinskega zaznavanja ter delna avtomatizacija procesov prispevajo k boljši ekonomičnosti in objektivnosti postopkov zajema in vzdrževanja topografskih podatkov. V ta namen se je preučil tudi ekonomski vidik pridobivanja in uporabe podatkov iz navedenih virov daljinskega zaznavanja in stopnja objektivnosti postopkov njihove obdelave.

Na osnovi opravljenih raziskav in njihovih rezultatov smo izdelali priporočila za izbor optimalnih metod in tehnologij za zaznavanje topografskih objektov, pojavov in njihovih sprememb iz kombinacije navedenih virov daljinskega zaznavanja. Ker nekatere od teh virov Geodetska uprava RS še ne hrani, oziroma podatki niso na razpolago za celo državo, so bila izdelana priporočila za uvedbo novih virov in tehnologij v standardne postopke vzdrževanja državnih topografskih podatkov in v distribucijski sistem prostorskih podatkov Geodetske uprave RS.

Ključne ugotovitve in znanstvena spoznanja

Vse zbirke, ki vsebujejo prostorske podatke, potrebujejo za podlago topografijo zaradi lažje orientacije v prostoru in razumevanja konteksta obravnavane vsebine. Večina topografskih podatkov je tudi neposredno uporabna za izvajanje prostorskih analiz in vodenje državnih evidenc.

Prostorske analize in njihovi pregledi se izvajajo na različnih nivojih podrobnosti in tako se uporabljajo tudi različna merila topografskih podlag oz. kart. V tej nalogi smo se osredotočili predvsem na večja merila (1 : 5.000) topografskih kart oz. zbirk, čeprav smo v prvih dveh fazah projekta obravnavali tudi merili 1 : 25.000 in 1 : 50.000. Državna topografska zbirka v podrobnosti merila 1 : 5.000 je vzpostavljena le za 60% države, njeno polnjenje in vzdrževanje pa se izvaja zelo počasi.

Eden od zelo verjetnih vzrokov za počasno polnjenje in vzdrževanje je uporaba ortofota (GSD = 0,5 m) ali stereoposnetkov, ki se izdelujejo v okviru projekta CAS, za ločeno vzdrževanje različnih sektorskih zbirk (dejanska raba tal, kataster stavb, zbirka cest, zbirka hidrografije, GJI, itn.), medtem, ko se topografske zbirke (kot npr. DTK5) slabo vzdržujejo. Ločeno vzdrževanje

sektorskih zbirk pomeni več različnih interpretacij istih podatkov, kjer različni operaterji opazujejo in prepoznavajo objekte iz istih ortofotov ali stereomodelov z namenom izločanja različnih vsebin neodvisno drug od drugega. Časovno najbolj potratna faza pri vzdrževanju prostorskih zbirk podatkov z metodami daljinskega zaznavanja je prav vizualna interpretacija ortofotov oz. stereoposnetkov.

Rezultati in učinki raziskovalnega projekta

V okviru raziskav smo potrdili, da uporaba samodejnih in polsamodejnih procesov prepoznavanja sprememb in zajema topografskih podatkov omogoča pospešeno polnjenje in vzdrževanje topografskih zbirk in iz njih izdelanih kart. Medtem, ko je za ročno interpretacijo in izločanje topografskih objektov dovolj uporaba enega izvornega podatka, so samodejni postopki uspešnejši ob uporabi dveh ali več izvornih podatkov.

V nalogi smo obravnavali tri tehnologije zajema izvornih podatkov in sicer: aerosnemanje, satelitsko snemanje in aero-lasersko skeniranje. Vsi testi so bili opravljeni s kombinacijo podatkov teh treh tehnologij oz. njihovimi derivati:

- aerosnemanje: stereoposnetki, DMR in DMP z uporabo slikovnega ujemanja, ortofoto,
- satelitsko snemanje: stereoposnetki, DMR in DMP z uporabo slikovnega ujemanja, ortofoto,
- aero-lasersko skeniranje: georeferencirn oblak točk, slike intenzitet, DMP in DMR s klasifikacijo, podobe analitičnega senčenja.

Poleg tehničnega vidika uporabe več izvornih podatkov pa smo analizirali tudi strošek nakupa teh podatkov in ugotovili, da bi bila v tem času in v bližnji prihodnosti za pridobivanje izvornih podatkov najboljša kombinacija dveh tipov tehnologij, in sicer za pridobivanje izvornih podatkov in sicer: aerosnemanje in aero-lasersko skeniranje.

Nadalje smo ugotovili, da bi samodejne postopke prepoznavanja in zajemanja topografskih objektov, primerljive s temi, ki smo jih analizirali v projektu, lahko uporabili (implementirali) za polnjenje praznih listov DTK5 z geometričnimi podatki in za iskanje sprememb v obstoječih topografskih zbirkah.

Uporabnost raziskovalnega projekta in sodelovanje med partnerji

Vektorski zapis topografskih objektov omogoča izvajanje prostorskih oz. GIS analiz. Nasprotno pa je z ortofotom, ki je prevladujoč izdelek v uporabi v Sloveniji. GIS analize je zaradi rastrske vsebine mogoče izvajati le v omejenem obsegu. Postopki, ki smo jih preizkusili v projektu ponujajo zapis rezultatov v obeh zapisih (rastrsko in vektorsko). Večkratna fotointerpretacija ortofota različnih bolj ali manj večjih sektorskih izvajalcev ter različnih navodil za izločanje istih objektov privede do nekompatibilnosti podatkov, ko se ti medsebojno primerjajo. Z upoštevanjem rezultatov raziskovalne naloge v smislu vzdrževanja sektorskih zbirk na enem mestu bi zmanjšali stroške in povečali kakovost topografskih zbirk.

Dokončanje topografske zbirke DTK5 (manjka jo še cca. 40%) ter njeno sistemsko vzdrževanje bi prihranilo državi znatna sredstva, če bi v okviru tega vzdrževanja izvajali tudi vzdrževanja sektorskih zbirk.

Za dokončanje in sistematsko vzdrževanje DTK5 so postopki prepoznavanja in zajemanja topografskih objektov iz kombinacije izvornih podatkov daljinskega zaznavanja z uporabo v tej nalogi izbranih tehnologij aerosnemanja in laserskega skeniranja neposredno uporabni.

Sodelovanje med partnerji na projektu je še poglobilo delo raziskovalcev, ki so že prej sodelovali. Razvoj samodejnih in polsamodejnih postopkov je eno najintenzivnejših področij razvoja v svetu v zadnjih 25 letih na področju fotogrametrije in daljinskega zaznavanja. Postopki v popolnoma samodejnem načinu še ne dajo optimalnih rezultatov v smislu zelene končne natančnosti, zato pričakujemo, da se bo to področje intenzivno razvijalo tudi v prihodnosti. Zaradi kompleksnosti postopkov, si znanstveniki na sorodnih univerzah (običajno znotraj ene države) naloge delijo glede na različne topografske objektne tipe, kar smo naredili tudi v okviru te naloge.

6. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem in zastavljenih raziskovalnih ciljev⁵

Izvorni podatki za vzdrževanje topografskih zbirk izhajajo iz tehnologij aerosnemanja, satelitskega snemanja in laserskega skeniranja. Tehnično optimalno bi bilo uporabiti vse tri omenjene izvorne podatke pri vzdrževanju topografskih zbirk s samodejnimi in pilsamodejnimi postopki.

Aero in satelitski posnetki so si po vsebini podobni na območju vidnega in bližnjega infrardečega dela elektromagnetnega spektra. Prostorska ločljivost satelitski posnetkov je za polovico ali več slabša od aeroposnetkov, tudi natančnost absolutne orientacije je slabša, imajo pa nekateri satelitski senzorji (npr. WorldView-2) boljšo radiometrično ločljivost, ki pomaga pri prepoznavanju nekaterih topografskih objektov, vendar ne toliko, da bi opravičevalo dodaten nakup teh satelitskih posnetkov poleg aeroposnetkov. Lasersko skeniranje je edina tehnologija, ki omogoča zajem podatkov pod drevesnimi krošnjami z boljšo višinsko natančnostjo kot aero ali satelitski posnetki in tako odlično dopolnjuje podatke, ki jih registrirajo pasivni optični senzorji.

V okviru ciljev razvojne naloge smo preučili dostopnost virov daljinskega zaznavanja za potrebe zajema in vzdrževanja državnih topografskih podatkov. Ciklično aerofotografiranje Slovenije (CAS) je utečen način pridobivanja izvornih podatkov daljinskega zaznavanja, ki je omogočal osnovni zajem topografskih podatkov in njihovo vzdrževanja v zadnjih treh desetletjih. S prehodom iz filma na digitalno aerosnemanje v letu 2006 je Geodetska uprava RS sledila trendom razvoja daljinskega zaznavanja. Predlagano je, da so aeroposnetki osnovni izvorni podatek tudi za nadaljnje vzdrževanje topografskih zbirk., smiselno pa je nadgraditi obstoječe postopke (to je vizualna interpretacija) prepoznavanja topografskih objektov v sodobnejše in samodejnejše, objektno usmerjene postopke analize slik.

Kombinacija aerosnemanja in laserskega skeniranja je predlagana tehnologija zajema izvornih podatkov za namen vzdrževanja topografskih zbirk in je optimalna glede tehničnih in ekonomskih kazalcev. Ta kombinacija izvornih podatkov bo še bolj upravičena, ko bo cena tehnologije toliko padla, da bo mogoče ekonomično izvajati oba zajema podatkov istočasno za velika območja (t.j. države), kar pričakujemo, da se bo zgodilo v bližnji prihodnosti. Do takrat se zajem lahko izvaja ločeno.

Kombinacija navedenih izvornih podatkov omogoča tudi nadaljnje razvijanje postopkov samodejnega in pilsamodejnega odkrivanja topografskih sprememb ter vzdrževanje topografskih zbirk.

Priporočamo tudi uvajanje samodejnih in pilsamodejnih postopkov v proces vzdrževanja topografskih zbirk. In sicer samodejne postopke za izločanje topografskih objektov postopke bolj za polnjenje praznih listov DTK5 in pilsamodejne postopke za vzdrževanje DTK5.

7. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁵

Program raziskovalnega projekta in sestava projektne skupine se nista spreminjala.

8. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine²

Znanstveni dosežek		
1.	COBISS ID	5364577
		Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Samodejen zajem in iskanje sprememb v topografskem sloju stavb iz digitalnega modela površja in multispektralnega ortofota
		ANG Automatic extraction and building change detection from digital surface model and multispectral orthophoto
		V nalogi CRP je predvidena uporaba podatkov daljinskega zaznavanja in avtomatsko izločanje stavb. Vzdrževanje podatkov v topografskih bazah je ena od pomembnejših nalog organizacij, ki te podatkovne zbirke vodijo. V članku sta opisani metoda za samodejen zajem stavb iz digitalnega modela površja in multispektralnega

Opis	SLO	ortofota ter uporaba rezultatov zajema za samodejno iskanje sprememb v topografskih zbirkah, v katerih se vodijo podatki o stavbah. Rezultate samodejnega zajema stavb smo primerjali s katastrom stavb in dejanskim stanjem na terenu. S samodejnim postopkom smo našli 94% vseh stavb na območju in ocenili, da je opisana metoda primerna za zajem podatkov o stavbah za topografske baze v merilih 1 : 10.000 in manj. Rezultat samodejnega iskanja sprememb (popolnost 94% in pravilnost 78 %) kaže, da je opisana metoda primerna za iskanje sprememb med podatki o stavbah.	
	ANG	In the goal of the CRP is foreseen use of remote sensing data and automatic building extraction. The update of topographic databases is an important task for organizations that maintain them. The article describes a method for automatic building extraction from digital surface model and multispectral orthophoto and the use of extraction results for the building change detection in the topographic database. The results of the automatic building extraction were compared to the building cadastre and the actual situation on the ground. The automatic method detected 94% of all buildings in the area. We concluded that the described method is appropriate for capturing of the building data for the topographic database in scales 1 : 10.000 and smaller. Automatic change detection results (completeness 94% and correctness 78%) indicate that the described method is appropriate for building change detection.	
	Objavljeno v	Zveza geodetov Slovenije; Geodetski vestnik; 2011; Letn. 55, št. 1; str. 28-45; Impact Factor: 0.215; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.24; WoS: KU; Avtorji / Authors: Grigillo Dejan, Kosmatin Fras Mojca, Petrovič Dušan	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	5728097	Vir: COBISS.SI
Opis	Naslov	SLO	Avtomatsko izločanje stavb iz posnetkov ikonon na podeželju
		ANG	Automated building extraction from IKONOS images in suburban areas
		SLO	Avtomatsko izločanje stavb iz satelitskih posnetkov in drugih podatkov daljinskega zaznavanje je eden od ciljev CRP. Vodilo članka je avtomatsko izločanje stavb iz stereo posnetkov IKONOS v ruralnih območjih. Za generiranje digitalnega modela površja (DMP) in digitalnega modela višin je bila uporabljena avtomatska metoda slikovnega ujemanja. Izdelano so bili ortofoti posameznih spektralnih kanalov. Izhodiščna maska stavb je bila izračunana iz normaliziranega digitalnega modela površja (nDMP). Za odstranitev vegetacije in prometnih površin sta bila uporabljena normalizirana razlika vegetacijskega indeksa in cest, ki so bile v obstoječi topografski zbirki. Maska stavb je bila izboljšana z lasno kombinacijo metod, ki temeljijo na uporabi nelinearnega razpršenega filtriranja, nenadzorovane klasifikacije, barvne segmentacije in rasti območja. Primerjava z referenčnim stanjem katastru stavb je z uporabo predlaganega postopka pokazala 83% uspešnost prepoznavanja stavb na testnem območju in 49% kakovost.
	ANG	Automated building extraction from satellite imagery and other remote sensing data is one of goals of CRP. The article addresses automatic building extraction from stereo IKONOS images in suburban areas. Automatic methods of image matching were used to generate a digital surface model (DSM) and a digital elevation model. The orthophotos of individual bands were created. The initial building mask was generated from the calculated normalized DSM (nDSM). The calculated normalized difference vegetation index and the road data extracted from the existing topographical database were used to remove vegetation and traffic surfaces. The mask was further improved with our	

		own combination of methods based on non-linear diffusion filtering, unsupervised classification, colour segmentation and region growing. Compared with a reference building database, 83% of the buildings in the test area were detected using the proposed approach with a quality of 49%.
	Objavljeno v	Taylor & Francis; International journal of remote sensing; 2012; Letn. 33, št. 16; str. 5149-5170; Impact Factor: 1.182; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.256; A': 1; WoS: SR, UE; Avtorji / Authors: Grigillo Dejan, Kosmatin Fras Mojca, Petrovič Dušan
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	5488481 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Uporaba zračnega laserskega skeniranja za vzdrževanje topografskih kart hribovitih in gorskih območji <i>ANG</i> Use of airborne laser scanning data for updating topographic maps in hilly and mountain areas
	Opis	<i>SLO</i> Kako vzdrževati topografske zbirke s podatki daljinskega zaznavanja je eno od ključnih vprašanj CRP. Slovenija ima veliko težav pri vzdrževanju topografskih podatkov za različna merila. Največje merilo topografskih kart, ki se redno vzdržujejo na nacionalnem nivoju, je 1: 50.000, ki pa ne vsebuje podrobnosti v gozdovih. Večja merila topografskih kart in topografskih zbirk so zajeta le delno in nimajo striktnega načrta vzdrževanja. Zračno lasersko skeniranje (ZLS) ponuja enega od najbolj obetajočih izvornih podatkov za pridobitev prostorskih informacij. Nekatere metode in postopki se že učinkovito uporabljajo v urbanem okolju in gozdovih, medtem ko se redkeje uporabljajo za zajem topografskih objektov. Opravljeno je bilo nekaj testov uporabe podatkov ZLS za vzdrževanje topografskih zbirk. Glede na analize in teste so bila izdelana pravila za poskus delnega avtomatiziranja procesov prepoznavanja objektov za namen vzdrževanja topografskih kart. <i>ANG</i> Slovenia has a crucial problem of regular updating of topographic data at different levels. The largest scale map which is regularly updated is National topographic map at the scale 1: 50,000, but without any detailed data capture in wooded areas. Larger scale topographic maps and basic topographic database were captured only partly and they have no strict updating program. On the other hand the airborne laser scanning data became one of the most promising source data for deriving different spatial data. Some methods and procedures are already efficiently used in urban environment and forestry, while use for deriving topographic features is still rare. Therefore some tests about possible use of ASL data for updating topographic data were made. As a study area part of Sava valley near the Jesenice with neighboring slopes was used. According to analyses and tests some rules which can be followed in attempt to partly automate the procedure of recognising specific features for updating topographic maps were extracted.
	Objavljeno v	ICC; Proceedings of the 25th International Cartographic Conference; 2011; Str. 1-7; Avtorji / Authors: Petrovič Dušan, Podobnikar Tomaž
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci

9. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine⁸

	Družbenoekonomsko relevantni dosežki	
1.	COBISS ID	2303844 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i> Uporaba satelitskega daljinskega zaznavanja za napovedovanje in

		opazovanje poplav
	ANG	Use of remote sensing for prediction and observation of floodes
Opis	SLO	Z razumevanjem različnih tehnologij daljinskega zaznavanje je mogoče izbrati ustrezne podatke za vzdrževanje topografskih kart. V prispevku je opisana uporaba daljinskega zaznavanja pri napovedovanju vremena in opazovanju poplav. Slovenijo so med 17. in 19. septembrom 2010 zajele obilne padavine. Padavine so bili tako količinsko kot krajevno zelo dobro napovedane, povzročile pa so obilne poplave v različnih delih države. Z radarskimi posnetki lahko v skoraj realnem času dobimo zelo dober vpogled v stanje v naravnem okolju in na širšem območju, ne moremo pa zaznavati poplav v naseljih. S prispevkom želimo odpreti razpravo o uporabnosti podatkov daljinskega zaznavanja in hitrega kartiranja za različne uporabnike, upoštevaje smeri razvoja vesoljske tehnologije v Sloveniji.
	ANG	By understanding of different technologies of remote sensing is possible to choose proper data for updating of topographic maps. Described is use of remote sensing for weather forecast and observation of floods. Between 17th and 19th of September 2010 was in Slovenia heavy rain. The rain was well predicted in quantity and in location but was so intensive that floods appear in different areas of the country. With radar imagery is possible to get good overview of situation in a wider natural environment but is not possible to detect floods in urban areas. With the article we want to open discussion about usefulness of remote sensing data and fast mapping for different users in consideration of development Slovenian space technology.
Šifra	B.06	Drugo
Objavljeno v	Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo; Raziskave s področja geodezije in geofizike 2010; 2011; Str. 87-89; Avtorji / Authors: Oštir Krištof, Kokalj Žiga, Veljanovski Tatjana, Rakovec Jože, Žagar Nedjeljka	
Tipologija	1.09 Objavljeni strokovni prispevek na konferenci	
2. COBISS ID	5463905	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Kaj pa topografija? Stanje in kakovost topografskih podatkov v Sloveniji
	ANG	What about topography? Status and quality of topographic data in Slovenia.
Opis	SLO	Kakšne je obstoječe stanje topografskih zbirk je pomembno vprašanje v okviru CRP. V zadnjem desetletju pa se je vlaganje v topografske podatke v Sloveniji zelo omejilo, zato danes nikakor več ne moremo biti zadovoljni z njihovim stanjem. V prispevku pregledno predstavljamo stanje topografskih podatkov v Sloveniji, analiziramo njihovo kakovost in ustreznost za potencialne in dejanske uporabnike. Posvetimo se izvornim posnetkom stanja, kot je Ciklično aerofotografiranje Slovenije (CAS), in iz njega izvedenemu proizvodu, ortofotu. Kakovost ortofota je precej odvisna od kakovosti modela reliefa. Topografski podatki so vodeni posamično v sklopu posameznih vsebinskih baz ter združeno v topografskih bazah in kartah različnih ravni podrobnosti. Analizirano stanje primerjamo s stanjem v nekaterih sosednjih ali primerljivih državah.
	ANG	What kind of status of topographic databases exists is also an important question to answer in CRP. Financing of topographic data in Slovenia has significantly decreased over the previous decade. As a result, the present status is far from acceptable or expected. The current status of the topographic data, as well as its quality and usability for potential users is discussed in this article. The overview starts with basic source data, aerial surveys, photographs and orthophotos. The quality of orthophotos largely depends on the DTM quality. Topographic data is nowadays organised in thematic datasets

		(geographical names, building cadastre, etc.) or joined in datasets of different levels of accuracy and details. The status in Slovenia is compared to those in some neighbouring and other comparable countries.
Šifra	B.06	Drugo
Objavljeno v	Zveza geodetov Slovenije; 40. geodetski dan, 6. in 7. maj 2011, Grand hotel Primus, Ptuj; Geodetski vestnik; 2011; Letn. 55, št. 2; str. 304-318; Impact Factor: 0.215; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.24; WoS: KU; Avtorji / Authors: Petrovič Dušan, Podobnikar Tomaž, Grigillo Dejan, Kozmus Klemen, Vrečko Anja, Urbančič Tilen, Kosmatin Fras Mojca	
Tipologija	1.09	Objavljeni strokovni prispevek na konferenci
3. COBISS ID	5489249	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Nove metode za obdelavo podatkov letalskega laserskega skenerja za monitoring gozdnih ekosistemov
	ANG	New methods of processing aerial laser scanner data for forest ecosystem monitoring
Opis	SLO	LIDAR je hitro razvijajoča se tehnologija daljinskega zaznavanja z veliko možnosti uporabe pri vzdrževanju topografskih zbirk. Naloga je sestavljena iz dveh sklopov. V prvem sklopu smo razvili novo metodo izdelave lidarskega DMR, v drugem pa smo lidarske vertikalne profile vegetacij uporabili za modelno napovedovanje deležev drevesnih vrst v gozdu in svetlobnih lastnosti gozda. Obstoječi algoritmi za izračun DMR iz lidarskih podatkov imajo v strmem gozdnatem reliefu težave z razlikovanjem talnih odbojev od vegetacije, saj ima v strmem reliefu lokalna okolica v oblaku podobne značilnosti kot vegetacija. V prvem sklopu naloge smo razvili novo metodo izdelave DMR, imenovano REIN, posebej namenjeno uporabi v strmem gozdnatem reliefu. V drugem sklopu naloge smo lidarske vertikalne profile vegetacije, izračunane iz podatkov diskretnega lidarja majhnega odtisa, uporabili za modelno napovedovanje deležev drevesnih vrst v gozdu in svetlobnih lastnosti gozda.
	ANG	LIDAR is fast developing technology in remote sensing and very good potential for topographic map updating. The thesis is composed of two parts. In the first part we developed a new method for lidar DTM generation. In the second part we used vertical lidar profiles for model-based prediction of the percentages of individual tree species in the forest and to predict different light properties of the forest. In steep forested relief, the existing algorithms for computing DTM from the lidar data have problems to distinguish between the ground returns and the vegetation returns, because on the steep slopes the local cloud neighborhood has properties similar to the vegetation. In the first part of the thesis we introduced a new method of DTM computation from the lidar data, called REIN, which is especially adapted to the steep forested topography. In the second part of the thesis we used vertical vegetation profiles, computed from the small-footprint discrete lidar data, to predict the percentages of individual tree species in the forest and to predict different light properties of the forest.
Šifra	D.09	Mentorstvo doktorandom
Objavljeno v	[A. Kobler]; 2011; XVIII, 131 str.; Avtorji / Authors: Kobler Andrej	
Tipologija	2.08	Doktorska disertacija

10. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁹

Vloga empiričnega znanja o lastnostih objektno usmerjene obdelave na daljinsko zaznanih podatkih in stopnje njihove samodejnosti sta bili obravnavani na več vabljenih srečanjih o

poplavni ogroženosti Slovenije in na mednarodnih konferencah. Uspešna implementacija postopkov in podatkov, ki so bili uporabljeni na primeru poplav in smo jih nadgrajevali tudi v okviru tega projekta, dodatno potrjuje, da je z razumevanjem različnih tehnologij daljinskega zaznavanje mogoče izbrati ustrezne podatke in postopke tudi za vzdrževanje topografskih kart.

So-organizacija delavnice »Zajem, obdelava in uporaba podatkov o okolju in prostoru: GEO, GMES in nacionalne aktivnosti v Sloveniji«, 16.2.2012, Rektorski center Podgorica. Predavanja vabljenih domačih in tujih predavateljev, okrogla miza z vabljenimi gosti in diskusija z udeleženci. V pestrem vsebinskem programu so bile predstavljeni številni načini in viri za zajem podatkov, v diskusiji je bila izpostavljena potreba po kakovostnih in ažurnih podatkih. Projekt CRP (Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov) v tem smislu predlaga sodobne pristope za kombiniranje in avtomatizacijo metod ter njihovo implementacijo v slovenskem prostoru.

11. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine¹⁰

11.1. Pomen za razvoj znanosti¹¹

SLO

Tehnologije daljinskega zaznavanja se v svetu na področju aerosnemanja, satelitskega snemanja in laserskega snemanja razvijajo v smeri večanja prostorske in radiometrične ločljivosti, natančnejšega neposrednega georeferenciranja, ekonomičnosti zajemanja podatkov in istočasne uporabe različnih senzorjev.

Kombiniranje podatkov iz različnih senzorjev za potrebe samodejnih in polsamodejnih postopkov se je za nekatera ožja področja že uveljavilo, medtem ko je za potrebe izločanja topografskih objektov pri vzdrževanju topografskih zbirk le delno uspešno. Težava pri uporabi samodejnih in polsamodejnih postopkov za vzdrževanje topografskih zbirk je v obdelavi več različnih tipov objektov, ki jih je potrebno prepoznati in zajeti. Za vsakega od objektnih tipov vodimo v topografskih zbirkah tudi različne attribute, ki jih je s samodejnimi postopki težko ali celo nemogoče interpretirati.

Največji prihranek časa s samodejnimi in polsamodejnimi postopki se doseže pri polnjenju topografskih zbirk z geometričnimi podatki o objektih in iskanju sprememb za njeno vzdrževanje. Pri polnjenju zbirk je smiselno skozi samodejne postopke zajeti čimveč geometrije topografskih objektov, pri iskanju sprememb pa primerjati obstoječo zbirko z novimi izvornimi podatki ter najti razlike, ki pomenijo dejanske spremembe topografskega objekta.

V projektu so bili testirani postopki, ki so doprinesli nove izkušnje o uporabi kombinacije izvornih podatkov. Še zlasti obetavna kombinacija z vidika vzdrževanja topografskih zbirk pa je kombinacija aerosnemanja in laserskega skeniranja ter samodejnih postopkov izločanja osnovnih objektnih tipov.

Rezultat razvojne naloge je pripomogel k uspešnemu zaključevanju učnih procesov nekaterih vpletenih raziskovalcev in k spodbujanju novih razvojnih nalog na tem področju.

Opravljenе raziskave so pomemben prispevek k mednarodnim raziskovalnim dejavnostim ter razpravam na temo vrednotenja izdelkov zračnih in satelitskih posnetkov ter podatkov laserskega skeniranja ob upoštevanju različnih naravnih in tehnoloških okoliščin in kot sodoben vir za pridobivanje topografskih podatkov in vzdrževanje topografskih zbirk.

ANG

Remote sensing technology in the field of aerial-survey, satellite imagery and laser scanning is developing toward better space and radiometric resolution, more accurate direct georeferencing, economical data collection and simultaneous use of different sensors.

Combining data from different sensors for automatic and semiautomatic procedures won recognition in some areas, while for extraction of topographic data it was only partly successful. The problem of using automatic and semiautomatic procedures for updating topographic databases is in a large number of object types which need to be recognized and collected. Each data object in a topographic database also consists of several attributes which are difficult or

even impossible to interpret by automatic procedures.

Main time saving with automatic and semiautomatic procedures is achieved by initial collection of geometric data into a topographic database and the use of change detection for updating. In initial data collection by automatic procedures is important to get geometric data as much as possible. During change detection one needs to compare existing database with new data and find differences showing real changes of topographic objects.

In the project some procedures have been tested, which brought new experience about using combination of data from different sensors. Most promising combination for updating topographic databases was combining aerial-imagery and laser scanning data with automatic extraction of basic object types.

Results of the research project contribute to successful completion of learning processes for some of involved researches and stimulate new research tasks in this area.

Completed research tasks are important for international development activities and discussions about assessment of product from aerial-survey, satellite images and laser scanning, when considering different natural and technical conditions as state-of-the-art source for collecting topographic data and maintain topographic databases.

11.2. Pomen za razvoj Slovenije¹²

SLO

Državna topografska zbirka v podrobnosti merila 1 : 5.000 (DTK5) je zapolnjena le v 60%. Vzdrževanje obstoječih listov DTK5 se izvaja zelo počasi. Državna topografska zbirka ravni 1 : 25.000 se je nehala vzdrževati in tako je država v celoti pokrita s topografsko zbirko le v merilu 1 : 50.000. Izvaja se neodvisno vzdrževanje sektorskih zbirk, kar običajno povzroči njihovo medsebojno geometrično neuskkljenost, kadar želimo izvesti analizo na podatkih, pridobljenih iz različnih sektorskih zbirk. Večina sektorskih zbirk se polni in vzdržuje na podlagi ortofota, ki je metrično dovolj točen le za topografske objekte, ki ležijo na tleh. Topografski objekti, ki segajo nad površino tal, so na ortofotu obremenjeni s položajnim pogreškom, ki je posledica izdelave ortofota s preslikavo aeroposnetkov na digitalni model reliefa (DMR), ki ne vsebuje visokih objektov. Velikost položajnega pogreška je odvisen tudi od kota snemanja, ki je pri posameznih snemanjih Cikličnega aerofotografiranja Slovenije (CAS) različen.

Kot izbrano kombinacijo izvornih podatkov za vzdrževanje topografskih zbirk smo Geodetski upravi RS predlagali zajem in distribucijo aeroposnetkov in podatkov aero-laserskega skeniranja. Z izborom teh izvornih podatkov je zagotovljeno nadaljevanje CAS, medtem, ko podatki aero-laserskega skeniranja pomagajo pri izboljšanju višinske komponente DMR, kar je zahtevano pri uporabi mnogih aplikacij. Podatki laserskega skeniranja omogočajo tudi zanesljivejše iskanje sprememb, kar je zelo pomembno pri vzdrževanju topografskih zbirk.

Da bi lahko uspešno zapolnili 40% praznih listov DTK5 so bili deloma razviti samodejni in polsamodejni postopki prepoznavanja in zajema topografskih objektov. Za uspešno vzdrževanje obstoječih 60% listov pa se lahko uporabijo samodejni in polsamodejni postopki prepoznavanja sprememb topografskih objektnih tipov.

Za CAS in aero-lasersko skeniranje (ALS) na območju cele države so bila napisana tehnična navodila, ki jih je treba izboljševati in po potrebi dopolnjevati z novimi izkušnjami in zahtevami pred vsakim novim ciklom zajema izvornih podatkov za celo državo. Za potrebe države in občin so se izvajala različna aerosnemanja in aero-laserska skeniranja na manjših območjih vendar brez uporabe natančnih tehničnih navodil in brez ustrezne kontrole kakovosti. Treba bo izboljšati nadzor nad kakovostjo zajema izvornih podatkov.

V okviru naloge so bile podane naslednje smernice iz tehničnega, organizacijskega in finančnega vidika vzdrževanja topografskih zbirk:

Tehnični vidik:

- na nivoju države se je potrebno dogovoriti kateri nivoji TZ naj bi se vzdrževali (npr. 1 : 5.000

in 1 : 50.000),

- smiselno bi bilo razdeliti državo na tri območja, kjer bi se glede na intenzivnost razvoja topografski podatki zajemali z različno podrobnostjo (npr. območja 1 : 2.500 za mesta, 1 : 5.000 za ruralna območja in 1 : 10.000 za velike gozdove in visokogorje),
- določiti osnovne sloje in posamezne objektne tipe za vsako od omenjenih meril,
- določiti tudi druge zbirke podatkov (KS, raba tal, zbirka cest...), ki se povezujejo ali so celo del topografske zbirke in omogočiti njihovo skupno vzdrževanje,
- določiti časovni cikel vzdrževanja posameznega merila,
- na podlagi cilka vzdrževanja topografskih zbirk določiti cikel zajema izvornih podatkov,
- razviti več uporabniških aplikacij, ki jim za osnovo služijo topografski podatki.

Organizacijski in finančni vidik:

- povezati ministrstva in velike odjemalce topografskih podatkov, ki bi skupaj financirali zajem topografskih podatkov in njihovo vzdrževanje,
- povezati ministrstva in velike odjemalce topografskih podatkov, ki bi skupaj uskladili vsebinska vprašanja omenjena v tehničnem delu,
- pripraviti pravne podlage, ki bi urejale organizacijski in finančni vidik vzdrževanja topografskih zbirk,
- razviti način prodaje oz. plačljive distribucije vsebine topografskih zbirk ali zagotoviti sistemska sredstva, kar bi omogočilo vzdrževanje le teh.

ANG

National Topographic Database at the 1 : 5.000 scale (DTK5) is completed at 60%. Updating of existing DTK5 sheets is very slow. Updating of National Topographic Database at the 1 : 25.000 scale has stopped, which is why the only national wide Topographic database is at the 1 : 50.000 scale.

Sectorial databases are updated independently, therefore this usually leads into unmatched geometry when we try to analyze the data from different sectorial databases together. Most of sectorial databases are updated using orthophoto, which is metrically correct only for topographic objects lying on the ground level. Topographical objects which extend above ground level are mapped on the orthophoto with a location error because the orthophoto is produced from aerial-survey images using Digital Terrain Model (DTM), which does not include high objects. Location error also depends on aerial-survey angle, which vary between different Cyclic Aerial-survey of Slovenia (CAS).

As chosen combination of data source for updating topographic databases we propose to Survey Mapping Authority of Republic of Slovenia (SMARS) to collect and distribute aerial-survey imagery and data from laser scanning. With those data source the continuation of CAS is assured, while laser scanning data helps to improve height component of DTM, which is required by many applications. Data from laser scanning also helps with change detection, which is very important for updating topographic databases.

Automatic and semiautomatic procedures have been partly developed for detection and collection of topographic objects to fill up 40% of empty sheets of DTK5. For successful updating of existing 60% of the sheets, automatic and semiautomatic procedures for change detection of topographic object types can be used.

Technical specification has been written for CAS and Aerial Laser Scanning (ALS) on the national level and it needs to be improved and complemented with new experiences and requirements before each new cycle of source data collection on the national level. In smaller areas aerial-survey and laser scanning are also preformed for national and local requirements without use of detail technical specifications and without proper quality control. There is still much to be done on quality control of source data collection.

In the frame of research project some technical, organisation and financial directions have been set for updating of topographic databases:

Technical directions:

- to agree which topographic databases (e.g. at the 1 : 5.000 and 1 : 50.000 scales) have to be updated on national level need,

- it would be advisable to divide the county in three areas based on intensity of development, where details of topographic data would be collected accordingly (e.g. towns at the 1 : 2.500 scale, rural areas at the 1 : 5.000 scale and at the 1 : 10.000 scale for large forests and alpine regions),
- to define layers and object types for each of mentioned scales,
- to define other space databases (building cadastre, land use, road databases...) which can be connected or be even part of topographic databases and can be used for common updating,
- to define updating cycle for certain scales,
- to define cycle for source data collection based on updating cycle,
- to develop more applications where topographic data is used.

Organisation and financial directions:

- to connect ministries and large topographic data consumers who could finance topographic data collection and updating together,
- to connect ministries and large topographic data consumers who could answer questions from technical part together,
- to set up the legal basis for managing organisation and financial matters for updating of topographic databases,
- to develop marketing for topographic databases or budget financing for updating purposes.

12.Vpetost raziskovalnih rezultatov projektne skupine.

12.1.Vpetost raziskave v domače okolje

Kje obstaja verjetnost, da bodo vaša znanstvena spoznanja deležna zaznavnega odziva?

- v domačih znanstvenih krogih
- pri domačih uporabnikih

Kdo (poleg sofinancerjev) že izraža interes po vaših spoznanjih oziroma rezultatih?¹³

Vsa ministrstva (Ministrstvo za infrastrukturo in prostor, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Ministrstvo za obrambo, ...) in druge državne ustanove ter večji komercialni uporabniki (Telekom), ki poleg svojih sektorskih zbirk potrebujejo tudi (druge) topografske podatke zaradi možnosti izdelave prostorskih analiz. Isti uporabniki seveda tudi želijo zmanjšati stroške vzdrževanja svojih zbirk, povečati kakovost in skladnost z drugimi prostorskimi zbirkami.

12.2.Vpetost raziskave v tuje okolje

Kje obstaja verjetnost, da bodo vaša znanstvena spoznanja deležna zaznavnega odziva?

- v mednarodnih znanstvenih krogih
- pri mednarodnih uporabnikih

Navedite število in obliko formalnega raziskovalnega sodelovanja s tujini raziskovalnimi inštitucijami:¹⁴

Univerza v Ljubljani, FGG je partner na projektu 7. Okvirnega programa "OBSERVE – Strengthening and development of Earth Observation activities for the environment in the Balkan area", številka pogodbe 265282, nosilna raziskovalna inštitucija je School of Rural and Surveying Engineering, Aristotle University of Thessaloniki (Grčija). Sodelovalo je 15 partnerjev iz 13 držav. Drugi partnerji: ETH, Institute of geodesy and photogrammetry, Zürich, Švica; German Aerospace Center (DLR), Nemčija.

Kateri so rezultati tovrstnega sodelovanja:¹⁵

Organizacija znanstvenega sestanka partnerjev na projektu Observe (FP7). Sestanek je potekal na Univerzi v Ljubljani, Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo (16.-17-6-2011). Sestanek je obsegal dvodnevni program, katerega glavna tema je bila opredelitev metodologije za oceno

stanja (državni pristopi, podatki, kapacitete, vpliv industrije ipd.) na področju opazovanja Zemlje na širšem območju Balkana. Kot prispevek Slovenije na tem področju smo med drugim prikazali tudi vmesne rezultate na našem projektu CRP (Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov).

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja in obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino letnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta
- bomo sofinancerjem istočasno z zaključnim poročilom predložili tudi študijo ali elaborat, skladno z zahtevami sofinancerjev

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Geodetski inštitut Slovenije

Tomaž Žagar

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana	9.4.2012
-----------	----------

Oznaka prijave: ARRS-CRP-ZP-2012/11

¹ Zaradi spremembe klasifikacije je potrebno v poročilu opredeliti raziskovalno področje po novi klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science). Prevaljalna tabela med raziskovalnimi področji po klasifikaciji ARRS ter po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science) s kategorijami WOS (Web of Science) kot podpodročji je dostopna na spletni strani agencije (<http://www.arrs.gov.si/si/gradivo/sifranti/preslik-vpp-fos-wos.asp>). [Nazaj](#)

² Podpisano izjavo sofinancerja/sofinancerjev, s katero potrjuje/je, da delo na projektu potekalo skladno s programom, skupaj z vsebinsko obrazložitvijo o potencialnih učinkih rezultatov projekta obvezno priložite obrazcu kot priponko (v skeniranem PDF formatu) in jo v primeru, da poročilo ni polno digitalno podpisano, pošljite po pošti na Javno agencijo za raziskovalno dejavnost RS. [Nazaj](#)

³ Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

⁴ Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11) [Nazaj](#)

⁶ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta (obrazložitev). V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁷ Znanstveni in družbeno-ekonomski dosežki v programu in projektu so lahko enaki, saj se projektna vsebina praviloma nanaša na širšo problematiko raziskovalnega programa, zato pričakujemo, da bo večina izjemnih dosežkov raziskovalnih programov dokumentirana tudi med izjemnimi dosežki različnih raziskovalnih projektov.

Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'. [Nazaj](#)

⁸ Znanstveni in družbeno-ekonomski dosežki v programu in projektu so lahko enaki, saj se projektna vsebina praviloma nanaša na širšo problematiko raziskovalnega programa, zato pričakujemo, da bo večina izjemnih dosežkov

Zaključno poročilo o rezultatih ciljnega raziskovalnega projekta - 2012

raziskovalnih programov dokumentirana tudi med izjemnimi dosežki različnih raziskovalnih projektov.

Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'.

Družbenoekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen, kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek družbeno ekonomsko relevantnega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. v preteklem letu vodja meni, da je izjemen dosežek to, da sta se dva mlajša sodelavca zaposlila v gospodarstvu na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovila svoje podjetje, ki je rezultat prejšnjega dela ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁹ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 7 in 8 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov vključno s presledki. [Nazaj](#)

¹⁰ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)

¹¹ Največ 4.000 znakov vključno s presledki [Nazaj](#)

¹² Največ 4.000 znakov vključno s presledki [Nazaj](#)

¹³ Največ 500 znakov vključno s presledki (velikosti pisave 11) [Nazaj](#)

¹⁴ Največ 500 znakov vključno s presledki (velikosti pisave 11) [Nazaj](#)

¹⁵ Največ 1.000 znakov vključno s presledki (velikosti pisave 11) [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-CRP-ZP/2012 v1.00c
3F-CF-0C-14-36-BC-A0-41-E8-AF-BF-B6-ED-22-40-BB-E4-23-48-D1



Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov

**Raziskovalni projekt št. V2-1095 v okviru
Ciljnega raziskovalnega programa
»KONKURENČNOST SLOVENIJE 2006-2013«**

Končno poročilo projekta

Ljubljana, 15.3.2012

GEODETSKI INŠTITUT SLOVENIJE

Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana, telefon: +386 1 200 29 00, faks: +386 1 425 06 77, e-pošta: info@gis.si, www.gis.si

PODATKI O PROJEKTU

Naročnika:

Naročnik 1:

Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije

Ljubljana, Tivolska cesta 30

Matična številka: 1937286

ID za DDV: 88431452

Račun: 01100-6000009917

Odgovorna oseba: dr. Franci Demšar, direktor

Naročnik 2:

Ministrstvo za okolje in prostor

Geodetska uprava Republike Slovenije

Ljubljana, Zemljemerska 12

Matična številka: 5026334000

ID za DDV: 25661787

Račun: 01100-6300109972

Odgovorna oseba: Aleš Seliškar, generalni direktor

Izvajalec:

Geodetski inštitut Slovenije

Ljubljana, Jamova cesta 2

Matična številka: 5051649000

ID za DDV: SI81498756

Račun: 01100-6030348025

Odgovorna oseba: mag. Borut Pegan Žvokelj, direktor

Soizvajalci:

Soizvajalec 1:

Univerza v Ljubljani

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Ljubljana, Kongresni trg 12

Matična številka: 5085063

ID za DDV: SI54162513

Račun: 01100-6030707119

Odgovorna oseba: prof.dr. Radovan Stanislav Pejovnik

Soizvajalec 2:

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti

Ljubljana, Novi trg 2

Matična številka: 5105498000

ID za DDV: SI38048183

Račun: 0110 0603 0347 346

Odgovorna oseba: prof.dr. Oto Luthar

Soizvajalec 3:

DFG consulting informacijski sistemi d.o.o.

Ljubljana, Pivovarniška ulica 8

Matična številka: 5940826

ID za DDV: SI75131536

Račun: 02085-0018107646

Odgovorna oseba: mag. Tomaž Gvozdanović

Pogodba:

Številka naročila: 1000-10-281095
Naslov pogodbe: Pogodba št. 1000-10-281095 o financiranju in izvajanju raziskovalnega projekta št. V2-1095 v okviru Ciljnega raziskovalnega programa »KONKURENČNOST SLOVENIJE 2006-2013«

Naročnik1: Številka pogodbe: 63113-97/2010-1	Datum: 15.10.2010
Naročnik2: Številka pogodbe: 45050-119/2010	Datum: 25.10.2010
Izvajalec: Številka pogodbe: H044192/P-KO	Datum: 14.10.2010

Zastopnik pogodbe:

Naročnik1: Ernesta Mlakar
Naročnik2: Peter Prešeren
Izvajalec: dr. Tomaž Žagar

Sodelavci:

Geodetski inštitut Slovenije

mag. Vasja Bric
mag. Katja Oven
Vesna Dežman Kete
Nika Mesner
dr. Tomaž Žagar
dr. Dalibor Radovan
dr. Mihaela Triglav Čekada

Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

dr. Dušan Petrovič
dr. Mojca Kosmatin Fras
dr. Dejan Grigillo

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti

dr. Tatjana Veljanovski
Urša Kanjir
dr. Krištof Oštir

DFG consulting informacijski sistemi d.o.o.

mag. Tomaž Gvozdanovič
Domen Smole
Maja Bitenc

KAZALO

A. VMESNO POROČILO št. 1 – Analiza tehnologij in podatkovnih virov (1. faza).....	A-1
B. VMESNO POROČILO št. 2 – Zasnova avtomatskih in polavtomatskih postopkov za zajemanje, razpoznavanje in vzdrževanje topografskih objektnih razredov in objektnih tipov (2. faza).....	B-2
C. VMESNO POROČILO št. 3 – Testiranje in implementacija postopkov za zajemanje, razpoznavanje in vzdrževanje (3. faza)	C-3
D. VMESNO POROČILO št. 4 – Izdelava priporočil za uvajanje novih postopkov, tehnologij in podatkov (4. faza) in ZAKLJUČNO POROČILO	D-4

**A. VMESNO POROČILO št. 1 – Analiza tehnologij in
podatkovnih virov (1. faza)**

*Ciljni raziskovalni program
»Konkurenčnost Slovenije 2006-2013« v letu 2010*

***Kombinirani visokoločljivostni postopki
zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja
prostorskih podatkov***

Vmesno poročilo št. 1

*Verzija 1.0
Datum 19.11.2010*

Številka projekta V2-1095

Kazalo

1. UVOD	4
2. TOPOGRAFIJA.....	5
3. AEROFOTOGRAFIRANJE.....	7
3.1. Opis tehnologije in njenih lastnosti.....	7
3.1.1. Glavni sestavni deli in lastnosti strojne opreme	7
3.1.2. Postopek obdelave podatkov	7
3.1.3. Izdelki.....	8
3.1.4. Stanje v Sloveniji.....	8
3.2. Zajem, zaznavanje sprememb in vzdrževanje topografskih podatkov	8
3.2.1. Vloga aerofotografiranja pri zajemu, zaznavanju sprememb in vzdrževanju topografskih baz v Sloveniji	8
3.2.2. Možnosti uporabe podatkov aerofotografiranja za zajem, zaznavanje sprememb in vzdrževanje topografskih podatkov.....	8
3.3. Prepoznavanje objektnih tipov	9
3.3.1. Relief.....	9
3.3.2. Stavbe.....	9
3.3.3. Hidrografija.....	9
3.3.4. Vegetacija	9
3.3.5. Ceste	10
3.4. Literatura:.....	10
4. LASERSKO SKENIRANJE.....	12
4.1. Opis tehnologije in njenih lastnosti.....	12
4.1.1. Tehnologija.....	12
4.1.2. Lastnosti tehnologije.....	12
4.2. Zajem, zaznavanje sprememb in vzdrževanje topografskih podatkov	13
4.2.1. Zajem.....	13
4.2.2. Zaznavanje sprememb	13
4.2.3. Vzdrževanje topografskih podatkov.....	14
4.3. Prepoznavanje objektnih tipov	14
4.3.1. Relief.....	14
4.3.2. Stavbe.....	14
4.3.3. Hidrografija.....	14
4.3.4. Vegetacija	15
4.3.5. Ceste	15
4.3.6. Literatura.....	15
5. SATELITSKO SNEMANJE.....	17
5.1. Opis tehnologije in njenih lastnosti.....	17
5.1.1. Postopek obdelave podatkov	17
5.2. Zajem, zaznavanje sprememb in vzdrževanje topografskih podatkov	18
5.3. Prepoznavanje objektnih tipov	19
5.3.1. Relief.....	19
5.3.2. Stavbe.....	19
5.3.3. Hidrografija.....	19
5.3.4. Vegetacija	19
5.3.5. Ceste	20
5.4. Literatura:.....	20
6. RADARSKO SNEMANJE.....	23
6.1. Opis tehnologije in njenih lastnosti.....	23
6.1.1. Postopek obdelave radarskih posnetkov	23
6.2. Zajem, zaznavanje sprememb in vzdrževanje topografskih podatkov	24
6.3. Prepoznavanje objektnih tipov	24
6.3.1. Relief.....	24

6.3.2.	Stavbe.....	25
6.3.3.	Hidrografija.....	25
6.3.4.	Vegetacija	25
6.3.5.	Ceste	25
6.4.	Literatura:.....	25

1. Uvod

Cilj priporočil je odgovoriti na ključni raziskovalni vprašanji tega aplikativnega projekta:

1) Katere metode daljinskega zaznavanja je na Geodetski upravi RS smiselno razviti do ravni standardiziranih rutinskih postopkov za izvajalce zajemanja, vzdrževanja in kontrole topografskih kart ter baz?

2) Katere tipe podatkov daljinskega zaznavanja naj Geodetska uprava RS uvrsti med svoje standardne izdelke, dostopne preko sistema distribucije geodetskih podatkov?

Topografski podatki, ki jih vodi Geodetska uprava RS, se vzdržujejo na različnih ravneh meril, v različnih oblikah, prikazih in medijskih oblikah ter so vzdrževani v različnih časovnih periodah. Osnovni vir za zajem in vzdrževanje topografskih podatkov trenutno zagotavlja ciklično aerofotografiranje Slovenije (CAS), ki z nekajletno ponavljajoco se periodo zagotavlja ažurne aeroposnetke za območje celotne države Slovenije. Vzdrževanje teh podatkov je pomembna stalna naloga Geodetske uprave RS, ki je časovno in organizacijsko zahtevna, hkrati pa so zanjo potrebna tudi dokaj visoka finančna sredstva.

Tehnologija za izvedbo sistematičnih aerofotografiranj za ozemlja celotnih držav se je tako v svetu kot tudi pri nas spremenila iz analogne v digitalno obliko. Poleg tega pa razvoj novih tehnologij daljinskega zaznavanja ponuja vedno več novih virov za zajem prostorskih podatkov. Podatki se razlikujejo predvsem po tehniki zajema, časovni in prostorski ločljivosti. V nekaterih razvitih državah klasične fotogrametrične metode zajema podatkov iz letalskih posnetkov v praksi že uspešno dopolnjujejo z drugimi viri, kot so lidarska snemanja in satelitski posnetki različnih geometričnih in radiometričnih karakteristik. Slovenija v tem trenutku teh tehnologij zajema še ne vključuje v postopke sistemskega zajema in vzdrževanja topografskih podatkov na državni ravni. Menimo, da je napredek daljinskega zaznavanja in podpornih tehnologij (racunalništvo in informatika), ki se je zgodil v zadnjem desetletju, potrebno izrabiti za boljšo in optimalnejšo operativno izvedbo državnih projektov.

Postopki zajema in vzdrževanja topografskih podatkov na ravni države so trenutno omejeni pretežno na rocni tridimenzionalni stereozajem ali na rocno dvodimenzionalno vektorizacijo. Na osnovi predhodnih raziskovalnih in operativnih izkušenj članovprojektne skupine na področju daljinskega zaznavanja in državne topografije ter pozitivnih izkušenj v nekaterih državah lahko predpostavimo, da kombiniranje novih virov daljinskega zaznavanja in avtomatizacija procesov lahko prispevata k večji ekonomičnosti in objektivnosti postopkov zajema in vzdrževanja topografskih podatkov.

Avtomatske in polavtomatske metode zaznavanja različnih objektov v prostoru in njihovih karakteristik v postopkih zajema in vzdrževanja topografskih podatkov za namene implementacije v sistemsko prakso Geodetske uprave RS še niso raziskane. Avtomatizacija odkrivanja sprememb med podatki v prostorskih bazah in časovno novejšimi slikovnimi viri (letalske fotografije, visokoločljivostne satelitske podobe, lidar) lahko optimizira in objektivizira postopke vzdrževanja.

Skladno s temi izhodišči postavljamo naslednje osnovne cilje predlaganega raziskovalnega projekta:

- izdelava celovite študije ponudbe dostopnih virov daljinskega zaznavanja, ki so potencialni viri za zajem državnih topografskih podatkov v bližnji prihodnosti,
- preucitev možnosti implementacije izbranih virov pri posodabljanju topografskih podatkov Republike Slovenije,
- izbor in preizkus metod in postopkov samodejnega in polsamodejnega odkrivanja topografskih sprememb v prostoru na podlagi podatkov daljinskega zaznavanja ter
- izdelava priporočil za izbor in uvedbo novih optimalnih metod ter tehnologij za zaznavanje topografskih objektov, pojavov in njihovih sprememb iz sodobnih virov daljinskega zaznavanja.

Iz navedenih izhodišč sledi, da je naša hipoteza naslednja:

Optimalni postopki delno samodejnega zajemanja, prepoznavanja in vzdrževanja topografskih podatkov glede na kakovost in ceno tehnologij so izvedljivi le s kombinacijo visokoločljivostnih metod daljinskega zaznavanja, tj. z digitalno aerofotogrametrijo, multispektralnim satelitskim snemanjem, laserskim skeniranjem in radarskim snemanjem.

2. Topografija

Opis termina »topografija«:

Slovar slovenskega knjižnega jezika:

topografija -e ž (i)

1. opisovanje, prikazovanje značilnosti zemeljskega površja, zlasti s kartami, zemljevidi: biti izveden v topografiji / izšlo je že več topografij / zgodovinska topografija

Slovenije // značilnosti zemeljskega površja: topografija puščave

Topografija v okviru termina »topografski podatki« pomeni objekte (relief, hidrografijo, prometno infrastrukturo, zgradbe, vegetacijo), ki so lahko strukturirani na najmanjše detajle (skalna razpoka, kraški izvir, viseci most, stopnice, iglasto drevo, ...) kar je odvisno od namena in merila topografskega nacrta (nad 1: 10000) ali karte (do 1:10000).

Terminologija:

zajem – zajem oz. zajem topografskih podatkov obsega vse dejavnosti pri pridobivanju podatkov daljinskega zaznavanja in drugih podatkov, ki so potrebni pri vzdrževanju topografskih zbirk: naročanje in pridobitev satelitskih in radarskih posnetkov, aerofotografij in podatkov laserskega skeniranja

zaznavanje sprememb – da zaznamo spremembe v prostoru je potrebno imeti najmanj dva podatka pridobljena v različnih časovnih obdobjih; zaradi množice topografskih podatkov o prostoru je zelo pomembno pred zacetkom vzdrževanja zaznati spremembe v prostoru

vzdrževanje topografskih podatkov – ko zaznamo spremembe uporabimo ustrezna orodja in v podatkovni bazi dodamo, popravimo, dopolnimo, zamenjamo, izbrišemo izbran topografski objekt in/ali njegov atribut

Obstoječe baze GURS, ki se nanašajo na topografijo:

Topografski sistem Republike Slovenije je uradni sistem topografskih in kartografskih podatkov in izdelkov, ki ga sestavljajo:

- Topografski podatki in karte
- Ortofoto
- Aerofotografije
- Digitalni model višin
- (Register zemljepisnih imen)

Vir: <http://e-prostor.gov.si/index.php?id=641>

Topografski podatki in karte

- Temeljni topografski nacrti merila 1 : 5.000 in 1 : 10.000 (TTN5/10)
- Topografski podatki merila 1 : 5.000 (DTK 5)
- Državna topografska karta merila 1 : 25.000 (DTK 25)
- Topografski podatki merila 1 : 25.000 (GKB 25)
- Državna topografska karta merila 1 : 50.000 (DTK 50 in DTK 50V)
- Državne pregledne karte
- Podatki za Slovenijo v sklopu podatkov EGM (EuroGlobalMap)

Vir: <http://e-prostor.gov.si/index.php?id=747>

Ortofoto in aerofotografije nimajo podizdelkov.

Podizdelki bi lahko bili:

Ortofoto:

- CB OF izdelanih pred letom 2006
- barvni OF izdelani pred letom 2006
- barvni OF DTI= 0,50 m

- barvni OF DTI= 0,25 m
- barvni OF DTI= 1,00 m
- barvni IR DTI= 0,50 m
- barvni IR DTI= 1,00 m

Aerofotografije:

- CB aerofotografije na filmih oz. kontaktnih kopijah
- Barvne aerofotografije na filmih oz. kontaktnih kopijah
- Barvne digitlne aerfotografije
- Barvne IR digitalne aerofotografije

Digitalni model višin:

- Digitalni model reliefa 5 x 5 m (DMV 5)
- Digitalni model reliefa Slovenije (DMV 12,5, DMV 25 in DMV 100)
- Digitalni model reliefa 25 × 25 m (DMR 25)

<http://e-prostor.gov.si/index.php?id=708>

3. Aerofotografiranje

3.1. Opis tehnologije in njenih lastnosti

3.1.1. Glavni sestavni deli in lastnosti strojne opreme

Sodobno aerofotografiranje se izvaja z digitalnimi zračnimi fotogrametričnimi snemalnimi sistemi, ki so v primerjavi z analognimi letalskimi fotoaparati precej bolj kompleksni po zgradbi in delovanju. Osnovne komponente takšnega snemalnega sistema so: digitalni fotoaparat, pomnilniška enota, računalniška enota, kontrolna enota in zaslon. Poleg tega pa sistem za zajem podob običajno vključuje še dodatne enote za določanje položaja (GNSS) in zasukov (inercialni navigacijski sistem – INS).

Digitalni fotoaparati podobe beležijo na digitalne slikovne senzorje, ki so po obliki ploskovni ali vrstični. Posamezen ploskovni slikovni senzor ne doseže formata analognega letalskega posnetka (23 cm x 23 cm), zato so digitalni fotoaparati, ki delujejo v tem načinu, sestavljeni iz več slikovnih senzorjev in optičnih sistemov. Končna digitalna podoba v centralni projekciji, ki se uporablja v nadaljnjih postopkih zajemanja podatkov, se tako ustvari z združevanjem podob iz posamičnih slikovnih senzorjev. Končne podobe velikoformatnih letalskih fotoaparatorov imajo velikost okrog 200 Mpix (velikoformatni fotoaparati), srednjeformatni fotoaparati pa dosegajo velikosti okrog 50 Mpix. V letu 2011 je napovedana izdelava CCD senzorja, ki bo imel v enem kosu zmogljivost 250 Mpix, kar je primerljivo s formatom analognega posnetka. Kakšen bo vpliv tega tehnološkega napredka na zgradbo in delovanje digitalnih letalskih fotoaparatorov pa je težko predvideti.

Letalski digitalni fotoaparati, ki uporabljajo vrstične senzorje, podobo ustvarijo po principu vzdolžnega skeniranja tako, da se beležijo posamezne vrstice v smeri potovanja platforme. Podoba ima zato obliko dolgega pasu, ki se naknadno geometrično popravi in razdeli v posamične podobe. Vzdolžno skeniranje se istočasno izvaja v treh različnih »pogledih«: navpično navzdol, naprej in nazaj. Takšna geometrija snemanja omogoča izdelavo stereoparov.

Za zajem podatkov iz digitalnih letalskih podob so pomembni podatki o prostorski, radiometrični in spektralni ločljivosti podob. Z letalskimi sistemi je možno zajeti podobe s prostorsko ločljivostjo nekaj cm, radiometrična ločljivost sistemov je od 8 do 12 bitov, uporabljajo se spektralni kanali: pankromatski, rdeč, zelen, moder in bližnji infrardeč.

3.1.2. Postopek obdelave podatkov

Podobe, pridobljene v postopku fotogrametričnega snemanja, georeferenciramo v postopku orientacije posnetkov. Orientacijo posnetka opisujeta notranja in zunanja orientacija. Notranja orientacija predstavlja geometrijo fotogrametričnega senzorja in je v primeru uporabe letalskih fotogrametričnih snemalnih sistemov običajno znana že pred snemanjem. Zunanja orientacija opisuje položaj posnetka v prostoru, ki ga določajo koordinate projekcijskega centra in trije koti, ki izražajo rotacijo posnetka okoli osi prostorskega koordinatnega sistema. Postopki orientacije posnetkov so lahko enoslikovni, dvoslikovni ali več-slikovni. Orientacijo posnetka izračunamo na podlagi matematične povezave med slikovnimi koordinatami in terenskimi koordinatami oslonilnih točk. Oslonilne točke so točke, za katere poznamo koordinate v referenčnem koordinatnem sistemu in jih lahko nedvoumno izmerimo na posnetkih. Razporejene morajo biti enakomerno po celotnem bloku obravnavanih posnetkov. Slikovne koordinate oslonilnih točk merimo na posnetkih, terenske koordinate pa izmerimo na terenu, običajno z eno od metod izmere GNSS. Na posnetkih je treba za potrebe relativne orientacije posnetkov izmeriti še vezne točke (praviloma vsaj 9 na posnetek). Vezne točke so poljubne, dobro opredeljene točke, ki jih lahko prepoznamo na sosednjih posnetkih. Izmerimo jih ročno ali avtomatsko z metodami slikovnega ujemanja. Orientacijske parametre izračunamo v izravnavi po metodi najmanjših kvadratov. V izravnavi lahko po potrebi izračunamo tudi parametre notranje orientacije posnetka.

Največkrat uporaben postopek izravnave je aerotriangulacija, ki jo izvedemo z blokovno izravnavo snopov. Natančnost georeferenciranja posnetkov je v največji meri odvisna od prostorske ločljivosti posnetkov in posledično natančnosti merjenja slikovnih koordinat. Realno lahko pričakujemo natančnosti v rangi velikosti 1/3 velikosti piksla na zemeljskem površju. V praksi to pomeni decimetrsko točnost merjenja prostorskih koordinat točk na stereoparih.

Število oslonilnih in veznih točk, ki nastopajo v aerotriangulaciji, ter s tem terenskega dela zmanjšamo z uporabo podatkov GNSS in INS, ki so vgrajeni v zračni fotogrametrični snemalni sistem. Podatki

GNSS/INS teoretično omogočajo pridobitev podatkov zunanje orientacije posnetkov brez terenskega merjenja oslonilnih točk. Zaradi možnih napak v meritvah GNSS/INS pa praktično pa njihova uporaba omogoča predvsem zmanjšanje števila potrebnih oslonilnih in veznih točk in s tem terenskega dela, povsem pa oslonilnih točk ne smemo izpustiti, če želimo pridobiti zanesljive podatke zunanje orientacije.

3.1.3. Izdelki

Orientirani posnetki omogočajo pridobivanje metričnih in semantičnih podatkov iz obravnavanega okolja ter izdelavo različnih fotogrametričnih izdelkov kot so merjenje prostorskih koordinat, izdelavo digitalnih modelov višin (DMV), izdelavo ortofotov in interpretacijo ter 3D zajem objektov.

3.1.4. Stanje v Sloveniji

CAS v merilu 1 : 17.500 v Sloveniji izvajamo od leta 1975. Do leta 2005 so bile letalske fotografije posnete z analognim fotogrametričnim aerofotoaparatom v črnobeli ali barvni tehniki. Od leta 2006 se CAS izvaja z digitalnim fotogrametričnim snemalnim sistemom, posnetki pa imajo prostorsko ločljivost med 0,25 m in 0,5 m. Cikel aerosnemanja se izvaja v obdobju dveh do štirih let za celotno ozemlje Slovenije. Podatki CAS se uporabljajo za prostorski zajem podatkov v državne topografske baze, izdelavo ortofotov in reambulacijo kart. Posnetki CAS zajemajo celotni vidni spekter elektromagnetnega valovanja. Z digitalnim fotoaparatom se snemanje izvaja tudi v bližnjem infrardečem delu spektra.

Orientacijski parametri posnetkov CAS so določeni v postopku aerotriangulacije na podlagi meritev slikovnih koordinat veznih in oslonilnih točk. Posnetki cikličnega aerosnemanja Slovenije (CAS) so georeferirani v državni koordinatni sistem s planimetrično natančnostjo 30 cm in višinsko natančnostjo 40 cm.

3.2. Zajem, zaznavanje sprememb in vzdrževanje topografskih podatkov

3.2.1. Vloga aerofotografiranja pri zajemu, zaznavanju sprememb in vzdrževanju topografskih baz v Sloveniji

V Sloveniji so topografski podatki shranjeni in dostopni kot posamezni gradniki Topografsko-kartografskega sistema Slovenije. Za vzpostavitev in vodenje je pristojna Geodetska uprava Republike Slovenije. Topografsko-kartografski sistem Slovenije (TKSS) je sklop vseh topografskih podatkov o prostoru v numerični ali grafični, analogni in digitalni obliki, ki jih za potrebe državnih organov in ostalih uporabnikov vzpostavlja, vzdržuje in vodi Geodetska uprava Republike Slovenije. Tvorijo ga trije sklopi: izvorni posnetki stanja, karte in ortofoto ter podatkovne baze. Slednje so organizirane pretežno po vsebinskih področjih. Namenjene so predvsem za najrazličnejša poizvedovanja, za prostorske analize in kot podatkovna osnova za različne upodobitve. Topografske baze smo v Sloveniji pričeli intenzivno vzpostavljati po letu 1991. V začetku so bile vir zajema obstoječe karte (sekundarni vir), v zadnjih letih pa so glavni vir zajema stereopari Cikličnega aerosnemanja Slovenije (CAS) in iz njih izdelani barvni ortofoti s prostorsko ločljivostjo 0,5 m (DOF050) ali 0,25 m (DOF025) ter bližnje infrardeči barvni ortofoti z ločljivostjo 1 m (DOF100IR). Postopki vzdrževanja topografskih baz v Sloveniji v glavnem niso vzpostavljeni.

3.2.2. Možnosti uporabe podatkov aerofotografiranja za zajem, zaznavanje sprememb in vzdrževanje topografskih podatkov

Podatki letalskega snemanja so uporabni tako za zajem kot za zaznavanje sprememb in vzdrževanje podatkov v topografskih bazah. Z ročnim zajemom lahko na njih interpretiramo in natančno zajamemo večino topografskih objektov, razen tistih, ki so pod vegetacijo (stavbe pod drevesi, gozdne cesti, vodni izviri ipd.), oziroma so premajhni, da bi jih na posnetkih zaznali. Digitalni zapis podatkov omogoča uporabo avtomatskih in polavtomatskih metod za zajem topografskih podatkov, zaznavanje sprememb in vzdrževanje obstoječih topografskih podatkov. Zaradi relativno nizke višine snemanja (do nekaj km) imajo letalski posnetki dobre radiometrične lastnosti in niso pretirano obremenjeni s šumom in atmosferskimi vplivi. Dodatna izboljšava posnetkov po registraciji zato v glavnem ni potrebna.

Številne raziskave v svetu so usmerjene v avtomatizacijo postopkov za zajem, zaznavanje sprememb in vzdrževanje podatkov v topografskih bazah. Raziskave so usmerjene tako v uporabo samo letalskih posnetkov kot integracijo podatkov letalskega snemanja z ostalimi podatki daljinskega zaznavanja (lidar, multispektralni in hiperspektralni satelitski posnetki, radarski posnetki). Vzdrževanje podatkov topografske baze ne sme poslabšati kakovosti podatkov v bazi. Ker avtomatski postopki še vedno vsebujejo določeno stopnjo pogreškov, se za praktično uporabo še vedno razvijajo številni polavtomatski postopki, v katere je operater s svojimi odločitvami vključen od samega začetka oziroma naknadno ovrednoti in ročno uredi rezultate samodejnih postopkov.

3.3. Prepoznavanje objektnih tipov

Letalski posnetki omogočajo ročni zajem vseh objektnih tipov: relief, zgradbe, hidrografija, raba tal in infrastrukturni objekti. Raziskave na področju avtomatskih in polavtomatskih postopkov so večinoma usmerjene v prepoznavanje reliefa, stavb, hidrografije, vegetacije v urbanem okolju in cest.

3.3.1. Relief

Samodejni postopki za prepoznavanje reliefa temeljijo na izdelavi digitalnega modela površja (DMP). DMP je računalniška predstavitev višin na določenem območju, ki poleg samega reliefa prikazuje pojave na terenu kot so zgradbe, vegetacija in drugi objekti (npr. avtomobili). DMP pridobimo z uporabo samodejnih postopkov slikovnega ujemanja posnetkov s skupnim preklopom. Natančnejši DMP pridobimo iz podatkov lidarskega snemanja. Iz DMP izdelamo digitalni model višin (DMV). DMV je računalniška predstavitev nadmorskih višin zemeljskega površja na določenem območju. Je preprostejši približek zapisa digitalnega modela reliefa. DMV vsebuje samo višinske točke, ki so najpogosteje zapisane v obliki pravih kvadratnih celic in pogojno tvorijo ploskev zemeljskega površja. Za izdelavo DMV iz DMP so se uveljavili štiri osnovni postopki: morfološko filtriranje, zgoščitveni pristopi, metode iterativnega izločevanja točk in segmentacija (Pfeifer, Böhm, 2008).

3.3.2. Stavbe

Osnovne metode za iskanje stavb temeljijo na enem posnetku, na kombinaciji posnetka z ostalimi podatki ali uporabi več posnetkov istega območja. Začetni razvoj metod je temeljil na uporabi enega posnetka. Modeli stavb so bili izdelani z analizo geometričnih in radiometričnih lastnosti posnetkov ob uporabi tehnik iskanja robov (Huertas, Nevatia, 1988; Lin, Nevatia, 1998). S pojavom digitalnih snemalnih sistemov, ki zajemajo površino Zemlje tudi v bližnjem infrardečem delu spektra, lahko stavbe na posnetkih iščemo tudi s pikselno ali objektno klasifikacijo multispektralnih posnetkov (Holland in sod., 2008). Podatki, ki se s posnetki kombinirajo za iskanje stavb so topografske karte (Förstner and Pluemer, 1997; Haala, 1999), multispektralni in/ali hiperspektralni posnetki (Haala, 1999; Huertas in sod., 2000; McKeown in sod., 1999), različni geometrijski modeli stavb, s katerimi modeliramo odkrite stavbe na posnetkih (Braun in sod., 1995; Förstner, Pluemer, 1997; Förstner, 1999) in lidarski ali drugi višinski podatki (Weidner, Förstner, 1995; Baillard, Maitre, 1999; Rottensteiner in sod. 2003). Lidarski podatki tudi sami omogočajo številne metode za samodejno iskanje stavb (npr. Dorninger, Pfeifer, 2008; Hofmann, Mass, Streilein, 2002; Pfeifer in sod., 2007; Vosselman, Dijkman, 2001).

Najbolj razširjene metode za iskanje stavb slonijo na uporabi DMP. Tovrstne raziskave so v zadnjem času usmerjene v izdelavo 3D modelov mest. DMP izdelamo iz več posnetkov istega območja (Demir, Baltsavias, 2007). Če je DMP izdelan iz lidarskih podatkov, lahko njegove lastnosti izboljšamo s podatki o teksturi in obrisih, ki jih pridobimo iz posnetkov (Cheng in sod., 2008; Lee in sod., 2008). Z razliko med DMP in DMV pridobimo objekte, ki segajo nad zemeljsko površino. Visoko vegetacijo odstranimo z izračunom vegetacijskega indeksa iz rdečega in infrardečega kanala.

3.3.3. Hidrografija

Multispektralne letalske posnetke lahko uporabimo še za avtomatsko prepoznavanje hidrografije. Infrardeči kanal omogoča zanesljivo prepoznavanje vodnih površin.

3.3.4. Vegetacija

Prepoznavanje vegetacije je izvedeno na multispektralnih posnetkih, ki omogočajo izračun raznih spektralnih indeksov (normaliziran diferencialni vegetacijski indeks NDVI) in klasifikacijo. Letalski posnetki

se v kombinaciji z lidarskimi podatki v glavnem uporabljajo v povezavi z izdelavo 3D modelov mest za izdelavo modelov dreves (Iovan in sod., 2007; Korpela, 2007).

3.3.5. Ceste

Številni postopki za prepoznavanje cest slonijo na uporabi letalskih ali satelitskih posnetkov različnih ločljivosti. Obširen pregled je podal Zhang (2003). Polavtomatski pristopi zahtevajo interakcijo operaterja, ki interaktivno sodeluje v postopku, ceste pa zajamemo z ujemanjem profilov (Vosselman, Knecht, 1995), kooperativnimi algoritmi (McKeown in sod., 1998), in dinamičnem programiranjem oziroma z LSB-Snakes (Grün, Li, 1997). Z avtomatskimi postopki iskanja robov poiščemo cestne segmente, ki jih povežemo v cestna omrežja (Wiedemann in sod., 1998). Zajem cest lahko nadziramo s kontekstualnimi informacijami, pridobljenimi iz posnetkov (Heipke in sod., 2000). Za zajem cest lahko uporabimo posnetke različne ločljivosti (Baumgartner, Hinz, 2000; Hinz, Baumgartner, 2003). Na posnetkih s slabšo prostorsko ločljivostjo izdelamo začetno hipotezo o poteku cest. Pri tem upoštevamo osnovne značilnosti in lastnosti cest, kot so krivuljasta oblika, mrežne lastnosti, optimalna povezava med določenimi kraji. Na posnetkih z boljšo prostorsko ločljivostjo testiramo začetno hipotezo in izvedemo detajlno analizo in končno vektorizacijo cest. Ceste lahko prepoznamo tudi s postopki klasifikacije multispektralnih posnetkov (Zhang, Couloigner, 2006). V ta namen lahko uporabimo metode nadzorovane in nenadzorovane klasifikacije v kombinaciji s segmentacijo, izdelavo skeletov in morfološkim filtriranjem. Prepoznavanje cest v urbanih območjih je zaradi kompleksnosti območja (veliko število različnih objektov) oteženo. Cestno omrežje lahko prepoznamo šele pri uporabi posnetkov, ki zajemajo obravnavano območje pod različnimi koti. Segmente cest, prepoznane na posnetkih s preklpom, moramo združiti in ob upoštevanju mrežnih lastnosti cestnega omrežja iterativno zapreti vse vrzeli (Hinz, 2004).

3.4. Literatura:

- Baillard, C., Maitre, H. 1999. 3D reconstruction of urban scenes from aerial stereo imagery: A focusing strategy. *Computer Vision and Image Understanding* 76, 3: 244–258.
- Baumgartner, A., Hinz, H. 2000. Multi-Scale road extraction using local and global grouping criteria *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 33, Part B3/1: 58-65.
- Braun, C., Kolbe, T. H., Lang, F., Schickler, W., Steinlage, V., Cremers, A. B., Förstner, W., Plümer, L. 1995. Models for photogrammetric building reconstruction. *Computer Graphics* 19, 1: 109–118.
- Cheng, L., Gong, J., Chen, X., Han, P. 2008. Building boundary extraction from high resolution imagery and lidar data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 37(part B3): 693–698.
- Iovan, C., Boldo, D., Cord, M., Erikson, M. 2007. Automatic extraction and classification of vegetation areas from high resolution images in urban areas. V: *Lecture Notes in Computer Science*, 2007, Volume 4522/2007, Springer –Verlag Berlin Heidelberg: 858-867.
- Demir, N., Baltsavias, E. 2007. Object extraction at airport sites using DTMs/DSMs and multispectral image analysis. http://www.photogrammetry.ethz.ch/general/persons/henri/PFG_Baltsavias.pdf (16.8.2008)
- Dorning, P., Pfeifer, N. 2008. A comprehensive automated 3D approach for building Extraction, reconstruction and regularization from airborne laser scanning point clouds. *Sensors* 8, 11: 7323-7343.
- Förstner, W. 1999. 3D-city models: Automatic and semiautomatic acquisition methods. V: D. Fritsch and R. Spiller (ur.). *Photogrammetric week*. Heidelberg, Germany, Wichmann Verlag: 291–303.
- Förstner, W., Pluemer, L. 1997. Semantic modeling for the acquisition of topographic information from images and maps. Basel, Birkhaeuser Verlag.
- Grün, A., Li, H. 1997. Semi-automatic linear feature extraction by dynamic programming and LSB-Snakes. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 63(8): 985-995.
- Haala, R. 1999. Combining multiple data sources for urban data acquisition. V: D. Fritsch and R. Spiller (ur.). *Photogrammetric week*. Heidelberg, Germany, Wichmann Verlag: 329–340.
- Heipke, C., Pakzad, K., Straub, B. M. 2000. Image analysis for GIS data acquisition. *Photogrammetric Record* 16 (9): 963-985.
- Hinz, S., 2004. Automatic road extraction in urban scenes – and beyond. V: *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 34 (3W/8): 93–98.

- Hinz, S., Baumgartner, A. 2003. Automatic extraction of urban road networks from multi-view aerial imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 58 (1-2): 83-98.
- Hofmann, A. D., Mass, H.-G., Streilein, A. 2002. Knowledge-based building detection based on laser scanner data and topographic map information.
<http://www.isprs.org/commission3/proceedings02/papers/paper025.pdf> (25.10.2009)
- Holland, D. A., Sanchez-Hernandez, C., Gladstone, C. 2008. Detecting changes to topographic features using high resolution imagery. V: Proceedings of the XXI International Congress of ISPRS. Beijing, China. ISPRS XXXVII, B4: 1153-1158.
- Huertas, A., Nevatia, R. 1988. Detecting buildings in aerial images. *Computer Vision, Graphics and Image Processing* 41, 2: 131-152.
- Huertas, A., Kim, Z. W., Nevatia, R. 2000. Multisensor integration for building modeling. V: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Hilton Head, South Carolina, 13.-15. Junij 2000. New York, IEEE.
- Korpela, I. 2007. 3-D tree top positioning by multiple image matching of aerial images in a 3-D search volume bounded by LIDAR surface models. *Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation*, 1/07: 35-44.
- Lee, D., Lee, K., Lee, S. 2008. Fusion of lidar and imagery for reliable building extraction. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 74(2): 215–226.
- Lin, C., Nevatia, R. 1998. Building detection and description from a single intensity image. *Computer Vision and Image Understanding* 72, 2: 101-121.
- McKeown, D. M., Denlinger J. L. 1988. Cooperative methods for road tracking in aerial imagery. *Proc. IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*: 662-672.
- McKeown, D. M., Denlinger, J. L. 1988. Cooperative methods for road tracking in aerial imagery. *Proc. IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*: 662-672.
- McKeown Jr., D., Cochran, S., Ford, S., McGlone, C., Shufelt, J., Yocum, D. 1999. Fusion of HYDICE hyperspectral data with panchromatic feature extraction. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 37, 3: 1261–1277.
- Pfeifer, N., Böhm, J. 2008. Early stages of LiDAR data processing. V: Li, Z., Chen, J., Baltsavias, E. (ur.). *Advances in photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences: 2008 ISPRS congress book*. London, Taylor & Francis Group: 169-184.
- Pfeifer, N., Rutzinger, M., Rottensteiner, F., Muecke, W., Hollaus, M. 2007. Extraction of building footprints from airborne laser scanning: Comparison and validation techniques. V: Proceedings of the Joint IEEE-GRSS/ISPRS Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas, Urban 2007, Pariz, Francija.
- Rottensteiner, F., Trinder, J., Clode, S., Kubik, K. 2003. Building detection using LIDAR data and multispectral images. V: Changming, S., Adriaasen, T., Oursekin, S., Talbot, H. (ur.). *Proceedings of the Seventh Biennial Australian Pattern Recognition Society Conference, Digital Image Computing: Techniques and Applications*. Sidney, 10.-12. december 2003. Sydney, CSIRO.
- Vosselman, G., Dijkman, S. 2001. 3D building model reconstruction from point clouds and ground plans. *The International Archives of the Photogrammetry and Remote Sensing XXXIV*, 3/W4: 37-44.
- Vosselman, G., Knecht, J. D. 1995. Road tracing by profile matching and Kalman filtering. V: Grün A., Kuebler, O., Agouris, P. (Ur.), *Automatic Extraction of Man-made Objects from Aerial and Space Images*, Birkhauser Verlag, Basel: 255-264.
- Wiedemann, C., Heipke, C., Mayer, H., Hinz, S. 1998. Automatic extraction and evaluation of road network from MOMS-2P imagery. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 32, Part 3/1: 285-291.
- Weidner, U., Förstner, W. (1995). Towards automatic building reconstruction from high resolution digital elevation models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 50, 4: 38–49.
- Zhang, C., 2003. *Updating of cartographic road database by image analysis*. Ph.D. Thesis, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, Switzerland, Report No. 79.
- Zhang, Q., Couloigner, I., 2006. Automated road network extraction from high resolution multi-spectral imagery. ASPRS 2006 Annual Conference, Reno, Nevada.

4. Lasersko skeniranje

4.1. Opis tehnologije in njenih lastnosti

4.1.1. Tehnologija

Prvi zračni laserski skener je bil testiran v 60-tih, v 70-tih pa se je začel uporabljati za batimetrične in hidroloških aplikacije. V 80-tih so ga začeli uporabljati skupaj z GPS za izboljšanje natančnosti lociranja v prostoru. V začetku 90-tih pa so laserski profilator začeli zamenjevati s laserskimi skenerji ter z uporabljati GPS in INS (inercialni navigacijski sistem) za izboljšanje natančnosti lociranja (Wehr in Lohn, 1999).

Dandanašnji se z uporabo metode kinematicnega pozicioniranja nosilca laserskega skenerja in referenciranja na državni koordinatni sistem z diferencialnim GPS (DGPS) ter uporabo inercialne meritvene enote (IMU) (Ackermann, 1999) natančnost zajetih podatkov še povečuje.

Zračno lasersko skeniranje, imenovano tudi LIDAR (Light Detection and Ranging), je metoda daljinskega zaznavanja, ki se vedno bolj uporablja za zajem topografskih podatkov. Zračno lasersko skeniranje se lahko uporablja kot samostojna tehnika zajema podatkov, v kombinaciji s klasičnim fotogrametričnim aerofotografiranjem (multispektralno snemanje) ali v kombinaciji z ostalimi tehnikami daljinskega zaznavanja (npr. hiperspektralno snemanje).

Poglavitni prednosti zračnega laserskega skeniranja pred fotogrametričnimi metodami zajema podatkov sta v tem, da podatke o višinski razporeditvi točk na reliefu pridobimo direktno z izmero in da lahko izmerimo tudi točke pod vegetacijo. Z direktno izmero reliefa pod vegetacijo se nam odprejo možnosti za kvalitetno izdelavo plastnic, zajem potokov, zajem gozdnih cest in natančnejšo izdelavo digitalnega modela reliefa (DMR). Če metodo uporabimo v kombinaciji z aerofotografiranjem je mogoče poenostavi identifikacijo objektov in s tem pospešiti vzdrževanje topografskih podatkov.

4.1.2. Lastnosti tehnologije

Glavna prednost lidarskega snemanja pred drugimi snemalnimi tehnikami je, da omogoča direktno izmero oddaljenosti med oddajnikom laserskega žarka in detajlom na fizičnem površju Zemlje od katerega se laserski žarek odbije. Razdalja med oddajnikom ter detajlom na tleh je izmerjena s pomočjo casa, ki ga laserski žarek porabi za pot od oddajnika do detajla na tleh in nazaj. Ker ima laserski žarek nezanemarljiv premer, se del laserskega žarka odbije od različnih objektov, ki se nahajajo na poti laserskega žarka med oddajnikom in površjem, od koder se odbije še preostali del laserskega žarka. Dobimo več laserskih odbojev oziroma takoimenovanih lidarskih točk.

Tako lidarsko snemanje poleg različnih klasifikacij objektov omogoča tudi analize razporejenosti vegetacije po višinah, kar veliko pove o vegetacijskem tipu oz. habitatnem tipu ter prirastku vegetacije, če primerjamo več setov lidarskih podatkov istega območja. Po drugi strani pa lahko tudi direktno izmerimo višino različnih topografskih (hrabi, brežine vodnih teles) in antropogenih objektov (stavbe, ceste) oziroma ugotovljamo njihove spremembe.

Lidarsko snemanje lahko uporabljamo kot samostojno tehniko zajema ali pa v kombinaciji z različnimi srednjeločljivimi ali visokoločljivimi snemanji. Najbolj pogosto je sinhrono izvajanje lidarskega in klasičnega aerofotografiranja, dodamo pa lahko vse od hiperspektralnih do termičnih kamer. Kombiniranje lidarskega snemanja z ostalimi snemalnimi tehnikami poenostavi identifikacijo objektov v lidarskem oblaku točk ter omogoči izdelavo dodatnih izdelkov, kot so npr. ortofotografije.

Lidarsko snemanje se v tujini uporablja za izmero tras elektrovodov, izdelavo podrobnih 3D-modelov mest, gozdarske, hidrološke in ostale topografske analize (Shan in Toth, 2009). Ob pravilni postavitvi pogojev lidarskega snemanja nam le-to omogoča zajem podatkov povsem primerljivih s podatki klasične stereorestitucije na osnovi aerofotografij. Tudi v Sloveniji se je lidarsko snemanje uveljavilo predvsem za potrebe podrobnih hidoloških študij (Gosar in sod., 2007), za potrebe gozdarstva (Kobler in Zafran, 2006; Janža in sod., 2009), kot vhodni vir za izdelavo izdelkov prostorskega načrtovanja (Kolega in sod., 2008; Barboric in sod., 2008) ter za zgodovinske študije (Kokalj in sod., 2008).

4.2. Zajem, zaznavanje sprememb in vzdrževanje topografskih podatkov

4.2.1. Zajem

Tehnologija laserskega skeniranja je v zadnjem času pomembno posegla v način prostorskega zajema topografskih in drugih fizicnih podatkov o okolju (Shan in Toth, 2009). Lasersko skeniranje se v najširšem smislu deli na zračno lasersko skeniranje (ang. airborne laser scanning) in terestrično lasersko skeniranje (ang. terrestrial laser scanning) (Kraus, 2007). Zračne laserske skenerje glede na način meritve ločimo na dva tipa:

- pulzni laserji (ang. Pulse lasers) in laserji z stalnim oddajanjem (Continuous wave lasers)
- pulzni laserji se še naprej delijo na:
 - o klasične in
 - o polno-valovne (ang. full-waveform)

Klasični pulzni laserji lahko registrirajo le nekaj odbojev (do 4, e.g. ALTM 3100 (Wagner, 2005a) ali odboj enega pulza in intenziteto kot dodatno informacijo. Polno-valovni laserji registrirajo vse odboje enega pulza skupaj z amplitudo in širino odbitega pulza (do 7 odbojev, e.g. LMS-Q560 (Wagner, 2005b)). Uporaba polnovalovnega laserja omogoča natančnejšo analizo fizicnih karakteristik reflektorja oz. objektov na zemljini površini. Slabost polno-valovnih skenerjev je množica podatkov, ki jih je potrebno procesirati. Pri laserjih s stalnim oddajanjem se laserska energija oddaja neprekinjeno. Razdalja se izračuna iz faznih razlik oddanih in odbitih signalov. Položajna natančnost zračnega laserskega skeniranja je 30-50 cm, višinska natančnost pa 5-15 cm, vendar so lahko te vrednosti večje, če snemanje izvedemo v slabših pogojih od idealnih (Baltsavias, 1999a; Maas, 2003). Napake niso enake na celotnem območju snemanja, temveč so odvisne od več dejavnikov.

Izvedbo zračnega laserskega skeniranja lahko opredelimo še po gostoti izmerjenih točk na enoto površine (število točk na m²). Če povzamemo izkušnje z Univerze na Dunaju in v Vidmu (Kraus, 2005), lahko podatke ločimo glede na gostoto posnetih točk, ki ustrezajo določeni potrebi po predstavitvi terena. V prvi skupini so podatki z največ 1 točko/m², ki omogočajo izdelavo splošnih DMR-jev in so primerljivi s trirazsežnimi podatki, pridobljenimi na osnovi fotogrametrične stereorestitucije. Druga skupina z 1 do 5 točkami/m² omogoča izdelavo podrobnejših DMR-jev (npr. za izdelavo reliefa poplavnih območij za potrebe hidrografije). V tretjo skupino sodijo podatki z več kot 5 točkami/m², ki omogočajo izdelavo najbolj podrobnih DMR-jev za potrebe prikazov urbanih območij, cest in drugih detajlov (10 točk/m² izpolni večino takšnih potreb). Gostoto laserskih točk na enoto površine pa lahko vnaprej predvidimo z upoštevanjem geometrične ločljivosti izdelka, ki ga želimo izdelati ob uporabi določenega oblaka točk zračnega laserskega skeniranja.

4.2.2. Zaznavanje sprememb

Glavni rezultati zračnih lidarskih meritev so oblaki georeferenciranih točk s podatki o redu odboja in intenziteti vrnjenega valovanja. Za zajem oziroma kasnejši kartografski prikaz topografske vsebine je potrebno iz oblaka lidarskih točk prepoznati posamezne objekte in pojave ter določiti robove med njimi (t.j. robove, ki določajo stavbe, ceste ipd.).

Zaznavanje sprememb je mogoče le s primerjavo starejših in novejših podatkov. Ker je lasersko skeniranje novejša tehnologija ponavadi države še niso v celoti pokrite s temi podatki, zato je le redko mogoča direktna primerjava med starimi in novimi podatki laserskega skeniranja. Zaradi cene laserskega skeniranja tudi še ni pričakovati, da bo lasersko skeniranje nadomestilo stereo-aerofotografije, ki se običajno zajamejo sistematično za celotno površino države v nekaj letnem ciklu.

Seveda pa so podatki laserskega skeniranja lahko v pomoč pri zaznavanju sprememb, ki so se zgodile v prostoru. Primerljivost različnih podatkov (npr. laserskega skeniranja in aerofotografije; Matikainen, 2004) glede lokacijske natančnosti poveča možnosti za uspeh zaznavanja sprememb.

4.2.3. Vzdrževanje topografskih podatkov

Topografski podatki so vsebovani v različnih bazah (topografski nacrti različnih meril, kataster stavb, ...) običajno za celotno območje države. Obstojeci podatki so bili zajeti iz različnih izvornih podatkov in so zapisani v različnih formatih.

Po tujih (FUGRO 2007) in domačih izkušnjah je najbolj ekonomično vzdrževanje topografskih podatkov trenutno še vedno fotogrametrično izrednotenje predvsem za merila kart oz. nacrto, ki sistemsko pokrivajo celo državo. Največjo porabo časa pri vzdrževanju povzroča iskanje sprememb, kjer je v primeru ročnega dela potrebno sistematsko pregledati celotno površino projekta (npr. celotno državo), kljub relativnemu majhnemu številu popravkov.

Želje po avtomatskem vzdrževanju topografskih podatkov so sicer velike, zelo verjetno pa bo potrebno najprej prehoditi pot do polavtomatskega vzdrževanja, kjer operater kontrolira izvajanje avtomatskih procesov in po potrebi ročno intervenira oz. dokonča delo, ki ga algoritem ne zmore zaradi kompleksnosti podatkov.

4.3. Prepoznavanje objektnih tipov

Podatki laserskega skeniranja omogočajo ročni, polavtomatski in avtomatski zajem naslednjih objektnih tipov: relief, zgradbe, hidrografija, raba tal in infrastrukturni objekti. Raziskave so zelo intenzivne predvsem na področju avtomatskih in polavtomatskih postopkov in povečanju njihove uspešnosti pri prepoznavanju različnih topografskih vsebin kot so: relief, hidrografske značilnosti, vegetacijo, ceste in stavbe.

4.3.1. Relief

Osnovna naloga zračnega laserskega skeniranja je zajem podatkov reliefa. Da iz oblaka laserskih točk dobimo relief oz. teren je potrebno izločiti vse ostale točke, ki določajo digitalni model površja (DMP). V ta namen obstajajo številni algoritmi in postopki klasifikacije oblaka točk v kategorije reliefa, vegetacije, zgradb in šumov. Algoritmi vsebujejo veliko prednastavljenih parametrov, ki jih je potrebno prilagoditi značilnosti reliefa in podatkom laserskega skeniranja.

4.3.2. Stavbe

Lidarski podatki omogočajo številne metode za samodejno iskanje stavb (npr. Dorninger, Pfeifer, 2008; Hofmann, Mass, Streilein, 2002; Pfeifer in sod., 2007; Vosselman, Dijkman, 2001). Za prepoznavanje in modeliranje stavb je potreben precej gost oblak laserskih točk. Večjo težavo povzročajo drevesa, ki delno pokrivajo streho kjer so zaradi tega algoritmi neuspešni.

4.3.3. Hidrografija

Odboji laserskega žarka shranjeni v obliki oblaka točk še posebej pa njihova intenziteta omogoča, da podatki procesirajo kot slike. Na teh podatkih je mogoče uporabiti algoritme razvite za daljinsko zaznavanje (Lina, 2006), ki pa za obdelavo podatkov LIDAR niso najbolj primerne.

Drenažna mreža je mogoče izluščiti iz dobrega digitalnega modela reliefa, ki ga dobimo iz podatkov laserskega skeniranja in je pomembna pri študijah v geomorfologiji in hidrologiji (Qian in sod, 2002).

4.3.4. Vegetacija

Uporaba podatkov laserskega skeniranja pri prepoznavanju vegetacije lahko delimo na več kategorij in sicer: prepoznavanje posameznih dreves oz. štetje dreves, prepoznavanje drevesnih vrst glede na obliko drevesne krošnje. Običajno se oblak točk laserskega skeniranja za te vrste aplikacij kombinira z aerofotografijami ali sliko intenzitete.

4.3.5. Ceste

Dolga leta so bil edini izvorni podatki za prepoznavanje in izlocanje cest letalski ali satelitski posnetki. Aerofotografije večjih meril so dale zadovoljive rezultate na homogenih območjih, ki so zadovoljevale določene oblike in velikosti (Baumgartner in sod., 1999, Hinz, 2004). Prednost uporabe podatkov laserskega skeniranja je v bolj avtomatiziranem zajemu podatkov in prostorski ločljivosti.

4.3.6. Literatura

Ackermann, F. 1999. Airborne laser scanning - present status and future expectations, ISPRS PE&RS 54: pp. 64-67.

Baltsavias, E.P. 1999a. Airborne laser scanning: existing systems and firm and other resources, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54: pp. 164-198.

Barboric, B., Triglav Cekada, M., Berk, S., Kosmatin Fras, M. (2008). Metodologija za izboljšavo in harmonizacijo geodetskih podlag za potrebe cezmejnega prostorskega nacrtovanja, GIS v Sloveniji 2007-2008, 273-286.

Baumgartner, A., Steger, C., Mayer, H., Eckstain, W., Ebner, H., 1000, Automatic road extraction based on multiple-scale grouping and context, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 65(7), 777-785.

Dorninger, P., Pfeifer, N. 2008. A comprehensive automated 3D approach for building Extraction, reconstruction and regularization from airborne laser scanning point clouds. Sensors 8, 11: 7323-7343.

FUGRO EARTHDATA, inc., 2007, LIDAR Mapping fact sheet http://www.fugroearthdata.com/pdfs/FCT_Lidar-Educational_11-07.pdf

Gosar, L., Rak, G., Steinman, F., Banovec, P. (2007). Z LIDAR tehnologijo zajeta topografija v hidravličnih analizah vodotokov. Gradbeniški vestnik, 56, 115-123.

Hinz, S., 2004, Automatic road extraction in urban scenes- and beyond, International Archives of Photogrammetry and Remote sensing, Vol. 35, Part B3, pp.349-355.

Hofmann, A. D., Mass, H.-G., Streilein, A. 2002. Knowledge-based building detection based on laser scanner data and topographic map information.

Kobler, A., Zafran, J. (2006). Podatki letalskega lidarskega snemanja in njihova uporaba pri gospodarjenju z gozdom. V: HLADNIK, David (ur.). Monitoring gospodarjenja z gozdom in gozdnato krajino, (Studia forestalia Slovenica, št. 127). Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 83-96.

Kokalj, Ž., Oštir, K., Zakšek, K. (2008). Uporaba laserskega skeniranja za opazovanje preteklih pokrajin – primer okolice Kobarida, GIS v Sloveniji 2007-2008, 321-329.

- Kolega, N., Žerjal, A., Krapež, B., Slavec, P. (2008). Uporaba lidarskih podatkov za občinsko prostorsko nacrtovanje in upravljanje, GIS v Sloveniji 2007-2008, 267-271.
- Kraus, K. (ed.) 2005. Physical principles of airborne laser scanning, University course: Laser scanning - Data Acquisition and Modeling, Vienna, TU Vienna, Institute of photogrammetry and remote sensing, October 6-7, 2005.
- Kraus, K. (2007). Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans, 2nd edition. Walter de Gruyter.
- Qian, J., Ehrlich, R. & Campbell, J., 2002, DNESYS-An expert system for automatic extraction of drainage networks from digital elevation data. Geoscience and Remote, 28(I).
- Maas, H.-G., 2002. Methods for measuring height and planimetry discrepancies in airborne laserscanner data, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 68, 9: pp. 933-940.
- Lina, Z., 2006. River change detection based on remote sensing image and vector. Proceedings of IMSCCS'06, pp. 188-191.
- Matikainen, L., 2004. Automatic Detection of Changes from Laser Scanner and Aerial Image data for Updating Building Maps, XXth ISPRS Congress, Istanbul, Turkey
- Pfeifer, N., Rutzinger, M., Rottensteiner, F., Muecke, W., Hollaus, M. 2007. Extraction of building footprints from airborne laser scanning: Comparison and validation techniques. V: Proceedings of the Joint IEEE-GRSS/ISPRS Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas, Urban 2007, Pariz, Francija.
- Shan, J., Toth, C.K. (2009). Topographic laser ranging and scanning. Taylor & Francis Group.
- Triglav-Cekada, M., Crosilla, F., Kosmatin-Fras, M. (2010). Teoreticna gostota lidarskih točk za topografsko kartiranje v največjih merilih, Geodetski vestnik, 54(3), 389-402.
- Triglav-Cekada, M., Crosilla, F., Kosmatin-Fras, M. (2009). A simplified analytical model for a-priori lidar point-positioning error estimation and a review of lidar error sources. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 75 (12), 1425-1439.
- Triglav-Cekada, M. (2009). Optimizacija metodologije obdelave in analiza natančnosti letalskega laserskega skeniranja pri zajemu geodetskih podatkov za lokalno prostorsko planiranje. Doktorska disertacija, Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Vosselman, G., Dijkman, S. 2001. 3D building model reconstruction from point clouds and ground plans. The International Archives of the Photogrammetry and Remote Sensing XXXIV, 3/W4: 37-44.
- Wagner, W. 2005b. Full wave laser scanning, University course: Laser scanning – Data Acquisition and Modeling, K. Kraus (ed.), October 6-7, 2005, Vienna, TU Vienna, Institute of photogrammetry and remote sensing.
- Wagner, W. 2005b. Full wave laser scanning, University course: Laser scanning – Data Acquisition and Modeling, K. Kraus (ed.), October 6-7, 2005, Vienna, TU Vienna, Institute of photogrammetry and remote sensing.

5. Satelitsko snemanje

5.1. Opis tehnologije in njenih lastnosti

Visokoločljivi satelitski posnetki postajajo dragocen vir podatkov pri obnavljanju podatkov v prostorskih topografskih bazah in so ob že zadostni prostorski ločljivosti tudi cenovno vedno bolj dostopni. To so satelitski sistemi, ki zagotavljajo prostorsko ločljivost enega metra ali boljše v pankromatskem kanalu in snemajo površino Zemlje tudi z multispektralnimi kanali.

Po letu 1999 je bilo v različne Zemljine tirnice izstreljenih več komercialnih satelitov, ki zajemajo podobe visoke ločljivosti. Kar nekaj komercialnih satelitov zajema pankromatske posnetke s prostorsko ločljivostjo enega metra ali boljše: GeoEye-1, IKONOS, OrbView-3, QuickBird, ALOS PRISM, WorldView-2, WorldView-1, EROS B. Razen zadnjih dveh vsi snemajo Zemljo tudi z multispektralnimi posnetki. Ti imajo običajno dva- do štirikrat slabšo prostorsko ločljivost kot pankromatski posnetki, vendar v veliki meri pripomorejo k boljši interpretaciji podob, z metodami ostrenja (ang. pan-sharpening) pa tudi k njihovi boljši upodobitvi. Tako dobimo podobe, ki imajo dobre spektralne lastnosti (4 do 8 kanalov) in visoko prostorsko ločljivost (1 m). Satelitski sistemi delujejo v vidnem, infrardečem in mikrovalovnem (radarskem) delu elektromagnetnega spektra. Podatke o elementih pokrovnosti površja na satelitskih posnetkih (oziroma različnih objektih) lahko pridobimo s postopkom klasifikacije, nasploh pa so prav visoko ločljivi posnetki spodbudili razvoj in uporabo tudi številnih drugih metod.

Prednost visokoločljivih satelitskih posnetkov pred izdelki letalskih posnetkov je v boljši spektralni, časovni in radiometrični ločljivosti. Večja spektralna ločljivost omogoča boljše razpoznavanje sorodnih si objektov (npr. razlikovanje med vrstami listavcev v listnatem gozdu). Večja pogostost opazovanja (npr. enkrat mesečno) lahko omogoča sprotno spremljanje razvoja in stanja objektov, npr. napredovanja infrastrukturnega objekta ali natančno razpoznavanje, določanje stanja in spremljanje razvoja posamezne parcele.

V tem pogledu velja omeniti tudi hiperspektralne satelitske sisteme. Gre za posnetke z zelo ozko, a domala zvezno specifikacijo spektralnih kanalov (več deset do nekaj sto kanalov), ki ponujajo velik potencial predvsem za razpoznavanje bio-fizikalnih lastnosti objektov na površju Zemlje in za kompleksnejša razlikovanja predmetov. Vendar je trenutna prostorska ločljivost satelitskih hiperspektralnih sistemov ranga nekaj deset metrov (Hyperion, AVIRIS HA, 20 m). Zaradi razmeroma zapletene obdelave, nekaterih znanih radiometričnih napak, predvsem pa namena uporabe, se za potrebe vzdrževanja topografskih baz velikih meril ti podatki trenutno ne uporabljajo.

Posebej velja omeniti tudi satelitske sisteme, ki omogočajo opazovanje lastnosti površja iz stereoparov optičnih visokoločljivih posnetkov s prostorsko ločljivostjo boljše od 2,5 m. Med njimi so najbolj znani: SPOT 5, Ikonos 1 in 2, QuickBird 2 in GeoEye 1 (prej OrbView 5), nekateri ostali pa IRS P5 (Cartosat 1) in IRS 2A (Cartosat 2), OrbView 3 (do leta 2007), WorldView 1 ter Eros B in C. Stereo posnetki satelitskih sistemov se uporabljajo predvsem za pridobivanje informacij o oblikovanosti površja. S podatki daljinskega zaznavanja je mogoče v odvisnosti od senzorja, tehnike in razgibanosti reliefa izdelati različno dober model višin. Prevladujoče tehnike so fotogrametrija, zračno lasersko skeniranje in radarska interferometrija. Prednost izdelave modela višin s podatki daljinskega zaznavanja je, da omogoča enovitost izdelanega modela in pridobitev natančnih podatkov o višinah za razmeroma velika območja v kratkem času.

5.1.1. Postopek obdelave podatkov

Obdelava optičnih satelitskih posnetkov je razmeroma standardizirana. Vsebuje izbrane geometrične in radiometrične postopke in popravke. Ker so tirnice satelitov na višini okrog 700 km, lahko na radiometrične lastnosti vsebine optičnih satelitskih posnetkov znatno vplivajo trenutni atmosferski in predhodni meteorološki pogoji. Ta okoliščina je še posebej pomembna, če izvajamo neposredne primerjave posnetkov, natančneje neposredne primerjave bio-fizikalnih lastnosti objektov. V splošnem predobdelava satelitskih posnetkov zavzema naslednji redosled: georeferenciranje, ortorektifikacijo, atmosferske popravke, popravke osvetlitve in druge radiometrične popravke.

Katere obdelave dejansko izvajamo je odvisno od namena uporabe posnetka in previdenega načina razpoznavanja objektov (piskselsko, objektno usmerjeni pristopi). Velja, da je za pridobivanje geometričnih informacij z visokoločljivih posnetkov predhodna ortorektifikacija obvezna, nadalje pa tudi, da ob uporabi objektnih pristopov klasifikacije zapleteni atmosferski popravki niso zavezujoči za kakovostno razpoznavanje osnovnih topografskih objektov.

Za kakovostno uporabo satelitskih posnetkov je izjemnega pomena ustrezna interpretacija vsebine. Če je posnetek ustrezno obdelan omogoča pridobivanje metrične in semantične vsebine ali podatkov o objektih iz okolja ter izdelavo različnih tematskih izdelkov. Najbolj poznani tematski izdelki satelitskih posnetkov so karte pokrovnosti površja ali rabe tal ter modeli višin.

Slovenija trenutno svojega satelita še nima. Izdelava in vzdrževanje topografskih baz se ne izvajata na podlagi visokoločljivih satelitskih virov. Največjo operativno rabo tovrstnih podatkov je mogoče zaslediti v gozdarstvu (ocena vegetacijskega pokrova, prepoznavanje drevesnih tipov in stanja), bilo pa je nekaj nesistematičnih poskusov na občinski lokalni ravni tudi za potrebe kmetijstva.

5.2. Zajem, zaznavanje sprememb in vzdrževanje topografskih podatkov

Samodejno iskanje in zajem elementov pokrovnosti površja iz satelitskih posnetkov je že vrsto let pomembna tema raziskav na področju fotogrametrije in daljinskega zaznavanja. Objekte na posnetku praviloma določimo z analizo geometričnih in spektralnih ali radiometričnih lastnosti reprezentativnih objektov, ob uporabi raznih analitičnih tehnik. Pomembna lastnost satelitskih snemanj je njihova ponovljivost in razmeroma veliko območje pokrivanja. Omogočajo nam tako razpoznavanje objektov, kot zaznavanje sprememb v domala poljubnih časovnih intervalih. Prav zaradi visoke časovne ponovljivosti opazovanja ter širokega nabora ponudnikov tovrstnih podatkov so podatki satelitskih sistemov lahko uporabni za obnavljanje in vzdrževanje podatkov v topografskih bazah različnih meril.

Ker je za zajem topografskih podatkov zahtevana visoka položajna natančnost, je za vzdrževanje državnih topografskih baz velikega merila smiselno izrabiti potencial razpoložljivosti visokoločljivih satelitskih podob. Visoka prostorska ločljivost podob razkriva natančne detajle pokrovnosti ali rabe tal tudi na nivoju opazovanja in razpoznave osnovnih topografskih objektov oziroma podatkov.

Zaradi dostopnosti tehnologije visokoločljivostnih satelitskih podatkov in s tem velikega števila podrobnosti na podobah, so se v zadnjem desetletju razvile nove metode klasifikacij. Pikselsko usmerjena analitična tehnika in algoritmi ne izkoriščajo v polni meri povečano prostorsko ločljivost, novitete v disciplini zato prinaša objektna klasifikacija podob. Objektna klasifikacija je učinkovita metoda za združevanje velikih detajlov na podobah, še posebej za odkrivanje in razvrščanje umetnih objektov razmeroma pravih oblik. Objektna klasifikacija je pol-avtomatski postopek, ki bistveno olajša interpretacijo in lahko izdatno zmanjša ročni zajem. Sočasno lahko določamo poljubne objekte, poljubnih prostorskih razsežnosti (npr. gozd ali posamično drevo v parku). Problem za obnovo topografskih baz lahko povzročajo prekritosti opazovanih objektov zaradi geometrije opazovanja (npr. prekinitve poteka gozdne ceste zaradi drevesnih krošenj in podobno). V takšnih primerih je smiselno kombinirati različne metode snemanja površja (lidarsko snemanje, letalsko snemanje) in podatke združevati.

Poseben vidik satelitskega snemanja površja je tudi, da lahko informacije o spremembah v okolju pridobivamo v različnih merilih. Srednje ločljivi sistemi kot sta Landsat in SPOT se lahko uporabita za identifikacijo večjih sprememb v prostoru. Z visokoločljivimi sistemi lahko nato te spremembe vrednotimo in karakteriziramo na ravni kartiranja topografskih objektov.

Za ilustracijo naj navedemo nekaj primerov satelitskih sistemov ter njihovo uporabnost pri kartiranju. ASTER je uporaben za kartiranje v merilu 1 : 150.000. Landsat, SPOT 5 in IRS-1C se lahko uporabijo za generiranje topografskih kart v merilu 1 : 50.000. Zanimiv primer je tudi KOMPSAT-1, ki ima sicer visoko prostorsko ločljivost 6,6 m (8-bitno radiometrično ločljivost), ki je podobna SPOT-5 in večja od IRS-1C, vendar velja, da je količina informacij zadostna zgolj za izdelavo topografskih kart v merilu 1 : 50.000. Uporaba Cartosat-1 (2,5 m prostorska ločljivost, stereo) and Cartosat-2 (1 m ločljivost) skupaj omogoča generiranje in obnavljanje topografskih kart do merila 1 : 25.000 (Amitabh et al., 2008).

Z IKONOS, GeoEye-1, QuickBird in OrbView-2 pankromatskimi in pankromatsko izostrenimi posnetki lahko kartiramo v merilu 1 : 10.000, s QuickBird, GeoEye-1 in WorldView-2 posnetki tudi do 1 : 5000. QuickBird se lahko uporablja za obnovo kart merila 1 : 5000 in manjših, obnavljamo pa lahko hidrološko omrežje, urbana območja in vegetacijo. QuickBird posnetke so uporabili za obnavljanje topografskih baz v Italiji (Gianinetto, 2008). Rezultati so pokazali, da je obnavljanje do merila 1 : 10.000 mogoče, za 1 : 5000 pa ne vselej uspešno. Ordnance Survey (Great Britain's National Mapping Agency) je podobno kot Holland et al. (2002) ugotovila, da se QuickBird posnetki lahko uporabljajo za obnovo kart v merilih med 1 : 10.000 in 1 : 6000, vse dokler so majhni linearni objekti izvzeti iz kartirnih specifikacij. Ugotovili so tudi, da lahko na QuickBird posnetkih učinkovito zajamemo ceste, železnice, vodna telesa in večino stavb, težave pa predstavljajo manjši objekti kot so na primer zidovi, ograje in žive meje, ki jih na posnetkih ni mogoče prepoznati v celoti.

5.3. Prepoznavanje objektnih tipov

Multispektralni posnetki v veliki meri pripomorejo k boljši interpretaciji podob in so pomembni v metodah prepoznavanja objektov (npr. ločevanja vegetacije od drugih vrst rabe). Po navedbah v literaturi (Topan et al., 2009; Walczykowski in Kedzierski, 2006; Holland et al., 2006) so raziskave pokazale, da imajo visokoločljivostni posnetki velik potencial zlasti za izdelavo kart pokrovnosti tal in ažuriranje topografskih objektov na kartah v merilu 1:10.000 in manjših merilih.

5.3.1. Relief

Kakovost in natančnost modela višin sta odvisni od prostorske ločljivosti senzorja, radiometrične kakovosti podob, pokrovnosti območja zanimanja, natančnosti kontrolnih točk za geokodiranje posnetkov, stopnje prekrivanja, tirnice snemanja in časovne oddaljenosti posnetkov, razmerja med bazo in višino (H/B), razlike v ločljivosti stereopara in ravni predobdelave, vsebovanih motečih pojavov (oblaki, megla in podobno) in dolžine senc (Krupnik 2000, Toutin 2003 in 2004, Jacobsen 2004). Primerjava stereo modelov višin z višinskimi podatki lidarja, ki jo je opravil Toutin (2004), razkrije razmeroma velika odstopanja, saj znašajo pri stopnji zanesljivosti 90 % približno 10 m. Analiza razkrije, da so (velike) napake večinoma v različnih sencah (gora, dreves ali zgradb) in so deloma posledica primerjave modelov površja z modelom terena. Rezultati so boljši pri primerjavi le golega površja (prsti in jezera). Pregled literature razkrije podobne rezultate pri drugih študijah kakovosti modelov višin, pridobljenih iz stereoparov satelitskih posnetkov. Na ravnem, odkritem terenu je višinska natančnost običajno med ena in dva krat ločljivost senzorja, pogosto je tudi bistveno slabša (Di et. al, 2003, Jacobsen 2004, Ahmed et al. 2007, Buyuksalih et al. 2008). Priporočil o optimalni velikosti celice izdelanih modelov višin je v literaturi malo. Avtorji običajno uporabljajo velikost enako dvakratni ločljivosti senzorja, čeprav je pri tej ločljivosti lahko že prisotna močna soodvisnost med sosednjimi celicami (Buyuksalih et al. 2004).

5.3.2. Stavbe

Metode zajemanja stavb s posnetkov visokoločljivostnih satelitov omogočajo položajno natančnost in točnost, ki je boljša od enega metra, kar že skoraj povsem zahteva položajni točnosti stavb pri zajemu v državno topografsko kart v merilu 1:5000 (DTK5), ki znaša 0.5 m. Stavbe lahko dobimo iz visokoločljivih stereoposnetkov Ikonos, QuickBird, GeoEye ali WorldView 2. V splošnem se za samodejni zajem stavb uporabljata dve tehnologiji. Prva sloni izključno na uporabi posnetkov in uporabi kombiniranih postopkov digitalne obdelave podob, prepoznavanja vzorcev, računalniškega vida in umetne inteligence (Park et al. 2000, Segl in Kaufmann 2001, Sohn and Dowman 2001, Lee et al. 2003, Benediktsson et al. 2003, Shackelford and Davis 2003, Liu et al. 2005). Druga metodologija združuje uporabo satelitskih posnetkov in višinskih podatkov, pridobljenih iz stereoposnetkov ali drugih virov (Kim in Muller 2001, Jin in Davis 2005, Koc San in Turker 2007, Sohn in Dowman 2007). Združevanje posnetkov in višinskih podatkov se v zadnjih letih uporablja za 3D rekonstrukcijo urbanih območij in izdelavo 3D modelov mest (Kocaman et al. 2006, Krauß et al. 2008, Lafarge et al. 2008).

Krauß in Reinartz (2006) sta z uporabo višinske informacije dobljene iz stereoposnetkov in spektralno objektno klasifikacijo zelo dobro razločila tipične urbane strukture, kot so stavbe, drevesa, ceste, nizko rastje, vodna telesa itn. QuickBird posnetki se zelo pogosto uporabljajo za prepoznavanje stavb v naseljih in kartiranje hitro rastočih predmestij.

5.3.3. Hidrografija

Visokoločljive stereoposnetke Ikonos, QuickBird, GeoEye ali WorldView 1 in 2 lahko uporabimo tudi za razpoznavanje vodnih teles. Voda je na multispektralnih posnetkih, ki vsebujejo tudi infrardeči kanal praviloma dobro razpoznavna tudi z avtomatskimi postopki. Težave pri zaznavi lahko povzročajo manjši vodotoki.

5.3.4. Vegetacija

Vegetacijo (gozd, drevesa) lahko dobimo iz visokoločljivih stereoposnetkov Ikonos, QuickBird, GeoEye ali WorldView 1 in 2. V splošnem velja, da je vegetacija zelo dobro razpoznavna na vseh večspektralnih posnetkih, ki poleg vidnega spektra zajemajo tudi v infrardečem. Za prepoznavanje vegetacije na

posnetkih je razvitih zelo veliko pristopov in postopkov. Načeloma je vegetacija na večspektralnih posnetkih zelo dobro določljiva.

5.3.5. Ceste

Glavni problem samodejnih pristopov razpoznave cest je, da se značilnosti cest znatno razlikujejo pri različnih ločljivostih, vrsti ceste, gostoti okoliških objektov, pogojih osvetlitve in tako naprej. Za prepoznavanje cest in povezovanje odsekov v cestno mrežo so razviti številni algoritmi. Večinoma izhajajo iz filtriranja robov in teksture, objektne klasifikacije in napredne uporabe objektnih atributnih lastnosti (tekstura, geometrija) v modeliranju. Uspešno metodo za ekstrakcijo cest in njihovo dobro razločevanje od senc iz Ikonos posnetkov s pomočjo umetnih nevronske mreže in izboljšavo z informacijami o teksturi so predstavili Salehi Amin et al. (2006).

5.4. Literatura:

- Ahmed, N., Mahtab, A., Agrawal, R., Jayaprasad, P., Pathan, S. K., Ajai, Singh, D. K., Singh, A. K. 2007. Extraction and validation of cartosat-1 DEM. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 35, 2:121-127.
- Amitabh, Gopala Krishna, B., Srinivasan, T.P., Srivastava, P.K., 2008. An integrated approach for topographical mapping from space using CARTOSAT-1 and CARTOSAT-2 imagery. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B4. Beijing 2008.
- Baltsavias, E. P., 2004. Object extraction and revision by image analysis using existing geodata and knowledge: current status and steps towards operational systems. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 58, pp. 131-151.
- Benediktsson, J. A., Pesaresi, M. in Arnason, K., 2003, Classification and feature extraction for remote sensing images from urban areas based on morphological transformations. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, pp. 1940–1949.
- Buyuksalih, G., Jacobsen, K., Baz, I. 2008. DEM generation based on optical space images. *EARSeL Workshop 'Remote Sensing for Developing Countries in Conjunction with GISDECO 08'*. Istanbul, Turčija: 10 str. www.ipi.uni-hannover.de/uploads/tx_tkpublikationen/Buyuksalih_istanbul.pdf (26.8.2009).
- Buyuksalih, G., Oruc, M., Topan, H., Jacobsen, K. 2004. Geometric accuracy evaluation, DEM generation and validation for SPOT-5 Level 1B stereo scene. *EARSeL Workshop Remote Sensing for Developing Countries*. Kairo, Egipt: 6 str.
- Gianinetto, M., 2008. Updating Large Scale Topographic Databases in Italian Urban Areas with Submeter QuickBird Images. *International Journal of Navigation and Observation*. Volume 2008, Article ID 725429.
- Holland, D. A. (ur.), Guilford, R. (ur.), Murray, K. (ur.). 2002. OEEPE-Project on Topographic Mapping from High Resolution Space Sensors. OEEPE Official Publication 44.
- Holland, D.A., Boyd, D.S., Marshall, P., 2006. Updating topographic mapping in Great Britain using imagery from high-resolution satellite sensors. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 60, p.212-223.
- Jacobsen, K. 2004. DEM generation from satellite data. V: Goossens, R. (ur.): *Remote Sensing in Transition*. Ghent, Belgija: 513-525.
- Jacobsen, K., Crespi, M., Fratarcangeli, F., Giannone, F. 2005. DEM generation with Cartosat-1 stereo imagery.
- Jin, X. and Davis, C.H., 2005. Automated building extraction from high-resolution satellite imagery in urban areas using structural, contextual and spectral information. *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, 14, pp. 2196-2206.
- Kim, J.-R.; Muller, J.-P., 2001. Assessment of automated techniques for extracting vegetation and buildings from 1m stereo multispectral IKONOS and 1m pan-sharpened IKONOS coupled with scanning laser altimetry. In *E-Proceedings of the Joint ISPRS Workshop: High Resolution Mapping from Space 2001*, Hannover, Germany, 19-21 September 2001.

- Koc San, D., Turker, M. 2007. Automatic building extraction from high resolution stereo satellite images. In *Proceedings of the Conference on Information from SAR and optical data with emphasis on developing countries*, ISPRS Commission VII, WG2 & WG7, Istanbul, Turkey, 16-18 May 2007; p 6.
- Kocaman, S., Zhang, L., Grün, A. and Poli, D., 2006. 3D city modeling from high-resolution satellite images. In *Proceedings of the ISPRS Workshop on Topographic Mapping From Space*, 14-16 February 2006, Ankara, Turkey, p 6.
- Krauβ, T., Lehner, M., Reinartz, P., 2008. Generation of coarse 3D models of urban areas from high resolution stereo satellite images. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing 2008. http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1_pdf/186.pdf
- Krauβ, T., Reinartz, P., 2008. Urban object detections using a fusion approach of dense urban digital surface models and VHR optical satellite stereo data. Commission I, WG I/5, ThS-3.
- Krauβ, T.; Lehner, M.; Reinartz, P. Generation of coarse 3D models of urban areas from high resolution stereo satellite images. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 2008, 37 (B1); pp. 1091-1098.
- Krupnik, A. 2000. Accuracy assessment of automatically derived digital elevation models from SPOT images. *Photogrammetric engineering and remote sensing* 66, 8: 1017-1023.
- Lafarge, F., Descombes, X., Zerubia, J. in Pierrot-Deseilligny, M., 2008. Automatic building extraction from DEMs using an object approach and application to the 3D-city modeling. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, **63**, pp. 129-136.
- Lee, D. S., Shan J. and Bethel, J., 2003. Class-guided building extraction from IKONOS imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **69**, pp. 143-150.
- Liu, Z. J.; Wang, J.; Liu, W. P., 2005. Building extraction from high resolution imagery based on multi-scale object oriented classification and probabilistic hough transform. In *Proceedings of the IGARSS 2005 Symposium*, Seoul, Korea, 25-29 July, 2005; pp. 2250-2253.
- Mena, J.B. and Malpica, J.A., 2005. An automatic method for road extraction in rural and semi-urban areas starting from high resolution satellite imagery. *Pattern Recognition Letters*, 26(9): 1201–1220.
- Park, W.; Kwak, S.; Kim, T., 2000. Line-rolling algorithm for automated building extraction from 1-meter resolution satellite images. In *Proceedings of International Symposium on Remote Sensing*. Kyung-Ju, Korea, 1-3 November 2000; pp. 31–36.
- Quackenbush, L.J., 2004. A review of techniques for extracting linear features from imagery. *Photogr. Eng. Remote Sensing* 70 (12), 1383–1392.
- Salehi Amin, M.A., Mokhtarzade, M., Valadan Zoej, M.J., 2006. Automatic road network detection from high-resolution satellite images using neural networks and angular texture information. *ASPRS 2006 Annual Conference*, Reno, Nevada, May 1-5, 2006.
- Segl, K. in Kaufmann, H., 2001. Detection of small objects from high-resolution panchromatic satellite imagery based on supervised image segmentation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **39**, pp. 2080–2083.
- Shackelford, A. K. and Davis, C. H., 2003. A combined fuzzy pixelbased and object-based approach for classification of highresolution multispectral data over urban areas. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **41**, pp. 2354–2363.
- Sohn, G. and Dowman, I., 2007. Data fusion of high-resolution satellite imagery and LIDAR data for automatic building extraction. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, **62**, pp. 43-63.
- Sohn, G.; Dowman, I. J. 2001. Extraction of buildings from high-resolution satellite data. In *Automated Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (III)*, Baltsavias, E., Grün, A., Gool, L. V., Eds.; Balkema: Lisse, Netherlands, 2001; pp. 345-355.
- Topan, H, Maktav, D., Jacobsen, K., Buyuksalih, G., 2009. Information content of optical satellite images for topographic mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 30: 7, 1819 – 1827.
- Toutin, T. 2003. Block bundle adjustment of Landsat 7 ETM+ images over mountainous areas. *Photogrammetric engineering and remote sensing* 69, 12: 1341-1349.

Toutin, T. 2004. Comparison of stereo-extracted DTM from different high-resolution sensors: SPOT 5, EROS A, IKONOS II, and QuickBird. IEEE transactions on geoscience and remote sensing 42, 10: 2121-2129.

Walczkowski, P., Kedzierski, M., 2006. QuickBird satellite images application to 1:10 000 topographic chart actualization. ASPRS 2006 Annual Conference, Reno, Nevada, May 1-5, 2006.

Zhang, C., 2003. Updating of cartographic road databases by image analysis. Ph.D. thesis, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zürich, Mitteilungen 79. 188 pages.

6. Radarsko snemanje

6.1. Opis tehnologije in njenih lastnosti

Senzorji, ki delujejo v mikrovalovnem delu elektromagnetnega spektra, postajajo v zadnjem času vse pomembnejši vir podatkov o okolju. Glavni razlog za to so njihove dobre lastnosti (na primer neobčutljivost na vremenske pojave in možnost snemanja ponoči), ki so vplivale na povečanje števila delujočih radarskih (predvsem satelitskih) sistemov. Način snemanja je v mikrovalovnem območju povsem drugačen kot v optičnem. Daljše valovne dolžine lahko prodirajo skozi oblake, meglice, prah in dež, saj nanje ne vpliva atmosfersko sipanje, ki je izrazito v optičnem delu spektra. Z radarjem lahko torej opazujemo ne glede na vremenske in druge razmere.

V nadaljevanju se bomo ukvarjali samo z aktivnim mikrovalovnim daljinskim zaznavanjem, saj se pasivno ne razlikuje od opazovanja v optičnem delu spektra. Radar (radio detection and ranging, radijsko zaznavanje in določanje razdalje) meri jakost mikrovalovnega signala, ki ga izseva antena in odbijajo oddaljene površine oziroma predmeti na njih. Radarska antena v določenih časovnih presledkih oddaja in sprejema impulze, ki imajo značilno valovno dolžino in polarizacijo. Valovne dolžine so ponavadi v območju med 1 cm in 1 m, kar ustreza frekvenci med 300 MHz in 30 GHz, valovi pa so polarizirani v navpični ali vodoravni ravnini. Značilni radar odda proti tarči oziroma območju, ki ga snema, vsako sekundo kakih tisoč visokoenergijskih impulzov, trajajočih nekaj deset mikrosekund (do 50 μ s). Vsak izmed njih pokrije ozek pas frekvenc (ponavadi od 10 do 200 MHz) okrog sredinske frekvence radarja.

Podatki, dobljeni z radarskimi senzorji, se močno razlikujejo od optično zaznanih, zato moramo za njihovo razumevanje poleg osnov delovanja radarskih sistemov poznati tudi način interakcije mikrovalov z zemeljskim površjem. Oddajnik na satelitu ali letalu pošlje proti površju Zemlje radarski snop, in sicer poševno navzdol, pravokotno na smer gibanja. Tako osvetli del površine, ki je nekoliko stran od projekcije tirnice. Radarski valovi se najprej odbijejo od bližnjih predmetov, nato pa še od daljnih. Ker poznamo hitrost razširjanja elektromagnetnega valovanja, lahko iz izmerjenih časov potovanja žarka določimo oddaljenost predmetov, od katerih se je ta odbil. Jakost odbitega valovanja določa več dejavnikov, med katerimi so najpomembnejši (Atlantis 1997, Mather 2004, Oštir 2006): krajevni vpadni kot, razgibanost terena ter prevodnost in dielektričnost zemeljskega površja. Koti gledanja in s tem oddaljenost opazovanega območja od projekcije tirnice na površje se gibljejo od približno 10 do več kot 50°. Prav zaradi takšnega načina snemanja tovrstne sisteme imenujemo radarji bočnega pogleda (side looking radar, SLR; oziroma side looking airborne radar, SLAR, kadar gre za letalske sisteme). Prostorska ločljivost radarskega sistema je odvisna od smeri opazovanja in v splošnem ni enaka v smeri razdalje in azimuta.

S tehnologijo umetno odprtinskega radarja SAR (Synthetic Apertur Radar) danes ustvarijo največje število posnetkov, saj je zaradi velike oddaljenosti to edini možen način pri snemanju iz vesolja. V zadnjih dveh desetletjih so se SAR posnetki širili na številna področja uporabe (pomorska varnost, znanje in sledenje plovil na morju, spremljanje oljnih razlitij, določanje in opazovanje sprememb obalne linije, spremembe rečnih strug, stanje vegetacije in vlažnosti tal). Posebno dragoceno vlogo pa imajo radarski sistemi pri opazovanju nesreč, na primer poplav, zaradi zgoraj opisanih prednosti pred optičnimi sistemi. Danes obstaja več senzorjev, ki delujejo na različnih frekvencah, ki prispevajo k napredku na različnih disciplinah. Poleg uporabe enotnih konfiguracij SAR, se hitro uvajajo napredni načini z namenom, da se poveča število informacijskih kanalov. Med njimi je Interferometric SAR (InSAR) postal zelo priljubljen zaradi svoje sposobnosti, da neposredno priključuje ključni fizični parameter - relativno višino raztresenosti.

Velika večina radarskih podatkov ima srednjo ali slabo ločljivost (ERS, ENVISAT or RADARSAT), ranga 10, 12,5 ali 20 m (in do 100 m). V teh primerih je zaznava majhnih objektov nemogoča, pozicioniranje večjih pa je zadostno za kartiranje v merilih 1 : 50000 in več. Najnovejša generacija satelitov je zato že opremljena z visoko ločljivostnimi senzorji (RADARSAT-2, TerraSAR-X in COSMO-SkyMed). Ločljivost do 1 m te posnetke že približuje optičnim, vendar ostaja bistvena razlika na stopnji vsebine zajema in interpretacije podob.

6.1.1. Postopek obdelave radarskih posnetkov

Obdelava radarskih satelitskih posnetkov je danes razmeroma standardizirana. Vsebuje izbrane geometrične in radiometrične postopke in popravke. Ker so parametri geometrije snemanja pri radarskih posnetkih satelitov praviloma dobro znani in ker so posnetki zajeti iz različnih kotov opazovanja, je radarske posnetke vselej treba ortorektificirati. S tem odpravimo razlike zaradi različnih kotov opazovanja

in zmanjšamo položajna odstopanja terena. Pomemben del obdelave radarskih posnetkov je filtriranje šuma in ustrezna obdelava zrnatosti. Obstaja vrsta digitalnih filtrov, ki jih prilagajamo za različne radiometrične izboljšave radarskih podob. Obdelava radarskih podob poteka tako v prostorski kot v frekvenčni domeni.

Poleg običajnih načinov zajema in uporabe radarskih podob obstaja tudi nekaj naprednejših, od katerih je potrebno omeniti vsaj tri: stereogrametrijo, interferometrijo in polarimetrijo. Radarsko stereo gledanje z iste strani pri interpretaciji za potrebe geologije in gozdarstva uporabljajo že nekaj let. Poleg tega z njim uspešno ustvarjamo topografske karte. Določanje razdalj in izdelava modelov višin z radarskimi podobami se imenuje radargrametrija. Gre za analogne postopke, kot jih poznamo pri obdelavi optičnih podob. Pri interferometriji izkoriščamo poleg intenzitete podob (amplitude odboja na zemeljskem površju) tudi njihovo fazo. Z ustvarjenimi interferogrami lahko pridobivamo izjemno natančne topografske podatke o površju (višine, majhne premike) in ustvarjamo trirazsežne poglede. Z uporabo več polarizacij lahko izboljšamo postopek prepoznavanja in ločevanja predmetov na površju. Poleg tega lahko tovrstni radarski sistemi beležijo tako amplitudo (intenziteto) kot tudi fazo odbitega valovanja. Fazo lahko uporabimo kot dodaten element pri določanju radarskega podpisa predmetov na površju.

Največjo operativno rabo radarskih posnetkov je mogoče zaslediti v pomorstvu (identifikacija plovil, onesnaževanje morja, določanje poteka in sprememb obale), za hidrološke analize površja (kartiranje vode, vsebnosti vlage na površju), za vegetacijske analize (kartiranje stanja vegetacije in vsebnosti vlage v rastlinju), analize geoloških lastnosti tal nekaj metrov pod površjem v sušnih predelih sveta ter analize deformacij površja (popotresni, tektonski premiki, pogrezanje, delovanje vulkanov, plazovi ipd.)

6.2. Zajem, zaznavanje sprememb in vzdrževanje topografskih podatkov

Izdelava in vzdrževanje topografskih baz se redkeje izvajata na podlagi radarskih virov, vendar lastnosti najnovejših visokoločljivih radarskih stereo in tandemskih posnetkov (npr. TerraSAR-X StripMap Data Pair) to paradigmo že presega. Infoterra je razvila postopek izdelave digitalnega modela površja in terena za merila 1 : 25.000 in 1 : 50.000, ki dosega natančnost v položaju in višini do 5 m. Uporaba enega samega vira (v tem primeru TerraSAR-X StripMap Data Pair, 3 m ločljivost) za pridobivanje podatkov o višinah na širšem območju je časovna in cenovna alternativa drugim postopkom vzdrževanja topografskih baz srednjega merila. Poleg tega interpretacija objektov v 3D okolju omogoča bistveno boljše razpoznavo objektov na površju.

Pomebna lastnost najnovejših visokoločljivih radarskih sistemov je doslednost v parametrih in dobro znani geometriji snemanja. To bo nedvomno olajšalo in izboljšalo rezultate odkrivanja sprememb na površju. Predvideno trajanje in načrti konstelacije COSMO SkyMed in misije TerraSAR-X (TANDEM-X in predvidene TerraSAR-X-2) bodo v prihodnosti omogočali načrtovanje in posodobitev topografskih sistemov z radarskimi izdelki tudi v velikem merilu, saj bodo (nekateri pa že) ti sistemi zajemali v prostorski ločljivosti 1 m.

6.3. Prepoznavanje objektnih tipov

6.3.1. Relief

Radarska interferometrija (InSAR) je razmeroma nova tehnika, s katero lahko iz parov radarskih satelitskih in letalskih posnetkov pridobivamo visokoločljive podatke o zemeljskem površju. Najpomembnejši področji njene uporabe sta izdelava digitalnih modelov višin in opazovanje majhnih premikov, še posebej na območjih, ki so s »klasičnimi« metodami slabo izmerjena. Pri interferometriji uporabljamo kompleksne radarske satelitske posnetke, ki poleg podatkov o amplitudi odboja na površju vsebujejo tudi fazo odbitega valovanja. Faza je odvisna od lastnosti opazovane površine in od dolžine poti med oddajno anteno, opazovano površino in sprejemno anteno. V primeru, da imamo posnetka istega območja, ki sta bila narejena iz rahlo premaknjenih tirnic, lahko z upoštevanjem geometrije gledanja določimo zvezo med interferogramom – fazno razliko obeh podob – in višinami na površju. Pri tem moramo paziti, da posnetka ustrezata zahtevam za interferometrično obdelavo, in sicer da sta narejena iz bližnjih tirnic in da se med zajetjema obeh podob ni pretirano spremenila fazna odbojnost oziroma katera od geofizikalnih lastnosti površja (Oštir 2006). S posnetki nove generacije umetno odprtinskih radarskih satelitov (SAR) (Radarsat-2, TerraSAR-X, konstelacija Cosmo-SkyMed) s

prostorsko ločljivostjo reda 1 m, je mogoče pri izdelavi modelov višin doseči položajno natančnost boljšo od petih metrov in višinsko natančnost nekaj metrov (Ferraiuolo et. al 2009).

6.3.2. Stavbe

Visokoločljivi radarski posnetki (COSMO SkyMed, TerraSAR-X) ponujajo nove razsežnosti pri določevanju stavb iz radarskih posnetkov predvsem v luči 3D rekonstrukcij, določanja višine stavb in zaznave stavb (Brunner et al. 2008). Postopki so razmeroma zapleteni, vendar dajejo dosti dobre rezultate.

6.3.3. Hidrografija

Odkrivanje vode na radarskih posnetkih se zdi razmeroma enostavna naloga, saj je radarski povratni signal na gladki gladini vode neznaten (Henderson in Lewis 1998; Oštir 2006). Voda ima zato na radarskih posnetkih najnižjo intenziteto, vse dokler je njena gladina gladka, nevalovljena. Vendar so nizke intenzitetne vrednosti tudi posledica senc, zato pri klasifikaciji vode na radarskih posnetkih srednje ločljivosti (10 do 20 m) praviloma prihaja do prevelike zaznave t. i. vodne površine. Dodatno težavo povzroča zrnatost, to je značilni šum na radarskih posnetkih. Poleg precenjene zaznave vodnih površin se srečujemo tudi z nezmožnostjo zaznave vode. Vsak objekt, večji od nekaj centimetrov, ki je/gleda nad vodno površino, povzroči, da se del valovanja odbije do sprejemnika. Intenziteta odbojnega signala je tako povečana in zato se taka površina v fazi analize ne razpozna kot voda. Odbojni objekt je lahko hiša, drevo, koruzno polje ali celo val na vodi. Visokoločljivi posnetki nove generacije umetno odprtinskih radarskih satelitov (SAR) (Radarsat-2, TerraSAR-X, konstelacija Cosmo-SkyMed) s prostorsko ločljivostjo reda 1 m, to pomankljivost odpravljajo.

6.3.4. Vegetacija

Ker ima voda eno največjih dielektričnih konstant med vsemi naravnimi snovmi, je odbojnost prsti in rastlin močno odvisna od vsebnosti vode. Za radarsko valovanje je značilno, da dobro prodira v suha tla in vegetacijo. V izredno sušnih območjih, kot je recimo Sahara, lahko z uporabo radarja ustrezne valovne dolžine opazujemo predmete, ki so več metrov pod površino. Po drugi strani pa vlažna prst in vegetacija odbijata mikrovalove že na površini. Intenziteta odboja je v tem primeru odvisna od oblike površine. Zaradi izredne občutljivosti radarskih podob na vlago, je ena najiminenitnejših uporab posnetkov SAR ravno merjenje vlažnosti, prek katere lahko, recimo, napovedujemo pridelek (Oštir, 2000). Za začetno razpoznavanje območij vegetacije so doslej bili primernejši optični posnetki, za določitev gozdnih parametrov pa je že mogoče izkoristiti prednosti radarskih visokoločljivih podob (Perko et al. 2010). TerraSAR-X misija, v načinu Spotlight mode, deluje v zelo visoki prostorski ločljivosti 0,75 m, opazuje pa tudi pod različnimi koti. Podatki so uporabni za za razvrščanje gozdnih vrst, določanje morfologije gozda, vertikalno strukturo gozda (višina) in podobno.

6.3.5. Ceste

Razpoznavanje cest na radarskih posnetkih je nekoliko težavnejše zaradi prisotnosti šuma in zrnatosti. Zato je predhodno treba radarsko podobo temeljito obdelati. Razmeroma dobre rezultate izločevanja cest iz visokoločljivih TerraSAR-X posnetkov so pridobili Zhang et al. (2009).

6.4. Literatura:

Brunner, L., Lemoine, G. in Bruzzone, L., 2008. Extraction of building heights from VHS SAR imagery using an iterative simulation and match procedure. IGARSS 2008.

Chen, P., Liew, S.C., Lim, H. 1999: Flood detection using multitemporal Radarsat and ERS SAR data. Proceeding of 20th ACRS. Hong Kong (Kitajska).

Ferraiuolo, G., Meglio, F., Pascazio, V., Schirinzi, G. 2009. DEM reconstruction accuracy in multichannel SAR interferometry. IEEE Transactions on geoscience and remote sensing 47, 1: 191-201. Atlantis 1997.

Henderson, Floyd M., Lewis, Anthony J. 1998. Principles and Applications of Imaging Radar, 3rd ed. New York (ZDA). Oštir K., 2006. Daljinsko zaznavanje. ZRC SAZU, Ljubljana.

Mason, D.C., Speck, R., Schumann, G., Neal, J., Bates, P.D. 2009: Using TERRASAR-X data for improved urban flood model validation. Proceedings of 3rd TerraSAR-X Science Team Meeting. Oberpfaffenhofen (Nemčija).

Mather, P., 2004. Computer processing of Remotely sensed images: An introduction. John Wiley and sons, Chichester, 3. Izdaja, 2004.

Perko, R., Raggam, H., Gutjahr, K. in Schardt, M., 2010. The capabilities of TerraSAR-X imagery for retrieval of forest parameters. V: Wagner W., Székely, B. (eds.): ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS, Vienna, Austria, July 5–7, 2010, IAPRS, Vol. XXXVIII, Part 7B.

Zhang, Y., Li, M., Sun, X. in Liu, W., 2009. Road extraction with despeckled TerraSAR-X data using total variation minimization. Proc. SPIE, Vol. 7495, 74953N (2009).

B. VMESNO POROČILO št. 2 – Zasnova avtomatskih in polavtomatskih postopkov za zajemanje, razpoznavanje in vzdrževanje topografskih objektnih razredov in objektnih tipov (2. faza)

*Ciljni raziskovalni program
»Konkurenčnost Slovenije 2006-2013« v letu 2010*

***Kombinirani visokoločljivostni postopki
zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja
prostorskih podatkov***

Vmesno poročilo št. 2

*Verzija 1.0
Datum 15.03.2011*

Zaporedna številka prijave: 430-36/2010

Kazalo:

1. UVOD	4
1.1. OPIS TERMINOLOGIJE	5
1.2. KRATICE:.....	6
2. OPIS OBSTOJEČEGA PROCESA VZDRŽEVANJA TOPOGRAFSKIH ZBIRK	7
2.1. OPIS VZDRŽEVANJA IN STANJA TZ.....	7
2.1.1. DTK5	7
2.1.1.1. Vhodni podatki za vzdrževanje	7
2.1.1.2. Opis tehnike vzdrževanja	7
2.1.1.3. Težave pri izvajanju vzdrževanja	7
2.1.1.4. Stanje.....	9
2.1.2. DTK25 oz. GKB25	9
2.1.2.1. Vhodni podatki za vzdrževanje	10
2.1.2.2. Opis tehnike vzdrževanja	10
2.1.2.3. Težave pri izvajanju vzdrževanja	10
2.1.2.4. Stanje.....	10
2.1.3. DTK50	10
2.1.3.1. Vhodni podatki za vzdrževanje	10
2.1.3.2. Opis tehnike vzdrževanja	10
2.1.3.3. Težave pri izvajanju vzdrževanja	11
2.1.3.4. Stanje.....	11
2.2. TUJE IZKUŠNJE	14
2.2.1. Finski sistem za vzdrževanje DTK oz. DTZ.....	14
2.2.2. Velika Britanija - OrdnanceSurvey.....	14
2.2.3. Švica – Swisstopo	15
2.2.4. Norveška – Statkart	17
3. AEROSNEMANJE	19
3.1. OPIS, IZBIRA IN STROŠKI PRIDOBIVANJA IZVORNIH PODATKOV	19
3.1.1. Izbor izvornih podatkov glede na zahteve v 3. poglavju	19
3.1.2. Stroški pridobitve izvornih podatkov za 3 nivoje meril.....	22
3.2. DODELAVA IZVORNIH PODATKOV	23
3.2.1. Nivoji predobdelave izbranih izvornih podatkov.....	23
3.2.2. Dodelava izvornih podatkov za potrebe vzdrževanja topografskih zbirk	24
3.2.3. Strošek dodelave izvornih podatkov.....	24
3.3. GEOREFERENCIRANJE IZVORNIH PODATKOV	24
3.3.1. Dosežen nivo georeferenciranja pridobljenih izvornih podatkov.....	24
3.3.2. Izboljšanje georeferenciranja pridobljenih izvornih podatkov	25
3.3.2.1. Aerotriangulacija	25
3.3.2.2. Integrirana orientacija senzorjev	26
3.3.3. Strošek izboljšanja georeferenciranja izvornih podatkov.....	26
4. LASERSKO SKENIRANJE	28
4.1. OPIS, IZBIRA IN STROŠKI PRIDOBIVANJA IZVORNIH PODATKOV	28
4.1.1. Izbor izvornih podatkov glede na zahteve v 3. poglavju	28
4.1.2. Stroški pridobitve izvornih podatkov za 3 nivoje meril.....	28
4.2. GEOREFERENCIRANJE IZVORNIH PODATKOV	29
4.2.1. Dosežen nivo georeferenciranja pridobljenih izvornih podatkov.....	29
4.2.2. Georeferenciranje in izboljšava lokacije izvornih podatkov.....	29
4.2.3. Strošek georeferenciranja in izboljšave lokacije izvornih podatkov	29
4.3. DODELAVA IZVORNIH PODATKOV	29
4.3.1. Nivoji predobdelave izbranih izvornih podatkov.....	29
4.3.2. Dodelava izvornih podatkov za potrebe vzdrževanja topografskih zbirk	29
4.3.3. Strošek dodelave izvornih podatkov.....	29
5. SATELITSKO SNEMANJE	31
5.1. OPIS, IZBIRA IN STROŠKI PRIDOBIVANJA IZVORNIH PODATKOV	31
5.1.1. Izbor izvornih podatkov glede na zahteve v 3. poglavju	31
5.1.2. Stroški pridobitve izvornih podatkov za 3 nivoje meril.....	33
5.2. DODELAVA IZVORNIH PODATKOV	35
5.2.1. Nivoji predobdelave izbranih izvornih podatkov.....	35
5.2.2. Dodelava izvornih podatkov za potrebe vzdrževanja topografskih zbirk	37

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov	
5.2.3. Strošek dodelave izvornih podatkov.....	38
5.3. GEOREFERENCIRANJE IZVORNIH PODATKOV	38
5.3.1. Dosežen nivo georeferenciranja pridobljenih izvornih podatkov.....	38
5.3.2. Izboljšanje georeferenciranja pridobljenih izvornih podatkov	38
5.3.2.1. Planimetrično georeferenciranje satelitskih podob	38
5.3.2.2. Prostorsko georeferenciranje satelitskih podob	39
5.3.3. Strošek izboljšanja georeferenciranja izvornih podatkov.....	40
6. RADARSKO SNEMANJE.....	44
6.1. OPIS, IZBIRA IN STROŠKI PRIDOBIVANJA IZVORNIH PODATKOV	44
6.1.1. Izbor izvornih podatkov glede na zahteve v 3. poglavju	44
6.1.2. Stroški pridobitve izvornih podatkov za 3 nivoje meril.....	45
6.2. DODELAVA IZVORNIH PODATKOV	46
6.2.1. Nivoji predobdelave izbranih izvornih podatkov.....	46
6.2.2. Dodelava izvornih podatkov za potrebe vzdrževanja topografskih zbirk	46
6.2.3. Strošek dodelave izvornih podatkov.....	46
6.3. GEOREFERENCIRANJE IZVORNIH PODATKOV	47
6.3.1. Dosežen nivo georeferenciranja pridobljenih izvornih podatkov.....	47
6.3.2. Izboljšanje georeferenciranja pridobljenih izvornih podatkov	47
6.3.3. Strošek izboljšanja georeferenciranja izvornih podatkov.....	47
7. ZASNOVA POSTOPKOV ZA ISKANJE SPREMEMB IN ZAJEM TOPOGRAFSKIH OBJEKTOV (V DTK5).....	49
7.1. OSNOVNE ZAHTEVE ZA VZDRŽEVANJE TOPOGRAFSKIH ZBIRK.....	49
7.1.1. Nekaj zahtev na podlagi tujih standardov.....	49
7.1.2. Za merilo DTK5	50
7.1.3. Za merilo GKB 1 : 25.000.....	50
7.1.4. Za merilo TK 1 : 50.000	50
7.2. STROŠKI IZDELAVE, VZDRŽEVANJA IN DISTRIBUCIJE OBSTOJEČIH TOPOGRAFSKIH ZBIRK DANES.....	51
7.2.1. Stroški izdelave topografskih zbirk	51
7.2.1.1. Stroški za zajem podatkov	51
7.2.1.2. Stroški vzpostavitve TZ.....	51
7.2.2. Stroški vzdrževanja topografskih zbirk	51
7.2.3. Stroški distribucije državnih topografskih zbirk.....	52
7.2.3.1. DTK5.....	52
7.2.3.2. DTK25	52
7.2.3.3. DTK50	52
7.3. IDEJNA ZASNOVA PROCESA VZDRŽEVANJA TOPOGRAFSKIH ZBIRK	53
7.3.1. Ideja in predpostavke	53
7.3.2. Težave obstoječega stanja	53
7.3.3. Nova zasnova izdelave in vzdrževanja TZ in RZ.....	54
7.4. DOLOČITEV POSTOPKOV ZA TESTIRANJE V 3. FAZI.....	54
8. SEZNAMI SLIK IN PREGLEDNIC	55
8.1. SEZNAM SLIK.....	55
8.2. SEZNAM PREGLEDNIC	55

1. Uvod

Vsebina 2. faze:

2. FAZA: Zasnova avtomatskih in polavtomatskih postopkov za zajemanje, razpoznavanje in vzdrževanje topografskih objektnih razredov in objektnih tipov:

- a) opredelitev začetnih parametrov snemanja, ki omogočajo optimalno samodejno ali polsamodejno iskanje sprememb topografskih objektov,
- b) zasnova postopkov snemanja,
- c) zasnova postopkov predobdelave in optimizacije izvornih podatkovnih virov,
- d) zasnova postopkov za georeferenciranje podatkovnih virov,
- e) zasnova postopkov za avtomatsko in polavtomatsko iskanje sprememb topografskih objektov,
- f) zasnova postopkov za ugotavljanje sprememb topografskih objektov iz rastrskih podatkovnih virov različnih časovnih datumov.

Zaključek 2. faze: 15.3.2011

Opredelitev začetnih parametrov snemanja a) je v 7. poglavju.

Zasnove za b), c) in d) za posamezno tehnologijo so v poglavjih: 3. za fotogrametrično snemanje, 4. za lasersko skeniranje, 5. za satelitsko snemanje in 6. za radarsko snemanje oz. njihovih podpoglavjih. Zasnovi v e) in f) pa sta opisani v 7. poglavju.

Cilj priporočil je odgovoriti na ključni raziskovalni vprašanji tega aplikativnega projekta:

- 1) Katere metode daljinskega zaznavanja je na Geodetski upravi RS smiselno razviti do ravni standardiziranih rutinskih postopkov za izvajalce zajemanja, vzdrževanja in kontrole topografskih kart ter baz?
- 2) Katere tipe podatkov daljinskega zaznavanja naj Geodetska uprava RS uvrsti med svoje standardne izdelke, dostopne preko sistema distribucije geodetskih podatkov?

Vprašanja na katera je potrebno odgovoriti:

1. Katere tehnologije obstajajo za zajemanje, razpoznavanje in vzdrževanje topografskih podatkov?
2. Katere metode in postopki snemanja s temi tehnologijami so primerni za pridobitev topografskih podatkov?
3. Kakšna je tržna dosegljivost, cena, natančnost, ločljivost, kompleksnost in uporabnost teh metod ter postopkov?
4. Katere topografske objekte (objektne razrede in objektne tipe) je smiselno zajemati na te načine?
5. Kateri topografski izdelki pri tem nastanejo?
6. Katere kombinacije postopkov in tehnologij so za posamezne topografske objektne razrede in objektne tipe optimalne glede na parametre kakovosti in ceno?
7. S katerimi parametri bomo primernost in optimalnost metod daljinskega zaznavanja ovrednotili ter klasificirali?

Odgovori na vprašanja 1., 2. in 3. so v poglavjih 3., 4., 5. in 6., te odgovore bomo dopolnili v 4. fazi, v kateri bomo odgovorili tudi na preostala vprašanja.

1.1. Opis terminologije

Pridobivanje izvornih podatkov za namen vzdrževanja topografskih zbirk:

Pridobivanje izvornih podatkov je registracija, zapisovanje in prenos podatkov iz različnih platform in senzorjev v ustrezne obdelave. V tej nalogi smo se omejili na naslednje načine pridobivanja izvornih podatkov:

- aerosnemanje,
- satelitsko snemanje
- areo lasersko skeniranje,
- zajem z radarskimi sistemi.

Postopki predobdelave izvornih podatkov

Predobdelava izvornih podatkov vključuje odpravljanje napak ali pomanjkljivosti, kot so: napake senzorjev, izboljšavo radiometrije, korekcije zaradi ukrivljenosti zemlje, avtomatska klasifikacija oblaka točk in izboljšava georeferenciranja aero posnetkov. Predobdelava vključuje:

- dodelavo izvornih podatkov in
- izboljšavo georeferenciranja.

Iskanje sprememb za namen vzdrževanja TZ:

Zajemu izvornih podatkov sledi iskanje sprememb, ki je primerjanje starejših in novih izvornih podatkov, topografskih zbirk, kart ali njihovih kombinacij ter prepoznavanje spremenjene lokacije in/ali atributov topografskih objektov. Iskanje sprememb lahko poteka na naslednje načine:

- avtomatska primerjava in iskanje sprememb med obstoječo topografsko zbirko in novimi izvornimi podatki,
- avtomatska primerjava in iskanje sprememb med izvornimi podatki iz katerih je bilo obstoječe stanje topografskih zbirk izdelano in novimi izvornimi podatki,
- iskanje sprememb je mogoče opraviti ročno (obstoječa linija vzdrževanja topografskih načrtov/kart), polavtomatsko in/ali na avtomatski način.

Zajem podatkov za namen vzdrževanja TZ:

Ko najdemo spremembe, je potrebo zajeti objekte ali dele objektov, katerih lokacija ali atributi so spremenjeni. Zajem podatkov lahko opravimo na več načinov:

- ročni, polavtomatski in avtomatski zajem objektov za namen izdelave DTK5 (za neizdelane liste),
- zajema se grafične in atributne podatke topografskih objektov in pojavov,
- atributne podatke se zajema iz izvornih podatkov (npr. aerosnemanje) ali iz resorskih zbirk (npr. kategorija ceste),
- polavtomatski zajem podatkov: metoda z delno pomočjo algoritmov npr. izdelava 3D modela stavbe z ročnim zajemom nekaj točk in upoštevanjem DMR; sledenja dolžinskim objektom, ki zajame linijo v stereo ali mono načinu.

Vnos ali brisanje podatkov pri vzdrževanju TZ:

Zajemu podatkov takoj sledi vnos v topografske zbirke oz. se običajno izvaja istočasno. Vnos novih podatkov v zbirko se lahko izvede na več načinov:

- novi podatki se lahko vnesejo interaktivno ali paketno,
- avtomatsko, polavtomatsko in/ali ročno.

Vzdrževanje topografske zbirke (VTZ):

Vzdrževanje topografske zbirke je proces, katerega osnovni koraki so: pridobivanje izvornih podatkov, iskanje sprememb, zajem novih ali brisanje starih podatkov, ter vnos podatkov v topografske zbirke.

1.2. Kratice:

- CAS – Ciklično aerofotografiranje Slovenije (to je opis originalne kratice; uporablja pa se tudi: Ciklično aerosnemanje Slovenije)
- DMR – digitalni model reliefa
- DMP – digitalni model površja
- DMV – digitalni model višin (nanaša se lahko na relief ali površje; običajno so podatki strukturirani v pravilni kvadratni mreži)
- DTK – državna topografska karta (DTK5, DTK25 in DTK50)
- DTI – dolžina talnega intervala (ang. GSD – Ground Sampling Distance)
- DTZ – državna topografska zbirka (DTZ5, DTZ25 in DTZ50)
- FSS – fotogrametrični snemalni sistem (vključuje aerofotografiranje z modernim eno ali večslikovnim analognim ali digitalnim snemalnim sistemom (RC30, DMC, UltraCAM in srednje formatne) in linijsko skeniranje (npr. ADS80)
- GKB – generalizirana kartografska baza
- GSD – ang. ground sampling distance (DTI – dolžina talnega intervala) – v besedilu uporabljamo kratico GSD, ker je uveljavljena v strokovni literaturi)
- RZ – resorske zbirke
- SFDP – stereo fotogrametrična delovna postaja
- TZ – topografska zbirka (baza)
- VTZ – vzdrževanje topografskih zbirk

2. Opis obstoječega procesa vzdrževanja topografskih zbirk

2.1. Opis vzdrževanja in stanja TZ

2.1.1. DTK5

2.1.1.1. Vhodni podatki za vzdrževanje

Osnovni vhodni podatek vzdrževanja DTK5 je obstoječa zbirka topografskih vektorskih podatkov. Osnovni izvorni podatki za vzdrževanje DTK5 so aerofotografije zajete v okviru Cikličnega aerofotografiranja Slovenije (CAS), in podatki drugih resorjev, ki se nanašajo predvsem na vzdrževanje atributnega dela podatkov kot so npr. administrativna klasifikacija cest, napetost na daljnovodih, i.p.

Za izvedbo zajema in vzdrževanja topografskih podatkov DTK5 se uporablja naslednje navodilo: Zajem topografskih podatkov DTK5 – Operativna navodila za zajem topografskih podatkov različica 7.0 iz dne 25.5.2007.

Osnovni sloji oz. objektni tipi, ki se vzdržujejo v DTK5 so:

- hidrografija (vodna površina, os vodotoka, pojavi na vodah),
- pokritost tal (vegetacija, zemljišče v posebni rabi),
- promet (cesta, železniška proga, os žičnice),
- zgradbe (stavba, os elektrovoda, visoki objekti).

2.1.1.2. Opis tehnike vzdrževanja

Pri vzdrževanju se uporablja stereoizvrednotenje s superimpozicijo na fotogrametrični delovni postaji. Najnovejša tehnologija za stereoizvrednotenje je nekajkrat cenejša od podobne (glede uporabnosti: enake) tehnologije izpred nekaj let, zato je spet pridobila na ekonomičnosti, prednost stereo opazovanja in izvrednotenja pa je poznana že dolgo časa.

Uporablja se srednje zmogljiva stereo fotogrametrična delovna postaja (SFDP) z dvema monitorjema, od katerih je vsaj eden namenjen za opazovanje stereo slike. SFDP vključuje ustrezno grafično kartico, infrardeč oddajnik in stereo očali, ki usklajeno z monitorjem odpirajo in zapirajo pogled na levo in desno sliko. Tako levo oko operaterja opazuje samo levo in desno oko samo desno fotografijo in možgani ustvarijo stereo model. Od navadnega stereo opazovanja (npr. gledanje filmov v stereotehniko) pa se sistem loči tako da uporablja 3D markico, ki omogoča meritev in izvrednotenje vsebine stereo modela.

Postavitev sistema stereo opazovanja in izvrednotenja: na levem monitorju je običajno prikazan stereomodel (najnovejše orientirani stereopari) in nanj projicirana vsebina iz obstoječe vektorske topografske zbirke, na desnem monitorju si operater prikaže ortofoto in nanj projicira enako vsebino kot je na stereomodelu. Z opazovanjem in primerjavo stereo modela in nanj projicirane vektorske vsebine operater išče spremembe in izvaja popravke na grafiki. Poleg spremembe na grafiki operater izvaja tudi popravke na atributnem delu zbirke. Običajno se za vzdrževanje topografskih zbirk uporablja eno od orodji GIS v povezavi z fotogrametričnim modulom, ki omogoča stereo opazovanje in izvrednotenje.

Postopke vzdrževanja opravlja operater za različne vsebine posebej: najprej pregleda in vzdržuje vsebino DTK5 za en objektni tip (npr. infrastruktura) in nato ponovi postopek za ostale objektne tipe.

2.1.1.3. Težave pri izvajanju vzdrževanja

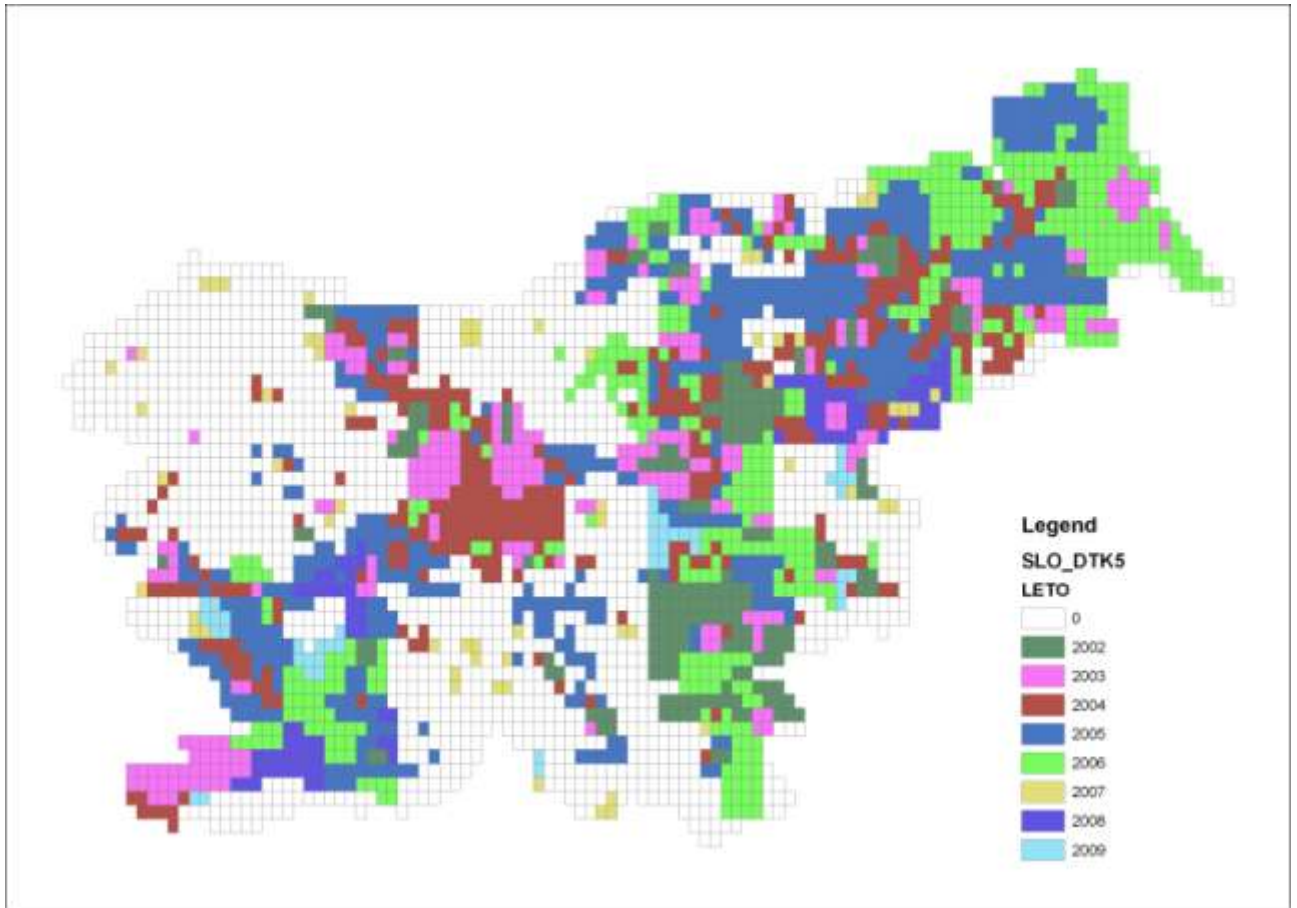
Težave pri vzdrževanju DTK5 smo ločili na tehnične in sistemske, so pa marsikdaj povezane :

- tehnične težave
 - o ročno iskanje sprememb s primerjavo stare vektorske zbirke in novih rastrskih podatkov (stereomodeli ali ortofoti),

- CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov
- ročno vnašanje atributnih podatkov, ki bi bilo lahko avtomatizirano, če bi bil zajem drugačen (npr. višina slemena se vtipka iz meritev v stereomodelu - lahko pa bi se prevzela iz točke zajete na slemenu, ...),
 - prevzemanje geometričnih podatkov iz drugih virov, ki ne odgovarja zahtevani natančnosti osnovnega izdelka,
 - prevzem geometričnih in atributnih podatkov iz drugih resorjev ponavadi ni prilagojeno ali pa že v osnovi ni direktno združljivo pri izdelavi DTK5,
 - ročno vnašanje atributov je lahko tudi vir grobih napak,
 - ne obstajajo orodja za avtomatsko kontrolo vnesenih atributov v primeru grobih napak,
 - pomanjkljive so funkcije, ki omogočajo pravilen zajem podatkov (npr. funkcija monotonosti naraščanja ali spuščanja višin pri zajemu vodotokov),
 - običajno ni na voljo najnovejših podatkov (na voljo starejši posnetki CAS, drugi podatki, ki so manj primerni (LIDAR podatki namenjeni večjim merilom, množica aerosposnetkov visoke ločljivosti npr. GSD = 0,1m).
- sistemske težave pri vzdrževanju,
- razdrobljenost izdelanih in neizdelanih listov pomeni časovno razdrobljenost in neekonomičnost vzdrževanja,
 - zaradi nesistemskega financiranja se izvajajo zelo selektivna vzdrževanja, ki kvarijo homogenost topografskih podatkov in s tem tudi morebitnih prostorskih analiz nad vektorskimi podatki,
 - cca. 40% listov DTK5 še ni izdelanih, kar skupaj za razdrobljenostjo onemogoča sistemsko uporabo izdelka na večini ozemlja države,
 - časovna razlika med vzdrževanjem sosednjih listov tudi otežuje sistemsko uporabo izdelka.

Posledica naštetih težav je manjša uporabnost in zanimivost DTK5 za različne uporabnike in posledično tudi manj denarja za vzdrževanje.

2.1.1.4. Stanje



Slika 1: Stanje vzdrževanja DTK5 po listih

Glede na skico je bilo po letih izdelano naslednje število listov:

2002 - 207

2003 - 245

2004 - 346

2005 - 536

2006 - 450

2007 - 63

2008 - 90

2009 - 45

Skupaj 1982, neizdelanih listov je še 1283 oz. 39%

Vseh listov: 3265

2.1.2. DTK25 oz. GKB25

DTK25 je rastrska zbirka skenogramov reprodukcijskih originalov v merilu 1 : 25.000, z naslednjimi vsebinami:

- naselja, prometna mreža in zemljepisna imena (NPI),
- plastnice in druge reliefne značilnosti (RP)
- hidrografska mreža z imeni, vodnimi objekti, ledeniki (H),
- gozdovi in znani za druge vrste vegetacije (GK)
- združene vsebine (ZDR)
- sence, ki so nastale že v okviru GKB25.

Zbirka se ne vzdržuje.

GKB25 je generalizirana vektorska kartografska baza v merilu 1 : 25.000 z naslednjimi sloji:

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov

- relief
- hidrografija
- ceste
- železnice

Zbirka se ne vzdržuje.

2.1.2.1. Vhodni podatki za vzdrževanje

Osnovni vhodni podatek vzdrževanja DTK25 je obstoječa zbirka topografskih vektorskih podatkov oz. GKB25.

Podlaga za izdelavo GKB25 so bili skenogrami DTK25. Baza je bila vzpostavljena v letih od 1994 do 1996. Od takrat naprej se redno vzdržuje (vir: GURS spletne strani). V GKB25 so zajete štiri osnovne skupine objektov in sicer: ceste, vode, plastnice in železnice. Vsebina vsakega skenograma je digitalizirana, vektorizirana in zapisana v digitalni obliki.

Osnovni izvorni podatki za vzdrževanje GKB25 so ortofoto GSD = 0,5 m. Poleg ortofotov pa se uporabljajo tudi drugi izvorni podatki kot so: DTK5, kjer obstaja in je dovolj ažurna; kataster stavb, baza državnih cest, DMR, ...

Dokumentacija, ki je bila uporabljena pri izdelavi GKB25: »Topografska baza za merilo 1 :25000 – GKB25« - Standardi, Ljubljana, junij 2004.

2.1.2.2. Opis tehnike vzdrževanja

Ker se DTK25 niti GKB25 ne vzdržujeta, razen nekaj poskusnih listov, ne moremo opisati tehnike vzdrževanja.

2.1.2.3. Težave pri izvajanju vzdrževanja

Zajem je bil opravljen v letih 1994 – 1999 oz. bolj minimalna nadgradnja VGI karte je bila povsem analogna, kasneje ni bilo nobenega vzdrževanja, le test na 5 listih in preračun formata za MORS za četrtino Slovenije.

Posledica ne vzdrževanja obeh topografskih zbirk oz. kart je njihova zastarelost. Zelo hitro se približujemo času, ko bo vzdrževanje topografske zbirke s tem merilom neekonomično oz. bo smiselno ob morebitni ponovni vzpostavitvi izvesti nov zajem. Po nekaterih tujih ocenah je časovna razlika med zadnjim vzdrževanjem in novim zajemom 15 let.

2.1.2.4. Stanje

1994 – 1999 s stanjem večine vsebine iz 1985/86 z izjemo nekoliko bolj obnovljenih 11 listov Kopra in okolice iz 1994.

Vseh listov: 198

2.1.3. DTK50

2.1.3.1. Vhodni podatki za vzdrževanje

Vhodni podatki za vzdrževanje so DOF5, stereozajem in terenske domeritve, ter druge zbirke, ki so na razpolago in dovolj vzdrževane.

2.1.3.2. Opis tehnike vzdrževanja

V okviru projekta vzpostavitve DTK50 je bil večji del vsebine zajet in vzdrževan v vektorski obliki. Del vsebine je ostal v rastrski obliki, popravki pa so bili zajeti v vektorski obliki. Za vzpostavitev celotne karte v vektorski obliki je bila potrebna dodatna vektorizacija preostale vsebine. Izjema so bile skale, ki so zaradi visoke kakovosti prikaza ostale v rastrski obliki tudi v vektorski različici karte, saj z vektorizacijo ne bi dosegli enake kakovosti.

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov

Po tej različici vzdrževanja DTK50 so bili potrebni najprej viri za vektorizacijo vsebin, ki so bili še vedno v rastrski obliki, v drugi fazi pa je bilo potrebno pridobiti vire za vzdrževanje vseh slojev vsebine. V nadaljevanju so navedeni razpoložljivi viri za obe fazi izdelave po slojih vsebine.

a) relief: Ta sloj je bil v rastrski obliki, zato je bila potrebna vektorizacija. Kot vir so bili uporabljeni obstoječi original reliefa v rastrski obliki. Zajeti je bilo treba celotno vsebino rjavega originala.

Za potrebe vzdrževanja reliefa sta bila edina zanesljiva vira stereofotogrametrični 3D zajem in terenski ogled z GPS izmero.

b) hidrografija: Tudi ta sloj je bil v rastrski obliki. Tudi tu je bilo potrebno uporabiti obstoječi original kot vir za vektorizacijo.

Kot vir za vzdrževanje hidrografije so se izkazali za uporabne DOF, DTK5, stereozajem in terenski ogled z GPS izmero.

c) vegetacija: To je zadnji sloj, ki je bil še vedno v rastrski obliki in je bil vektoriziran iz obstoječih originalov. Sadovnjaki, vinogradi in rušje so že bili v vektorski obliki, zato je bil obseg vektorizacije malo manjši.

Kot vir za vzdrževanje vegetacije sta se izkazala za uporabna DOF, stereozajem in terenski ogled z GPS izmero.

d) stavbe in ostali objekti: Ta sloj vsebine je bil v celoti v vektorski obliki in ni bila potrebna dodatna vektorizacija.

Za vzdrževanje stavb se je, ob ustrezni uporabi, kot zelo uporaben izkazal Kataster stavb. Za ostale objekte in tudi za stavbe, pa so bili uporabljeni DOF5, stereozajem, DTK5 in terenski ogled z GPS izmero. Podatke o jamah so bili pridobljeni iz Katastra jam Jamarske zveze Slovenije.

e) ceste, železnice in ostale komunikacije: Tudi ta sloj vsebine je bil v celoti v vektorski obliki in ni bila potrebna dodatna vektorizacija.

Za vzdrževanje tega sloja se je kot zelo uporaben izkazal DTK5, ki ga dopolnjujeta DOF in terenski ogled z GPS izmero.

Kot vir za vzdrževanje elektrovodov so bile uporabne tudi evidence uradnih skrbnikov sistema (Elektro), vendar v omejeni obliki. Preverjena je bila uporabnost evidenc skrbnikov električnega omrežja na testnem območju (Elektro Ljubljana in Elektro Celje).

2.1.3.3. Težave pri izvajanju vzdrževanja

e) ceste, železnice in ostale komunikacije:

Ceste iz PSC so bile malo uporabne za vzdrževanje sistema DTK. Poleg nehomogene geometrijske natančnosti sta jim je manjkala dva ključna atributa (TIP OBJEKTA in USTROJ), zaradi česar so uporabne zgolj kot pomoč pri evidentiranju objektov.

Elektrovodi: Prvi problem je bil rok dobave podatkov, ki je bil zelo različen od skrbnika do skrbnika. Drugi problem je bila neenotnost oddane vsebine, kot tudi delna neprimernost vsebine za prikaz v sistemu DTK. Zato so bili pridobljeni podatki uporabne zgolj kot pomoč pri evidentiranju objektov. V luči dejanske uporabe te vrste podatkov za potrebe sistema DTK, bi se moral naročnik predhodno dogovoriti o roku oddaje, kot tudi o vsebini predanih podatkov z vsemi skrbniki.

Zaradi zahtev NATO je DTK50 najbolje vzdrževana topografska zbirka in karta v Sloveniji, ki je tudi po vsebini najobširnejša.

2.1.3.4. Stanje

Seznam listov DTK50 z letnicami izdelave:

Številka lista	Ime lista	Leto izdelave/obnove
1	FELDBACH	2002/2006
2	KUZMA	2002/2006
3	ZALA	2002/2006
4	LIBELIČE	2002/2006
5	RADLJE OB DRAVI	2002/2006

6	ŠENTILJ V SLOVENSKIH GORICAH	2002/2008
7	GORNJA RADGONA	2002/2008
8	MURSKA SOBOTA	2001/2006
9	DOBROVNIK	2002/2006
10	TRBIŽ	2005
11	KRANJSKA GORA	2004
12	JESENICE	2004
13	ŽELEZNA KAPLA	2002/2010
14	RAVNE NA KOROŠKEM	2002/2006
15	SLOVENJ GRADEC	2001/2006
16	MARIBOR	2000/2008
17	PTUJ	2000/2008
18	LJUTOMER	2001/2006
19	LENDAVA	2002/2006
20	BOVEC	2005
21	TRIGLAV	2005
22	RADOVLJICA	2004
23	KRANJ	2001/2010
24	MOZIRJE	2001/2006
25	CELJE	2001/2008
26	SLOVENSKA BISTRICA	2001/2008
27	ROGATEC	2001/2008
28	SREDIŠČE OB DRAVI	2002/2008
29	KANAL	2005
30	TOLMIN	2005
31	ŠKOFJA LOKA	2004
32	LJUBLJANA	2004/2010
33	LITIJA	2004/2010
34	TRBOVLJE	2001/2008
35	SENOVO	2002/2008
36	BIZELJSKO	2002/2008
37	NOVA GORICA	2005
38	AJDOVŠČINA	2004
39	VRHNIKA	2004
40	GROSUPLJE	2004/2010
41	IVANČNA GORICA	2004/2010
42	NOVO MESTO	2001/2008
43	KRŠKO	2002/2006
44	OBREŽJE	2002/2006
45	GRADEŽ	2005
46	SEŽANA	2005
47	POSTOJNA	2005

48	CERKNICA	2003
49	KOČEVJE	2004
50	METLIKA	2003
51	JASTREBARSKO	2003
52	IZOLA	2005
53	KOPER	2005
54	ILIRSKA BISTRICA	2003
55	SNEŽNIK	2003
56	OSILNICA	2003
57	ČRNOMELJ	2003
58	KARLOVEC	2003

Tabela 1: Izdelava in vzdrževanje DTK50 po letih

Leto prve izdelave in število listov, ki so bili kasneje vzdrževani:

Izdelava 2000: 2

Izdelava 2001:10

Izdelava 2002:16

Izdelava 2004: 4

Skupaj: 32

Leto prve izdelave in vzdrževanja za vseh 58 listov:

Izdelava 2003: 8

Izdelava 2004: 7

Izdelava 2005:11

Zadnje vzdrževanje 2006: 14

Zadnje vzdrževanje 2007: 0

Zadnje vzdrževanje 2008: 12

Zadnje vzdrževanje 2009: 0

Zadnje vzdrževanje 2010: 6

Cikel vzdrževanja za 32 listov:

Cikel vzdrževanja - 4 leta: 14

Cikel vzdrževanja - 5 let: 4

Cikel vzdrževanja - 6 let: 5

Cikel vzdrževanja - 7 let: 5

Cikel vzdrževanja - 8 let: 3

Cikel vzdrževanja - 9 let: 1

Število listov, ki še niso bili vzdrževani: 16

Vseh listov: 58

Viri in literatura (poglavje 2.1):

Petrovič, D., Brumec, M. in Radovan, D. (2005), Geodetski in topografski sistem v prostorskem načrtovanju – od geodetskih podlag do koordinate, Geodetski vestnik, let. 49, št. 4, str. 545.

Petrovič, D. (2006), Ocena kakovosti državne topografske karte v merilu 1 : 50.000, Geodetski vestnik, let. 50, št. 2, str. 187.

2.2. Tuje izkušnje

2.2.1. Finski sistem za vzdrževanje DTK oz. DTZ

Leta 2000 končanih 70% v merilih 1 : 5000 do 1 : 10000. Izvedba v 12 regionalnih pisarnah: doma izdelana programska oprema (OpenVMS), 230 delovnih postaj, 30 analitičnih instrumentov, 400 zaposlenih

Vsebina:

A: stavbe, daljnovodi, raba, vode in ceste – stereoizvrednotenje aerofotografij na analitičnih instrumentih v merilu 1 : 16.000 in 1 : 31.000, terenska kontrola po potrebi, 60%,

B: se zajema na podlagi izrisov obstoječih kart 1 : 10000, vzdržuje se jih na podlagi povečav aerofotografij 1 : 16000/31000 v 1 : 10000.

Zahteve po kvaliteti so enake le da je za A zahtevana večja natančnost lokacije.

Digitalna topografska baza (DTB) vsebuje 114 objektov v 9 skupinah: transportna mreža, prenosna mreža, teren, hidrologija, višine in stavbe. Ostale 3 skupine so: posebna območja, zavarovana območja in administrativne strukture.

Dva načina vzdrževanja: vsako letno kontinuirano vzdrževanje najpomembnejših objektov glede na uporabo drugih resorjev in periodično vzdrževanje z 5 do 10 letnim ciklom kjer so vzdržujejo vsi objekti. Vzdrževanje bazira na ortofotu.

Iz DTB se generirajo kartografske baze 1 : 20.000, 1 : 50.000 in 1 : 100.000. Obstajajo tudi DTB za merila 1 : 250.000, 1 : 500.000, 1 : 1.000.000, 1 : 2.000.000 in 1 : 4.500.000, ki izdelane iz digitalizacij starih kart.

Iz DTB se generirajo: baza cest baza, baza imen in DMR.

Letno se kontinuirano vzdržuje: transportna mreža, prenosna mreža in administrativne strukture. Stavbe so izločili iz letnega vzdrževanja.

Javne ceste se vzdržujejo iz državne cestne baze in občin. Podatke za vzdrževanje privatnih cest zagotavljajo gozdarska podjetja in uprave. Električna podjetja lahko zagotovijo za električne daljnovode. Stavbe upravlja »Population Register Centre«, ki pa jih za vzdrževanje niso uporabili.

Zaradi uporabe »zunanjih« podatkov so zmanjšane zahteve za natančnost lokacije.

Na Finskem je 458 mest in občin, 200 elektro-podjetij, 12 gozdnih uprav, itd. Zelo veliko je torej pogodbenikov. Podatki so predani v različnih formatih in natančnostih. Cene nekaterih zunanjih dobaviteljev podatkov so tako visoke, da jih ni mogoče kupiti. DTB ni mogoče ustrezno vzdrževati iz podatkov zunanjega izvora.

Iz CAS v merilu 1 : 60.000 s ciklom 3-4 leta tudi ni mogoče zagotoviti vseh vzdrževanj. V vzdrževanje so vključili terenske GPS domeritve s čimer se je izboljšala natančnost vendar bo proces počasnejši.

Vir: Patynen, V., Digital Orthophotots and map revision in National land Survey of Finland, ISPRS Vol. 32/4, p. 463 - 466, ISPRS Commision IV Symposium on GIS – Between Visions and Applications, Stuttgart, Grmany.

<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/commiv/pdtynen11.pdf>

2.2.2. Velika Britanija - OrdnanceSurvey

Ordnance Survey MasterMap Topography se je zajel in se vzdržuje v treh osnovnih merilih. Ta merila so 1 : 1250 za urbana območja, za ruralna območja se uporablja merilo 1 : 2500 in za manj naseljena območja merilo 1 : 10.000.

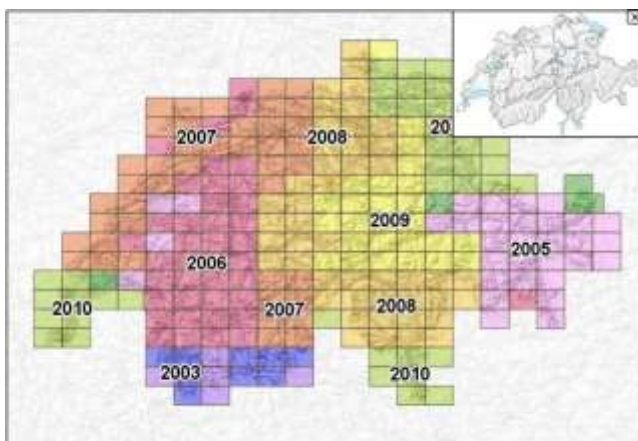
V okviru vsakega od navedenih meril se uporabljajo naslednje natančnosti:

- CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov
- 1,0 m za urbana območja (merilo 1 : 1.250). To je nominalna natančnost lokacije točke z 99% zanesljivostjo (3 sigma).
 - 2,5 m za ruralna območja (merilo 1 : 2.500). To je nominalna natančnost lokacije točke z 99% zanesljivostjo (3 sigma).
 - 6,0 m za ruralna območja – pregledna (merilo 1 : 2.500). To je nominalna natančnost lokacije točke z 99% zanesljivostjo (3 sigma). To natančnost je pričakovana na območjih, kjer se natančnost lokacije ni izboljševala.
 - 8,0 m za ruralna območja (merilo 1 : 10.000). To je nominalna natančnost lokacije točke z 99% zanesljivostjo (3 sigma).

Vir: <http://www.ordnancesurvey.co.uk/oswebsite/products/osmastermap/faqs/topo019.html>

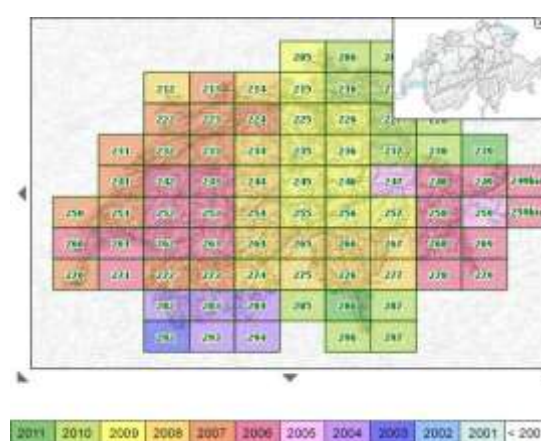
2.2.3. Švica – Swisstopo

Pregled vzdrževanja topografskih kart 1 : 25.000



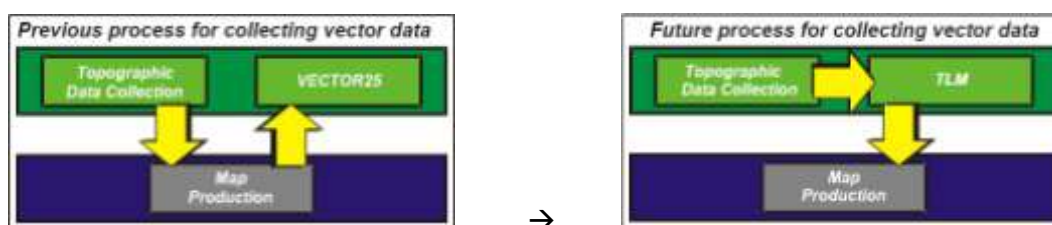
Slika 2: Plan vzdrževanja listov v zadnjih 8 letih

Pregled vzdrževanja topog. kart 1 : 50000



Slika 3: Plan vzdrževanja listov 1 : 25.000

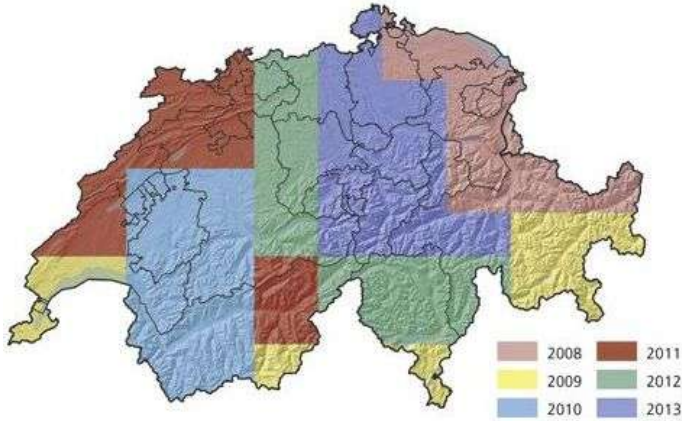
Federal Office of Topography vzdržuje TLM (Topographic Landscape Model) od leta 2008. Leta 2008 so spremenili način vzdrževanja topografskih baz največjega merila (1 : 25.000) in sicer glede na spodnja digrama (Slika 4):



Slika 4: Menjava osnovnega koncepta vzdrževanja in izdelave zbirke in kart v merilu 1 : 25.000

Geometrija ni kartografsko generalizirana in zagotavlja natančnosti med 0,2 m in 1,5 m za dobro določljive objekte kot so zgradbe in ceste v treh dimenzijah. Naravni objekti kot so gozdovi, ki niso natančno določljivi imajo natančnost od 1 m do 3 m. TLM se uporablja kot podlaga za izdelavo državnih kart v merilih 1 : 25.000, 1 : 50.000 in 1 : 100.000.

TLM je v primerjavi prejšnjimi topografskimi bazami bolj natančna, podrobnejša in hitreje vzdrževana. Predvideva se 6 letni cikel vzdrževanja, ki se je začel leta 2008, kjer se vsako leto vzdržuje za približno 1/6 ozemlja (glej Slika 5).



Slika 5: Skica delitve na območja vzdrževanja

Vzporedno s 6-letnim vzdrževanje se izvaja tudi letno vzdrževanje izbranih vsebin z zanesljivimi partnerji. Letno vzdrževanje se izvaja za administrativne meje, zgradbe in ceste.

Za teren nad 2000 m je na razpolago DMR25, za nižje predele pa so na razpolago podatki laserskega skeniranja. Tudi teren se vzdržuje s 6 letnim ciklom in sicer mrežne točke in karakteristične linije. V letih od 2010 do 2012 se bo DMR nad 2000 m vzdrževal z uporabo avtokorelacije na aerofotografijah.

Z marcem 2011 bodo na razpolago naslednji izdelki:

swissTLM3D:

- vsebina: ceste in poti, javni transport, zgradbe, posebna raba tal (transport, habitati, industrija, ..), raba tal neodvisno od posebne rabe tal, hidrografija, administrativne meje, posamezni točkovni objekti (križišča, izviri, jame, ..), imena,
- formati; ESRI Personal Geodatabase, ESRI Shapefile (2.5D), DXF, Interlis 1 in 2 (švicarski standard),
- podatki se predajo v treh koordinatnih sistemih,
- kvaliteta: iz obstoječih vektorskih baz (3 – 8 m), za dobro določljive detajle 0,2 – 1,5 m in 1 – 3 m za slabše določljive detajle,
- uporaba: raferenčni podatki za vzpostavljanje IS (npr. dinamične segmentacije, ki je osnovana na cestni mreži), kot podlaga za 3D vizualizacijo in analize, kot podlaga za simulacijo, načrtovanje in statistiko ter začetni podatki publikacije (načrti, karte in Internet) in končni izdelki (npr. multimedia, navigacija in geomarketing CD).

swissALTI3D:

- Struktura: 2 m kvadratna mreža v formatih: Geotiff, ESRI ASCII kvadratna mreža, ASCII X,Y,Z single space
- Kakovost: pod 2000 m n.m. $\pm 0,5$ m 1σ , nad 2000 m n.m. poprečna napaka 3 - 8 m, posamezne kote: 0,25 do 1,00 m,
- Aplikacije: višinska osnova za GIS, kot osnova za 3D vizualizacije, simulacije in vizualne analize, kot osnova za kartiranje manjših struktur in gozdnih poti, kot orodje načrtovanja za prostorsko planiranje, naravna tveganja in gozdarstvo, za ortorektifikacijo aerofotografij in satelitskih slik.

swissBUILDINGS3D:

- struktura: vsebuje sloj stavbe (volumen stavbe brez oblike strehe), vsaka stavba vsebuje 6 atributov: zaporedni ID, originalni ID iz stare baze, označba izhodišča stavbe, leto zajema izvornih podatkov, višina pritličja nad morjem, višina stavbe,
- kakovost: višina nad morjem od 3 – 8 m, ni vzdrževano, največ 10 let razlike v homogenosti zajema podatkov, ni vzdrževana,
- uporaba: zaščita pred hrupom, za analizo vidnosti, izračun potovanja elektromagnetnega valovanja, uporaba v ekologiji in klimatologiji, uporaba v analizah velikih meril.

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov
Vir: <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/en/home/topics/geodata/TLM.html>

O'Sullivan, O., Bovet, S. in Sterilein, A., 2008, TLM – The Swiss 3D Topographic Landscape Model, The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII. Part B4. Beijing.

2.2.4. Norveška – Statkart

Norvey Digital je iniciativa norveške vlade, da bi zgradila nacionalno geografsko infrastrukturo. Sodelovanje večino državnih ustanov se je začelo v letu 2002, z letom 2005 pa tudi formalno zaživel.

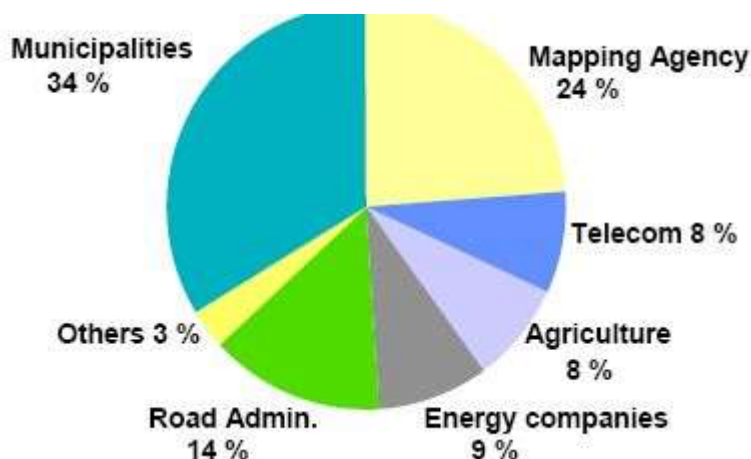
Osnovna ideja je bila v tem, da vsi zainteresirani podpisniki dajo na razpolago svoje podatke vsem ostalim partnerjem. Geografski podatki so bili razdeljeni na dve kategoriji: referenčni in tematski podatki.

Referenčni podatki vključujejo: topografijo, hidrografijo, ceste in drugo infrastrukturo, rabo tal, zgradbe in kataster, višine in batimetrijo in ortofoto. Uporabljen je bil model Geovekst (v prevodu pomeni Geo-razvoj), ki je bil dogovorjen leta 1992 med naslednjimi partnerji: Državni oddelek za ceste, Združenje elektrodistributerjev, Združenje občin, Geodetska uprava, Ministrstvo za kmetijstvo, Oddelek za telekomunikacije.

Tematski podatki vključujejo širok nabor informacij izdelanih v različnih nacionalnih institucijah in lokalnih skupnostih, ki vključujejo podatke o demografiji, tveganjih, upravljanje s tveganji, zaščitene območjih, biodiverzitetah in naravnih danostih, onesnaževanju, ribištvu, geologiji, rudnih bogastvih, kmetijstvu in gozdarstvu, kulturnih zakladih in rekreacijskih območjih.

Dve iniciativi sta bili vključeni v »NorveyDigital« in sicer že omenjen GEOVEKST, ki predvsem združuje sredstva za izvedbo projektov vzdrževanja topografskih baz velikih meril. AREALIS iniciativo je začelo Ministrstvo za okolje in več kot 10 ministrstev in 20 agencij kot ponudniki in odjemalci podatkov. Dodatno so vključene tudi občine in agencije na lokalni ravni.

Delitev stroškov pomembno prispeva k uspešnosti zagotavljanja sredstev za vzdrževanje topografskih zbirk. Na (Slika 6) vidimo, da se sredstva zbirajo na državni in lokalni ravni ter tudi iz privatnega sektorja.



Slika 6: Delitev stroškov za vzdrževanje geografskih informacij na kartah velikih meril:

Vir (2007): http://www.statkart.no/Norge_digitalt/Engelsk/About_Norway_Digital/

Natančnost višin: 4-6 m. Natančnost karakterističnih višinskih točk je 3-4 m. Na strmem terenu se težko zagotovi omenjena natančnost. Različne metoda zajema vplivajo na homogenost natančnosti. Točke v mreži DMR je 25 m.

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov
Kontrolne meritve natančnosti 25 m DMR mreže na različnih območjih:

Območje: sred.nat. max.nat. št.točk

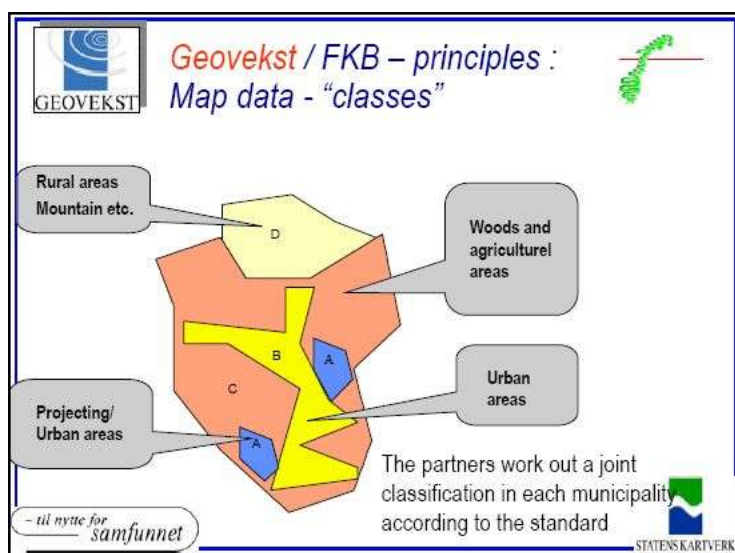
• 1 Fosnes	4.42	15.5	1287
• 2 Rennesøy	2.70	8.4	329
• 3 Rælingen	3.14	9.8	518
• 4 Nannestad	2.94	15.9	1895
• 5 Hjartdal	4.19	27.8	3881

Predvidevala se je izboljšava nacionalnega DMR (25 m kvadratna mreža) v letih 2008 in 2009 z uporabo:

- plastnic iz topografskih načrtov 1 : 5000,
- jezera in obalna črta iz merila 1 : 5000 in
- srednje črte cest.

Natančnost novega DMR naj bi bila 2-3 m.

Topografska zbirka je vzdrževana na več nivojih, ki delijo državo glede na dinamiko sprememb v prostoru in sicer na A, B, C in D, ki si sledijo od najbolj do najmanj intenzivnega razvoja (glej Slika 7).



Slika 7: Območje vzdrževanja je razdeljeno na 4 podobmočja različnih prioritet

LIDAR na Norveškem: konec leta 2008 je bilo zajetih podatkov LS za 10% države. Maksimalno 25% naj bi bilo poskenirano v bodoče.

3. Aerosnemanje

3.1. Opis, izbira in stroški pridobivanja izvornih podatkov

3.1.1. Izbor izvornih podatkov glede na zahteve v 3. poglavju

Aerosnemanje za različna merila kartiranja se izvaja z različnimi dolžinami talnega intervala (GSD). Pri merilu 1 : 1000 je to običajno 0,1 m, pri merilu 1 : 5000 pa okoli 0,4 m. Z manjšanjem meril se GSD povečuje vendar običajno ne linearno.

Pri uporabi filmov GSD pogojuje merilo aerofotografij in nastavljena ločljivost skeniranja ter končni izdelek in nenazadnje tudi velikosti datotek, ki jih je bilo potrebno obdelati. Merilo aerofotografij se je računalo po formuli:

Merilo fotografije = (goriščna razdalja) / (višina nad terenom),

GSD aerofotografij pa je bil izračunan na naslednji način:

$GSD = (\text{modul merila fotografije}) * (\text{velikost slikovnega elementa skeniranja})$. Primer za CAS (2005) v merilu 1 : 17500 in ločljivost skeniranja 15 mikrometrov: $GSD = 17500 * 0,015 \text{ mm} = 26 \text{ cm}$

Pri izvedbi zajema podatkov z digitalnimi aerofotoaparati se GSD izračuna:

$GSD \text{ aerofotografij} = (\text{velikost slikovnega elementa na senzorju}) * (\text{višina nad terenom}) / (\text{goriščna razdalja})$. Primer za CAS (2006): $GSD = 0,012 \text{ mm} * 4000 \text{ m} / 0,12 \text{ m} = 40 \text{ cm}$.

Izračunane vrednosti so nominalne, saj se prave vrednosti spreminjajo glede na lokacijo na fotografiji in glede na nagib posnetka in razgibanost terena.

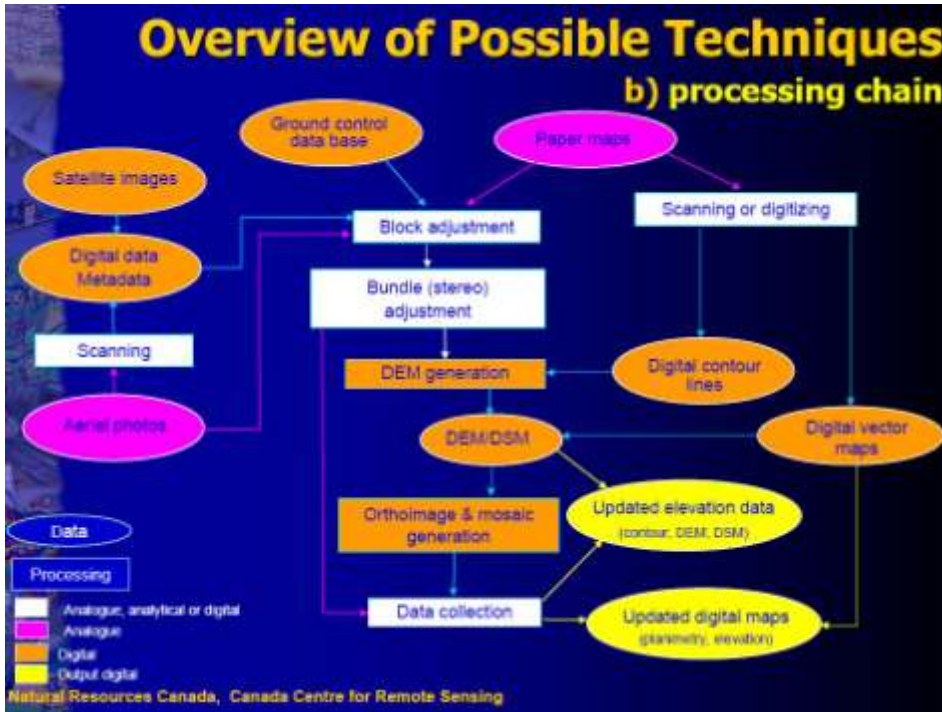
Ena od primerjav med GSD in merilom kartiranja je v (Tabela 2):

Average GSD with ADS40	Map Scale	Map standard		Comparable film photographs	
		x-y accuracy RMSE	contour interval	photo scale	pixel size on ground of scanned film
5 - 10 cm	1 : 500	0.125 m	0.25 m	1 : 3,000 to 1 : 5,500	2.5 - 5 cm
10 - 15 cm	1 : 1,000	0.25 m	0.5 m	1 : 5,000 to 1 : 8,000	5 - 7.5 cm
15 - 20 cm	1 : 1,500	0.40 m	0.75 m	1 : 6,500 to 1 : 10,000	7.5 - 10 cm
20 - 30 cm	1 : 2,000	0.50 m	1m	1 : 8,000 to 1 : 11,000	10 - 15 cm
25 - 35 cm	1 : 2,500	0.60 m	1.25 m	1 : 8,500 to 1 : 13,000	12.5 - 17.5 cm
30 - 50 cm	1 : 5,000	1.25 m	2.5 m	1 : 12,000 to 1 : 18,000	15 - 25 cm
40 - 60 cm	1 : 10,000	2.50 m	5m	1 : 17,000 to 1 : 27,000	20 - 30 cm
50 - 70 cm	1 : 20,000	5.00 m	10 m	1 : 25,000 to 1 : 35,000	25 - 35cm
50 - 80 cm	1 : 25,000	6.25 m	12.5 m	1 : 28,000 to 1 : 42,000	25 - 40 cm
50 - 100 cm	1 : 50,000	12.5 m	20 m	1 : 40,000 to 1 : 60,000	25 - 50 cm
50 - 100 cm	1 : 100,000	25 m	50 m	1 : 60,000 to 1 : 90,000	25 - 50 cm

Tabela 2: Tabela primerjave različnih GSD z izdelavo in vzdrževanje topografskih zbirk

Vir: Fricker, P., Saks, T., High resolution colour imagery orthophotomaps and remote sensing, http://www.isprs.org/publications/related/semana_geomatica05/front/abstracts/Dimecres9/R15.pdf

Klasični proces vzdrževanja topografskih načrtov/kart z uporabo fotogrametrije je prikazan na naslednjem diagramu (Slika 8):

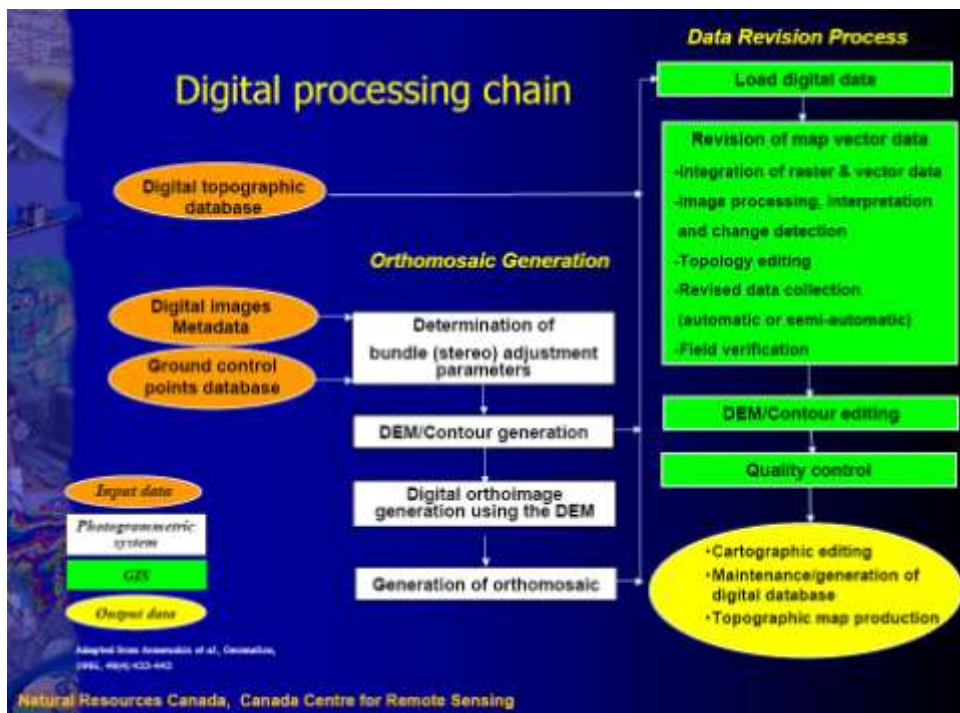


Slika 8: Diagram starega načina vzdrževanja DTZ

Vir:

http://www.photogrammetry.ethz.ch/general/persons/jana/isprs/tutmapup/ISPRS_tutorial_Toutin_techniques_overview.pdf

Digitalni proces vzdrževanja topografskih načrtov/kart z uporabo fotogrametrije je prikazan na spodnjem diagramu (Slika 9):

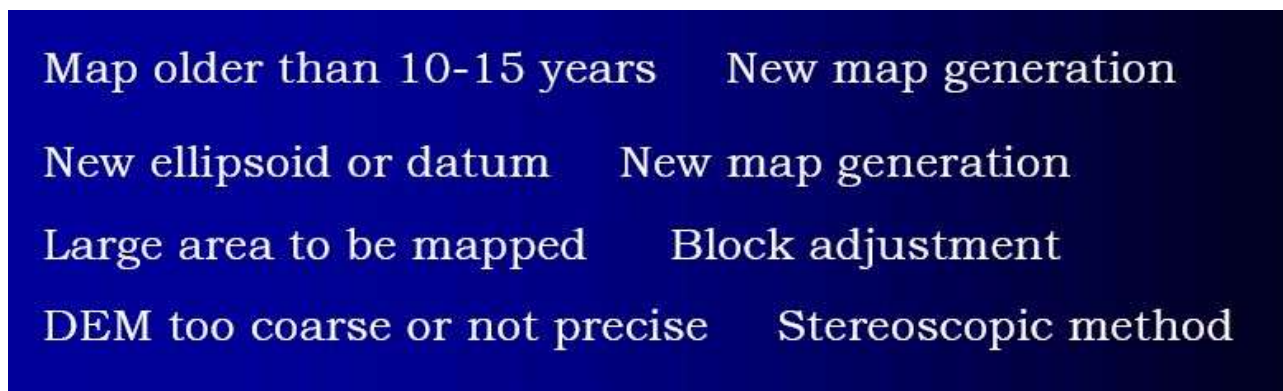


Slika 9: Diagram novejšega načina vzdrževanja DTZ

Vir:

http://www.photogrammetry.ethz.ch/general/persons/jana/isprs/tutmapup/ISPRS_tutorial_Toutin_techniques_overview.pdf

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov
Zanimivi so tudi naslednji zaključki iz istega vira (Slika 10):

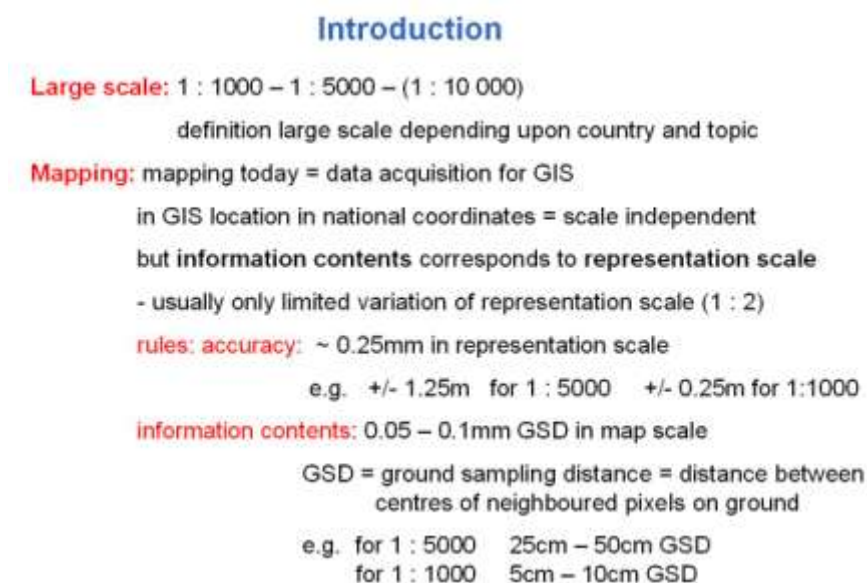


Slika 10: Nekaj praktičnih napotkov pri vzdrževanju topografskih kart

Vir:

http://www.photogrammetry.ethz.ch/general/persons/jana/isprs/tutmapup/ISPRS_tutorial_Toutin_techniques_overview.pdf

Nekateri strokovnjaki navajajo delno drugačne vrednosti izračuna GSD za merili 1 : 1.000 in 1 : 5.000 (Slika 11):



Slika 11: Zahteve glede GSD za namen vzdrževanja topografskih kart

Vir: Jacobson, K., Photogrammetry and geoinformation trends for large scale mapping, Institute of Photogrammetry and Geoinformation University of Hannover,

Velikost GSD za kartiranje v merilu 1 : 5000 je lahko tudi večja kot vidimo iz spodnjega primera:

High resolution satellite image



QuickBird panchromatic, 0.62m GSD

can be used for mapping up to scale
1 : 5000

62cm GSD corresponds to scale of
analogue aerial photos 1 : 50 000

2006 / 2007 with OrbView 5 and
WorldView also 50cm GSD

advantage of space images: not
classified, homogenous accuracy –
sub-pixel accuracy possible with few
control points

Slika 12: Satelitska slika in potreben GSD za izdelavo in vzdrževanje DTK5

Vir: Jacobson, K., Photogrammetry and geoinformation trends for large scale mapping, Institute of Photogrammetry and Geoinformation University of Hannover

Če bi se aerosnemanje za potrebe vzdrževanja DTK5, DTK25 in DTK50 izvajalo ločeno za vzdrževanje posamezne baze predlagamo naslednje GSD:

- DTK5 : GSD od 25 do 50 cm
- DTK25: GSD od 40 do 80 cm
- DTK50: GSD od 50 do 100 cm

3.1.2. Stroški pridobitve izvornih podatkov za 3 nivoje meril

Proces aerosnemanja oz. zajema surovih izvornih podatkov vsebuje naslednje korake:

- izdelava načrta aerosnemanja (razdelitev območja na fotogrametrične bloke, izbira opreme glede na zahteve projekta, ...)
- izvedba terenskih del (signalizacija oslonilnih in kontrolnih točk)
- zajem podatkov (izvedba aerosnemanja in prenos vseh podatkov: GPS, INS in fotografij v proces obdelave)

Strošek izdelave načrta aerosnemanja je odvisen od razpoložljivosti podatkov in kvalitete osnovne geodetske infrastrukture. Ob vzpostavljenem omrežju GNSS je mogoče pridobiti podatke iz tega omrežja v zeleni obliki, natančnosti in frekvenci je zajem podatkov enostavnejši in cenejši. Stroška priprave projekta je ocenjen na približno 1 %, ki pa narašča pri projektih manjšega obsega.

Tudi strošek terenskega dela je odvisen od kvalitete osnovne geodetske infrastrukture in od stopnje zahtevane kontrole naročnika ter kvalitete razpoložljivih obstoječih podatkov. Strošek terenskega dela naj ne bi presegal 10 % projekta.

Zajem podatkov se običajno ne ločuje od osnovne obdelave podatkov kot so: sestavljanje končne fotografije iz več pankromatskih senzorjev (DMC: 4 senzorji, UltraCam 9 senzorjev, ...), pansharpening, georeferenciranje s pomočjo GNSS/INS. Je pa to tudi mogoče, če naročnika skrbi varnost podatkov in ima tehnično znanje ter opremo za obdelavo surovih podatkov. Naročnik zaradi varnosti podatkov lahko zahteva, da se vse osnovno procesiranje izvede v prostorih pod nadzorom, da podatki ne bi mogli priti v roke nepooblaščenim. Strošek zajema surovih podatkov je predvsem v amortizaciji opreme (platforma, senzorji, GNSS/INS oprema) in obratovalnih stroških sistema (gorivo za platformo, stroški gostovanja na tujem letališču, plače

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov in stroški osebja, ki delajo na platformi kot piloti, navigatorji ali operaterji na senzorju). Ti stroške so ocenjeni na cca. 50%.

Struktura stroškov pri zajemu izvornih podatkov za merila 1 : 25.000 in 1 : 50.000 je podobna kot za merilo 1 : 5.000, je pa strošek zaradi manjšega zahtevanega GSD (GSD za 1 : 25.000 je med 0,4 m do 0,8m in za 1 : 50.000 med 0,5 do 1,0 m), v absolutnem znesku nekaj manjši. Potrebno je upoštevati, da če se GSD poveča za polovico se količina leta zmanjša na četrtino, pri enaki opremi in pogojih aerosnemanja.

Ob primerjavi stroškov pridobitve izvornih podatkov, dodelave izvornih podatkov (poglavje 4.2) in georeferenciranje izvornih podatkov (poglavje 4.3) je delež zajema med 85% in 95%, kar je predvsem odvisno od zahtevnosti georeferenciranja t.j. ali je potrebno izvesti aerotriangulacijo ali ne.

Večkratni zajem podatkov z dvema ali celo tremi različnimi GSD za tri omenjena merila seveda ni smiselno, razen v primeru, da bi se izvorni podatki uporabljali le za npr. merilo 1 : 50.000 v različnih časih vzdrževalnega cikla kot za merilo 1 : 5.000. Če bi se npr. za vzdrževanje za območje C (5 letni cikel vzdrževanja) izvajalo aerosnemanje za merilo 1 : 5.000 vsako peto leto, isto območje pa bi prišlo na vrsto za merilo 1 : 50.000 2-3 leta kasneje, bi bilo smiselno izvesti novo aerosnemanje z večjim GSD oz. za merilo 1 : 50.000. Lahko pa bi v takem primeru aerosnemanje nadomestili z satelitskimi posnetki, če bi bil strošek nabave izvornih podatkov manjši in bila kvalitete posnetkov in natančnost georeferenciranja zadovoljiva.

Izhajamo iz vrednosti projekta zajema, dodelave, georeferenciranja in izdelave naslednjih izdelkov: DMR, DMRO (DMR za ortofoto) in ortofoto. Za izdelavo teh rezultatov je bilo stroškov cca. 20-30% projekta.

Strošek zajema podatkov:

- CAS za DTK 1 : 5000: 250.000 EUR
- CAS za DTK 1 : 25000: 192.000 EUR
- CAS za DTK 1 : 50000: 160.000 EUR

3.2. Dodelava izvornih podatkov

3.2.1. Nivoji predobdelave izbranih izvornih podatkov

Dodelava izvornih podatkov v vidnem delu spektra je pri različnih senzorjih različna. Omenjamo tri različne sisteme za izvajanje zajema podob:

- profesionalni digitalni velikoformatni aerofotoaparati (Vexcel UltraCam, Intergraph DMC, ...)
- profesionalni linijski skener (npr. Leica ADS 80, ...)
- srednjeformatni digitalni fotoaparati (Hasselblad, ...)

Le prva dva tipa aerofotoaparatorov oz. linijskih skenerjev sta primerna za sistemsko pokrivanje večjih površin.

Predobdelava izvornih podatkov prve skupine velikoformatnih aerofotoaparatorov je sestavljanje končne fotografije iz več matričnih senzorjev (UltraCam iz 9 in DMC iz 4 matričnih senzorjev). Ta proces se odvija po prenosu podatkov iz platforme v pisarno in je vezan na proizvajalca aerofotoaparata. Vključuje ujemanje na delih izvornih fotografij, ki se prekrivajo, rezultat pa je ena fotografija z natančno poznano velikostjo in številom posameznih najmanjših slikovnih elementov ter brez distorzije in okroglo vrednostjo goriščne razdalje. Poleg pankromatskega kanala se iz originalnih podatkov zapišejo tudi štirje drugi kanali in sicer R, G, B in infra rdeč. Izdelka tega procesa je že mogoče uporabljati za nadaljnje procese kot so aerotriangulacija, pansharpening, izdelava DMR in ČB ortofoto in stereozajem.

Pri linijskih senzorjih vključuje proces predobdelave predvsem sestavljanje pankromatskega kanala iz dveh linij, ki se prekrivata za polovico najmanjšega slikovnega elementa. Ker je mogoče pri ADS80 uporabiti dve različni glavi je tudi nabor senzorjev različen. Iz posameznih

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov zajetih linij se sestavi tako imenovana preproga, za vsak senzor posebej. Dva pankromatska senzorja sta obrnjena tako, da je mogoče stereo pokritje vzdolž poti senzorja. Dve glavi vsebujeta naslednje možnosti zajema podatkov:

- SH81 – omogoča sive, barvne in infrabarvne podobe in stereo opazovanje v sivih tonih in barvah
- SH82 – poleg zgoraj omenjenih možnosti je mogoče stereo opazovanje v vseh kombinacijah kanalov

Pri srednjeformatnih digitalnih fotoaparatih posebne predobdelave ni in so posnetki tako uporabni za nadaljnjo obdelavo. Je pa teh posnetkov za enako območje in enak GSD v primerjavi z velikoformatnimi aerofotoaparati bistveno več.

3.2.2. Dodelava izvornih podatkov za potrebe vzdrževanja topografskih zbirk

Dodelave izvornih podatkov po predobdelavi so naslednje:

- profesionalni digitalni velikoformatni aerofotoaparat
 - o Izvede se pansharpening za izdelavo barvnih in/ali infra-barvnih aerofotografij v visoki ločljivosti.
- profesionalni linijski skener
 - o Sestavljanje ti. preproge, ki je geometrijsko pravilna in vsebuje tudi georeferenciranje linij, ki brez obdelave iz podatkov GNSS/INS iz platforme in referenčnih GNSS postaj ni mogoče.
- srednjeformatni digitalni fotoaparati
 - o posebnih dodelav ni

3.2.3. Strošek dodelave izvornih podatkov

Strošek predobdelav in dodelav so ocenjeni na celotno vrednost projekta katerega končni izdelek so fotografije, ki so pripravljene za naslednje korake kot so aerotriangulacija, izdelava DMR in/ali izdelava ortofotov.

- Aerofotografije iz profesionalnih digitalnih velikoformatnih aerofotoaparatom: 2-3%
- »Preproga« iz profesionalnih linijskih skenerjev: 5-6%
- Aerofotografije iz srednjeformatnih digitalnih fotoaparatom: 0%

Strošek dodelave izvornih podatkov:

- CAS za DTK 1 : 5000: 10.000 EUR
- CAS za DTK 1 : 25000: 7.680 EUR
- CAS za DTK 1 : 50000: 6.400 EUR

3.3. Georeferenciranje izvornih podatkov

3.3.1. Dosežen nivo georeferenciranja pridobljenih izvornih podatkov

Konec dvajsetega stoletja oz. začetek prvega desetletja enaindvajsetega stoletja je na področju georeferenciranja aerofotografij zaznamoval prihod novih senzorskih tehnologij. Gre predvsem za tehnologiji DGNSS (ang. DGNSS: differential global navigation satellite system) ter INS (ang. INS: inertial navigation system). S pojavom obeh senzorskih tehnologij se je razvila nova metoda georeferenciranja aerofotografij (in drugih vrst slik), ki jo imenujemo *direktna orientacija senzorjev* (ang. direct sensor orientation). Ta metoda omogoča neposredno georeferenciranje aerofotografij zgolj na osnovi pridobljenih izvornih podatkov v fazi izvedbe aerosnemanja.

Direktna orientacija senzorjev

Metoda direktne orientacije senzorjev je postala aktualna z napredkom v razvoju senzorjev za:

- meritve položaja v prostoru: tehnologija DGNSS ter
- meritve nagibov v prostoru: tehnologija INS.

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov
V nadaljevanju so podane ključne prednosti in slabosti te metode. Slabosti in prednosti so podane glede na dve njeni konkurenčni metodi:

- klasična aerotriangulacija ter
- integrirana orientacija senzorjev (ang. integrated sensor orientation).

Prednosti:

- ni zamudne izmere veznih točk,
- ni zamudne terenske izmere oslonilnih točk,
- visoka časovna in posledično stroškovna učinkovitost v primerjavi z drugimi postopki georeferenciranja.

Slabosti:

- potrebno je razpolagati z natančnimi in zato dragimi merskimi sistemi DGNS in predvsem INS,
- nujno je potrebno izvesti kalibracijo celotnega sistema, predvidoma pred izvedbo aerosnemanja,
- ni nadštevilčnosti pri določevanju parametrov absolutne orientacije zato je težje oceniti robustnost oz. zanesljivost dobljenih rezultatov georeferenciranja,
- preostala y paralaksa v stereomodelu otežuje oz. onemogoča kakovostno stereoizvrednotenje aerofotografij,
- velikokrat dosežena natančnost georeferenciranja v primeru zajema topografskih podatkov za večja merila ni zadovoljiva.

Strokovnjaki ocenjujejo, da bo pomen direktne orientacije senzorjev po ocenah strokovnjakov v prihodnosti še naraščal. Vendar nas predvsem zadnji dve alineji pri naštevanju slabosti metode direktne orientacije senzorjev, ki se nanašata na natančnost georeferenciranja, silita v razmišljanje, kako te slabosti čimbolj optimalno odpraviti. To v veliki meri omogočata že omenjena metoda aerotriangulacije ter metoda integrirane orientacije senzorjev.

3.3.2. *Izboljšanje georeferenciranja pridobljenih izvornih podatkov*

3.3.2.1. *Aerotriangulacija*

Postopek aerotriangulacije je matematični postopek, kjer do končne rešitve (v našem primeru absolutne orientacije oz. georeferenciranja aerofotografij) pridemo po metodi najmanjših kvadratov. Današnji pristopi, implementirani v različnih programskih paketih, omogočajo izvedbo izravnave s snopi (ang. bundle adjustment).

V nadaljevanju so podane ključne prednosti in slabosti aerotriangulacije kot metode georeferenciranja aerofotografij.

Prednosti:

- gre za preizkušeno in uveljavljeno metodo, ki omogoča visoko natančnost izvedbe postopka georeferenciranja,
- visoka robustnost uporabljenih matematičnih in statističnih algoritmov (npr. za odkrivanje napak v izravnavi),
- robustnost oz. visoka zanesljivost rezultatov absolutne orientacije (georeferenciranja) zaradi velike nadštevilčnosti meritev.

Slabosti:

- zamudni postopki določevanja veznih točk:
- ročno določevanje (se sicer danes uporablja le redko; uporaba polsamodejnih algoritmov iskanja vzorcev na rastrskih slikah, npr. metoda najmanjših kvadratov (ang. least square matching),
- avtomatsko določevanje (razviti so algoritmi, vendar so težave na gozdnatih območjih in na drugih območjih, kjer ni razpoznavnih detajlov),
- visoki stroški povezani s terenskim delom za izmero oslonilnih in kontrolnih točk:

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov

- velikokrat oslonilne in kontrolne točke v naravi niso trajno signalizirane, kar zahteva terensko izmero teh točk,
- oddaljenost ter nedostopnost terena velikokrat dodatno otežujeta ta postopek in povečujeta stroške ter časovno zahtevnost projekta aerotriangulacije.

Zadnjo našeto slabost lahko v precejšnji meri kompenziramo z uvedbo DGNS (ne pa nujno tudi INS) meritev v postopek aerotriangulacije. Gre predvsem za zmanjšanje potrebnega števila oslonilnih in kontrolnih točk, pri čemer lahko še vedno dosežemo visoko natančnost rezultatov georeferenciranja. Poznamo dve metodi:

- metoda shift&drift (zahteva dodatno snemanje prečnih pasov) in
- metoda CPASS (razvila dr. E. Kruck ter podjetje Geo++).

Tudi metoda integrirane orientacije senzorjev odpravlja to pomembno slabost sorazmerno visokih stroškov izmere oslonilnih točk.

3.3.2.2. Integrirana orientacija senzorjev

Pri integrirani orientaciji senzorjev v primerjavi z direktno orientacijo senzorjev uvedemo nove parametre, konkretno vezne točke. Uvedba veznih točk omogoča bistveno izboljšanje natančnosti dobljenih koordinat predvsem v slikovnem koordinatnem sistemu, deloma pa tudi v objektnem koordinatnem sistemu. Pri tem je najbolj pomembno, da uvedba veznih točk omogoča odpravo y paralakse, ki predstavlja pomembno slabost metode direktne orientacije senzorjev. Odprava y paralakse s pomočjo veznih točk nam omogoči, da lahko izvedemo tudi stereoizvrednotenje, kar je z vidika zajema in vzdrževanja topografskih podatkov zelo pomembno.

Tako pri metodi direktne orientacije kot pri metodi integrirane orientacije senzorjev še vedno ostaja slabost, ki se nanaša na zanesljivost dobljenih rezultatov. Ta je posledica dejstva, da ne razpolagamo z nadštevilčnostjo meritev pri izračunu absolutne orientacije, saj ne uvajamo oslonilnih oz. kontrolnih točk. Predvsem sta dva razloga, zaradi katerih lahko sumimo na manjšo zanesljivost dobljenih rezultatov:

- stematične/naključne napake pri uporabi DGNS/INS sistemov,
- kalibracija je izvedena v drugačnem okolju/pogojih kot dejanski projekt aerosnemanja.

V projektih, ki zahtevajo boljše natančnost, je tudi pri tej metodi smiselno uvesti vsaj minimalno število oslonilnih točk. Metoda integrirane orientacije senzorjev se zato lahko uporablja tudi v primerih, kjer je zahtevana visoka natančnost.

3.3.3. Strošek izboljšanja georeferenciranja izvornih podatkov

V strokovni literaturi je mogoče zaslediti primerjave natančnosti med posameznimi omenjenimi metodami georeferenciranja. Predvsem je zanimiva primerjava natančnosti med direktno metodo in metodo aerotriangulacije oz. metodo integrirane orientacije senzorjev. Primerjava natančnosti se običajno izvede na neodvisnih kontrolnih točkah. Primerjava z rezultati, dobljenimi z uporabo aerotriangulacije je pokazala, da so dobljene natančnosti direktne orientacije senzorjev za faktor 2 do 3 slabše [1].

Pomemben dejavnik pri ocenjevanju stroškov izboljšanja georeferenciranja je stopnja zahtevane natančnosti georeferenciranja in načini nadaljnje uporabe georeferenciranih podatkov. V določenih primerih lahko georeferenciranje izboljšamo že z uvedbo veznih točk (npr. za potrebe stereoizvrednotenja za načrte manjših meril), v primerih, kjer je zahtevana visoka natančnost (npr. pri zajemu topografskih podatkov za načrte velikih meril), pa je potrebno uvesti tudi oslonilne in kontrolne točke. To še dodatno podraži postopke georeferenciranja. Po ocenah strokovnjakov je strošek izboljšanja georeferenciranja lahko zelo velik. V strokovni literaturi nismo zasledili konkretnih števil izraženih v absolutnem ali relativnem smislu, vendar ocenjujemo, da lahko znaša tudi do 50%.

Strošek izboljšave georeferenciranja izvornih podatkov:

- CAS za DTK 1 : 5000: 100.000 EUR
- CAS za DTK 1 : 25000: 76.800 EUR
- CAS za DTK 1 : 50000: 64.000 EUR

Literatura

- [1] C. Heipke, K. Jacobsen, H. Wegmann: Analysis of the results of the OEEPE test "Integrated sensor orientation", 2002, <http://www.gtbi.net/export/sites/default/GTBiWeb/soporte/descargas/AnalisisOeepeOrientacionIntegrada-en.pdf>
- [2] C. Heipke, K. Jacobsen, H. Wegmann, O. Andersen, B. Nilsen: Integrated sensor orientation – an OEEPE test, 2001, <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo01/Heipke.pdf>
- [3] J. Kremer, E. Kruck: Integrated sensor orientation – Two examples to show the potential of simultaneous GPS/IMU and image data processing, 2003, http://www.isprs.org/commission1/theory_tech_realities/pdf/p13_s4.pdf
- [4] K. Jacobsen: Combined bundle block adjustment versus direct sensor orientation, ASPRS, Washington 2000.
- [5] E. Honkavaara, R. Ilves, J. Jaakkola: Practical results of GPS/IMU/camera system calibration, 2001, http://www.isprs.org/commission1/theory_tech_realities/pdf/p06_s3.pdf
- [7] D. Kapnias, P. Milenov, S. Kay: Guidelines for best practice and quality checking of ortho imagery, Issue 3.0, JRC 2008, <http://mars.jrc.it/Bulletins-Publications/Guidelines-for-Best-Practice-and-Quality-Checking-of-Ortho-Imagery-v-3.0>

4. Lasersko skeniranje

4.1. Opis, izbira in stroški pridobivanja izvornih podatkov

4.1.1. Izbor izvornih podatkov glede na zahteve v 3. poglavju

Lasersko skeniranje, kot vir izvornih podatkov, lahko za potrebe vzdrževanja topografskih zbirk in kart zagotavlja podatke o reliefu oz. izdelavi digitalnega modela reliefa (DMR), digitalnega modela površja (DMP) za izdelavo »pravega« ortofota (ang. true orthophoto) in sliko intenzitete odboja.

Poleg direktne uporabe podatkov laserskega skeniranja pri vzdrževanju topografskih zbirk, je mogoča njihova uporaba tudi pri iskanju sprememb, če bi se lasersko skeniranje izvajalo v ustreznih ciklih: prepoznavanje novogradenj in ruševin ter druge spremembe v DMR ali DMP iz obdobja dveh ciklov, ki kažejo na določene spremembe v prostoru.

Na podlagi intenzitete odboja laserskih žarkov bi izdelali sivo sliko, ki bi bila v pomoč pri vzdrževanju topografskih zbirk. Siva slika intenzitete ne vsebuje toliko podatkov kot aerofotografija, vendar je na njej mogoče prepoznati določene geometrične oblike (ceste, hiše, železnico ...). Prostorska ločljivost sive slike naj bi bila za različna merila podobna prostorski ločljivosti ortofotov oz. aerofotografij ali boljša. Prostorsko ločljivost sive slike pa določa gostoto laserskega skeniranja in sicer:

- za DTK5 : GSD od 25 do 50 cm, gostota od 8 do 4 točke na m²
- za DTK25: GSD od 40 do 80 cm, gostota od 6 do 3 točke na m²
- za DTK50: GSD od 50 do 100 cm, gostota od 4 do 1 točke na m²

Na podlagi sive slike je mogoče vzdrževati samo določene objekte, torej je potrebno zagotoviti še druge izvorne podatke, ki so običajno aerofotografije. Pri izvajanju laserskega skeniranja v koridorju (ceste, železnice, daljnovodi) je sočasni zajem oblaka laserskih točk in aerosnemanje vsakodnevna praksa, medtem ko pri sistemskem zajemu podatkov za celotno državo to ni. Razlog je predvsem v izvajanju laserskega skeniranja tudi v nočnem času, kar skrajšuje čas izvedbe, medtem ko bi istočasno aerosnemanje bistveno povečala čas izvajanje zajema podatkov, saj aerosnemanje poleg dnevnega časa in ustrezne višine sonca nad horizontom zahteva tudi lepše vreme.

V prihodnosti se bo kombinacija laserskega skeniranja in aerosnemanja vse bolj uveljavljala tudi pri sistemskem pokrivanju večjih površin, saj bodo sistemi zmogljivejši, povečala pa se bo verjetno tudi konkurenca. Vsekakor pa so podatki iz te kombinacija senzorje bolj uporabni pri vzdrževanju DTK kot posamezni izvorni podatki, vendar tudi dražji.

4.1.2. Stroški pridobitve izvornih podatkov za 3 nivoje meril

Stroški zajema podatkov se zelo razlikujejo glede na naslednje parametre: zahtevana gostota laserskih točk na m², zahtevana natančnost rezultatov, dolžina časovnega okna dovoljenega zajema podatkov, količina kontrole podatkov.

Strošek samega zajema podatkov je cca. 85 do 95% stroškov celotnega projekta izdelave DMR ali DMP, za kar se samostojno lasersko skeniranje običajno največ uporablja.

Strošek se spreminja od 15 pa do 90 EUR pri gostoti ene točke/m² predvsem glede na zahtevano natančnost, razgibanost terena in stopnjo obdelave podatkov. Večja razgibanost povzroči večje stroške zajema pri enaki gostoti podatkov.

Povečanje gostote za faktor dva poveča strošek za cca. 80%. V projektu zajema laserskih podatkov je strošek letenja v okviru 80 do 90%.

Če upoštevamo srednjo gostoto in srednje vrednosti ocen izračunamo naslednje vrednosti zajema podatkov za Slovenijo:

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov

- za DTK5 : gostota od 4 do 8 točke na m²; 6 t/m²: 1,60 M € *
- za DTK25: gostota od 3 do 6 točke na m²; 4,5 t/m²: 1,05 M € *
- za DTK50: gostota od 1 do 4 točke na m²; 2,5 t/m²: 0,61 M € *

4.2. Georeferenciranje izvornih podatkov

4.2.1. Dosežen nivo georeferenciranja pridobljenih izvornih podatkov

Izvorni podatki takoj po zajemu niso georeferencirani.

4.2.2. Georeferenciranje in izboljšava lokacije izvornih podatkov

Zajemu podatkov pri laserskem skeniranju najprej sledi georeferenciranje, kjer se na podlagi podatkov iz skenerja in sistema GNSS/INS izračuna prostorska lokacija za vsako točko, ki se registrira po odboju laserskega žarka.

Boljša kakovost uporabljenih instrumentov, GNSS/INS na platformi in uporabljenih terenskih referenčnih GNSS postaj, daje boljše natančnost georeferenciranja.

Lasersko skeniranje se pri zajemu podatkov na večjih površinah oz. pri sistemskem pokrivanju države izvaja v pasovih z določenim s približno 20% prekrivanjem. Zaradi različnih vplivov oz. sistematičnih pogreškov neposrednega georeferenciranja prihaja do manjših neskladij med prostorsko lokacijo točk na identičnih površinah različnih pasov. To neskladje se nato porazdeli na točke obeh pasov tako, da se išče srednja lokacija točk na identičnih površinah in s tem tudi pasov.

4.2.3. Strošek georeferenciranja in izboljšave lokacije izvornih podatkov

Strošek georeferenciranja in izboljšave georeferenciranja je ocenjen na 3% vrednosti projekta zajema podatkov.

- za DTK5 : gostota od 4 do 8 točke na m²; 6,0 t/m²: 48.120 € *
- za DTK25: gostota od 3 do 6 točke na m²; 4,5 t/m²: 31.383 € *
- za DTK50: gostota od 1 do 4 točke na m²; 2,5 t/m²: 18.246€ *

4.3. Dodelava izvornih podatkov

4.3.1. Nivoji predobdelave izbranih izvornih podatkov

V odvisnosti od uporabljenega inštrumentarija so zajeti odboji pulznih ali polnovalovnih žarkov. Katere dodatne informacije se zapišejo za vsako točko v oblaku poleg lokacije je odvisno od zahtev naročnika oz. od uporabljenega formata zapisa za predajo naročniku. Običajno se za predajo naročniku uporablja format LAS, ki pa ima več različic.

4.3.2. Dodelava izvornih podatkov za potrebe vzdrževanja topografskih zbirk

Po georeferenciranju in izboljšavi lokacije oblaka laserskih točk se običajno izvede klasifikacija oblaka točk v standardne ali nestandardne razrede, ki jih določi naročnik. Proces je običajno avtomatski, vendar je včasih potrebna tudi ročno popraviljanje, če so zahteve po kakovosti visoke. Avtomatska klasifikacija in ročno popraviljanje večjih grobih napak se izvaja glede na izkušnost operaterja, ki nastavlja osnovne parametre za avtomatski proces.

4.3.3. Strošek dodelave izvornih podatkov

Strošek dodelave izvornih podatkov oz. standardno klasifikacijo oblaka točk je cca. 7% od celotnega projekta. Torej bi bili stroški glede na prejšnje podatke naslednji:

- za DTK5 : gostota od 4 do 8 točke na m²; 6,0 t/m²: 112.280 € *

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov

- za DTK25: gostota od 3 do 6 točke na m²; 4,5 t/m²: 73.226 € *
- za DTK50: gostota od 1 do 4 točke na m²; 2,5 t/m²: 42.573 € *

* stroški izhajajo iz predpostavke, da je cena za gostoto 1t/m² 15 EUR/km², da se strošek poveča za 80% če se gostota 1x poveča in delitev na zajem, georeferenciranje in dodelava podatkov v razmerju 90%, 3% in 7%.

5. Satelitsko snemanje

5.1. Opis, izbira in stroški pridobivanja izvornih podatkov

5.1.1. Izbor izvornih podatkov glede na zahteve v 3. poglavju

Za samodejno vzdrževanje topografskih zbirk so kot izvorni podatki primerni posnetki tistih satelitov, ki snemajo površje Zemlje tako s pankromatskim kot z multispektralnimi posnetki. Za vse nivoje topografskih zbirk DTK5, DTK25 in DTK50 so primerni visokoločljivostni satelitski posnetki, ki snemajo pankromatske posnetke s prostorsko ločljivostjo 1 m ali boljšo. To so satelitski posnetki podjetja Digital Globe (QuickBird in WorldView-2), podjetja GeoEye (GeoEye-1 in IKONOS) in podjetja KARI (KOMPSAT-2). KARI je južnokorejsko podjetje in o tem satelitu je na voljo precej manj raziskav. Za manjša merila topografskih zbirk (v primeru nekaterih objektnih tipov tudi za iskanje sprememb v DTK5, npr. ceste in vegetacija) so primerni posnetki satelita SPOT 5. Osnovne značilnosti omenjenih satelitov (razen KOMPSAT-2) prikazuje Tabela 3. (Lemmens, 2008; DigitalGlobe, 2011; GeoEye, 2011; Spot Image, 2011).

Podjetje Satelit	Digital Globe QuickBird	Digital Globe WorldView-2	GeoEye GeoEye-1	GeoEye IKONOS	Spot Image SPOT 5
Datum 1. izstrelitve	18.10.2001	8.10.2009	6.9.2008	24.9.1999	3.5.2002
Število satelitov/operativni	1	1	1	3 / 2	1
Višina [km]	450	770	681	681	822
Naklon [°]	98	98	-	98,1	98,7
Lokalni čas preleta	10:30	10:30	10:30	10:30	10:30
Ponovno snemanje	2,4 dni pri ločlj. 1 m; 4,1 dni za kot zajema nad 60°	1,1 dan pri ločlj. 1 m; 2,7 dni za kot zajema nad 60°	3 dni pri ločlj. 0,5 m	3 dni pri ločljivosti 1 m	2-3 dni, odvisno od geog. širine
Radiometrična ločljivost	11 bitov	11 bitov	11 bitov	11 bitov	8 bitov
Pankromatski kanal	0,525-0,924 µm	0,464-0,801 µm	0,450-0,800 µm	0,526-0,929 µm	0,480-0,710 µm
Multispektralni kanali	M 0,45-0,52 µm Z 0,52-0,6 µm R 0,63-0,69 µm bl.IR 0,76-0,9 µm	O 0,40-0,45 µm M 0,45-0,51 µm Z 0,51-0,58 µm Ru 0,585-0,625 µm R 0,63-0,69 µm Rr 0,705-0,745 µm	M 0,445-0,516 µm Z 0,506-0,595 µm R 0,632-0,698 µm bl.IR 0,757-0,853 µm	M 0,445-0,516 µm Z 0,506-0,595 µm R 0,632-0,698 µm bl.IR 0,757-0,853 µm	Z 0,50-0,59 µm R 0,61-0,68 µm bl.IR 0,78-0,89 µm sr.IR 1,58-1,75 µm

		bl.IR1 0,77-0,895 μ m bl.IR2 0,86-1,04 μ m			
Prostorska ločljivost pan	0,61 m v nadirju	0,52 m / 0,46 m v nadirju	0,50 m / 0,41 m v nadirju	1 m / 0,82 m v nadirju	2.5 m ali 5 m v nadirju
Prostorska ločljivost MS	2,4 m v nadirju	1,84 m / 2,08 m v nadirju	1,65 m v nadirju	4 m / 3,2 m v nadirju	10 m v nadirju / 20 m sr.IR
Širina pasu v nadirju	16,5 km	16,4 km	15,2 km	11,3 km	60 km
Velikost posnetkov	16,5 km x 16,5 km pas. 16,5 km x 115 km	16,4 km x 14 km	-	11 km x 11 km pas. 11 km x 1000 km	-
Stereo posnetki	ne	da	-	da	da

Tabela 3: Lastnosti pomembnejših satelitov, primernih za vzdrževanje topografskih zbirk.

Visokoločljivostni satelitski posnetki so dragocen vir podatkov o zemeljskem površju. S satelitskimi tehnologijami pridobivamo podatke hitro, obenem pa snemajo na velikih območjih in lahko večkrat obišejo isti kraj na skoraj vsakem delu sveta, ne glede na njihovo oddaljenost. Poleg omenjenega so visokoločljivostni sateliti v delovanju 365 dni na leto, naknadna obdelava posnetkov je relativno hitra, sateliti lahko enostavno dostopajo do odročnih ali omejenih dostopnih območij. Je pa res, da obstaja velika verjetnost, da so posnetki pokriti z oblaki, saj so posnetki popolnoma brez oblakov dokaj redki, ter da poševni kot opazovanja, kadar je večji od 25°, skoraj ni sprejemljiv za opazovanje določenih objektnih tipov (predvsem je ta kot neprimeren za gosto poseljena urbana območja). V primerjavi z letalskimi posnetki imajo visokoločljivostni satelitski posnetki relativno slabo prostorsko ločljivost (64 cm v primerjavi s tipičnimi ločljivostmi posnetkov iz zraka 15-25 cm). V nadaljevanju so navedeni izsledki nekaterih raziskav in priporočil.

Obstaja mnogo študij, ki so raziskovale možnosti uporabe satelitskih posnetkov za posodabljanje kart in prostorskih podatkov, tudi na tradicionalno dobro kartiranih območjih, kot je na primer Zahodna Evropa (Ridley et al., 1997). Rezultati raziskave uporabe satelitskih posnetkov IKONOS na primer kažejo, da imajo satelitski posnetki visoke ločljivosti velik potencial pri kartiranju, zlasti v ruralnih območjih v merilih med 1 : 10.000 in 1 : 50.000. Prav tako so bile opravljene raziskave potenciala posnetkov QuickBird na srednjih merilih (1 : 25.000 in 1 : 50.000) in v velikih merilih (1 : 10.000, 1 : 2500 in 1 : 1250) v Veliki Britaniji (Holland et al., 2006), tako za obnavljanje kart kot za kartiranje. Ugotovljeno je bilo, da je mogoče večino objektnih tipov, ki so zahtevani pri kartiranju v merilu 1 : 10.000 – 1 : 50.000 s satelitskimi posnetki visokih ločljivosti zadovoljivo identificirati in zajeti. V nekaterih primerih je prav tako mogoče identificirati objektne tipe pri kartiranju v velikih merilih (npr. ceste in gozdne meje v merilu 1 : 2500). Glavne izjeme so ozki linearni objekti (električne linije prevodnikov, stene, ograje in žive meje), teh na splošno ne moremo razločiti iz posnetkov takšnih ločljivosti (Holland in Marshall, 2003).

Rezultati zajemanja objektov in geometrične natančnosti so pokazali, da ima QuickBird glede na trenutne specifikacije potencial za kartiranje podatkov v merilu 1 : 10.000, zato bi se lahko (teoretično) uporabljal kot vir pridobivanja topografskih podatkov do merila 1 : 6.000. Pri slednjem merilu bi morali specifikacije kartiranja spremeniti v smislu, da bi se izločili majhni linearni objekti, kot so ograje in žive meje.

V zadnjih nekaj letih se pri izdelavi modelov reliefa in ortopodob uporablja tudi satelitske posnetke. Stereo posnetki visokoločljivostnih satelitov so pridobljeni z visoko satelitsko

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov okretnostjo, kar pomeni, da sta lahko v isti orbiti dva ali več posnetka iste regije zajeta z vrtenjem satelita med samim zajemom. V tem primeru so stereo podobe pridobljene za razmeroma majhna območja (približno 10 km x 10 km). Za rekonstrukcijo zemeljskega površja in izdelavo digitalnega modela višin pa potrebujemo vrednosti višin točk na terenu. Pri topografskem kartiranju dobimo višine z uporabo stereopara letalskih posnetkov z znano orientacijo (Krupnik, 2000). To pomeni, da se s slikovno korelacijo, kjer se poskušajo identificirati karakteristične točke na vsaj dveh prekrivajočih se podobah. Slikovna korelacija se uravnava s strateškimi parametri, ki močno vplivajo na rezultate procesa in skupaj s parametri zunanje orientacije določajo kakovost in natančnost rezultatov. Izdelava digitalnega modela višin in ortopodob iz stereopara satelitskih podob poteka po fotogrametričnih načelih. Satelitska fotogrametrija se sicer delno razlikuje od letalske fotogrametrije (predvsem v uporabljenem matematičnem modelu preslikave).

Če uporabljamo visoko ločljive satelitske podobe za različne namene, le ti postanejo stroškovno veliko bolj učinkovita možnost zajema topografskih podatkov. Z uporabo satelitskih posnetkov lahko poleg zajema zaznavamo tudi spremembe, ki se ne morejo zaznati z drugimi metodami. Na primer, na območjih stalnih sprememb (npr. središča večjih mest) lahko redni satelitski posnetki zagotovijo stalno spremljanje in zajem topografskih sprememb. Še posebej pa so se satelitski posnetki izkazali kot dragoceno orodje za nadzor sprememb v odročnih območjih, kjer je z drugimi viri težje oziroma nemogoče kartirati zemeljsko površje. Vidne spremembe na posnetkih omogočajo pregled nad spremembami brez dragih terenskih ogledov.

Kljub pozitivnim stranem, ki jih nudijo visokoločljivostni satelitski posnetki, se ta tehnologija danes še ne uporablja v okviru nacionalnih topografskih programov, navkljub dobremu potencialu. Podobe polmetrske ali metrske ločljivosti bi se lahko uporabile za kartiranje mest in drugih prednostnih območij, medtem ko bi podobe metrske natančnosti SPOT5 zmogle izpolniti zahteve za karte merila 1 : 25.000 ali manjše (Fraser et al., 2008). Visoke zmogljivosti uporabe takšnih podob so gotovo za odkrivanje sprememb in za potrebe pregledovanja obstoječih podatkov na karti (Holland, 2006).

Za pridobitev primernih podatkov o površju ali spremembah na površju moramo operirati s primernimi in uporabnimi satelitskimi posnetki. Danes obstaja več ponudnikov satelitskih tehnologij, pomembno pa je, da si izberemo satelitski sistem, ki snema posnetke z ločljivostjo, s katero bomo zadovoljili končne potrebe.

5.1.2. Stroški pridobitve izvornih podatkov za 3 nivoje meril

V Tabela 4 so prikazane okvirne cene satelitskih posnetkov, ki so veljavne na tržišču v času pisanja poročila (januar 2011). Poleg že omenjenih satelitov, sta v preglednico vključena še cenovno izredno ugodna satelita Landsat in Aster, primerna le za posodabljanje topografskih zbirk manjših meril (TK 1 : 50.000) ter satelit RapidEye, ki snema površino Zemlje s petimi multispektralnimi kanali s prostorsko ločljivostjo 6,5 m in bi lahko bil primeren za vzdrževanje GKB 1 : 25.000.

Satelitski sistem	Velikost posnetka	Okvirna cena posnetka [€]	Preračunana cena na km ² [€ / km ²]	Okvirna preračunana cena za celo Slovenijo [€]
QuickBird	16,5 km x 16,5 km	6200	22,77	461.600
WorldView -2	16 km x 14 km	6200	27,68	561.150
GeoEye-1	15,2 km x 15,2 km	4500 (Geo), 6200 (GeoProfessional)	19,48 (Geo), 26,84 (GeoProfessional)	394.910 (Geo), 544.130 (GeoProfessional)
IKONOS	11,3 km x 11,3 km	2000 (Geo), 3300 (GeoProfessional)	15,66 (Geo), 25,84 (GeoProfessional)	317.480 (Geo), 523.850 (GeoProfessional)
SPOT 5	60 km x 60 km	5400	1,50	30.410
RapidEye	77 km x 77 km	8900	1,50	30.410

Landsat 5	175 km x 180 km	večina posnetkov je brezplačnih	-	-
Aster	60 km x 60 km	deloma zastoj, deloma plačljivi posnetki	-	-

Tabela 4: Cene satelitskih posnetkov

Okvirna preračunana cena za satelitske posnetke za območje cele Slovenije je samo informativne narave, saj so cene kupljenih posnetkov relativne in odvisne od več faktorjev:

- pokritosti posnetka z oblaki (posnetki z manj kot 5-% pokritostjo lahko imajo tudi do 50% višjo ceno od osnovne),
- faze obdelanih dobljenih posnetkov (manj kot je posnetek predhodno obdelan, nižja je njegova cena),
- dejstva ali kupujemo posnetke iz arhiva ali sami naročimo snemanje (arhivski posnetki so tudi do polovice cenejši),
- velikosti izbranega območja,
- izbranega tipa licence (enojna, več uporabnikov),
- časa dostave posnetkov.

Pri naročilu posnetkov pa je treba upoštevati tudi dejstvo, da so večja naročila obračunana s popustom.

Ob naročilu snemanja in izbiri ustreznega komercialnega satelitskega sistema se je s pripadajočo organizacijo potrebno dogovoriti o zahtevanih parametrih snemanja. Satelitski posnetki iz katerih ni razvidno površje zaradi različnih faktorjev (geometričnih, atmosferskih...) ne dajejo zadovoljivega rezultata. Bistvenega pomena pri izbiri parametrov sta predvsem definiranje maksimalne pokritosti posnetka z oblaki in sencami ter definiranje poševnega kota snemanja (angl. off-nadir angle). Praviloma so posnetki, ki so snemani z več kot 25° poševnega kota gledanja, neuporabni za obdelavo, še posebej za urbana območja, kjer visoki objekti ali sence prekrivajo dejansko stanje na površju za njimi. Za razne aplikacije so najbolj primerni posnetki zajeti s poševnim kotom snemanja med 0° in 15°. Posnetki zajeti bližje nadirju imajo tudi boljšo prostorsko ločljivost (angl. ground sample distance - GSD) kot tisti, ki so zajeti dlje od nadirja. Tabela 5 prikazuje odvisnost med poševnim kotom snemanja in prostorsko ločljivostjo za pankromatske posnetke satelita IKONOS. S satelitskimi sistemi poskušajo snemati zemeljsko površje v času, ko je to minimalno pokrito z oblaki. Zaradi težavnega napovedovanja oblačnosti so vseeno zajeti tudi posnetki z 20% ali večjo pokritostjo z oblaki.

Poševni kot snemanja [°]	Prostorska ločljivost [cm]
0	61
5	62
10	63
15	65
20	68
25	72

Tabela 5: Odvisnost prostorske ločljivosti od kota snemanja za IKONOS

Za pridobitev dobrih posnetkov se za naročanje posnetkov priporoča 90-dnevno časovno obdobje zajemanja (angl. collection window), kar omogoča, da se v tem obdobju zagotovijo optimalne spremenljivke – poševni kot gledanja, ponovni čas obiska satelita nad izbranim območjem in primerna pokritost z oblaki. Če je naročeno sistematsko snemanje je potrebno definirati tudi časovni interval, ki mora preteči med zajemom posameznih posnetkov.

Glede na fazo obdelanosti posnetkov, lahko od ponudnikov naročimo različne tipe izdelkov. Po navadi so satelitski posnetki na voljo v treh različnih stopnjah: 1) osnovna stopnja, pri kateri so opravljeni le minimalni popravki na posnetku (radiometrični popravki), 2) standardna stopnja, v

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov kateri je posnetek poleg izboljšave z osnovnimi popravki tudi grobo georeferenciran, 3) ortorektificiran posnetek, ki poleg prej omenjenih izboljšav vključuje še popravke, ki so posledica reliefa.

Cene stereoparov satelitskih posnetkov se zaradi posebnih manevrov, ki jih izvede satelit v času zajema, zaračunajo več kot za dvojni set podob. Satelitski posnetki SPOT stanejo na primer enako kot dvojna cena posnetka SPOT, ne glede na ločljivost in kot gledanja, pri ostalih visokoločljivih posnetkih (Worldview, IKONOS, GeoEye) pa so končne cene stereoposnetkov po navadi višje od vrednosti dveh posnetkov. Medtem ko sistem RapidEye sicer omogoča stereo snemanje in izdelavo DMR, pa trenutno stereoposnetki niso na voljo kot standardni komercialni izdelek. QuickBird in Landsat sta izključena iz Tabela 6, saj ne omogočata stereosnemanja, izdelke sistema Aster pa je mogoče kupiti že kar v obliki DMR-ja (75 € za par slik).

Obstajata dve stopnji obdelave stereoposnetkov – osnovni (GeoStereo) in precizni (GeoStereo Precise). Slednji ima za pridobitev višje natančnosti ortorektifikacije dodanih več kontrolnih točk (GCP) in so zaradi tega tudi dražji od osnovnih. Stereo posnetki so na voljo kot pankromatski, multispektralni ali izostreni posnetki, dobimo pa jih lahko le po naročilu, saj arhivski posnetki po navadi niso dosegljivi.

Satelitski sistem	Okvirna cena na km ² [€ / km ²]
WorldView-2	30
GeoEye-1	30
IKONOS	25
SPOT 5	3

Tabela 6: Pregled cen EUR/na km² za nakup satelitskih posnetkov

5.2. Dodelava izvornih podatkov

5.2.1. Nivoji predobdelave izbranih izvornih podatkov

Podjetje Digital Globe ponuja za svoje posnetke izdelke Basic, Standard, Ortho Ready Standard in Ortho ter za satelit WorldView-2 še Basic Stereo Pair. Naročimo lahko pankromatske in multispektralne podobe. Multispektralne podobe izostrene s pankromatskimi so na voljo v treh (moder, zelen, rdeč ali zelen, rdeč in bližnji infrardeč) ali štirih (moder, zelen, rdeč in bližnji infrardeč) kanalih. Izostrene multispektralne podobe so na voljo le za izdelka Standard in Ortho. Za izdelke Ortho mora naročnik zagotoviti digitalni model višin (DMV) in oslonilne točke, zato nakup izdelkov Ortho ni ekonomičen. Različne nivoje podatkov in njihovo obdelavo prikazuje Tabela 7 (Digital Globe, 2011).

Izdelek	Nivo obdelave
Basic in Basic Stereo Pair	popravki vpliva sensorja: oblikovanje matrike podobe, površina Zemlje, zapisana v en piksel ni enakomerna (neenakomeren GSD) radiometrični popravki ne vsebuje geometričnih popravkov
Standard	popravki vpliva sensorja (geometrija sensorja, optična distorzija, distorzija skeniranja ...) radiometrični popravki; geometrični popravki (položaj orbite satelita, rotacija in ukrivljenost Zemlje, panoramska distorzija) prevzorčeni v projekcijsko ravnino, delno upoštevan DMV, čeprav nima vseh lastnosti ortofota

	enakomeren GSD
Ortho Ready Standard	enako kot Standard, brez upoštevanja DMV, projiciran na konstantno nadmorsko višino
Ortho	popravki vpliva senzorja radiometrični popravki ortorektifikacija
Basic Stereo Pair	izdelava DMV, prostorske upodobitve, zajem objektov

Tabela 7: Nivoji obdelave posnetkov QuickBird in WorldView-2.

Podjetje GeoEye ponuja za svoje posnetke izdelke Geo, GeoProfessional in GeoStereo. Za GeoProfessional in GeoStereo lahko naročimo še položajno natančnejša izdelka Precision, za katera mora uporabnik zagotoviti oslonilne točke. Za ortorektifikacijo uporablja podjetje GeoEye lastno izdelan DMV. Naročimo lahko pankromatske in multispektralne podobe. Multispektralne podobe izostrene s pankromatskimi za vse izdelke so na voljo v treh (moder, zelen, rdeč ali zelen, rdeč in bližnji infrardeč) kanalih ali kot posamezne podobe za moder, zelen, rdeč in bližnji infrardeč kanal. Pri naročanju lahko izberemo vključeno ali izključeno možnost uravnavanja dinamičnega razpona DRA (angl. Dynamic Range Adjustment). Za nadaljnjo obdelavo je običajno bolje, če to opcijo izključimo. Različne nivoje podatkov in njihovo obdelavo prikazuje Tabela 8 (GeoEye, 2011). V stolpcih 2 in 3 je navedena deklarirana položajna točnost, opisana v poglavju 5.3.1.

Izdelek	CE90 GeoEye-1	CE90 IKONOS	Nivo obdelave
Geo	5 m	15 m	radiometrični popravki geometrični popravki prevzorčeni v projekcijsko ravnino brez upoštevanja DMV; ni ortofoto
Geo Professional	10 m 4 m za Precision	10 m 4 m za Precision	radiometrični popravki geometrični popravki ortorektificirani
GeoStereo	4 m 2 m za Precision	15 m 4 m za Precision	radiometrični popravki blokovna izravnava snopov ortorektificirani v projekcijsko ravnino

Tabela 8: Nivoji obdelave posnetkov GeoEye-1 in IKONOS.

Podjetje Spot Image vodi dve proizvodnji liniji (SPOT Scene in SPOTView), ki ponujata izdelke z različnim nivojem predobdelave: nivo 1A, 1B in 2A za SPOT Scene in nivo 2B (Precision) ter nivo 3 (Ortho) za SPOTView. Naročamo lahko pankromatske ali multispektralne podobe. Različne nivoje podatkov in njihovo obdelavo prikazuje Tabela 9 (Spot Image, 2011).

Izdelek	Nivo obdelave
nivo 1A	radiometrični popravki
nivo 1B	radiometrični popravki geometrični popravki sistematičnih vplivov (panoramski učinek, ukrivljenost in rotacija Zemlje)

	ortorektificirani
nivo 2A	radiometrični popravki ortorektificirani z uporabo globalnega DMV 1km v projekcijsko ravnino
nivo 2B	radiometrični popravki prevzorčeni v projekcijsko ravnino na podlagi oslonilnih točk
nivo 3	radiometrični popravki ortorektificirani v projekcijsko ravnino na podlagi oslonilnih točk in DMV

Tabela 9: Nivoji obdelave posnetkov SPOT 5.

5.2.2. Dodelava izvornih podatkov za potrebe vzdrževanja topografskih zbirk

Obširnejši opis dejansko potrebnih metod bo podan na osnovi obdelave testnih podatkov. Dodatne obdelave visokoločljivostnih posnetkov so v glavnem odvisne od namena uporabe podatkov, zahtev aplikacij in iskanega objektnega razreda, ki ga želimo prepoznati na posnetkih. Splošen opis vseh metod na tem mestu bi bil preobsežen in ne najbolj smiseln. Najbolj pomembni postopki dodatne obdelave ki jih je treba poleg georeferenciranja, opisanega v 5.3.2, izvesti pri vseh postopkih, so odstranjevanje šuma, izboljšanje kontrasta in ostrenje multispektralnih podob s pankromatskimi (angl. pansharpening).

Šum odstranimo iz posnetkov s filtriranjem. V uporabi so številni lokalni in prilagodljivi filtri (npr. Gaussov filter, mediana, nelinearno difuzijsko filtriranje in številni drugi).

Senzorji na satelitih so sposobni zajeti širok razpon vrednosti, ki jih omogoča njihova radiometrična ločljivost. Vendar posamezni posnetki le redko zavzamejo celoten razpon vrednosti. Posledica je slab kontrast podob, ki ga lahko izboljšamo z raztegom radiometričnih vrednosti na celotno zalogo vrednosti senzorja. Postopek opravimo z raztegom njihovega histograma. Najpogosteje uporabljane metode za razteg histograma so linearni razteg histograma, linearni razteg z nasičenjem in uravnoteženje histograma. Kontrast posnetkov lahko izboljšamo tudi z uporabo različnih filtrov (npr. prilagodljiv Wallisov filter).

Ostrenje multispektralnih podob je postopek, pri katerem z združitvijo multispektralnih podob nekoliko slabše ločljivosti s pankromatskimi podobami visoke ločljivosti istega senzorja, dobimo visokoločljive multispektralne podobe. Za ostrenje multispektralnih podob obstaja več tehnik (Zhang, 2008). V prvo skupino spadajo tehnike, ki temeljijo na pretvorbi barvnega prostora RGB, ki odtenke podaja z osnovnimi barvami (rdeča, zelena in modra) v barvni prostor HSI (barva, nasičenost, intenziteta). V prostoru HSI nadomestimo kanal, ki podaja intenziteto, s pankromatsko podobo. Z obratno pretvorbo v barvni prostor RGB dobimo izostrene podobe. Podoben princip je uporabljen pri pretvorbi multispektralnih podob v osnovne komponente, kjer prvo komponento nadomestimo s pankromatsko podobo. Tretjo skupino tvorijo tehnike, ki temeljijo na aritmetičnih operacijah. V njo spada na primer Broveyeva transformacija, pri kateri vsako od treh multispektralnih podob pomnožimo s pankromatsko, produkt pa nato delimo z vsoto multispektralnih kanalov. Četrta skupina tehnik temelji na uporabi valčnih transformacij (angl. wavelet transform).

Zaradi popačenja barv, do katerega prihaja ob uporabi tradicionalnih tehnik za ostrenje podob, so v zadnjem desetletju razvili številne nove tehnike za ostrenje multispektralnih podob (Ehlers, Klonus, Åstrand, 2008), kot so barvna normalizacija, Gram Schmidtova metoda, modificirana metoda HSI, proporcionalna aditivna valčna metoda in ostale. Razvoj je še posebej pospešil pojav novejših visokoločljivih satelitov (IKONOS, QuickBird). Večina avtorjev (npr. Zhang, 2002, Maxwell, Zhang, 2005, Forsythe, 2005) poroča o zelo dobrih rezultatih, dobljenih z uporabo tehnik za ostrenje PCI (zasledimo jo tudi pod imenom UNB), ki so jo razvili na Univerzi New Brunswick v Kanadi. PCI uporablja metodo najmanjših kvadratov in niz statističnih obdelav za čim boljšo prilagoditev intenzitet izostrenih podob intenzitetam na izvornih pankromatskih in multispektralnih podobah.

5.2.3. Strošek dodelave izvornih podatkov

Ocena bo podana na osnovi obdelave testnih podatkov.

5.3. Georeferenciranje izvornih podatkov

5.3.1. Dosežen nivo georeferenciranja pridobljenih izvornih podatkov

Ponudniki satelitskih posnetkov opisujejo točnost georeferenciranja s parametrom CE90, ki pomeni, da navedeni točnosti ustreza 90-% objektov na posnetkih. Digital Globe deklarira položajno točnost posnetkov QuickBird s CE90 23 m in posnetkov WorldView-2 s CE90 6,5 m. Podatke o položajni točnosti za satelita podjetja GeoEye prikazuje Tabela 8. Za vse navedene nivoje izdelkov SPOT 5 je deklarirana položajna točnost 30 m, razen za nivo 3 (Ortho), kjer znaša 10 m.

Posnetki, ki nudijo najvišjo metrično natančnost in točnost, so občutno dražji od posnetkov nižje natančnosti. Poleg tega moramo za natančno georeferenciranje posnetkov ponudniku posnetkov dostaviti DMV in podatke o oslonilnih točkah. S temi podatki lahko georeferenciranje zanesljivo opravimo tudi sami. Posnetke, ki so že prevzorčeni na podlagi reliefa, sami ne moremo več dodatno položajno izboljšati. V splošnem je bolj ekonomičen nakup cenejših nerefereciranjih posnetkov ali posnetkov, ki so v prostor postavljeni z manjšo točnostjo. V svetu je večina raziskav usmerjena v uporabo različnih metod za georeferenciranje posnetkov s ciljem doseganja najvišje položajne točnosti. Metode so opisane v poglavju 5.3.2. Z uporabo oslonilnih točk, DMV in opisanih metod lahko dosežemo pikselo položajno točnost (tj. točnost georeferenciranja ustreza velikosti enega piksla obravnavanega posnetka). Za natančno georeferenciranje posnetkov QuickBird in WorldView-2 se najbolj uporabljata model sensorja RPC in strogi fizični 3D model (fotogrametrični model). Podjetje GeoEye ne objavlja podatkov o geometriji sensorjev svojih satelitov niti ne podatkov o preciznih efemeridah. Za georeferenciranje se največ uporabljajo model sensorja RPC ali metode, kjer orientacijo sensorja modeliramo z uporabo oslonilnih točk (podobnostna transformacija, afina transformacija, projekтивna transformacija, direktna linearna transformacija DLT). Posnetke SPOT 5 georeferenciramo z eno od polinomskih transformacij.

5.3.2. Izboljšanje georeferenciranja pridobljenih izvornih podatkov

Geometrijske popravke posnetkov in transformacijo v izbrani koordinatni sistem oziroma georeferenciranje posnetkov lahko opravimo istočasno z vzpostavitvijo matematičnega odnosa med slikovnimi koordinatami na podobi in koordinatami ustreznih točk v kartografski projekciji. Metode za izboljšanje georeferenciranja lahko razdelimo na planimetrične metode, kjer obravnavamo le en posnetek za določevanje ravninskih koordinat x in y ter metode, pri katerih obdelujemo več podob istega območja za določevanje prostorskih koordinat x , y in z .

5.3.2.1. Planimetrično georeferenciranje satelitskih podob

Georeferenciranje opravimo na podlagi oslonilnih točk, ki jih povežemo s slikovnimi koordinatami z eno od matematičnih preslikav: podobnostno, afino in projekktivno transformacijo ali z uporabo polinomov različnih stopenj. Položaju slikovnih koordinat na podobi (u, v) tako pripišemo položaj v kartografski projekciji (x, y) (Richards, Jia, 2006):

$$u = f(x, y), v = g(x, y).$$

Podobnostna transformacija: $u = a_0 + a_1x - b_1y, v = b_0 + b_1x + a_1y.$

Enačbi afine transformacije obenem predstavljata tudi enačbe polinoma prve stopnje:

$$u = a_0 + a_1x + a_2y, v = b_0 + b_1x + b_2y$$

Projektivna transformacija: $u = \frac{a_1x + a_2y + a_3}{c_1x + c_2y + 1}, v = \frac{b_1x + b_2y + b_3}{c_1x + c_2y + 1}$

Polinoma druge stopnje:

$$u = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2,$$

$$v = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2$$

Uporabljamo lahko tudi polinome višjih stopenj, a je pri tem pomembno, da so oslonilne točke dobro razporejene po celotnem območju, ki ga obravnavamo. Pogreški izven območja oslonilnih točk sicer hitro naraščajo.

5.3.2.2. Prostorsko georeferenciranje satelitskih podob

Fotogrametrično pridobivanje prostorskih podatkov iz stereoparov ali več podob sloni na kolinearnem modelu, ki zahteva poznavanje notranje in zunanje orientacije sensorja. Alternativni pristopi so uporaba modela sensorja RPC ali pa metode, kjer nepoznavanje orientacije sensorja nadomestimo z uporabo oslonilnih točk (razširjena direktna linearna transformacija DLT, afina projekcija).

Model sensorja RPC. Z modelom sensorja RPC (v uporabi je tudi izraz model racionalnih funkcij, angl. Rational Function Model RFM) slikovne koordinate (u, v) izrazimo kot neposredno funkcijo objektnih koordinat (x, y, z) . Splošni model sensorja RPC lahko uporabimo tudi za georeferenciranje enega posnetka. Podan je kot:

$$u = \frac{P_1(x, y, z)}{P_2(x, y, z)}, \quad v = \frac{P_3(x, y, z)}{P_4(x, y, z)}$$

kjer imajo P_i v primeru polinomov tretje stopnje, ki jih običajno uporabljamo za georeferenciranje posnetkov, obliko (Fraser, Hanley, Yamakawa, 2001b):

$$P_i(x, y, z) = a_{i1} + a_{i2}y + a_{i3}x + a_{i4}z + a_{i5}yx + a_{i6}yz + a_{i7}xz + a_{i8}y^2 + a_{i9}x^2 + a_{i10}z^2 + a_{i11}xyz + a_{i12}y^3 + a_{i13}yx^2 + a_{i14}yz^2 + a_{i15}y^2x + a_{i16}x^3 + a_{i17}xz^2 + a_{i18}y^2z + a_{i19}x^2z + a_{i20}z^3.$$

a_{ij} predstavljajo koeficiente racionalnih polinomov in jih v angleški literaturi označuje kratica RPC (Rational Polynomial Coefficients). V primeru tretje stopnje polinomov P_i , moramo za eno podobo poznati 80 koeficientov. Slikovne koordinate (u, v) in objektno koordinate (x, y, z) so normalizirane. Normalizacijo dosežemo s translacijo in spremembo merila. Normalizirane koordinate zavzemajo vrednosti na intervalu med -1 in 1, kar zagotavlja minimalizacijo pogreškov v izračunu koeficientov.

V primeru podob IKONOS Geo so koeficienti RPC pridobljeni na osnovi geometrijskega modela sensorja in njegovega položaja, ki je določen z meritvami GPS in opazovanjem položaja zvezd. Zunanja orientacija, pridobljena iz tovrstnih opazovanj, je podvržena številnim sistematičnim vplivom. Z modelom sensorja RPC dosežemo dobro relativno orientacijo podob, medtem ko je absolutna orientacija bistveno bolj podvržena sistematičnim vplivom. Točnost objektnih koordinat, izračunanih z modelom sensorja RPC, običajno znaša okoli 14 m (Niu in sod. 2004). Točnost obeh orientacij se poslabša, kadar opazujemo podobe, ki niso bile posnete z iste tirnice. Absolutno orientacijo lahko popravimo z uporabo oslonilnih točk. Slednje uporabimo za translacijo modela. Če je v sistematične vplive vključena rotacija, jo odpravimo s prostorsko podobnostno transformacijo.

Na temo izboljšanja georeferenciranja podob z uporabo modela sensorja RPC je bilo v zadnjih letih izvedenih veliko raziskav (Tao, Hu, 2001 in 2002, Di in sod., 2003, Fraser, Hanley, 2003, Grodecki, Dial, 2003, Wang in sod. 2005, in številni drugi). Avtorji so razvili dva pristopa za povečanje geometrične točnosti satelitskih podob. Prvi temelji na izboljšavi koeficientov RPC z uporabo velikega števila oslonilnih točk. Drugi pristop izboljšuje objektno koordinate, izračunane na podlagi modela sensorja RPC. Zanj ne potrebujemo velikega števila oslonilnih točk, poleg že omenjene translacije in podobnostne transformacije, so v uporabi še translacija s spremembo merila, afina transformacija in poprava koordinat s polinomi druge stopnje. Vse popravke lahko izvedemo tako v slikovnem kot objektnem prostoru.

Direktna linearna transformacija (DLT) temelji na linearnih projektivnih enačbah in je uporabna za orientacijo linijskih podob, zajetih s satelitskimi snemalnimi napravami. Wang (1999) je predlagal razširitev DLT z dodatnim parametrom L_{12} za popravo slikovnih koordinat:

$$u = \frac{L_1x + L_2y + L_3z + L_4}{L_9x + L_{10}y + L_{11}z + 1} + L_{12}xy, \quad v = \frac{L_5x + L_6y + L_7z + L_8}{L_9x + L_{10}y + L_{11}z + 1}$$

Z zgornjimi enačbami lahko izvedemo triangulacijo več podob brez poznavanja notranje in zunanje orientacije sensorja. Parametre L_i izračunamo naenkrat za vse posnetke v blokovni izravnavi snopov. Metoda je uporabna za obravnavo manjših območij. DLT lahko uporabimo tudi za georeferenciranje enega posnetka.

Afina projekcija. Namesto projektivnega modela lahko uporabimo afino projekcijo. Enačbe afine projekcije za prostorsko obravnavanje satelitskih podob imajo obliko (Fraser, Hanley, Yamakawa, 2001b):

$$u = a_0 + a_1x + a_2y + a_3z, \quad v = b_0 + b_1x + b_2y + b_3z.$$

Model je uporaben za manjša in ravninska območja. V primeru obravnave večjih območij moramo pred uporabo enačb afine projekcije podobe iz perspektivne pretvoriti v afino projekcijo.

Georeferenciranje lahko opravimo tudi s poravnavo posnetkov z že georeferenciranimi posnetki. Poravnava ali registracija posnetkov zajema štiri korake (Brown, 1992; Fonseca in Manjunath, 1996): prepoznavanje značilnih objektov, ujemanje objektov, prostorsko transformacijo in interpolacijo ali prevzorčenje za poravnavo posnetkov. Najzahtevnejši korak v postopku poravnave je iskanje povezave med značilnimi točkami na obeh posnetkih. Korak lahko izvedemo ročno ali s samodejnimi postopki. Postopki samodejne poravnave dajejo dobre rezultate na posnetkih, ki imajo stabilno geometrijo (to je, če so položajna odstopanja globalnega značaja) ter, če si referenčna in poravnavana podoba nista preveč različni (potrebno je zagotoviti zadostno število in razporeditev veznih točk). Praviloma so postopki dovolj robustni za odpravljanje globalnih položajnih odstopanj, kot so premik, zasuk, sprememba merila. Slabše rezultate dosegajo, če so prisotna lokalna odstopanja. Dosežena natančnost poravnave pri posnetkih srednje ločljivosti je lahko podpikselska. Omejitev za izvedbo samodejne poravnave pri posnetkih visoke ločljivosti lahko predstavlja različen kot opazovanja površja, ki tudi v rahlo razgibanem reliefu povzroča lokalna položajna odstopanja med referenčno in poravnavano podobo.

Satelitske posnetke visoke ločljivosti lahko georeferenciramo tudi na ustrezen prostorski vir visoke ločljivosti, npr. DOF. Pri tem moramo določiti zadostno število veznih točk med obema viroma, nato pa opravimo transformacijo (odvisno od lastnosti geometrijskih odstopanj izberemo lokalni ali globalni model transformacije). Če točke določamo ročno, je postopek zamuden, dosežena položajna natančnost georeferenciranja pa je praviloma zelo dobra (podpikselska).

5.3.3. Strošek izboljšanja georeferenciranja izvornih podatkov

Največji strošek (verjetno) predstavlja pridobitev podatkov o oslonilnih točkah.

Ob nakupu visokoločljivostnih posnetkov prejmemo tudi koeficiente RPC, na podlagi katerih georeferenciramo posnetke. Metoda je najbolj primerna za 3D georeferenciranje stereoparov posnetkov. Model RPC vsebuje sistematične pogreške, ki jih odpravimo z uporabo oslonilnih točk. Translacijo in spremembo merila lahko popravimo že z uporabo treh oslonilnih točk (Fraser in ostali, 2001). V največ primerih je med sistematičnimi pogreški vsebovana tudi rotacija modela. V tem primeru popravimo georeferenciranje modela s prostorsko podobnostno transformacijo (Fraser in ostali, 2001, so uporabili 6 oslonilnih točk). Na ta način lahko dosežemo zadovoljivo točnost georeferenciranja za uporabo posnetkov za iskanje sprememb v topografskih zbirkah. Avtorji (Fraser in Ravanbakhsh, 2009; Fraser in ostali 2001; Baltsavias in ostali, 2001; Niu in ostali, 2004) poročajo o srednjih pogreških, ki ustrezajo 1-2 kratni velikosti piksla satelitskega posnetka.

V primeru hkratne obravnave več posnetkov QuickBird, za katere poznamo podatke o notranji orientaciji sensorja, lahko georeferenciranje izpeljemo s klasičnim projektom aerotriangulacije. V tem primeru zadošča za georeferenciranje 1-6 oslonilnih točk na posnetek (Toutin, 2003).

Za 2D georeferenciranje enega posnetka lahko uporabimo polinome različnih stopenj. Toutin (2003) priporoča vsaj dvakratno število oslonilnih točk kot jih je nujno potrebno za razrešitev

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov matematičnega modela. Za rešitev sistema polinomov druge stopnje rabimo 6 oslonilnih točk. Toutin predlaga uporabo vsaj 20 oslonilnih točk.

Če vzamemo velikost posnetka 15 km x 15 km, rabimo za georeferenciranje stereoparov posnetkov, ki pokrivajo območje Slovenije (20.273 km²) približno 540 oslonilnih točk, če vzamemo le 6 točk na stereopar.

Okvirna ocena stroška meritev oslonilnih točk:

(ima kdo od partnerjev podatke, koliko stane izmera in izračun za 1 točko – iz projekta AT?; na fgg nimamo ažurnega podatka)

Viri za georeferenciranje:

Baltsavias, E., Pateraki, M., Zhang, L. 2001. Radiometric and geometric evaluation of Ikonos Geo images and their use for 3D building modeling. V: Proceedings of the Joint ISPRS Workshop on High resolution mapping from space. Hannover, Germany, September 2001. London, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

Fraser, C. S., Ravanbakhsh, M. 2009. Georeferencing from GeoEye-1 Imagery: Early Indications of Metric Performance. V: Proceedings of the High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information, ISPRS Hannover Workshop 2009, 2.-5. Junij 2009. Hannover, Univerza v Hannoveru, Institute of Photogrammetry and GeoInformation.

Fraser, C.S., Hanley H. B., Yamakawa, T. 2001. Sub-metre geopositioning with IKONOS Geo Imagery. V: Proceedings of the Joint ISPRS Workshop on High resolution mapping from space. Hannover, Germany, September 2001. London, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

Niu, X., Wang, J., Di, K., Lee, J., Li, R. 2004. Geometric modelling and photogrammetric processing of high-resolution satellite imagery. http://shoreline.eng.ohio-state.edu/publications/isprs2004_quickbird.pdf (27.1.2011)

Toutin, T. 2003. Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. International Journal of Remote Sensing, 24.

Viri:

Brown, L. 1992. A survey of image registration techniques. ACM Computing Surveys 24, 4: 325-376.

Di, K., Ma, R., Li, R. 2003. Rational functions and potential for rigorous sensor model recovery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 69, 1: 33-41.

DigitalGlobe, 2011. DigitalGlobe Core Imagery Products Guide. <http://www.digitalglobe.com> (10.1.2011)

Ehlers, M., Klonus, S., Åstrand, P. J. 2008. Quality assessment for multi-sensor multi-date image fusion. V: Proceedings of the XXI International Congress of ISPRS. Beijing, China. ISPRS XXXV, B4: 499-506.

Fonseca, L. M. G., Manjunath, B. S. 1996. Registration techniques for multisensory remotely sensed imagery. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 62, 9: 1049-1056.

Forsythe, K., W. 2005. Monitoring rapid urban expansion: A case study of Calgary, Alberta, Canada. V: Moeller, M. in Wentz, E. (ur.). Proceedings of the ISPRS joint conference, 3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas (URBAN 2005). Tempe, Arizona, ZDA, 14.-16. marec 2005.

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov
Fraser, C. S., Hanley, H. B. 2003. Bias compensation in rational functions for IKONOS satellite imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 69, 1: 53-57.

Fraser, C.S., Hanley H. B., Yamakawa, T. 2001b. Sub-metre geopositioning with IKONOS Geo Imagery. V: *Proceedings of the Joint ISPRS Workshop on High resolution mapping from space*. Hannover, Germany, September 2001. London, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

Fraser, C., Tshering, D., Gruen, A., 2008. High-resolution satellite imagery for spatial information generation in Bhutan. *ISPRS kongres v Pekingu 2008*, Zbornik Commission VI, WG VI/6, 197-200.

GeoEye-1 Instrument/Product Description, GeoEye, 2009.

GeoEye, 2011. *GeoEye Product Guide*. <http://www.geoeye.com/CorpSite> (10.1.2011)

Grodecki, J., Dial, G. 2003. Block adjustment of high-resolution satellite images described by rational polynomials. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 69, 1: 59-68.

Holland, D.A., Boyd, D.S., Marshall, P., 2006. Updating topographic mapping in great Britain using imagery from high-resolution satellite sensors. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 60, 212-223.

Holland, D.A., Marshall, P., 2003. Using High-Resolution Satellite Imagery In A Well-Mapped Country, in *Proceedings of the ISPRS/EARSeL Joint Workshop on High Resolution Mapping from Space*, Hannover.

IKONOS Instrument/Product Description, GeoEye, 2009.

Krauss, T., Reinartz, P., 2010. Enhancement of dense urban digital surface models from VHR optical satellite stereo data by pre-segmentation and object detection, *zbornik Canadian Geomatics Conference, CGS' 2010*.

Krupnik, A., 2000. Accuracy Assessment of Automatically Derived Digital Elevation Models from SPOT Images, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 8 (66), 1017–1023.

Kumar, M. And Castro, O., 2001. *Practical Aspects of IKONOS Imagery for Mapping*, 22nd Asian Conference on remote Sensing.

Lemmens, M., 2008. High res. satellite imagery. *GIM International* 22, 7: 18-21.

Li, R., 1998. Potential of high-resolution satellite imagery for national mapping products. *Photogrammetric Engineering and remote Sensing* 64 (12), 1165-1170.

Maxwell, T., Zhang, Y. 2005. A fuzzy logic approach to optimization of segmentation of object-oriented classification. V: *Proceedings of the SPIE 50th Annual Meeting – Optics & Photonics 2005*. San Diego, California, USA, 31.7.-4.8.2005: 528-538.

Niu, X., Wang, J., Di, K., Lee, J.-D., Li, R. 2004. Evaluation of the geopositioning accuracy of QuickBird imagery.

QuickBird, Product and services guide, DigitalGlobe, 2009.

RapidEye Standard Image Product Specifications, RapidEye AG, 2010.

Richards, J. A., Jia, X. 2006. *Remote sensing digital image analysis*. Fourth Edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Ridley, HM., Atkinson, P.M., Aplin, P. Muller, j-p., Downman, I., 1997. Evaluating the potential of the forthcoming commercial U.S. High-resolution satellite sensor imagery at the Ordnance Survey, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63, 997-1005.

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov
Spot Image, 2011. SPOT Accuracy and coverage combined. <http://www.spotimage.com>
(10.1.2011)

Tao, C. V., Hu, Y. 2001. A comprehensive study of the rational function model for photogrammetric processing. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 67, 12: 1347-1357.

Updike, T., Comp, C., Radiometric use of WorldView-2 Imagery, DigitalGlobe, 2010.

Wang, Y. 1999. Automated triangulation of linear scanner imagery. V: *Proceedings of the Joint ISPRS Workshop on Sensors and Mapping From Space*. Hannover, 27.-30. September, 1999.

Wang, J., Di, K., Li, R. 2005. Evaluation and improvement of geopositioning accuracy of IKONOS stereo imagery. *ASCE Journal of Surveying Engineering* 131, 2: 35-42.

Zhang, Y. 2002. Problems in the fusion of commercial high-resolution satellite as well as Landsat 7 images and initial solutions. V: *Proceedings of the ISPRS Symposium on Geospatial Theory*. Ottawa, Kanada, 8.-12 julij 2002.

Zhang, Y. 2008. Pan-sharpening For Improved Information Extraction. V: Li, Chen, Baltsavias (ur.). *Advances in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Peking, Kitajska, 2008 ISPRS Congress Book: 185-203.

6. Radarsko snemanje

6.1. Opis, izbira in stroški pridobivanja izvornih podatkov

6.1.1. Izbor izvornih podatkov glede na zahteve v 3. poglavju

Tako kot s kvantitativno tematsko tehniko kartiramo zemeljsko površino z optičnimi daljinskimi sistemi, bi radi iz radarskih posnetkov pridobili čim več uporabnih informacij o površju. Radarsko snemanje temelji na mikrovalovih, ki imajo valovno dolžino od približno 1 do 100 cm (splošno mikrovalovi v elektromagnetnem spektru obsegajo območje med približno 1 mm in 1 m). V zadnjih dveh desetletjih so se SAR (*ang. Synthetic Aperature Radar*) posnetki širili na številna področja uporabe (pomorska varnost, zaznavanje in sledenje plovil na morju, spremljanje oljnih razliti, določanje in opazovanje sprememb obalne linije, spremembe rečnih strug, stanje vegetacije in vlažnosti tal). Posebno dragoceno vlogo imajo radarski sistemi pri opazovanju nesreč, na primer poplav, zaradi njihovih dobrih lastnosti (na primer neobčutljivost na vremenske pojave in možnost snemanja ponoči). Daljše valovne dolžine v mikrovalovnem območju lahko prodirajo skozi oblake, meglice, prah in dež, saj nanje ne vpliva atmosfersko sipanje, ki je izrazito v optičnem delu spektra. Z radarjem lahko torej opazujemo ne glede na vremenske in druge razmere. Največjo operativno rabo radarskih posnetkov je mogoče zaslediti v pomorstvu (identifikacija plovil, onesnaževanje morja, določanje poteka in sprememb obale), za hidrološke analize površja (kartiranje vode, vsebnosti vlage na površju), za vegetacijske analize (kartiranje stanja vegetacije in vsebnosti vlage v rastlinju), analize geoloških lastnosti tal nekaj metrov pod površjem v sušnih predelih sveta ter analize deformacij površja (popotresni, tektonski premiki, pogrezanje, delovanje vulkanov, plazovi ipd.)

Prostorska ločljivost radarskega sistema je odvisna od smeri opazovanja in v splošnem ni enaka v smeri vzdolž in azimuta. Velika večina radarskih podatkov ima srednjo ali slabo prostorsko ločljivost (ERS, ENVISAT ali RADARSAT), od okoli 30 m pa vse do 100 m. V teh primerih je zaznava majhnih objektov nemogoča, pozicioniranje večjih objektov pa je zadostno za kartiranje v merilih 1 : 50.000 in več. Razvit je postopek izdelave digitalnega modela površja in terena za merila 1 : 25.000 in 1 : 50.000, ki dosega natančnost v položaju in višini do 5 m. Najnovejša generacija satelitov je že opremljena z visoko ločljivostnimi senzorji (RADARSAT-2, TerraSAR-X in COSMO-SkyMed) in čeprav se ločljivosti teh posnetkov (1 m) že približuje optičnim, pa ostaja med njimi še vedno bistvena razlika na stopnji vsebine zajema in interpretacije podob. Negativna stran visoko ločljivih radarskih posnetkov v primerjavi z optičnimi je tudi dejstvo, da le ti nimajo multispektralnih kanalov, zato ti posnetki za zajem topografskih objektov v večjih merilih (1 : 5.000) praviloma ne pridejo v poštev.

Osnovne značilnosti omenjenih radarskih satelitov prikazuje Tabela 10. (Eurimage 2011).

Podjetje	ESA ¹	ESA	CSA ²	DLR&EADS Astrium GmbH	Telespazio
Satelit	ERS	ENVISAT	RADARSAT	TerraSAR-X	COSMO-SkyMed
Datum 1. izstrelitve	17.7.1991	1.3.2002	4.11.1995	15.6.2007	7.6.2007
Število satelitov/operativni	2/1	1	2	1	4
Višina [km]	785	791	798	514	619

¹ European Space Agency

² Canadian Space Agency

Naklon [°]	98,52	98,6	98,6	97,44	97,9
Frekvenca [GHz]	4-8	4-8	4-8	9,65	9,6
Ločljivost [m]	30	30-150	25	1-16	1,3-15,30,100
Stereo posnetki	da	ne	da	ne	ne

Tabela 10: Lastnosti pomembnejših radarskih satelitov.

Primerna uporaba radarskih podatkov za potrebe topografskega kartiranja bi bila priporočena predvsem v kombinaciji z ostalimi daljinsko zaznanimi viri. Kot kaže raziskava Hyde et al., 2006, je sinergija daljinsko zaznanih virov dala zelo zadovoljive rezultate; radarski posnetki so pripomogli k izboljšanjem kartiranju gozdnih površin, saj so le ti minimalizirali sence drugih virov.

6.1.2. Stroški pridobitve izvornih podatkov za 3 nivoje meril

V Tabela 11. so prikazane okvirne cene arhivskih in naročenih radarskih posnetkov, ki so veljavne na tržišču v času pisanja poročila (Eurimage, 2011). V preglednico so vključeni vsi že omenjeni radarski sistemi. Cene radarskih posnetkov so relativno visoke za posnetke visokih ločljivosti, medtem ko so radarski posnetki nižjih ločljivosti finančno veliko bolj dostopni. Tako kot pri optičnih je tudi tukaj cena odvisna od faze obdelave naročenega produkta.

Satelitski sistem	Velikost posnetka	Cena arhivskega posnetka	Okvirna cena naročenega posnetka
ERS	100 km x 100 km	400 €	500 €
ENVISAT	100 km x 100 km	400 €	600 €
RADARSAT	100 km x 100 km	1060 €	2540 €
TerraSAR-X	10 km x 5 km (1m)	3375 €	6750 €
	30 km x 50 km (3m)	2625 €	3750 €
	100 km x 100 km (18m)	1925 €	2750 €
COSMO-SkyMed	10 km x 10km (1 m)	4725 €	9450 €
	40 km (3-15m)	1800 €	3600 €
	100 km (30m)	825 €	1650 €
	200 km (100m)	825 €	1650 €

Tabela 11: Cene radarskih posnetkov.

Tudi tukaj je potrebno upoštevati dejstvo, da so na voljo popusti za naročila večjega obsega.

Postopek nakupa radarskih posnetkov je podoben nakupu optičnih satelitskih posnetkov. Izbiramo med že posnetimi podobami iz arhiva ali pa snemanje naročimo, slednji imajo seveda višjo ceno. Pri naročilu definiramo geografsko lokacijo, časovno obdobje zajema in prostorsko ločljivost, ki bo ustrezala našim zahtevam. Prav tako je potrebno definirati želeni tip polarizacije radarja, če je to mogoče (HH, HV VV ali VH), enojne ali dvojne polarizacije (HH + HV ali VV + VH). Z uporabo več polarizacij lahko izboljšamo postopek prepoznavanja in ločevanja predmetov na površju. Tako pridobimo večbarvno podobo, za katero pa je potrebno sicer izpostaviti, da to ni večspektralni posnetek.

6.2. Dodelava izvornih podatkov

6.2.1. Nivoji predobdelave izbranih izvornih podatkov

Ker so parametri geometrije snemanja pri radarskih satelitih praviloma dobro znani in ker so posnetki zajeti iz različnih kotov opazovanja, je radarske posnetke vselej treba ortorektificirati/georeferencirati. S tem odpravimo razlike zaradi različnih kotov opazovanja in zmanjšamo položajna odstopanja terena. Čeprav je radarske podobe dokaj preprosto ortorektificirati/georeferencirati, pa se te podobe močno razlikujejo od optično zaznanih, zato moramo za njihovo razumevanje, poleg osnov delovanja radarskih sistemov, poznati tudi način interakcije mikrovalov z zemeljskim površjem.

6.2.2. Dodelava izvornih podatkov za potrebe vzdrževanja topografskih zbirk

Radarski posnetki so podvrženi raznim šumom (merilniki, prenos informacij, itd.), najbolj opazen šum pa je zrnatost, kateri se pri radarskih posnetkih ne moremo izogniti (Oštir, 2007). Učinek zrnatosti in ostalih šumov lahko zmanjšamo z uporabo digitalnih filtrov, ki podobo popravijo. Zrnatost se na primer zmanjša z računanjem povprečnih vrednosti sosednjih celic, vendar gre izboljšava zrnatosti na račun poslabšane prostorske ločljivosti.

Radarske posnetke kviri nizka koherenca. Kadar sta dva valova v žarku EM sevanja v koherenci, pravimo, da sta v fazi oziroma da sta skladna. Koherenca je torej parameter oziroma merilo ujemanja/korelacije. Koherenca ima razpon med 0,0, kjer ni koristnih informacij na interferogramu, do 1,0, kjer hrupa na interferogramu ni (popoln interferogram). Oba ekstrema se v praksi po navadi ne pojavljata, večina radarskih podob ima vrednost koherence nekje vmes.

Koherenca je odvisna od (v približnem vrstnem redu):

- Lokalnega naklona (strma pobočja povzročijo nizko koherenco),
- Lastnosti površine, ki jo snemamo (porasle površine ali premikajoči se objekti imajo nizko koherenco),
- Časovnega zamika med prehodi v interferogram (dolge zamude povzročijo nizko koherenco),
- Tehnične podrobnosti generacije interferograma (slaba koregistracija ali vzorčenje vodi k nizki koherenci).

Koherenca nam lahko pove več o vrsti površine ali pa lahko zaradi nje zaznamo majhno spremembo na posnetku, ki drugače ni vidna s posnetka (ESA, 2011).

6.2.3. Strošek dodelave izvornih podatkov

V strošek dodatne obdelave je potrebno predvsem všteti stroške za nabavo specifične programske opreme, ki je zmožna obdelati omenjene izboljšave radarskih podob. Potrebno je izpostaviti, da taka namenska programska oprema za radarske podobe po navadi ni poceni, poleg tega pa moramo imeti prav tako na voljo analitike, ki znajo operirati s tako programsko opremo.

6.3. Georeferenciranje izvornih podatkov

6.3.1. Dosežen nivo georeferenciranja pridobljenih izvornih podatkov

Ko pridobimo podobo iz satelita, se skupaj z njo pridobi tudi metadatoteka, kjer so definirane vse informacije o satelitu v času snemanja. Ta datoteka se v programski opremi poveže neposredno z modulom, kateri ortorektificira podobo glede na dane parametre. Pri radarskih posnetkih dobimo dobro ortorektifikacijo/georeferenciranje, saj so parametri zapletene geometrije (rotacije in obnašanja satelita) dobro znani. Dosežen nivo ortorektifikacije/georeferenciranja sega v podpikselsko natančnost, kjer je relativna poravnava slike na sliko pod desetino slikovnega elementa (piksela), absolutna poravnava pa pod pol slikovnega elementa.

6.3.2. Izboljšanje georeferenciranja pridobljenih izvornih podatkov

Dodatno georeferenciranje/ortorektificiranje izvornih podatkov v primeru radarskih sistemov ni potrebno, saj imajo le ti, kot že omenjeno, dobro znane podatke o tirnicah satelitov (nekateri se lahko pridobijo tudi na internetu) in tako dobro definirane vhodne parametre za georeferenciranje.

Problem pri radarskih posnetkih predstavljajo predvsem visoki objekti na zemeljski površini (relief, visoke stavbe), ki so zaradi geometrije snemanja na posnetkih zvrnjeni in tako prikazani nerealno glede na njihov dejanski položaj na posnetku. Radarski posnetki so zaradi njihovih tehničnih karakteristik težavnejši za razgiban teren. Prav tako je na posnetkih veliko šumov, predvsem zrnatosti, zaradi nizke koherence je na posnetkih na napačnih položajih najti premikajoče se objekte (npr. prevozna sredstva), obdelavo pa spremljajo visoki stroški programske opreme.

Če povzamemo vse omenjeno, lahko trdimo, da zaenkrat radarski posnetki še niso primerni za topografsko kartiranje, saj ne dajejo konkretnih rezultatov pri opazovanju zahtevanih objektnih tipov. Z njimi bi lahko kartirali le nekatere izbrane objektne tipe (relief, voda). Uporaba enega samega vira (v tem primeru TerraSAR-X StripMap Data Pair, 3 m prostorska ločljivost) za pridobivanje podatkov o višinah na širšem območju je časovna in cenovna alternativa drugim postopkom vzdrževanja topografskih baz srednjega merila.

6.3.3. Strošek izboljšanja georeferenciranja izvornih podatkov

Njihova uporaba pa bi bila bolj primerna v primeru integracije z ostalimi daljinsko zaznamanimi viri (optični sistemi, lidar, aerosnemanje). Prav tako pa je vprašljiva finančna opredelitev nakupa radarskih posnetkov v primerjavi z drugimi viri glede na končne rezultate, ki jih le ti dajejo.

Literatura:

ESA, 2011. RADAR and SAR Glossary, <http://envisat.esa.int/handbooks/asar/CNTR5-2.htm> (17.1.2011).

Eurimage, 2011. Products and Services. <http://www.eurimage.com/> (17.1.2011)

Henderson, Floyd M., Lewis, Anthony J. 1998. Principles and Applications of Imaging Radar, 3rd ed. New York (ZDA).

Hyde, P., Dubayah, R., Walker, W., Blair, J.B., Hofton, M., Hunsaker, C., 2006. Mapping forest structure for wildlife habitat analysis using multi-sensor (LiDAR, SAR/InSAR, ETM+, QuickBird) synergy, Remote Sensing of Environment 102, 63-73.

Huang, G.M., Guo, J.K., Lv, J.G., Xiao, Z., Zhao, Z., Qiu, C.P., 2004. Algorithms and experiment on SAR image orthorectification based on polynomial rectification and height displacement correction. Zbornik ISPRS kongresa v Istanbulu 2004.

Infoterra 2010. Unique Mapping Concepts with TerraSAR-X. <http://www.infoterra.de/topographic-mapping> (17.1.2010).

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov
Massonnet, D., Souyris, J-C., 2008. Imaging with Synthetic Aperture Radar, EPFL Taylor and Francis, Boca Raton, Florida.

Oštir, K., 2006. Daljinsko zaznavanje. ZRC SAZU, Ljubljana, Slovenija.

Richards, J.A., 2009. Remote Sensing with Imaging Radar. Springer-Verlag, Berlin, Germany.

Toutin, T., 2003. Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods,

International Journal of Remote Sensing, 25, 1893-1924.

Woodhouse, I. H., 2006. Introduction to Microwave Remote Sensing, Taylor and Francis, Boca Raton, Florida.

7. Zasnova postopkov za iskanje sprememb in zajem topografskih objektov (v DTK5)

7.1. Osnovne zahteve za vzdrževanje topografskih zbirk

7.1.1. Nekaj zahtev na podlagi tujih standardov

Zahteve glede natančnosti lokacije in višin na kartah različnih meril je opredeljena v spodnjih tabelah (Tabela 12 in Tabela 13).

TABLE 6. Position Accuracy Requirements.

Map scale	Standard deviation of positioning
1:5 000	± 1 m
1:10 000	± 2 m
1:25 000	± 5 m
1:50 000	± 10 m
1:250 000	± 50 m

Tabela 12: Zahtevana natančnost lokacije

TABLE 7. Heighting Requirements.

Map scale	Standard deviation of point height	Contour interval
1:5 000	± 0.3 to ± 0.6 m	1 to 2 m
1:10 000	± 1.5 m	5 m
1:25 000	± 3 m	10 m
1:50 000	± 6 m	20 m

Tabela 13: Zahtevana natančnost višin

Minimalna prostorska ločljivost posnetka za zaznavanje različnih objektov je navedena v spodnji tabeli (Tabela 14).

TABLE 8. Detectability of Objects.

Object type	Pixel size
houses	2 m
paths	2 m
roads	5 m
creeks	5 m

Tabela 14: Zahtevana minimalna ločljivost za prepoznavanje določenih objektnih tipov

Vir: Konecny, G., 2000: Mapping from Space, Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Remote sensing for Environmental Data in Albania: A Strategy for Integrated Management, Edt. Buchroithner M.F., str. 41-57.

7.1.2. Za merilo DTK5

Natančnost ravninskih koordinat: RMSE = ± 1,0 m (1 sigma) glede na tabelo v 4.1 lahko tudi 1,25 m

Natančnost višin: RMSE = ± 1,0 m (1 sigma)

Relativna natančnost v ravnini: RMSE = ± 0,5 m (1 sigma)

Relativna natančnost po višini: RMSE = ± 0,5 m (1 sigma)

Ločljivost rastrskih podatkov (GSD):

- za iskanje sprememb: 0,5 m
- za avtomatski zajem podatkov: 0,25m
- za polavtomatski/ročni zajem podatkov: 0,25m
- za ročno vzdrževanje podatkov: 0,25m

Poreklo podatkov: za podatke iz CAS: letnica, datum fotografije oz. stereopara ter čas izvedene fotografije; za podatke drugih resorjev skrbi izdelovalec le teh

Natančnost opisnih podatkov – atributna natančnost: za podatke, ki so nedvoumni in se dajo ponovno preveriti brez terenskega ogleda 100%, za ostalo 95%

Popolnost podatkov: popolnost atributov 100% - vsi zajeti objekti morajo imeti vse attribute z vrednostjo, popolnost objektov 95%

Logična usklajenost podatkov: 99% - napaka lahko nastane zaradi možnosti različne interpretacije navodil; podatki, ki se lahko avtomatsko kontrolirajo zahtevo 100% logično usklajenost (npr. topologija)

Semantična natančnost podatkov: 95%

Ažurnost podatkov: podatki morajo biti vzdrževani najkasneje v enem letu od zajema izvornih podatkov – 100%

Časovna perioda: 5 let za vse liste DTK5

7.1.3. Za merilo GKB 1 : 25.000

Natančnost ravninskih koordinat: RMSE = ± 5,0 m (1 sigma) glede na tabelo v 4.1 lahko tudi 6,25 m

Natančnost višin: RMSE = ± 5,0 m (1 sigma)

Relativna natančnost v ravnini: RMSE = ± 2,5 m (1 sigma)

Relativna natančnost po višini: RMSE = ± 2,5 m (1 sigma)

Ločljivost rastrskih podatkov (GSD):

- za iskanje sprememb: 2,5 m
- za avtomatski zajem podatkov: 1,25m
- za polavtomatski/ročni zajem podatkov: 1,25m
- za ročno vzdrževanje podatkov: 1,25m

Poreklo podatkov: za podatke iz CAS in letnica, datum fotografije oz. stereopara ter čas izvedene fotografije; za podatke drugih resorjev skrbi izdelovalec le teh

Natančnost opisnih podatkov – atributna natančnost: za podatke, ki so nedvoumni in se dajo ponovno preveriti brez terenskega ogleda 100% za ostalo 95%

Popolnost podatkov: popolnost atributov 100% - vsi zajeti objekti morajo imeti vse attribute z vrednostjo, popolnost objektov 95%

Logična usklajenost podatkov: 99% - napaka lahko nastane zaradi možnosti različne interpretacije navodil; podatki, ki se lahko avtomatsko kontrolirajo zahtevo 100% logično usklajenost (npr. topologija)

Semantična natančnost podatkov: 95%

Ažurnost podatkov: podatki morajo biti vzdrževani najkasneje v enem letu od zajema izvornih podatkov – 100%

Časovna perioda: 5 leta za vse liste DTK25

7.1.4. Za merilo TK 1 : 50.000

Natančnost ravninskih koordinat: RMSE = ± 10 m, obstoječa je 12 m (Petrovič, 2006) glede na tabelo v 4.1 lahko tudi 12,5 m

Natančnost višin: RMSE = ± 10 m, obstoječa je 8 m (Petrovič, 2006)

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov

Relativna natančnost v ravnini: RMSE = ± 5 m (1 sigma)

Relativna natančnost po višini: RMSE = ± 5 m (1 sigma)

Ločljivost rastrskih podatkov (GSD):

- za iskanje sprememb: 5,0 m
- za avtomatski zajem podatkov: 2,50 m
- za polavtomatski/ročni zajem podatkov: 2,50 m
- za ročno vzdrževanje podatkov: 2,50 m

Poreklo podatkov: za podatke iz CAS in letnica, datum fotografije oz. stereopara ter čas izvedene fotografije; za podatke drugih resorjev skrbi izdelovalec le teh

Natančnost opisnih podatkov – atributna natančnost: za podatke, ki so nedvoumni in se dajo ponovno preveriti brez terenskega ogleda 100%, za ostalo 95%

Popolnost podatkov: popolnost atributov 100% - vsi zajeti objekti morajo imeti vse attribute z vrednostjo, popolnost objektov 95%

Logična usklajenost podatkov: 99% - napaka lahko nastane zaradi možnosti različne interpretacije navodil; podatki, ki se lahko avtomatsko kontrolirajo zahtevajo 100% logično usklajenost (npr. topologija)

Semantična natančnost podatkov: 95%

Ažurnost podatkov: podatki morajo biti vzdrževani najkasneje v enem letu od zajema izvornih podatkov – 100%

Časovna perioda: 5 leta za vse liste TK50

7.2. Stroški izdelave, vzdrževanja in distribucije obstoječih topografskih zbirk danes

7.2.1. Stroški izdelave topografskih zbirk

7.2.1.1. Stroški za zajem podatkov

Vrednost izvedbe CAS (vir: GURS pogodba 2009) za celo državo: 500.000 EUR

Vrednost izvedbe LIDAR (npr. 2 + 5 točk na m²) (vir: ponudbe 2011) za celo državo: ocena 1.000.000 EUR

Vrednost visokoločljivih satelitskih posnetkov (vir: povpraševanje ponudnikov satelitskih posnetkov) za vso državo:

7.2.1.2. Stroški vzpostavitve TZ

- DTK5: 3,9 M EUR (vir: GURS: 1200 EUR/list)
- DTK25: 1,44 (vir: GIS: 7300 EUR/list)
- DTK50: 0,81 (vir: GIS: 13900 EUR/list)

Strošek vzpostavitve DTK oz. DTZ je večji od vzdrževanja, ko govorimo o enem ciklu vzdrževanja. Strošek vzdrževanja v okviru več ciklov pa preseže strošek vzpostavitve.

Po Konecnyem se razpon za 3D zajem podatkov giblje od 4,2 do 21,0 M EUR po evropskih in pol navedene vrednosti po azijskih cenah.

7.2.2. Stroški vzdrževanja topografskih zbirk

Stroški vzdrževanja so izračunani za en cikel.

- DTK5: 2,3 M EUR (vir: GURS: 700 EUR/list)
- DTK25: 0,85 M EUR (vir: GIS 4300 EUR/list)
- DTK50: 0,48 M EUR (vir: GURS 8200 EUR/lis)

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov
V spodnji tabeli (Tabela 15) je letni strošek vzdrževanja glede na 1, 2, 3 ...10 letno obdobje vzdrževanja posameznih DTK:

DTK	1 leto	2 leti	3 leta	4 leta	5 let	6 let	7 let	8 let	9 let	10 let
DTK 5	2.345.760	1.172.880	781.920	586.440	469.152	390.960	335.109	293.220	260.640	234.576
DTK 25	851.400	425.700	283.800	212.850	170.280	141.900	121.629	106.425	94.600	85.140
DTK 50	475.600	237.800	158.533	118.900	95.120	79.267	67.943	59.450	52.844	47.560

Tabela 15: Delitev stroškov vzdrževanja glede v posameznem letu glede na dolžino cikla

Primer izračuna letnega stroška vzdrževanja DTK:

Če bi vsake 3 leta zaključili CAS in v enakem ciklu izvedli vzdrževanje vseh 3 meril DTK, je ocenjen letni strošek cca. 1,22 M EUR.

Po tujih izkušnjah je vzdrževanje DTK oz. DTZ smiselno, kadar podatki niso starejši od 10 - 15 let, kar pa je odvisno predvsem od dolžine cikla. Če se v tem času ne opravi nobeno vzdrževanje, je bolj smiselno vse podatke zajeti na novo.

Glede na navedene podatke naj bi se zajem ponovil, če DTK oz. DTZ ni vzdrževana več kot:

- za DTK5: $3,91 / 2,35 = 1,7$ cikla
- za DTK25: $1,44 / 0,85 = 1,7$ cikla
- za DTK50: $0,81 / 0,48 = 1,7$ cikla

Če bi bil cikel dolg 3 leta bi bil ponoven zajem potreben to po dobrih 5 letih, pri 5 letnem ciklu po 9 letih in pri 7 letnem ciklu po 13 letih.

7.2.3. Stroški distribucije državnih topografskih zbirk

Komentar: Stroške distribucije DTZ je potrebno deliti na materialne stroške in stroške dela. Če so stroški distribucije samo materialni stroški potem je to poglavje nepomembno. V primeru, da se pri distribuciji podatkov, delno zaračunava tudi delo, pa je potrebno izračunati kolikšna vsota gre iz tega naslova v proračun. Namen je pridobiti podatke za pripravo pogajalskih stališč za pridobivanje sredstev za vzdrževanje DTZ.

7.2.3.1. DTK5

Vrednost zajema enega lista DTK5 (GURS):

Vrednost vzdrževanja enega lista DTK5 (GURS):

Vrednost nakupa enega lista DTK5 (vektorski sloji): 0,44 EUR na sloj; 3.827,52 EUR za celo državo za vseh 7 slojev: zgradbe, ceste, železnice, žičnice, vegetacija, zemljišče v posebni rabi in hidrografija (narejenih 1937 listov od 3258) (vir: splet GURS 16.8.2010)

Vrednost nakupa OF (GSD=0,5m): 30.707,16 EUR za 3246 listov (9,46 EUR na list) (vir: splet GURS 16.8.2010)

Vrednost nakupa OF (GSD=0,25m): 4.644,86 EUR za 491 listov (9,46 EUR na list) (vir: splet GURS 16.8.2010)

7.2.3.2. DTK25

Vrednost nakupa enega lista DTK25 (vektorski sloji): 2,78 EUR na sloj; 19.599,90 EUR za celo državo (201 list za hidrografijo, ceste in relief ter 102 lista za železnice) (vir: splet GURS 16.8.2010)

7.2.3.3. DTK50

Vrednost nakupa enega lista DTK50 in DTK50V (vektorski sloji): 2,78 EUR na sloj; 711,68 EUR za celo državo (32 listov od 58 v 7 slojih: matematični elementi, naselja in objekti, komunikacije, relief, hidrografija, pokritost tal, meje) (vir: splet GURS 16.8.2010)

7.3. Idejna zasnova procesa vzdrževanja topografskih zbirk

7.3.1. Ideja in predpostavke

Proces vzdrževanja topografskih zbirk (TZ) bi moral biti vezan na zajem novih izvornih podatkov (npr. CAS, satelitski posnetki, podatki LIDAR, radarski posnetki). Vzdrževanje naj bi se torej izvajalo neposredno po zajemu novih izvornih podatkov. Smiselnost vzdrževanja TZ iz starejših (starejših od 1 leta) izvornih podatkov je zelo vprašljiva.

Različna območja države se razvijajo različno hitro. Večinoma se razvijajo bolj naseljena območja, občinska središča, turistična območja in periferije večjih in manjših mest. Kjer so spremembe večje, bi bilo smiselno povečati tudi frekvenco vzdrževanja.

Potrebno pa je najprej določiti osnovni časovni okvir vzdrževanja posamezne TZ, t.j. v koliko letih je potrebno obnoviti celotno TZ za posamezno merilo. Časovni okvir vzdrževanja večjih meril ne more biti daljši kot pri manjših merilih, saj daljši čas pomeni, da manjših meril ne bo mogoče vzdrževati z uporabo večjih meril. Še bolj smiselno bi bilo takoj po zajemu novih izvornih podatkov najprej obnoviti večja merila in takoj nato s pomočjo le teh tudi manjša. Če npr. postavimo osnovni okvir vzdrževanja za DTK50 npr. 4 leta, bi bilo potrebno tudi DTK25 in DTK5 obnoviti vsaj v tem času, če že ne hitreje.

Državo bi lahko razdelili na območja z različno frekvenco vzdrževanja, ki pa naj bi bila enaka za vse TZ (npr. 3 območja: območje 1 z 1 letno frekvenco, območje 2 z 2 letno frekvenco in območje 3 z 4 letno frekvenco vzdrževanja). Območja naj bi bila čim bolj kompaktna in razdeljena s pomočjo listov najmanjšega merila TZ, saj bi bil na ta območja vezan tudi na zajem izvornih podatkov.

Če bi se izkazalo, da je smiselno za vzdrževanje TZ uporabiti samo en vir izvornih podatkov, potem bi glede na gornje predpostavke bilo smiselno uvesti npr. 4 letni cikel vzdrževanja za vsa tri navedena merila TZ. Zajem izvornih podatkov bi bil tako za območje 1 vsako leto, za območje 2 na dve leti in za območje 3 vsako četrto leto.

7.3.2. Težave obstoječega stanja

Za uporabo topografskih podatkov so poleg grafike potrebni tudi atributi. Nekateri atributi lahko pridobimo iz podatkov daljinskega zaznavanja (npr. širino ceste, višino slemena pri 3D zajemu, ustroj ceste, ...), druge pa je potrebno pridobiti iz obstoječih TZ (če jih vsebuje) ali iz zbirk, kjer jih vnašajo izven procesa izdelave oz. vzdrževanja TZ (npr. občinska ali državna cestna baza podatkov za kategorizacijo cest iz občin oz. DRSC, napetost na daljnovodih elektrodistributerjev, vrsta rabe na MKGP, ...). Te posebne zbirke bomo poimenovali resorske zbirke (RZ).

Podatkovni modeli TZ in RZ se običajno razlikujejo, še pomembnejše razlike pa so običajno tudi pri načinu zajema in/ali vzdrževanju zbirk (npr.: v bazi cestnih podatkov (RZ) je zajeta os ceste v 2D, v TZ pa sta zajeti obe strani ceste v 3D). To pomeni, da je običajno TZ boljša na grafičnem delu medtem, ko so RZ boljše pri atributnem delu.

Prepoznamo tri pomembnejše ugotovitve pri obstoječem konceptu:

1. Država financira več zajemov in vzdrževanj podatkov za posamezne RZ, in tudi za zajem in vzdrževanje TZ (za TZ je na voljo vse manj sredstev).
2. Obstaja veliko uporabnikov, ki bi potrebovali TZ z nekaterimi atributi RZ kot podlago za vzpostavitev in vzdrževanje svoje zbirke podatkov oz. za izvajanje svojih analiz.
3. Študije prostora zahtevajo kvalitetne vektorske zbirke in veliko atributov, da je mogoče pripraviti dobre rešitve, kar pa je mogoče samo z integracijo TZ in RZ.

Omenjene tri ugotovitve so lahko izhodišče za spremembo obstoječega koncepta vzpostavljanja in vzdrževanje TZ in RZ.

7.3.3. Nova zasnova izdelave in vzdrževanja TZ in RZ

Podatkovne modele TZ in RZ je potrebno uskladiti in zbirke vzdrževati tako, da vnesena sprememba v TZ pomeni tudi vzdrževanje RZ in obratno. Še bolj smiselno je združiti TZ in več RZ v eno zbirko, ki bo dostopna tako posameznim resorjem kot tudi drugim uporabnikom podatkov TZ in RZ.

Lep primer je zajem vodnih zemljišč (RZ), ki se jih testno zajema za merilo 1 : 5000 (300 listov) in se bo v letu 2011 izvedla za celotno državo.

Seveda pa bi lahko ob zajemu hidrografije izvedli tudi vzdrževanje drugih vsebin v TZ in RZ in s tem:

- dvignili nivo kakovosti lociranja s stereozajemom v TZ in RZ,
- z istočasnim zajemu zmanjšali stroške vzdrževanja TZ in RZ in
- z uvajanjem avtomatizacije iskanja sprememb skrajšali čas vzdrževanja.

7.4. Določitev postopkov za testiranje v 3. fazi

Izbor objektnih tipov, ki jih bomo obravnavali, je naslednji: zgradbe, ceste, hidrografija, vegetacija in relief.

Osnovni izhodiščni podatki za vzdrževanje so v obstoječi zbirki DTK5. Kot izvorni podatki bodo uporabljeni: aerofotografije, podatki laserskega skeniranja, satelitski posnetki in izdelki na podlagi teh izvornih podatkov. Bolj natančen opis vhodnih podatkov je naslednji:

- CAS 2006 (orientirani aeroposnetki, DOF, DMR)
- CAS 2009 - 2011 (orientirani aeroposnetki, DOF, DMR)
- Podatkih drugih DMR, ki jih hrani GURS
- Podatke laserskega skeniranja, ki jih hrani GURS.
- Podatki posebnih aerosnemanj, laserskega skeniranja in satelitski posnetki, ki jih ima partner v lasti oz. v lastni uporabi.
- Vsak partner izbrane objektno tipe testira s podatki: CAS, LIDAR in satelitskega snemanja.
- Vsak partner naredi grafični prikaz svojih razpoložljivih podatkov. Enotno testno območje zaradi razpršenosti podatkov ni mogoče – vsak partner si izbere svoje testno območje.

Za posamezni objektni tip bo izveden vsaj en postopek avtomatskega in/ali polavtomatskega iskanja sprememb med obstoječo zbirko podatkov (DTK5) in novimi izvornimi podatki, pridobljenimi s pomočjo različnih tehnologij:

8. Seznami slik in preglednic

8.1. Seznam slik

SLIKA 1: STANJE VZDRŽEVANJA DTK5 PO LISTIH	9
SLIKA 2: PLAN VZDRŽEVANJA LISTOV V ZADNJIH 8 LETIH.....	15
SLIKA 3: PLAN VZDRŽEVANJA LISTOV 1 : 25.000.....	15
SLIKA 4: MENJAVA OSNOVNEGA KONCEPTA VZDRŽEVANJA IN IZDELAVE ZBIRKE IN KART V MERILU 1 : 25.000	15
SLIKA 5: SKICA DELITVE NA OBMOČJA VZDRŽEVANJA	16
SLIKA 6: DELITEV STROŠKOV ZA VZDRŽEVANJE GEOGRAFSKIH INFORMACIJ NA KARTAH VELIKIH MERIL:.....	17
SLIKA 7: OBMOČJE VZDRŽEVANJA JE RAZDELJENO NA 4 PODOBMOČJA RAZLIČNIH PRIORITET	18
SLIKA 8: DIAGRAM STAREGA NAČINA VZDRŽEVANJA DTZ.....	20
SLIKA 9: DIAGRAM NOVEJŠEGA NAČINA VZDRŽEVANJA DTZ.....	20
SLIKA 10: NEKAJ PRAKTIČNIH NAPOTKOV PRI VZDRŽEVANJU TOPOGRAFSKIH KART.....	21
SLIKA 11: ZAHTEVE GLEDE GSD ZA NAMEN VZDRŽEVANJA TOPOGRAFSKIH KART.....	21
SLIKA 12: SATELITSKA SLIKA IN POTREBEN GSD ZA IZDELAVO IN VZDRŽEVANJE DTK5	22

8.2. Seznam preglednic

TABELA 1: IZDELAVA IN VZDRŽEVANJE DTK50 PO LETIH.....	13
TABELA 2: TABELA PRIMERJAVE RAZLIČNIH GSD Z IZDELAVO IN VZDRŽEVANJE TOPOGRAFSKIH ZBIRK	19
TABELA 3: LASTNOSTI POMEMBNEJŠIH SATELITOV, PRIMERNIH ZA VZDRŽEVANJE TOPOGRAFSKIH ZBIRK	32
TABELA 4: CENE SATELITSKIH POSNETKOV	34
TABELA 5: ODVISNOST PROSTORSKE LOČLJIVOSTI OD KOTA SNEMANJA ZA IKONOS.....	34
TABELA 6: PREGLED CEN EUR/NA KM2ZA NAKUP SATELITSKIH POSNETKOV.....	35
TABELA 7: NIVOJI OBDELAVE POSNETKOV QUICKBIRD IN WORLDVIEW-2.	36
TABELA 8: NIVOJI OBDELAVE POSNETKOV GEOEYE-1 IN IKONOS.....	36
TABELA 9: NIVOJI OBDELAVE POSNETKOV SPOT 5.....	37
TABELA 10: LASTNOSTI POMEMBNEJŠIH RADARSKIH SATELITOV.....	45
TABELA 11: CENE RADARSKIH POSNETKOV.....	45

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov

TABELA 12: ZAHTEVANA NATANČNOST LOKACIJE	49
TABELA 13: ZAHTEVANA NATANČNOST VIŠIN	49
TABELA 14: ZAHTEVANA MINIMALNA LOČLJIVOST ZA PREPOZNAVANJE DOLOČENIH OBJEKTHNIH TIPOV	49
TABELA 15: DELITEV STROŠKOV VZDRŽEVANJA GLEDE V POSAMEZNEM LETU GLEDE NA DOLŽINO CIKLA	52

C. VMESNO POROČILO št. 3 – Testiranje in implementacija postopkov za zajemanje, razpoznavanje in vzdrževanje (3. faza)

*Ciljni raziskovalni program
»Konkurenčnost Slovenije 2006-2013« v letu 2010*

*Kombinirani visokoločljivostni postopki
zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja
prostorskih podatkov*

Vmesno poročilo št. 3

*Verzija 1.0
Datum 15.09.2011*

Zaporedna številka prijave: 430-36/2010

Kazalo:

1. UVOD	4
1.1. OPIS TERMINOLOGIJE	5
1.2. KRATICE:	6
2. OPIS TESTIRANJA IN IMPLEMENTACIJE POSTOPKOV ZAJEMANJA, RAZPOZNAVANJA IN VZDRŽEVANJA	8
2.1. OBJEKTNI TIP: STAVBE	8
2.1.1. <i>Test 1</i>	8
2.1.1.1. Opis vhodnih podatkov.....	8
2.1.1.2. Opis testiranja in implementacije postopkov	11
2.1.1.3. Opis rezultatov testiranja	16
2.1.1.4. Opis načina vzdrževanja posameznega objektnega tipa glede na rezultate testov	25
2.1.1.5. Smer nadaljnega razvoja.....	26
2.1.1.6. Uporabljena literatura pri izvedbi testov	26
2.1.2. <i>Test 2</i>	26
2.1.2.1. Opis vhodnih podatkov.....	26
2.1.2.2. Opis testiranja in implementacije postopkov	27
2.1.2.3. Opis rezultatov testiranja	32
2.1.2.4. Opis načina vzdrževanja stavb glede na rezultate testov	34
2.1.2.5. Smer nadaljnega razvoja.....	34
2.1.2.6. Uporabljena literatura pri izvedbi testov	34
2.2. OBJEKTNI TIP: HIDROGRAFIJA	35
2.2.1. <i>Opis vhodnih podatkov</i>	35
2.2.2. <i>Opis testiranja in implementacije postopkov</i>	37
2.2.3. <i>Opis rezultatov testiranja</i>	42
2.2.4. <i>Opis načina vzdrževanja hidrografije glede na rezultate testov</i>	44
2.2.5. <i>Smer nadaljnega razvoja</i>	44
2.2.6. <i>Uporabljena literatura pri izvedbi testov</i>	44
2.3. OBJEKTNI TIP: RELIEF	45
2.3.1. <i>Test 1</i>	45
2.3.1.1. Opis vhodnih podatkov glede na izvedena testiranja za posamezen objektni tip.....	45
2.3.1.2. Opis testiranja in implementacije postopkov	47
2.3.1.3. Opis rezultatov testiranja.....	52
2.3.1.4. Opis načina vzdrževanja posameznega objektnega tipa glede na rezultate testov	57
2.3.1.5. Smer nadaljnega razvoja.....	57
2.3.1.6. Uporabljena literatura pri izvedbi testov	57
2.3.2. <i>Test 2</i>	58
2.3.2.1. Opis vhodnih podatkov glede na izvedena testiranja za posamezen objektni tip.....	58
2.3.2.2. Opis testiranja in implementacije postopkov	59
2.3.2.3. Opis rezultatov testiranja	59
2.3.2.4. Opis načina vzdrževanja posameznega objektnega tipa glede na rezultate testov	63
2.3.2.5. Smer nadaljnega razvoja.....	65
2.3.2.6. Uporabljena literatura pri izvedbi testov	65
2.4. OBJEKTNI TIP: VEGETACIJA.....	65
2.4.1. <i>Opis vhodnih podatkov glede na izvedena testiranja</i>	66
2.4.1.1. WorldView-2	66
2.4.1.2. DOF.....	66
2.4.1.3. Testna območja	67
2.4.2. <i>Opis testiranja in implementacije postopkov</i>	68
2.4.2.1. Predobdelava posnetka WV2	69
2.4.2.2. Segmentacija posnetka	70
2.4.2.3. Objektno usmerjena nadzorovana klasifikacija.....	71
2.4.2.4. Analiza sprememb vegetacijskih površin	72
2.4.3. <i>Opis rezultatov testiranja</i>	73
2.4.3.1. Klasifikacija objektnega tipa vegetacija.....	73
2.4.3.2. Analiza sprememb	74
2.4.3.3. Omejitve za samodejnost postopka	77
2.4.4. <i>Opis načina vzdrževanja za objektni tip vegetacija glede na rezultate testov</i>	77
2.4.5. <i>Smer nadaljnega razvoja</i>	78

2.4.6.	<i>Uporabljena literatura pri izvedbi testov</i>	78
2.5.	OBJEKTNI TIP: CESTE	79
2.5.1.	Test 1	79
2.5.1.1.	Opis vhodnih podatkov glede na izvedena testiranja.....	79
2.5.1.2.	Opis testiranja in implementacije postopkov	80
2.5.1.3.	Opis rezultatov testiranja	83
2.5.1.4.	Opis načina vzdrževanja posameznega objektnega tipa glede na rezultate testov	85
2.5.1.5.	Smer nadaljnjega razvoja.....	85
2.5.1.6.	Uporabljena literatura pri izvedbi testov	86
2.5.2.	Test 2	86
2.5.2.1.	Opis vhodnih podatkov glede na izvedena testiranja za posamezen objektni tip.....	86
2.5.2.2.	Opis testiranja in implementacije postopkov	87
2.5.2.3.	Opis rezultatov testiranja	88
2.5.2.4.	Opis načina vzdrževanja posameznega objektnega tipa glede na rezultate testov	89
2.5.2.5.	Smer nadaljnjega razvoja.....	90
2.5.2.6.	Uporabljena literatura pri izvedbi testov	90
2.5.3.	Test 3	91
2.5.3.1.	Opis vhodnih podatkov glede na izvedena testiranja za posamezen objektni tip.....	91
2.5.3.2.	Opis testiranja in implementacije postopkov	92
2.5.3.3.	Opis rezultatov testiranja.....	95
2.5.3.4.	Opis načina vzdrževanja posameznega objektnega tipa glede na rezultate testov	97
2.5.3.5.	Smer nadaljnjega razvoja.....	97
2.5.3.6.	Uporabljena literatura pri izvedbi testov	97
3.	TESTIRANJE POSTOPKOV GEOREFERENCIRANJA SATELITSKIH POSNETKOV SKLADNO Z OBSTOJEČO PROGRAMSKO OPREMO IN RAZPOLOŽLJIVIMI VHODNIMI VIRI	98
3.1.	VHODNI PODATKI	98
3.1.1.	GeoEye	98
3.1.1.1.	Karakteristike satelitskega senzorja GeoEye-1	98
3.1.1.2.	Primer satelitskih slik GeoEye-1	100
3.2.	POSTOPEK GEOREFERENCIRANJA	100
3.3.	ORTOREKTIFIKACIJA DIGITALNEGA POSNETKA	101
3.4.	REZULTATI GEOREFERENCIRANJA	101
4.	SEZNAMI SLIK IN PREGLEDNIC	103
4.1.	SEZNAM SLIK	103
4.2.	SEZNAM PREGLEDNIC	105

1. Uvod

Vsebina 3. faze iz dokumenta ob prijavi CRP projekta:

3. FAZA: Testiranje in implementacija postopkov za zajemanje, razpoznavanje in vzdrževanje
- a) obdelava izbranih podatkovnih virov in priprava izvedenih izdelkov,
 - b) testiranje postopkov za izbrane topografske objektne razrede in objektne tipe (segmentacija, klasifikacija),
 - c) testiranje postopkov optimizacije podatkovnih virov,
 - d) testiranje postopkov georeferenciranja satelitskih posnetkov skladno z obstoječo programsko opremo in razpoložljivimi vhodnimi viri,
 - e) testiranje kombinirane uporabe podatkovnih virov,
 - f) implementacija testiranih postopkov posamezno ali v kombinaciji za izbrane topografske objektne razrede in objektne tipe.

Zaključek 15.9.2011

Obdelava izbranih podatkovnih virov a), testiranje postopkov za izbrane topografske objektne razrede b), testiranje postopkov optimizacije c) ter testiranje kombinirane uporabe podatkovnih virov so v poglavju 2 in njihovih podpoglavjih. Implementacija testiranih postopkov f) je v poglavju 2 in posameznih podpoglavjih za izbrane topografske objektne razrede.

Testiranje postopkov georeferenciranja d) je v poglavju 3.

Vsebina poglavja 7.4 iz poročila št. 2: Določitev postopkov za testiranje v 3. fazi:

Izbor objektnih tipov, ki jih bomo obravnavali, je naslednji: zgradbe, ceste, hidrografija, vegetacija in relief.

Osnovni izhodiščni podatki za vzdrževanje so v obstoječi zbirki DTK5. Kot izvorni podatki bodo uporabljeni: aerofotografije, podatki laserskega skeniranja, satelitski posnetki in izdelki na podlagi teh izvornih podatkov. Bolj natančen opis vhodnih podatkov je naslednji:

- CAS 2006 (orientirani aeroposnetki, DOF, DMR)
- CAS 2009 - 2011 (orientirani aeroposnetki, DOF, DMR)
- Podatkih drugih DMR, ki jih hrani GURS
- Podatke laserskega skeniranja, ki jih hrani GURS.
- Podatki posebnih aerosnemanj, laserskega skeniranja in satelitski posnetki, ki jih ima partner v lasti oz. v lastni uporabi.
- Vsak partner izbrane objektne tipe testira s podatki: CAS, LIDAR in satelitskega snemanja.
- Vsak partner naredi grafični prikaz svojih razpoložljivih podatkov. Enotno testno območje zaradi razpršenosti podatkov ni mogoče – vsak partner si izbere svoje testno območje.

Za posamezni objektni tip bo izveden vsaj en postopek avtomatskega in/ali polavtomatskega iskanja sprememb med obstoječo zbirko podatkov (DTK5) in novimi izvornimi podatki, pridobljenimi s pomočjo različnih tehnologij.

Cilj priporočil je odgovoriti na ključni raziskovalni vprašnji tega aplikativnega projekta:

1. Katere metode daljinskega zaznavanja je na Geodetski upravi RS smiselno razviti do ravni standardiziranih rutinskih postopkov za izvajalce zajemanja, vzdrževanja in kontrole topografskih kart ter baz?
2. Katere tipe podatkov daljinskega zaznavanja naj Geodetska uprava RS uvrsti med svoje standardne izdelke, dostopne preko sistema distribucije geodetskih podatkov?

Vprašanja na katera je potrebno odgovoriti:

1. Katere tehnologije obstajajo za zajemanje, razpoznavanje in vzdrževanje topografskih podatkov?
2. Katere metode in postopki snemanja s temi tehnologijami so primerni za pridobitev topografskih podatkov?
3. Kakšna je tržna dosegljivost, cena, natančnost, ločljivost, kompleksnost in uporabnost teh metod ter postopkov?
4. Katere topografske objekte (objektne razrede in objektne tipe) je smiselno zajemati na te načine?
5. Kateri topografski izdelki pri tem nastanejo?
6. Katere kombinacije postopkov in tehnologij so za posamezne topografske objektne razrede in objektne tipe optimalne glede na parametre kakovosti in ceno?
7. S katerimi parametri bomo primernost in optimalnost metod daljinskega zaznavanja ovrednotili ter klasificirali?

Odgovori na vprašanja bodo pripravljene v 4. fazi.

1.1. Opis terminologije

Pridobivanje izvornih podatkov za namen vzdrževanja topografskih zbirk:

Pridobivanje izvornih podatkov je registracija, zapisovanje in prenos podatkov iz različnih platform in senzorjev v ustrezne obdelave. V tej nalogi smo se omejili na naslednje načine pridobivanja izvornih podatkov:

- aerosnemanje,
- satelitsko snemanje
- areo lasersko skeniranje,
- zajem z radarskimi sistemi.

Postopki predobdelave izvornih podatkov

Predobdelava izvornih podatkov vključuje odpravljanje napak ali pomanjkljivosti, kot so: napake senzorjev, izboljšavo radiometrije, korekcije zaradi ukrivljenosti zemlje, avtomatska klasifikacija oblaka točk in izboljšava georeferenciranja aero posnetkov. Predobdelava vključuje:

- dodelavo izvornih podatkov in
- izboljšavo georeferenciranja.

Iskanje sprememb za namen vzdrževanja TZ:

Zajemu izvornih podatkov sledi iskanje sprememb, ki je primerjanje starejših in novih izvornih podatkov, topografskih zbirk, kart ali njihovih kombinacij ter prepoznavanje spremenjene lokacije in/ali atributov topografskih objektov. Iskanje sprememb lahko poteka na naslednje načine:

- avtomatska primerjava in iskanje sprememb med obstoječo topografsko zbirko in novimi izvornimi podatki,
- avtomatska primerjava in iskanje sprememb med izvornimi podatki iz katerih je bilo obstoječe stanje topografskih zbirk izdelano in novimi izvornimi podatki,
- iskanje sprememb je mogoče opraviti ročno (obstoječa linija vzdrževanja topografskih načrtov/kart), polavtomatsko in/ali na avtomatski način.

Zajem podatkov za namen vzdrževanja TZ:

Ko najdemo spremembe, je potrebo zajeti objekte ali dele objektov, katerih lokacija ali atributi so spremenjeni. Zajem podatkov lahko opravimo na več načinov:

- ročni, polavtomatski in avtomatski zajem objektov za namen izdelave DTK5 (za neizdelane liste),
- zajema se grafične in atributne podatke topografskih objektov in pojavov,
- atributne podatke se zajema iz izvornih podatkov (npr. aerosnemanje) ali iz resorskih zbirk (npr. kategorija ceste),
- polavtomatski zajem podatkov: metoda z delno pomočjo algoritmov npr. izdelava 3D modela zgradbe z ročnim zajemom nekaj točk in upoštevanjem DMR; sledenja dolžinskim objektom, ki zajame linijo v stereo ali mono načinu.

Vnos ali brisanje podatkov pri vzdrževanju TZ:

Zajemu podatkov takoj sledi vnos v topografske zbirke oz. se običajno izvaja istočasno. Vnos novih podatkov v zbirko se lahko izvede na več načinov:

- novi podatki se lahko vnesejo interaktivno ali paketno,
- avtomatsko, polavtomatsko in/ali ročno.

Vzdrževanje topografske zbirke (VTZ):

Vzdrževanje topografske zbirke je proces, katerega osnovni koraki so: pridobivanje izvornih podatkov, iskanje sprememb, zajem novih ali brisanje starih podatkov, ter vnos podatkov v topografske zbirke.

1.2. Kratice

CAS – Ciklično aerofotografiranje Slovenije (to je opis originalne kratice; uporablja pa se tudi: Ciklično aerosnemanje Slovenije)

DMR – digitalni model reliefa

DMP – digitalni model površja

DMV – digitalni model višin (nanaša se lahko na relief ali površje; običajno so podatki strukturirani v pravilni kvadratni mreži)

DTK – državna topografska karta (DTK5, DTK25 in DTK50)

DTI – dolžina talnega intervala (ang. GSD – Ground Sampling Distance)

DTZ – državna topografska zbirka (DTZ5, DTZ25 in DTZ50)

FSS – fotogrametrični snemalni sistem (vključuje aerofotografiranje z modernim eno ali večslikovnim analognim ali digitalnim snemalnim sistemom (RC30, DMC, UltraCAM in srednje formatne) in linijsko skeniranje (npr. ADS80)

GKB – generalizirana kartografska baza

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov

GSD – ang. ground sampling distance (DTI – dolžina talnega intervala) – v besedilu uporabljamo kratico GSD, ker je uveljavljena v strokovni literaturi)

RZ – resorske zbirke

SFDP – stereo fotogrametrična delovna postaja

TZ – topografska zbirka (baza)

VTZ – vzdrževanje topografskih zbirk

2. Opis testiranja in implementacije postopkov zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja

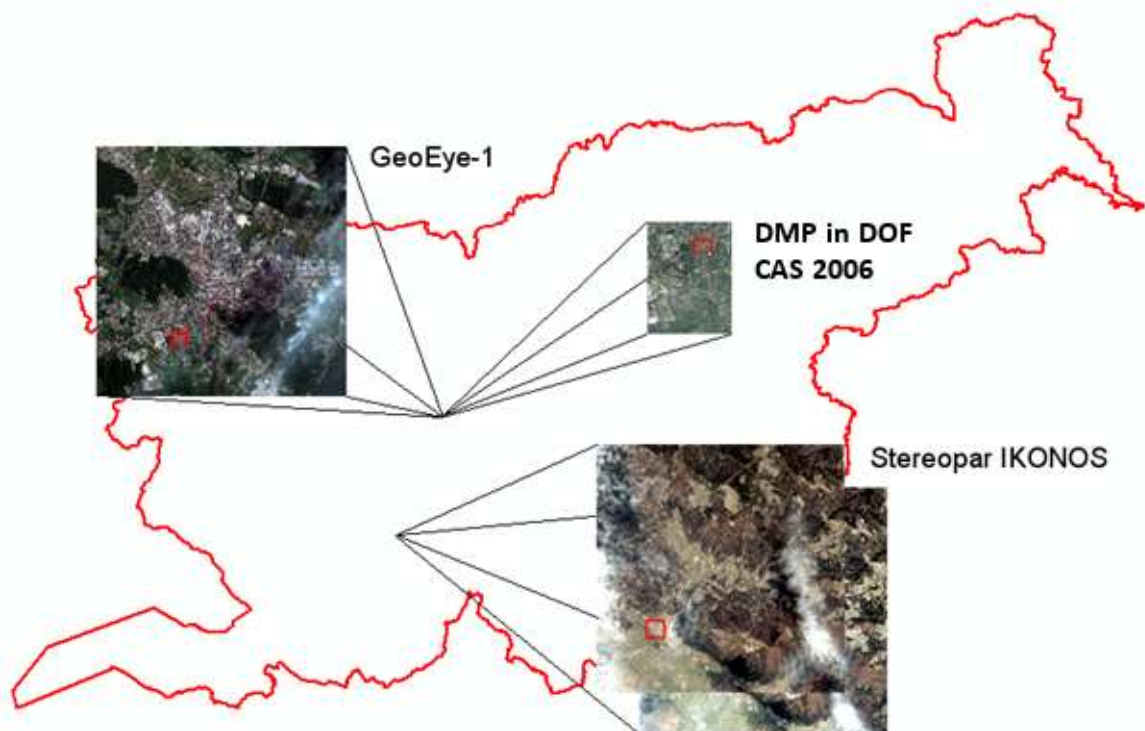
2.1. Objektni tip: STAVBE

Poglavje opisuje metode za vzdrževanje in zajem podatkov objektnega tipa stavb, ki predstavljajo najbolj razširjen objektni tip znotraj objektnega področja zgradb.

2.1.1. Test 1

2.1.1.1. Opis vhodnih podatkov

Testiranja smo izvedli s štirimi različnimi nizi podatkov: digitalni model površja (DMP) izdelan iz aero laserskega skeniranja in DOF, CAS 2006, posnetek GeoEye-1 in stereopar IKONOS (0).



Slika 1: Grafični prikaz uporabljenih podatkov.

2.1.1.1.1. DMP in DOF

Podatke sestavljata DMP in DMR južnega dela Ljubljane, izdelana iz podatkov laserskega skeniranja, oba v rastrskem zapisu in s prostorsko ločljivostjo 0,5 m. Izvornih podatkov laserskega skeniranja (oblakov točk z atributi) nismo imeli. Uporabljene slikovne podatke sestavljata državni barvni ortofoto DOF050 s prostorsko ločljivostjo 0,5 m in državni bližnje infrardeči ortofoto DOF100IR s prostorsko ločljivostjo 1 m (0). Oba ortofota sta bila izdelana leta 2006 iz posnetkov CAS in zapisana v barvnem prostoru RGB z radiometrično ločljivostjo 24 bitov (po 8 bitov za rdeči, zeleni in modri sloj). DOF100IR smo z uporabo DOF050, pretvorjenega v sivo barvno lestvico, izostrili na prostorsko ločljivost 0,5 m.

	DOF050	DOF100IR
Opis	barvni ortofoto	bližnjeinfrardeči ortofoto
Leto izdelave	2006	2006
Oznaka lista	E2303	E2303
Datoteka	E230362D (TIF in TFW)	E230360 (TIF in TFW)
Barvni prostor	RGB	RGB
Radiometrična ločljivost	24-bit; 8 bitov za posamezni kanal	24-bit; 8 bitov za posamezni kanal
Prostorska ločljivost	0,5 m	1 m

Preglednica 1: Lastnosti ortofota.

Ožje območje preizkušanja metod za zajem stavb ima površino 500 m × 350 m z robnimi koordinatami v državnem koordinatnem sistemu D48/GK:

Y: 460.725 m – 461.225 m; X: 99.200 m – 99.550 m.

2.1.1.1.2. CAS

Podatke sestavljajo štirje posnetki CAS 2006 z območja Ljubljane in njihovi orientacijski parametri, državni DMV5 (datoteka VTE2303.XYZ) ter barvni in infrardeči ortofoto (opis v 2.1.1.1.1), pridobljeni na Geodetski upravi Republike Slovenije (GURS). Vsi štirje posnetki so iz istega pasu snemanja (0). CAS 2006 se je izvajal z digitalnim fotogrametričnim sistemom DMC. Slabost podatkov GURS je v tem, da so aeroposnetki prevzorčeni v barvni prostor RGB z radiometrično ločljivostjo 24 bitov (po 8 bitov za rdeči, zeleni in modri sloj), ki ne vključuje infrardečega kanala. Za samodejne postopke so sicer uporabnejši izvorni kanali sensorja (DMC poleg pankromatskega kanala vključuje tudi multispektralne kanale – moder, zelen, rdeč in bližnji infrardeč v radiometrični ločljivosti 12 bitov). Za izračun vegetacijskega indeksa smo zato uporabili barvni in infrardeči ortofoto (0).

	CAS 2006
Opis	barvni aeroposnetek
Leto izdelave	2006
Številka posnetka	C06-39-0298, C06-39-0299, C06-39-0300, C06-39-0301
Barvni prostor	RGB
Radiometrična ločljivost	24-bit; 8 bitov za posamezni kanal

Preglednica 2: Lastnosti posnetkov CAS.

Ožje območje preizkušanja metod za zajem stavb ima površino 500 m × 350 m z robnimi koordinatami v državnem koordinatnem sistemu D48/GK:

Y: 460.725 m – 461.225 m; X: 99.200 m – 99.550 m.

2.1.1.1.3. GeoEye-1

Podatke sestavlja satelitski posnetek GeoEye-1 z območja Ljubljane, izdelan v letu 2009. Največja slabost posnetka je poševen kot snemanja (približno 63°). Lastnosti posnetka opisuje 0. Poleg posnetka GeoEye-1 smo uporabili še državni DMV5 (datoteka VTE2303.XYZ) in podatke obstoječe DTK5.

	GeoEye-1
Opis	pankromatski (PAN) in 4 multispektralni (MS) posnetki GeoEye-1
Leto izdelave	2009
Geografske koordinate robov [°]	$\varphi_1 = 46,0169030950; \lambda_1 = 14,4471799738$ $\varphi_2 = 46,1065096354; \lambda_2 = 14,4471799738$ $\varphi_3 = 46,1065096354; \lambda_3 = 14,5776442130$ $\varphi_4 = 46,0169030950; \lambda_4 = 14,5776442130$
Datum	WGS84
Predobdelava	Geo, MTFC da, DRA ne
Radiometrična ločljivost	11-bitov, PAN, moder, zelen, rdeč, bližnji infrardeč kanal
Prostorska ločljivost	0,5 m PAN, 2 m MS
Orientacija	koeficienti RPC
Kot snemanja [°]	62,98391
Kot sončnih žarkov [°]	54,34299
Pokritost z oblaki	8 %

Preglednica 3: Lastnosti posnetka GeoEye-1.

Posnetek (10 km x 10 km) smo transformirali v državni koordinatni sistem z uporabo direktne linearne transformacije (DLT) v programu Socet Set. Oslonilne točke (njihovo skupno število je 21) za georeferenciranje celotnega posnetka smo izmerili na listih državnega ortofota DOF050 in digitalnega modela višin DMV 5. Položajni srednji pogrešek je po izvedeni transformaciji znašal 0,61 m (0,39 m po osi Y in 0,47 m po osi X). Po georeferenciranju posnetka z DLT smo izdelali ortofoto pankromatskega in multispektralnih kanalov z uporabo državnega DMV5.

Za testiranje metod za zajem stavb smo izbrali območje s površino 550 m x 450 m z robnimi koordinatami v državnem koordinatnem sistemu D48/GK:

Y: 460.700 m – 461.250 m; X: 99.150 m – 99.600 m.

2.1.1.1.4. Stereopar IKONOS

Podatke sestavlja stereopar IKONOS z območja Cerknice in koeficienti RPC za orientacijo stereopara (0). Za izdelavo maske cest smo uporabili podatke obstoječe DTK5.

Stereopar IKONOS	Levi posnetek	Desni posnetek
Opis	pankromatski (PAN) in 4 multispektralni (MS) posnetki IKONOS-2	
Leto izdelave	2007	

Geografske koordinate robov [°]	$\varphi_1 = 45,7785973478; \lambda_1 = 14,2951001309$ $\varphi_2 = 45,8858349465; \lambda_2 = 14,3356945314$ $\varphi_3 = 45,8573277452; \lambda_3 = 14,4891600155$ $\varphi_4 = 45,7501442695; \lambda_4 = 14,4482921439$	
Datum	WGS84	
Predobdelava	GeoStereo Standard, MTFC da, DRA ne	
Radiometrična ločljivost	11-bitov, PAN, moder, zelen, rdeč, bližnji infrardeč kanal	
Prostorska ločljivost	1 m PAN, 4 m MS	
Orientacija	koeficienti RPC	
Kot snemanja [°]	77,67802	65,26796
Kot sončnih žarkov [°]	46,66187	49,60760
Pokritost z oblaki	21 %	12 %

Preglednica 4: Lastnosti posnetkov stereopara IKONOS.

Multispektralne posnetke smo izostrili s pankromatskima posnetkoma na prostorsko ločljivost 1 m. Za širše območje smo izdelali DMV s celično mrežo 5 m. DMV smo izdelali v programu Socet Set. Njegov programski modul NGATE omogoča samodejno izdelavo DMP in različne morfološke operacije, s katerimi iz DMP odstrani objekte, ki ne pripadajo reliefu. Iz vseh kanalov obeh posnetkov stereopara smo izdelali ortofote. Orientacijo stereopara smo vzpostavili iz koeficientov RPC, ki smo jih pridobili skupaj s posnetki. Za georeferenciranje ortofotov v državni koordinatni sistem je zadoščala translacija. Devetnajst oslonilnih točk za georeferenciranje smo izmerili na državnem ortofotu DOF050 in pankromatskem ortofotu IKONOS. Standardni odklon je pri izračunu translacijskih parametrov znašal 0,58 m po osi X in 0,44 m po osi Y.

Za testiranje metod za zajem stavb smo izbrali območje s površino 500 m x 500 m z robnimi koordinatami v državnem koordinatnem sistemu D48/GK:

Y: 450.155 m – 450.655 m; X: 72.340 m – 72.840 m.

2.1.1.2. Opis testiranja in implementacije postopkov

2.1.1.2.1. DMP in DOF

Podatke DMP in DOF smo uporabili za samodejni zajem stavb kot tudi za samodejno iskanje sprememb v topografski zbirki na podlagi samodejno zajetih stavb. Glavne stopnje samodejnega zajema stavb prikazuje 0. Postopek lahko strnemo v naslednje korake:

- izračun nDMP iz DMP in DMR ter izdelava maske visokih objektov v nDMP,
- izdelava začetne maske stavb z izločitvijo vegetacije iz maske visokih objektov v nDMP, ki vključuje izračun modificiranega vegetacijskega indeksa in indeksa senc iz multispektralnega ortofota ter izboljšavo indeksa senc z upoštevanjem njegove homogenosti,
- izdelava maske za test površin stavb, maske stavb v nDMP in rastrskih obrisov stavb,
- vektorski zajem stavb iz rastrskih obrisov stavb z vključitvijo maske za test površin stavb.



Slika 2: Diagram poteka zajema stavb iz DMP in DOF.

Postopek je detajlno opisan v Grigillo in ostali (2011). V nadaljevanju je zato podan le strnjen opis testa. Razen izdelave podobe homogenosti, ki smo jo izdelali s programom ENVI, je celoten postopek sprogramiran v programu Matlab.

Razlika med DMP in DMR predstavlja normaliziran digitalni model površja (nDMP). Na njem so vključeni le objekti, ki segajo nad zemeljsko površino. Iz nDMP izdelamo masko, ki vključuje le območja, pri katerih je možnost, da so na njih stavbe. Pri izdelavi maske visokih objektov v nDMP smo uporabili prag 2 m, saj se glede na operativno navodilo za zajem podatkov o stavbah v topografskih zbirkah vodijo le stavbe, ki so višje od dveh metrov (GURS, 2001).

Maska visokih objektov, izdelana iz nDMP, še vedno vsebuje vegetacijo, ki sega vsaj dva metra nad površino tal (drevesa). Vegetacijo odstranimo iz maske z uporabo vegetacijskega indeksa, ki ga običajno izračunamo iz rdečega in bližnjega infrardečega kanala. Ortofoto ne vsebuje izvornega rdečega in infrardečega kanala, zato smo v raziskavi uporabili svojo metodo za izračun vegetacijskega indeksa, ki temelji na uporabi bližnjega infrardečega ortofota, zapisanega v barvnem prostoru RGB, in popravi vegetacijskega indeksa z indeksom senc ter analizo teksture. Modificiran vegetacijski indeks NDVI smo izračunali iz zelenega in rdečega sloja DOF100IR. V primerjavi z zelenim slojem imajo na rdečem sloju poleg vegetacije višje vrednosti tonov tudi sence. Modificiran NDVI jih zato razvrsti kot vegetacijo, zato smo iz maske nehote izločili osenčene dele stavb. Masko smo zato dopolnili z osenčenimi deli stavb, ki smo jih pridobili iz izračunom indeksa senc in analizo teksture nDMP. Ostale nepravilnosti v začetni maski stavb odstranimo z vrsto morfoloških operacij. Iz končne maske stavb v nDMP izdelamo rastrske obrise stavb. Obrise stavb vektoriziramo s Houghovo transformacijo ali s transformacijo Radon. V prvem koraku na podlagi oblike obrisa določimo orientacijo stavbe v prostoru, potem pa poiščemo vse vzporedne in pravokotne linije, ki opisujejo obliko stavbe.

Samodejno iskanje sprememb v topografski zbirki smo testirali s primerjavo rezultatov samodejnega zajema z obstoječim katastrom stavb (KS). Za iskanje sprememb rezultat samodejnega vektorskega zajema stavb in KS rasteriziramo. Iskanje sprememb poteka samodejno s primerjavo objektov (stavb) na binarnih podobah zajema in KS. S konjunkcijo med KS in samodejnim zajemom odkrijemo stavbe, ki so v KS in jih je samodejni postopek našel. Z operatorjem »izključujoči ALI« med stavbami v KS in omenjeno konjunkcijo ugotovimo, katerih stavb, ki so v bazi, nam ni uspelo poiskati oziroma na terenu ne obstajajo več. Z operatorjem izključujoči ALI, ki ga izvedemo med rezultati zajema in omenjeno konjunkcijo, poiščemo nove stavbe, ki jih še ni v bazi. Za preostale spremembe primerjamo objekte na konjunkciji. Objekte razdelimo na štiri razrede glede na razmerje površin, ki jih imajo na binarnih podobah KS in samodejnega zajema:

manj kot 10 % površine objekta na KS prekriva objekt na zajemu => porušena/neodkrita stavba;
 manj kot 10 % površine objekta na zajemu prekriva objekt na KS => nova stavba;

objekt KS prekriva od 10 % do P površine objekta na samodejnem zajemu => nov prizidek;
nad P objekta na KS prekriva objekt na samodejnem zajemu => odkrita stara stavba.

P predstavlja izbran prag. V našem primeru smo uporabili $P = 70\%$. Matikainen in ostali (2004) predlagajo izbiro praga 80 % za industrijske predele, 70 % za območja z večjimi stanovanjskimi objekti in 60 % za območja z manjšimi družinskimi hišami. V program smo vključili tudi možnost, da nas opozori na spremembo, kadar več objektov na KS prekriva en objekt samodejnega zajema. Tako smo pravilno našli večino prizidkov stavb.

Oceno učinkovitosti samodejnega iskanja sprememb ovrednotimo s primerjavo dejanskega stanja na terenu, topografske zbirke, ki jo posodabljam (v našem primeru KS), in rezultati samodejnega zajema. Ocenili smo *popolnost* in *pravilnost* postopka (Heipke in ostali, 1997):

$$\text{popolnost} = \frac{RP}{RP+LN};$$

$$\text{pravilnost} = \frac{RP}{RP+LP};$$

Popolnost opisuje delež dejanskih sprememb, ki jih samodejni postopek zazna. *Pravilnost* opisuje delež zaznanih sprememb, ki ustrezajo dejanskim spremembam. *RP* je število objektov (stavb), ki jih samodejni postopek označi kot spremembo in so dejansko spremenjeni. *LN* je število objektov, ki jih samodejni postopek ne prepozna kot spremembo, a so se spremenili. *LP* je število objektov, ki jih samodejni postopek označi kot spremembo, a se dejansko niso spremenili.

2.1.1.2.2. CAS

Študijsko območje se nahaja na sredini pasu snemanja in ga prekrivajo štiri aeroposnetki istega pasu. Vse štiri posnetke smo uporabili za samodejno izdelavo DMP v programu Socet Set s fotogrametričnimi metodami slikovnega ujemanja. Nadaljnji postopek obdelave je identičen postopku obdelave DMP in DOF (poglavje 2.1.1.2.1), zaradi slabše kakovosti samodejno izdelanega DMP v primerjavi z laserskim skeniranjem, se razlikuje v naslednjih podrobnostih:

- vegetacijski indeks ni bil popravljen z indeksom senc, saj je samodejno izdelan DMV pregladek, da bi lahko z analizo teksture ločili strehe od visoke vegetacije; osenčeni deli streh so zato izpadli iz maske stavb;
- strukturne elemente za morfološke obdelave maske smo povečali za dimenzijo 1 in zaprli luknje s površino pod 6 m^2 ;
- orientacijo stavb v prostoru smo poiskali glede na robove, ki smo jih odkrili iz infrardečega ortofota, ki smo mu izboljšali kontrast z Wallisovim filtrom. Robove smo poiskali Cannyjevim algoritmom. Orientacijo stavbe predstavlja najmočnejši rob, ki smo ga na območju razširjene maske posamezne stavbe poiskali s Houghovo transformacijo.

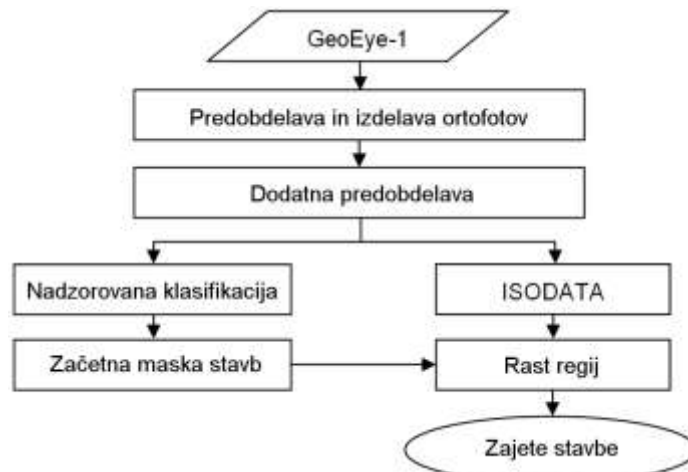
Vektorizirane stavbe smo uporabili za samodejno iskanje sprememb. Pri tem smo uporabili postopek, ki je opisan na koncu poglavja 2.1.1.2.1.

2.1.1.2.3. GeoEye-1

Zaradi poševnega snemanja posnetka smo podatke uporabili le za testiranje odkrivanja stavb. Stopnje samodejnega odkrivanja stavb prikazuje 0. Postopek lahko strnemo v naslednje korake:

- ostrenje multispektralnih posnetkov s pankromatskim na prostorsko ločljivost $0,5 \text{ m}$;
- izdelava ortofota za vse kanale;
- priprava posnetkov za klasifikacijo;
- klasifikacija multispektralnih posnetkov;

- izdelava začetne maske stavb in njena izboljšava z rastjo regij;
- odkrivanje stavb.



Slika 3: Diagram poteka odkrivanja stavb na posnetku GeoEye-1.

Postopek sta detajlno opisala Grigillo in Kosmatin Fras (2011). V nadaljevanju je zato podan le strnjen opis testa. Georeferenciranje (opis v 2.1.1.1.3) in izdelavo ortofotov smo izvedli v programu Socet Set. Klasifikacijo posnetkov smo izvedli v programu ENVI. Ostali postopki so bili sprogramirani v programu Matlab.

Začetno masko stavb smo izdelali z nadzorovano objektno klasifikacijo multispektralnih posnetkov. Najboljše rezultate smo dobili z dodatno predobdelavo posnetkov, ki je vključevala:

- odstranjevanje majhnih detajlov na posnetkih z uporabo morfološkega odpiranja z rekonstrukcijo, ki mu je sledilo morfološko zapiranje z rekonstrukcijo;
- glajenje posnetkov z nelinearno difuzijo, ki močno zgladi podobe ob tem pa ohrani robove;
- izboljšavo kontrasta z Wallisovim filtrom;
- poudarjanje robov z Laplaceovim filtrom;
- linearni razteg histograma z nasičenjem 1% na polno radiometrično ločljivost 11 bitov;
- odstranitev vegetacije z izračunom normaliziranega diferencialnega vegetacijskega indeksa (NDVI).
- odstranitev cestnih površin.

Med klasifikacijo je prihajalo do velikega mešanja stavb z ostalimi betonskimi in asfaltiranimi površinami, zato smo z masko cest iz posnetkov odstranili cestne površine. Masko cest smo izdelali iz obstoječe DTK5. Za širino cest v maski smo uporabili atributne podatke DTK5.

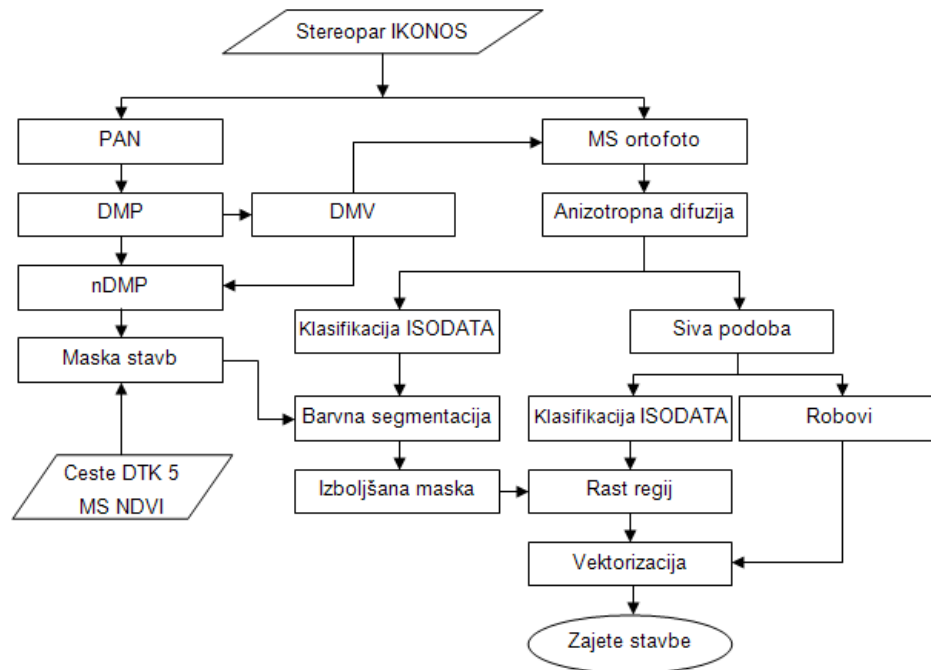
Klasifikacijo smo izvedli na podlagi izbranih vzorcev. Stavbe smo razdelili na 7 podkategorij (glede na barvo strehe), ostali vzorci so predstavljali asfalt (temni in svetli asfalt posebej), beton, atletsko površino in maskirano ozadje. Za vsako kategorijo smo v povprečju določili med 10 in 11 vzorcev. Nekaj nad dvajset vzorcev smo izbrali za asfaltne površine in sive strehe, saj se te dva razreda v klasifikaciji pogosto mešata med seboj.

Po končani nadzorovani klasifikaciji smo združili poligone, ki predstavljajo stavbe in odstranili ostale kategorije. Izmed preostalih poligonov smo izločili tudi tiste, ki so imeli površino manjšo od 4 m² (glede na Operativno navodilo za zajem stavb, se v topografskih zbirkah vodijo le stavbe, ki imajo površino večjo od 4 m²) in izdelali začetno masko stavb. Z morfološkimi operacijami smo masko dodatno očistili (morfološko odpiranje in zapiranje za odstranjevanje nepravilnosti na robovih in zapiranje manjših lukenj v maski). Zaradi poševnosti posnetkov vključuje začetna maska stavb dele stavb, ki ne pripadajo streham. Po drugi strani, smo z masko cest iz posnetkov odstranili dele stavb. Začetno masko stavb smo zato popravili z rastjo regij.

2.1.1.2.4. Stereopar IKONOS

Glavne stopnje samodejnega zajema stavb prikazuje 0. Postopek lahko strnemo v naslednje korake:

- izdelava začetne maske stavb;
- izboljšava začetne maske stavb z barvno segmentacijo;
- optimizacija maske stavb z rastjo regij in istočasno vektorizacijo stavb s Houghovo transformacijo.



Slika 4: Diagram poteka zajema stavb.

Postopek testa iskanja in zajema stavb bo detajlno opisan v članku, ki je v postopku recenzije (Grigillo, Kosmatin Fras in Petrovič). V nadaljevanju podajamo strnjen opis testa. Opisani postopek je sprogramiran v programu Matlab. Za pridobitev višinskih podatkov in izdelavo ortofotov smo uporabili program Socet Set.

Za potrebe iskanja in zajema stavb smo iz pankromatskih podob na testnem območju izdelali DMP in DMV s celično mrežo 1 m. Pred njunim zajemom smo podobi stereopara izboljšali. Iz podob smo odstranili šum z uporabo filtra Lee-Sigma, z Wallisovim filtrom smo izboljšali kontrast, robove pa poudarili z visokoprepustnim Laplaceovim filtrom. Med izboljšavo smo z linearnim raztegom histograma izvorni podobi raztegnili v polno radiometrično ločljivost 11 bitov. DMP smo izdelali povsem samodejno brez nadaljnega urejanja. Ker program pri izdelavi DMV ni odstranil čisto vseh objektov, ki ne pripadajo reliefu, smo DMV naknadno še ročno izboljšali z uporabo orodij, ki omogočajo urejanje površin (polnjenje večjih lukenj in ustvarjanje ravnih ploskev) in zgladili s filtrom povprečenja velikosti 3 x 3. Izboljšavo DMV smo izvedli le v okolici stavb, napake, ki so se na DMV pojavile na območju cest smo odstranili z uporabo maske cest, izdelane iz podatkov DTK5, napake na območjih vegetacije pa smo odstranili z uporabo vegetacijskega indeksa. Vsi nadaljnji koraki so bili izvedeni samodejno z enoslikovnimi postopki (uporabljen levi posnetek stereopara). Iz DMP in DMV smo izračunali nDMP, iz katerega smo z uporabo praga 2 m (glede na Operativno navodilo za zajem stavb, se v topografskih zbirkah vodijo le stavbe, ki so višje od dveh metrov) izdelali začetno masko stavb. Cestne površine smo iz začetne maske stavb odstranili z masko cest, vegetacijo pa z izračunom vegetacijskega

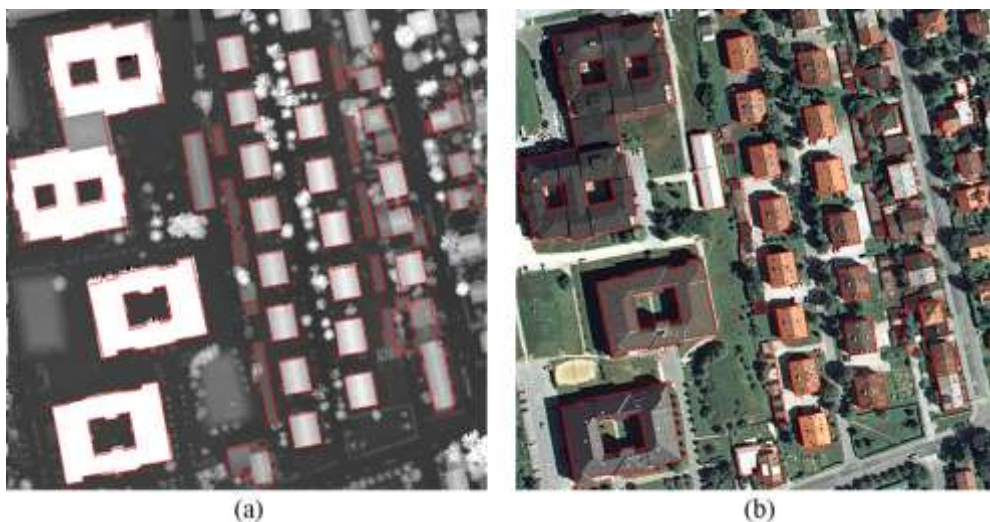
indeksa NDVI. Manjše nepravilnosti v maski (luknje ipd.) smo odpravili z enostavnimi morfološkimi operacijami.

Stavbe, ki jih zaradi napak med samodejno izdelavo višinskih podatkov nismo odkrili (IKONOS ima v primerjavi s posnetki CAS slabšo prostorsko ločljivost, zato sem med izdelavo DMP pojavi več napak), smo poiskali z barvno segmentacijo. Z uporabo rasti regij smo pridobili končno obliko posamezne stavbe. Stavbe smo vektorizirali s Houghovo transformacijo.

2.1.1.3. Opis rezultatov testiranja

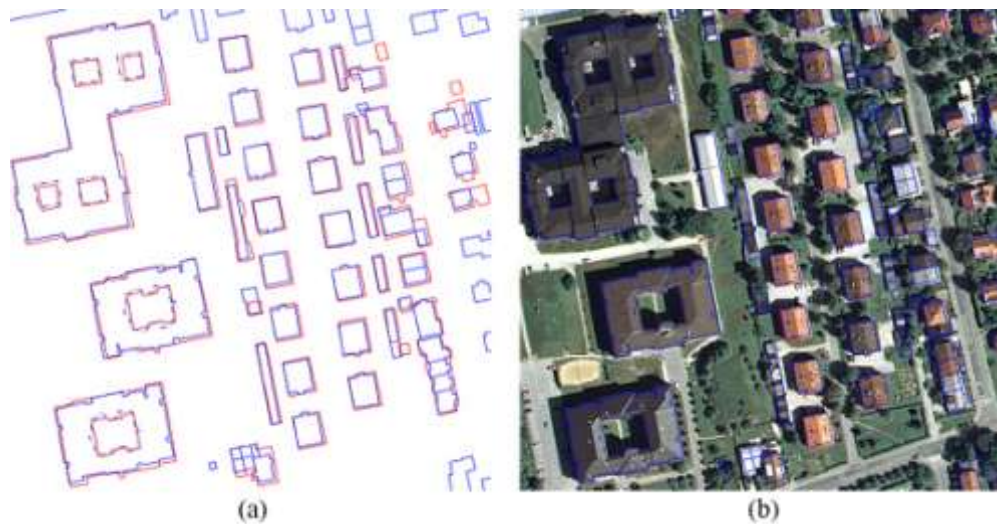
2.1.1.3.1. DMP in DOF

0 prikazuje rezultate samodejnega zajema stavb v primerjavi z nDMP (a) in barvnim ortofotom DOF050 (b).



Slika 5: Rezultati zajema stavb, prikazani na nDMP in DOF050.

Rezultate samodejnega zajema smo primerjali s podatki aktualnega KS in dejanskim stanjem na terenu. Referenčno karto dejanskega stanja smo izdelali z ročno popravo KS na podlagi DOF050, DMP in terenskega ogleda. 0 prikazuje prekritje samodejnega zajema (rdeča barva) in KS (modra barva) (a) ter prekritje KS in DOF050 (b). Pomembno je poudariti, da je bil KS za to območje izdelan s terestričnimi meritvami. Pri teh je bil obod stavb določen z meritvami temeljev, kar se razlikuje od fotogrametričnega zajema, pri katerem zajemamo obode streh. Zaradi tega imajo stavbe v KS manjšo površino.



Slika 6: Primerjava rezultatov zajema stavb s KS

Na obravnavanem območju je 107 stavb (stavbe, ki se v prostoru stikajo, smo šteli kot eno stavbo). S samodejnim postopkom smo našli 101 stavbo oziroma 94,4 % vseh stavb na območju. Šest stavb samodejni postopek ni zaznal, in sicer so bile to stavbe z manjšo površino. Dve smo nehote odstranili v postopku morfološkega odpiranja z rekonstrukcijo, štirih pa samodejni postopek ni odkril, ker jih v naravi skoraj v celoti prekrivajo drevesa (tri vrtno lope in ena lesena garaža). Samodejni postopek je našel šest stavb, ki dejansko ne obstajajo v naravi. Vse so imele manjšo površino in so se pojavile na asfaltnih površinah ali na robovih dreves. 0 prikazuje oceno samodejnega iskanja stavb.

	Število	%
Vse stavbe na območju	107	100
Najdene stavbe	101	94,4
Neobstoječe stavbe v naravi	6	5,3

Preglednica 5: Ocena samodejnega iskanja stavb

Od 101 najdene stavbe na območju je bilo glede na primerjavo podatkov nDMP in DOF050 ter obliko stavb v KS pravilno zajetih 38 stavb, 59 pa se jih je od podatkov razlikovalo v manjših detajlih. V večini teh 59 primerov gre za izpuščene nadstreške nad vhodnimi vrati stavb ali balkone, ki jih samodejni postopek ni zaznal, nekatere so posledica vegetacije (drevesa), ki prekriva dele stavbe. Dve stavbi sta bili zajeti z manjšo površino, kot jo imata v naravi. Razlog za izgubo površine teh stavb je vegetacija, ki je nad stavbami. Ena stavba je bila zajeta z napačno orientacijo. Os stavbe je bila določena napačno zaradi dreves, ki so onemogočila prepoznavanje celotne stavbe. Ena stavba je bila zajeta napačno, saj njena oblika v naravi ni pravokotna. Boljši rezultat pri tej stavbi bi pridobili, če bi v samodejni postopek vgradili iskanje premic, ki opisujejo obod stavbe, pod kotom 45° glede na glavno os. Oceno pravilnosti samodejnega vektorskega zajema stavb prikazuje 0.

	Število	%
Pravilno zajete	38	37,6
Generalizirane	59	58,4
Napačna površina	2	2,0
Napačna orientacija	1	1,0
Drugo	1	1,0

Preglednica 6: Ocena pravilnosti samodejnega vektorskega zajema stavb.

Glede primernosti opisanega samodejnega postopka za zajem podatkov v topografsko zbirko lahko ugotovimo, da rastrski podatki DMP s prostorsko ločljivostjo 0,5 m, iz katerih je bil izdelan nDMP, niso uporabni za samodejni zajem stavb v topografske zbirke največjih meril (1 : 5000). Stavbe z enostavno obliko in le deloma prekrite z vegetacijo samodejni postopek prepozna pravilno, več kot polovica stavb pa je zajeta brez manjših detajlov (nadstreški, balkoni). Rezultat bi lahko bistveno izboljšali, če bi imeli na voljo DMP z boljšo prostorsko ločljivostjo (npr. 0,25 m). Odstopanja podatkov samodejnega zajema glede na dejansko stanje ne presegajo dolžine štirih pikslov (kar v našem primeru znaša 2 m). Zato so ti podatki in opisani postopek primerni za zajem stavb v topografske zbirke merilih 1 : 10 000 in manjših.

Po drugi strani lahko ugotovimo, da se je opisana metoda samodejnega zajema stavb na uporabljenih podatkih DMP in DOF050 izkazala kot primerna za iskanje sprememb in kontrolo pravilnosti zajema v topografske zbirke v merilu 1 : 5000. S samodejnim postopkom smo našli šest stavb, ki še niso bile evidentirane v KS, prav tako smo pravilno odkrili 22 prizidkov stavb in eno porušeno stavbo ($RP = 6 + 22 + 1 = 29$). Dveh dejanskih sprememb (2 prizidka), ki so se v prostoru dejansko zgodile glede na KS, postopek ni odkril ($LN = 2$). V osmih primerih je postopek sprožil »lažni alarm« (šest neobstoječih stavb v naravi in dva napačno javljena prizidka; $LP = 8$). Iz navedenih podatkov lahko izračunamo *popolnost* in *pravilnost* postopka za samodejno iskanje sprememb:

$$popolnost = 93,5 \%$$

$$pravilnost = 78,4 \%$$

0 prikazuje izris rezultatov samodejnega iskanja sprememb v topografski zbirki na delu, kjer je bilo največ sprememb. Z rumenimi krogi so označene stavbe, kjer je postopek odkril nove prizidke, z zelenimi krogi so označene nove stavbe, z rdečimi krogi pa stavbe, ki jih samodejni postopek ni našel. Rumeni obrisi predstavljajo rezultate samodejnega zajema stavb pred izvedeno vektorizacijo.



Slika 7: Rezultati samodejnega iskanja sprememb

Z uporabljeno metodo smo našli večino dejanskih sprememb v prostoru in jo lahko ocenimo kot primerno za iskanje sprememb in kontrolo pravilnosti zajema podatkov v KS in DTK5. Metoda je manj primerna za neposreden zajem podatkov v topografske zbirke največjih meril (večjih od 1 : 10 000) oziroma bi jo morali preskusiti še z uporabo DMP z boljšo prostorsko ločljivostjo.

2.1.1.3.2. CAS

0 prikazuje prekritje samodejnega zajema stavb in barvnega ortofota DOF050.



Slika 8: Rezultati samodejnega zajema stavb, prikazani na DOF050.

Rezultate samodejnega zajema smo primerjali s podatki aktualnega KS in dejanskim stanjem na terenu. Referenčno karto dejanskega stanja smo izdelali z ročno popravo KS na podlagi DOF050, DMP in terenskega ogleda. Na obravnavanem območju je 107 stavb (stavbe, ki se v prostoru stikajo, smo šteli kot eno stavbo). S samodejnim postopkom smo vsaj delno ali v celoti našli 99 stavb oziroma 92,5 % vseh stavb na območju. Nekatere stavbe z manjšo površino so bile zajete z več poligoni. Osem stavb samodejni postopek ni zaznal, in sicer so bile to stavbe z manjšo površino ali pa jih prekriva vegetacija. Samodejni postopek je našel šestnajst stavb, ki dejansko ne obstajajo v naravi. Vse so imele manjšo površino in so se v glavnem pojavile na asfaltnih površinah ali na robovih senc in dreves. 0 prikazuje oceno samodejnega iskanja stavb.

	Število	%
Vse stavbe na območju	107	100
Najdene stavbe	99	92,5
Neobstoječe stavbe v naravi	16	13,0

Preglednica 7: Ocena samodejnega iskanja stavb

Vse stavbe so zajete generalizirano. Opisani postopek samodejnega zajema stavb iz podatkov CAS ni uporaben za samodejni zajem stavb v topografske zbirke največjih meril (1 : 5000).

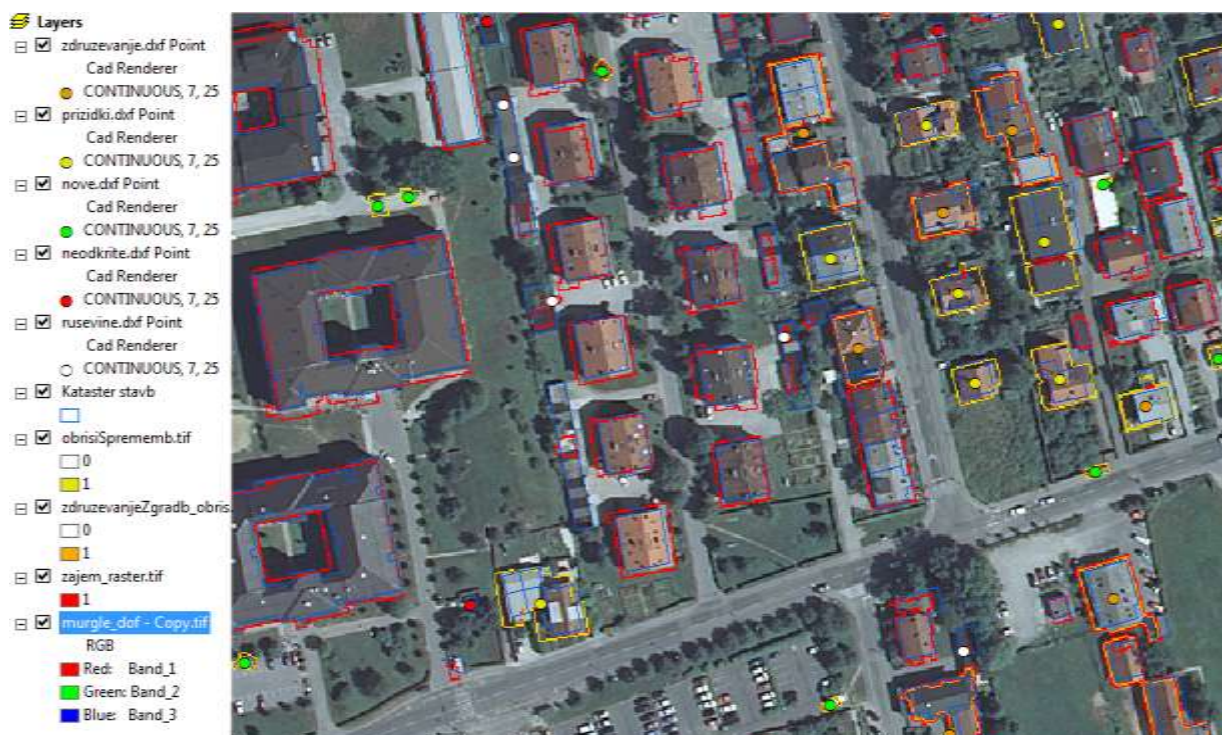
Zajete stavbe smo, tako kot v poglavju 2.1.1.3.1, uporabili za samodejno iskanje sprememb v topografski zbirki. Popolnost in pravilnost postopka sta precej nizka:

popolnost = 74,1 %;

pravilnost = 33,9 %.

Nizek rezultat je predvsem posledica nepravilnega opozarjanja aplikacije na nove, dejansko neobstoječe stavbe, in na nove prizidke stavb, kar je pri izdelavi DMP z metodami slikovnega ujemanja pričakovano, saj je vertikalne robove stavb praktično nemogoče zajeti. S samodejnim postopkom smo našli pet stavb, ki še niso bile evidentirane v KS (eno od teh je postopek označil kot prizidek k večji stavbi), pravilno smo odkrili 15 prizidkov stavb in eno porušeno stavbo ($RP = 4 + 15 + 1 = 20$). Sedmih dejanskih sprememb (6 prizidkov in ena nova majhna stavba), ki so se v prostoru dejansko zgodile glede na KS, postopek ni odkril ($LN = 7$). Kar v 39 primerih je postopek sprožil »lažni alarm« (šestnajst neobstoječih stavb v naravi in dvanajst napačno javljenih prizidkov, šest manjših stavb naj ne bi več obstajalo, 5 stavb pa je postopek označil kot porušene, saj je bilo najdene le pod 10% površine stavbe; $LP = 39$).

0 prikazuje izris rezultatov samodejnega iskanja sprememb v topografski zbirki. Z rumenimi in oranžnimi krogi so označene stavbe, kjer je postopek odkril nove prizidke, z zelenimi krogi so označene nove stavbe, z rdečimi krogi pa stavbe, ki jih samodejni postopek ni našel. Beli krogi opozarjajo na delno ali v celoti porušene stavbe. Rumeni in oranžni obrisi predstavljajo rezultate samodejnega zajema stavb pred izvedeno vektorizacijo.

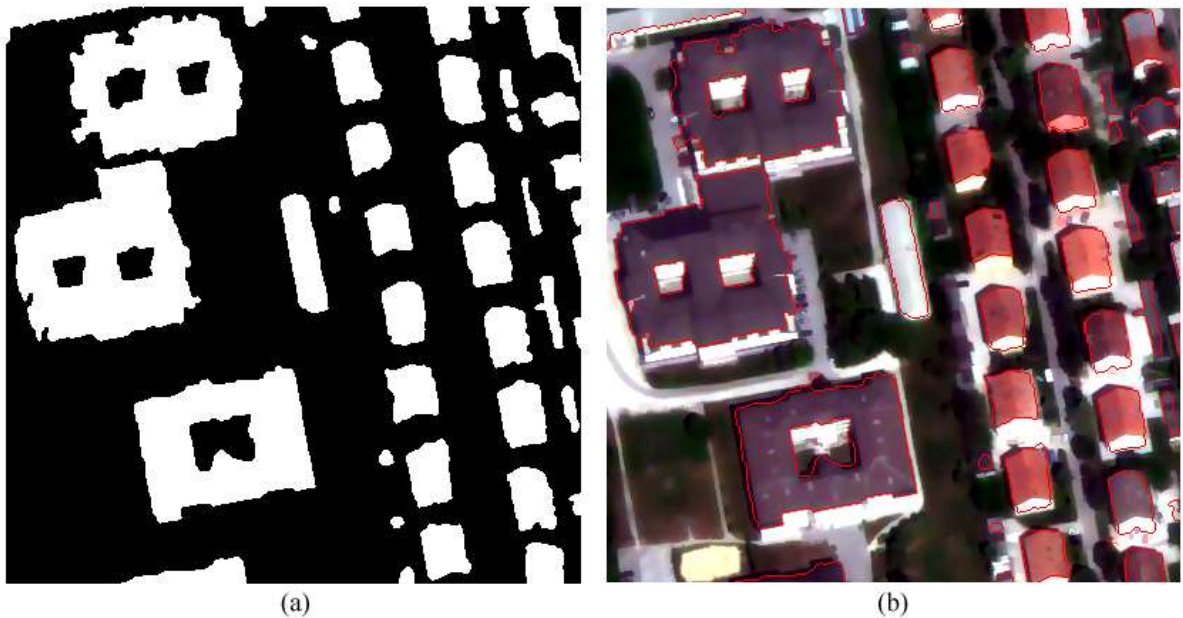


Slika 9: Rezultati samodejnega iskanja sprememb.

Opisana metoda je za samodejno iskanje sprememb v podatkovni zbirki le pogojno uporabna. Dobre rezultate bi lahko dobili, če bi z njo iskali le porušene ali nove stavbe z večjo površino, ki jih tudi na DMP, narejenim z metodami slikovnega ujemanja učinkovito prepoznamo.

2.1.1.3.3. GeoEye-1

0 (a) prikazuje končno masko stavb. Iz končne maske smo izdelali obrise. Prekritje obrisov stavb in barvnega kompozita rdečega, zelenega in modrega kanala prikazuje 0 (b). Ostalih operacij (npr. glajenje in pravokotizacija linij) na obrisih nismo izvajali, saj zaradi že omenjenega kota snemanja posnetek ni primeren za neposreden zajem stavb v topografsko zbirko. Prav tako nismo testirali primernosti rezultatov za samodejno iskanje sprememb v topografski zbirki.



Slika 10: Končna maska stavb in superimpozicija na barvnem kompozitu.

Uspešnost samodejnega iskanja in zajema stavb smo ocenili na dva načina: s primerjavo odkritih stavb na celotnem testnem območju s katastrom stavb (KS) in s primerjavo z ročno zajetimi stavbami.

Na testnem območju se glede na KS nahaja 174 stavb (stavbe, ki se v KS dotikajo, smo šteli kot eno stavbo, saj samodejni postopek iskanja stavb ne omogoča ločevanja takšnih stavb). S samodejnim postopkom smo našli 152 stavb (87,4 %). Dvaindvajset stavb nismo našli. Vse neodkrite stavbe so manjše in v sklopu večjih, najdenih stavb (vrtna lope in garaže). Polovico izmed njih v celoti ali deloma prekriva visoka vegetacija in jih tudi z ročnim zajemom ne bi zmogli pravilno interpretirati. Na območju smo našli tudi 7 stavb (3,9 %), ki v naravi in na posnetku dejansko ne obstajajo. Vse te stavbe so bili manjše in na asfaltnih površinah ali pa je postopek registriral avtomobile. 0 podaja oceno samodejnega iskanja stavb na posnetku GeoEye-1 glede na KS.

	Število	%
Vse stavbe glede na KS	174	100
Odkrite stavbe	152	87,4
Neobstoječe stavbe v naravi	7	3,9

Preglednica 8: Ocena samodejnega iskanja stavb na posnetku GeoEye-1.

Oceno kakovosti rastrskega zajema stavb smo izračunali s primerjavo rezultatov z ročno zajetimi podatki na posnetku GeoEye-1. Za ročni zajem stavb smo izbrali manjše območje, na katerem se nahaja 100 stavb.

Izmed sto ročno zajetih stavb na območju je predlagani postopek v celoti ali vsaj deloma našel vse stavbe. Na območju sta se pojavili tudi dve stavbi, ki ju je samodejni postopek prepoznal, a v resnici na posnetku in v naravi ne obstajata.

Rezultat	Faktor razvejivte	Faktor pogreška	% odkritja	% kakovosti
po klasifikaciji	0,24	0,15	86,67	71,68
po dodatni obdelavi	0,13	0,18	84,79	76,53

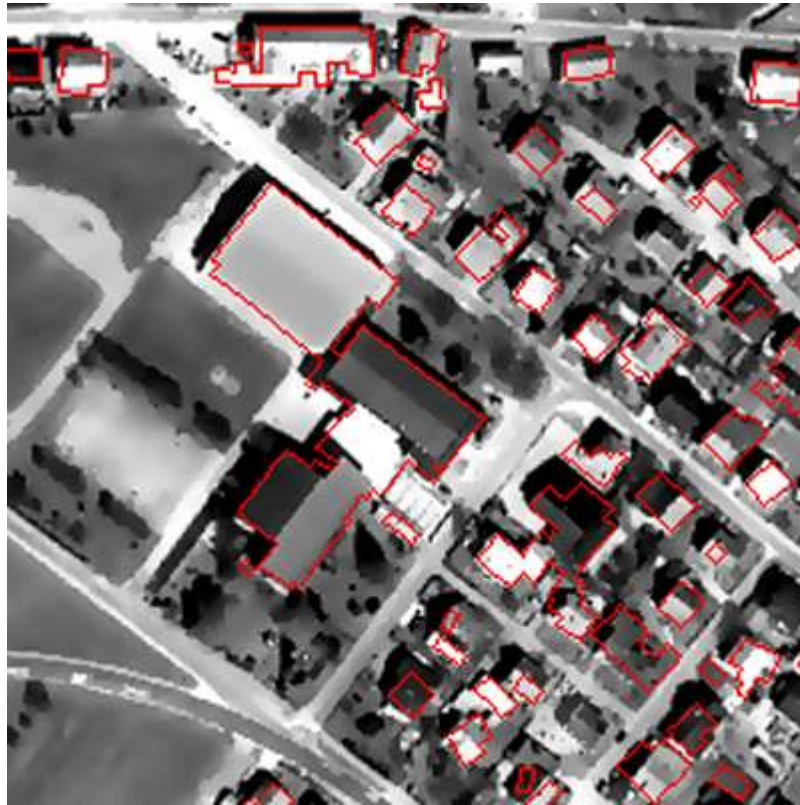
Preglednica 9: Ocena kakovosti rastrskega zajema stavb na posnetku GeoEye-1.

0 podaja oceno kakovosti rastrskega zajema stavb na posnetku GeoEye-1. Navedena sta rezultata v dveh različnih fazah zajema stavb, po opravljeni nadzorovani klasifikaciji in v zadnji vrsti preglednice po izvedeni rasti regij. Faktor razvejivte podaja mero za piksele, ki jih je samodejni postopek napačno prepoznal kot stavbe. Faktor pogreškov izraža stopnjo neodkritih pikslov (samodejni postopek jih ni prepoznal kot stavbe). Odstotek odkritja podaja odstotek pikslov, ki jih je samodejni postopek pravilno prepoznal kot stavbe. Najstrožji kazalec je odstotek kakovosti, ki ocenjuje absolutno kakovost samodejnega zajema in podaja verjetnost, s katero samodejni postopek pravilno razvršča piksele. Iz preglednice je razvidno, da smo končno kakovost detekcije izboljšali predvsem z odstranitvijo napačno klasificiranih pikslov v nadzorovani klasifikaciji. To so bile v glavnem fasade stavb, manjša območja asfalta, betona, senc in ostalih manjših objektov (avtomobili), ki jih je klasifikacija prepoznala kot stavbe. Po obdelavi se sicer za malenkost zmanjša odstotek odkritja, še vedno pa je samodejni postopek našel vse stavbe.

Rezultati kažejo na velik potencial za iskanje stavb na posnetkih GeoEye-1, vsekakor pa bi morali za iskanje uporabiti nadirni posnetek oziroma ga kombinirati z višinskimi podatki, na podlagi katerih bi lahko izdelali popolni ortofoto. Višinski podatki bi omogočili natančnejšo izdelavo začetne maske stavb, saj bi že na podlagi nDMP lahko ustrezno ločili strehe od ostalih betonski površin na tleh oziroma bi s podatki nDMP naknadno izboljšali rezultate nadzorovane klasifikacije. Z vidika samodejnosti postopka, je moteče predvsem ročno zajemanje vzorcev za klasifikacijo. Ena glavnih slabosti posnetkov GeoEye je v tem, da imamo naročniki posnetkov le omejene možnosti za narekovanje lastnosti posnetkov. Podamo lahko le datum, po katerem naj bi bilo izvedeno snemanje. Kota snemanja ne moremo natančno zahtevati pač pa lahko izbiramo le med dvema opcijama: 60°-90° oziroma 72°-90°.

2.1.1.3.4. Stereopar IKONOS

0 prikazuje rezultate samodejnega zajema stavb na pankromatskem posnetku.



Slika 11: Rezultati zajema stavb, prikazani na pankromatskem posnetku.

Rezultate zajema smo analizirali na podlagi primerjave z obstoječo topografsko zbirko DTK5. Od 155 stavb, ki se glede na topografsko zbirko nahajajo na testnem območju, je samodejni postopek v celoti ali vsaj delno odkril 129 stavb (83,2 %). Postopek je prepoznal tudi 8 stavb, ki v naravi in na posnetku ne obstajajo. Razlog za slabšo prepoznavnost stavb so sence, mrtvi koti, slabo opredeljeni robovi (posledica šuma in umetnih tvorb), nasičenost svetlih površin, višinski kot Sonca in senzorja, atmosferski pogoji v trenutku snemanja. Večina manjkajočih stavb je temne barve. Temni toni so očitno predstavljali težavo samodejnemu postopku za izdelavo DMP, v postopku barvne segmentacije pa so se razvrstili v razred senc. Vse stavbe, ki jih samodejni postopek ni našel, so bile sicer na posnetkih prepoznavne. Stereopar IKONOS je primeren za ročni 3D zajem podatkov o stavbah, vendar smo se v nalogi osredotočili le na samodejne postopke. 0 prikazuje oceno samodejnega iskanja stavb na posnetku IKONOS v primerjavi s posodobljeno DTK5.

	Število	%
Vse stavbe glede na DTK 5	155	100
Odkrite stavbe	129	83,2
Neobstoječe stavbe v naravi	8	4,9

Preglednica 10: Ocena samodejnega iskanja stavb na stereoparu IKONOS.

Slabše rezultate dobimo, če analiziramo položajno točnost zajema. Izmed 129 stavb je samodejni postopek le 20 stavb zajel povsem pravilno (s točnostjo enega piksla). 42 stavb je zajel s premajhno površino, 34 stavbam je postopek generaliziral obliko (npr. manjkajoči prizidki) ali jih popačil, 14 stavb je bilo zajetih s preveliko površino, dve pa sta bili občutno premaknjeni glede na pravilni položaj. V devetih primerih je postopek dve sosednji stavbi združil v eno, v enem primeru pa so bile združene 3 oziroma 5 stavb. 21 stavb nima povsem pravilne orientacije osi v prostoru. Razlogov za napake je več. Stereopar je bil posnet v mesecu oktobru

pri višinskem kotu Sonca 49,6°. Posledica so relativno dolge sence in različna osvetljenost streh. Zaradi različne osvetljenosti je kar nekaj stavb zajetih s premajhno površino, zaradi senc so izpadli nekateri prizidki. Kota snemanja sta bila za posnetka stereopara 65,3° in 77,7°. Za zajem bi bil bolj primeren nadirni posnetek, ki pa ga nismo imeli na razpolago. Nadirni posnetek bi omogočal boljše ločevanje posameznih stavb. Posnetka sta preosvetljena zaradi česar je predvsem svetle stavbe težko (včasih nemogoče) ločiti od betonske okolice. Te stavbe so praviloma zajete s preveliko površino. Rezultati so slabši na območju, ki ga deloma prekriva šibka oblačnost. Del stavb v nekaterih primerih prekriva visoka vegetacija, zato teh stavb ni mogoče zajeti s pravilno obliko. Na območju se pretežno nahajajo manjše družinske hiše. Odkriti robovi so bili zato v nekaterih primerih prekratki, da bi lahko postopek pravilno izračunal orientacijo stavbe. 0 prikazuje oceno pravilnosti vektorskega zajema na stereoparu IKONOS. Vsota odstotkov v tretjem stolpcu preglednice presega 100 %, saj smo v analizi nekatere stavbe šteli dvakrat (npr. stavbe z napačno površino in orientacijo).

	Število	%
Pravilno zajete	20	15,5
Generalizirane	34	26,4
Napačna površina	56	43,4
Napačna orientacija	21	16,3
Drugo	2	1,6

Preglednica 11: Ocena pravilnosti vektorskega zajema stavb na stereoparu IKONOS.

Poudariti velja, da smo samodejni postopek testirali na stvarnih podatkih, ki so bili daleč od idealnih. Večje, enakomerno osvetljene stavbe, ki se lepo ločijo od okolice, je postopek prepoznal pravilno. Vseeno pa ne moremo trditi, da je samodejni postopek primeren za zajem podatkov v topografske baze velikih meril (večjih od 1 : 25.000). Pri zajemu podatkov v topografsko bazo bi bila nujna tudi interakcija operaterja, ki bi samodejni postopek opozoril na spregledane stavbe. Na rezultate vpliva predvsem kakovost DMP, ki je bil izdelan samodejno z metodami slikovnega ujemanja. Z uporabo podatkov laserskega skeniranja bi rezultate precej izboljšali.

Samodejni postopek bi lahko uporabili za odkrivanje sprememb v prostoru in kontrolo popolnosti zajema podatkov v topografske zbirke na območjih z višjimi stavbami in večjo površino stavb.

2.1.1.4. Opis načina vzdrževanja posameznega objektnega tipa glede na rezultate testov

Za vzdrževanje objektnega tipa stavb predlagamo polsamodejno metodo. S postopkom, opisanim v drugi polovici poglavja 2.1.1.2.1, odkrijemo neskladja med obstoječo podatkovno zbirko in novimi viri. Ugotovljeno spremembo potem obravnava operater, ki sprejme končno odločitev in po potrebi zajame podatke v topografsko zbirko (sprejme rezultat samodejnega zajema ali izvede ročni zajem iz primarnega vira – CAS). Takšen postopek lahko prihrani veliko časa v primerjavi s klasičnim iskanjem sprememb, ki najpogosteje poteka z vizualno primerjavo topografskih podatkov z letalskimi posnetki ali ortofotom. Organizacija EuroSDR je izvedla obsežno raziskavo samodejnega iskanja sprememb med stavbami v 2D-topografskih bazah. Ugotovili so, da ima tak postopek znaten ekonomski učinek, saj izloči med 80 % in 90 % stavb v bazi, ki jih operaterju ni treba pregledati. Tovrstni postopki so uporabni tudi za kontrolo zajema podatkov v topografsko bazo.

2.1.1.5. Smer nadaljnje razvoja

Med izvedbo testov za odkrivanje in zajem stavb so se kot najbolj uporabni izkazali kakovostni višinski podatki. V Sloveniji smo v letu 2011 pričeli z izvedbo sistematičnega aero laserskega skeniranja. Pridobljene podatke moramo v prihodnosti vgraditi v postopke za vzdrževanje topografskih zbirk.

2.1.1.6. Uporabljena literatura pri izvedbi testov

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): 11-27.

Grigillo, D., Kosmatin Fras, M. (2011). Classification Based Building Detection From GeoEye-1 Images. V: Stilla, U. (ur.). JURSE 2011: proceedings of IEEE-GRSS/ISPRS Joint urban remote sensing event, TUM, Munich, Germany, April 11-13, 2011. Munich, 2011, str. 381-384. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=05764799>

GURS (2001). Operativno navodilo za zajem podatkov o stavbah. Fotogrametrični zajem s povezavo z zemljiškim katastrom in registrom prostorskih enot, verzija 4.0. Geodetska uprava Republike Slovenije.

Heipke, C., Mayer, H., Wiedemann, C., Jamet, O. (1997). Evaluation of automatic road extraction. V: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XXXII/3: 47–56.

Matikainen, L., Hyypä, J., Kaartinen, H. (2004). Automatic detection of changes from laser scanner and aerial image data for updating building maps. Remote Sensing, V: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXV/B2: 434–439.

2.1.2. Test 2

2.1.2.1. Opis vhodnih podatkov

Vhodni podatek za testiranje in implementacijo postopkov zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja objektnega tipa stavbe smo uporabili podatke laserskega skeniranja in ortofoto načrt (območje Mali Graben, 2007). V okviru testa smo ugotavljali smotrnost uporabe izvedenih podatkov aero laserskega snemanja (prvi odboj) in podatkov digitalnega modela reliefa DMR5 za razpoznavanje stavb.



Slika 12: Območje testiranja zajema, razpoznavanja in vzdrževanja objektnega tipa stavbe je Lžanska cesta v Ljubljani.

2.1.2.2. Opis testiranja in implementacije postopkov

Testiranje in implementacijo postopkov razpoznavanja stavb smo izvedli v naslednjih korakih:

- izdelava začetnega sloja stavb,
- priprava pomožnih podatkov,
- segmentacija začetnega sloja stavb,
- klasifikacija segmentov z objektno usmerjeno klasifikacijo in
- analiza sprememb.

Izdelava začetnega sloja stavb

Začetni sloj stavb smo izdelali na podlagi podatkov laserskega skeniranja in podatkov digitalnega modela reliefa DMR5. Iz oblaka točk prvega odboja laserskega skeniranja smo izračunali digitalni model površja (DMP). Namesto digitalnega modela površja, izračunanega iz oblaka točk zadnjega odboja, smo uporabili digitalni model reliefa DMR5. V okviru testa smo želeli preveriti ali je DMR5 v kombinaciji z DMP zadostne natančnosti za razpoznavanje stavb.

Z izračunom razlike med DMP in DMR5 smo pridobili sloj visokih objektov. Začetni sloj stavb smo izdelali tako, da smo iz sloja visokih objektov odstranili vse objekte, ki so nižji od 2 metrov. Začetni sloj stavb je prikazan na sliki 13.



Slika 13: Začetni sloj stavb.

V okviru vizualne analize začetnega sloja stavb smo ugotovili, da je v začetnem sloju stavb poleg stavb prisotna tudi visoka vegetacija, visoka plovila, tovorna vozila, ipd. Za izločitev objektov v sloju stavb, ki niso stavbe, smo uporabili objektno metodo klasifikacije.

Priprava pomožnih podatkov za objektno metodo klasifikacije

V naslednjem koraku smo pripravili dva sloja podatkov, ki služita kot pomožna podatkovna sloja za objektno usmerjeno klasifikacijo. To je:

- začetni sloj vodnih površin in
- indeks GRVI.

Začetni sloj vodnih površin smo izdelali na podlagi klasifikacije ortofoto načrta. Za klasifikacijo na osnovi piksla smo uporabili programsko orodje Erdas. Sloj vod je pri objektno usmerjeni klasifikaciji služil za odstranjevanje plovil iz začetnega sloja stavb.

Za odstranjevanje vegetacije iz začetnega sloja stavb smo uporabili vegetacijski indeks. Za izračun vegetacijskega indeksa smo imeli na razpolago samo ortofoto načrt, ki je bil izdelan v okviru laserskega skeniranja Mali graben (2007). Uporabljeni ortofoto vsebuje samo rdeči, zeleni in modri kanala ne pa tudi bližnjega infrardečega, ki se običajno uporablja za izračun vegetacijskega indeksa. Zato smo namesto indeksa NDVI, ki se navadno uporablja za odkrivanje vegetacije, uporabili Rdeče – zelen vegetacijski indeks (GRVI, Green-Red Vegetation Index). Indeks GRVI je izračunan kot razmerje med razliko zelenega in rdečega kanala ter njuno vsoto (Motohka et al., 2010).

$$NDVI = \frac{Z - R}{Z + R}$$

Kjer je:

Z ... vrednost zelenega kanala

R... vrednost rdečega kanala



Slika 14: Prikaz vrednosti GRVI (levo) za ortofoto načrt (desno). S svetlo barvo so prikazana območja z zelo aktivno vegetacijo (visoke vrednosti GRVI), s temnejšo barvo pa območja brez vegetacije (nizke vrednosti GRVI).

Namen izračuna indeksa GRVI je poudarjanje vegetacije na podobi in je v okviru objektno usmerjene klasifikacije služil za odstranjevanje vegetacije iz začetnega sloja stavb.

Objektno usmerjena klasifikacija

V naslednjem koraku smo z metodo objektno usmerjene klasifikacije iz začetnega sloja stavb odstranili vse objekte, ki niso stavbe. Objektno usmerjeno klasifikacijo smo izvajali v programskem orodju Definiens Professional 5.0. Pomemben del objektno usmerjene klasifikacije je izbor podatkov na podlagi katerih se bo vršila klasifikacija, saj nam Definiens omogoča uporabo tako vektorskih kot tudi rastrskih podatkov. Vhodni podatki so:

- digitalni ortofoto načrt (datum zajema 5.4.2007)
- indeks GRVI
- začetni sloj stavb
- Sloj vod kot rezultat klasifikacije ortofoto načrta.

V procesu objektno usmerjene klasifikacije podob ločimo dve pomembni fazi:

- segmentacija oz. razvrstitev posameznih pikslov v segmente ter
- klasifikacija objektov v posamezne razrede

Segmentacija posnetka pomeni razvrstitev pikslov, ki sestavljajo satelitski posnetek, v segmente sorodnih pikslov. Segmenti so realizirani s topološko usklajenimi območji (poligoni). Vsak piksel v podobi pripada natančno določenemu segmentu (bijekcija) v določeni ravni segmentacije. Način izvedbe segmentacije je določen s parametri:

- velikost segmenta (Scale),

- barvna homogenost (Color),
- oblikovna homogenost (Shape),
- kompaktnost (Compactness),
- gladkost (Smoothness).

Cilj segmentacije je doseči izgradnjo takšnih segmentov, ki v posamezni ravni podrobnosti v največji meri zajemajo meje stavb. Segmentacijo smo izvedli na začetnem sloju stavb. Za izgradnjo segmentov smo uporabili parametra velikost (40) in barva (100%). Velikost je določena na podlagi maksimalne heterogenosti segmenta, barva pa na podlagi vrednosti pikslov posameznega kanala.



Slika 15: Primer segmentacije podobe.

Pred nadaljevanjem s klasifikacijo segmentov smo preverili ustreznost segmentacije. V vizualni kontroli segmentacije smo preverili ustreznost tvorbe segmentov. Osnovni predpogoj za uspešnost objektno usmerjene klasifikacije je, da se v enem segmentu nahaja samo ena stavba oz. skupina stikajočih se stavb.

V naslednjem koraku smo segmente klasificirali v razrede na podlagi lastnosti posameznega razreda in določitve pravil klasifikacije. Segmente smo klasificirali v dva razreda:

- stavba in
- drugo.

Vsakemu segmentu smo dodelili povprečno vrednost modificiranega vegetacijskega indeksa, višine iz začetnega sloja stavb, rdečega, zelenega in modrega kanala iz ortofoto načrta ter površino. Na podlagi teh podatkov smo sestavili pravila za klasifikacijo segmentov v izbrana razreda.

Za klasifikacijo segmentov v razred stavbe, smo uporabili naslednje lastnosti:

- minimalna površina segmenta,
- maksimalna vrednost sloja vod,
- maksimalna relativna dolžina meje segmenta s slojem vod

- maksimalna vrednost indeksa GRVI.

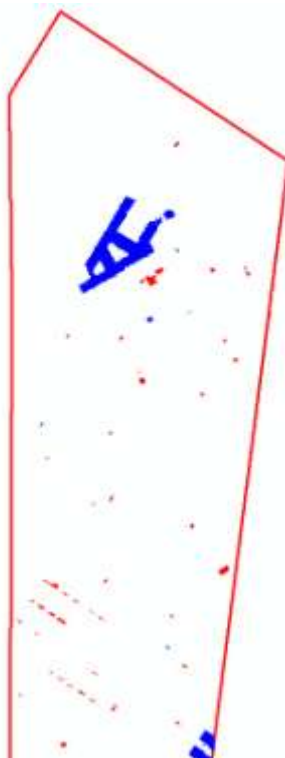
S pogojem minimalne površine segmenta smo izločili objekte manjše od 4 m². S pogojem o maksimalni vrednosti sloja vod, smo izločili segmente na vodni površini. Preostale segmente na vodni površini (čolni), ki so izločeni iz sloja vod, smo odstranili s pogojem o maksimalni relativni dolžini meje segmenta s slojem vod. S pogojem o maksimalni vrednosti indeksa GRVI smo izločili segmente, ki predstavljajo vegetacijo.



Slika 16: Končni rezultat prepoznavanja stavb.

Analiza sprememb

V naslednjem koraku smo izdelali karto sprememb stavb na obravnavanem območju. Primerjali smo sloj stavb, ki smo jih določili s klasifikacijo in sloj stavb, ki smo ga dobili z ročnim zajemom stavb na ortofoto načrtu (CAS2006). Osnovno karto sprememb smo pridobili s presekom obeh slojev stavb, ki je vsebovala tudi objekte, ki dejansko niso predstavljali spremembe, ampak so posledica različne metodologije določitve obrisa stavb (ročni zajem na CAS2006 in klasifikacija). V naslednjem koraku smo odstranili iz osnovne karte sprememb vse objekte, ki predstavljajo spremembe stavb v smislu zmanjšanja ali povečanja objektov. Karta sprememb, ki vsebuje nove in porušene stavbe, je prikazana na sliki 17.



Slika 17: Karta sprememb stavb na Lžanski ulici v Ljubljani. Z modro bravo so označene nove stavbe, z rdečo pa porušene stavbe oz. stavbe, ki z uporabljenim postopkom niso bile razpoznane.

2.1.2.3. Opis rezultatov testiranja

Na podlagi uporabljene metode razpoznavanja stavb, so bile le-te kakovostno določene. Nepopolnost razpoznavanja stavb se je pokazala predvsem pri razpoznavanju manjših stavb (samostoječe garaže, vrtno ute, ipd.). Pri analizi stavb, ki jih z avtomatskim postopkom nismo razpoznali, smo ugotovili, da imajo ti objekti napačno določeno višino (manj kot 1 meter ali celo negativna vrednost). Domnevamo, da so višine teh objektov napačno določene zaradi slabe natančnosti DMR5. Za potrditev te domneve, bi bilo potrebno testirati postopek še z uporabo modela površja, izračunanega iz zadnjega odboja laserskega skeniranja.

Na podlagi primerjave s slojem vod, ki smo jih dobili z zajemom na ortofoto načrtu (CAS2006) smo pridobili sloj sprememb. Nekaj primerov odkritih sprememb je podanih v tabeli 3.

**Stanje na ortofotu (CAS
2006)**

Stanje na ortofotu (2007)

Spremembe

Primer 1



Primer 2



Primer 3



Preglednica 12: Primeri zaznanih sprememb stavb. Z modro barvo so označene nove stavbe, z rdečo pa porušene stavbe.

Primer 1 kaže na zaznano novozgrajeno stavbo (modra barva) in en manjši objekt, ki je bil porušen (rdeča barva).

Primer 2 kaže na nepopolnost zajema stavb z avtomatskim postopkom, ki ni razpoznal samostojnih garaž. Možen razlog za nepopolnost zajema je lahko uporaba DMR5 namesto natančnega DMR-ja, ki bi ga lahko pridobili iz izvedenih podatkov laserskega skeniranja (zadnji odboj).

Primer 3 kaže na dve novozgrajeni stavbi.

2.1.2.4. Opis načina vzdrževanja stavb glede na rezultate testov

S pomočjo avtomatskih postopkov se lahko pripravi karta novih in spremenjenih stavb. Na podlagi karte novih in spremenjenih stavb ter sloja stavb iz DTK5 se pripravi karta sprememb, kjer se posebej označijo nove, porušene in spremenjene stavbe. V naslednjem koraku bi bilo potrebno iz karte vodnih površin odstraniti vse objekte, ki predstavljajo irelevantne spremembe za potrebe vzdrževanja DTK5. Tako obdelana karta sprememb služi kot pripomoček operaterju pri ročnem stereozajemu.

2.1.2.5. Smer nadaljnjega razvoja

V opisanem postopku razpoznavanja stavb smo kot osnovni podatkovni vir uporabili DMP, izdelan iz podatkov laserskega skeniranja (prvi odboj) in DMR5. Na podlagi tega postopka so bile nizke stavbe (samostoječe garaže, vrtne ute, ipd.) slabo razpoznane. Možnost za nepopoln zajem nizkih stavb je lahko nezadostna natančnost uporabljenega DMR5, saj je višina »nerazpoznanih« stavb znašala manj kot 1 meter ali je bila celo negativna. V nadaljnjem razvoju bi bilo potrebno testirati zajem stavb na podlagi podatkov prvega in zadnjega odboja laserskega skeniranja.

Drugi problem uporabe opisane metode predstavljajo podatki laserskega skeniranja. Trenutno v Sloveniji še nimamo predvidenih cikličnih laserskih skeniranj, katerih podatki bi služili za vzdrževanje DTK5. Zato je smiselno, da metodo razvijemo tudi za primere, ko podatkov laserskega snemanja ni na voljo. V nadaljnjem razvoju bi bilo potrebno testirati uporabe opisane metode na podlagi podatkov DMP, ki ga generiramo iz podatkov cikličnega aerosnemanja. V kolikor bi se metoda razpoznavanja stavb izkazala kot uspešna tudi na podlagi avtomatsko generiranega DMP iz stereomodela aeroposnetkov, bi lahko redno vzdrževali podatke, saj se CAS izvaja vsake 3 leta.

2.1.2.6. Uporabljena literatura pri izvedbi testov

Oštir, K. 2006. Daljinsko zaznavanje. Ljubljana, 2006. Založba ZRC.

Karničnik, I., Mesner, N., Dežman Kete, V., Fajdiga, D., Ipša, A., Triglav Čekada, M., Radovan, D. 2008. OKOLJSKO in hidrološko upravljanje z zemljišči : inovativne rešitve za območje CADSES : zaključno poročilo = Environmental Hydrologic and ground management: innovative solutions for the CADES areas. Ljubljana, 2008. Geodetski inštitut Slovenije.

Simler, C., Beumier, C. 2010. Performance Evaluation of Road and Building Classifiers on VHR Images. V: Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA). Ghent, Belgium, 2010.

Lefevre, S., Weber, J., Sheeren, D. 2007. Automatic building extraction in VHR images using advanced morphological operators. V: IEEE/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas (URBAN). Francija 2007.

Grigillo, D., Kosmatin Fras, M., Petrovič, D. 2011. Samodejen zajem in iskanje sprememb v topografskem sloju zgradb iz digitalnega modela površja in multispektralnega ortofota. Geodetski vestnik, 55(1): 11-27, 2011.

Motohka, T., Nasahara, K. N., Oguma, H., Tsuchida, S. Applicability of Green Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology. V: Remote Sensing 2010, 2: 2369-2387.

2.2. Objektni tip: HIDROGRAFIJA

Za testiranje postopkov zajemanja in vzdrževanja objektov hidrografije smo uporabili visokoločljivi satelitski posnetek Ikonos. Objekti, ki se za potrebe DTK5 zajemajo kot os vodotoka in pojavi na vodah, so na izbranih podatkih daljinskega zaznavanja težko določljivi. Zato smo testiranje omejili na objekte, ki se zajemajo kot vodne površine.

2.2.1. Opis vhodnih podatkov

Vhodni podatek za testiranje in implementacijo postopkov zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja objektnega tipa hidrografija je visokoločljivi posnetek IKONOS. V testu smo uporabili posnetek območja v okolici Ptujskega jezera (slika 18). Podatki o satelitskem posnetku so podani v preglednici 13.

Datum snemanja	15.5.2008
Območje snemanja	okolica Ptuja
Senzor	IKONOS-2
Odklon od nadirja	39.1°
Ločljivost v nadirju	0,82 m ČB; 3,2 m MS
Ločljivost 26° odklonski kot	1,0 m ČB; 4,0 m MS
Kanali senzorja	ČB, moder, zelen, rdeč, bližnji IR
Nivo predobdelave	Standard Geometrically Corrected
Metoda georeferenciranja	RPC model
Natančnost georeferenciranja	RMS (Pan): 0.75 m, RMS (MS): 2.3 m

Preglednica 13: Podatki o satelitskem posnetku Ikonos, ki je bil uporabljen za razpoznavanje vodnih površin.



Slika 18: Območje testiranja zajema, razpoznavanja in vzdrževanja objektnega tipa hidrografija je okolica Ptujškega jezera.

Na podlagi vizualne analize smo zaznali dve slabosti izbranega posnetka, ki bi lahko vplivali na popolnost in pravilnost razpoznavanja vodnih površin. To sta:

- datum snemanja v času bujne vegetacije (mesec maj) in
- nizek kot snemanja (odklon od nadirja 39°).

Snemanje v času bujne vegetacije vpliva na »vidnost« objektov na satelitskem posnetku, ki so lahko skriti pod vegetacijo. Posnetki zajeti v tem obdobju so bolj primerni za prepoznavanje vegetacije, ki je v tem obdobju v fazi rasti, manj pa za določanje drugih objektnih tipov, saj so lahko popolnoma ali delno prekriti z vegetacijo.

Nizek kot snemanja vpliva na zvrnjenost visokih objektov na posnetku, ki jih ne moremo odstraniti v postopku ortorektifikacije (npr. drevesa, zgradbe, ipd). Zaradi zvrnjenosti objektov se lahko pojavijo težave pri razpoznavanju meje vodne površine. Na sliki 19 je prikazan primer zakrivanja vodne površine na satelitskem posnetku, zaradi vegetacije in dreves na bregovih reke.



Slika 19: Primer prekrivanja vodne površine z vegetacijo na satelitskem posnetku Ikonos (desna slika) in na ortofoto načrtu (leva slika).

2.2.2. Opis testiranja in implementacije postopkov

Testiranje in implementacijo postopkov razpoznavanja vodnih površin smo izvedli v naslednjih korakih:

- Kauth-Thomasova transformacija izvornega satelitskega posnetka,
- izračun normiranega vegetacijskega indeksa,
- segmentacija satelitskega posnetka,
- objektno usmerjena klasifikacija in
- analiza sprememb vodnih površin.

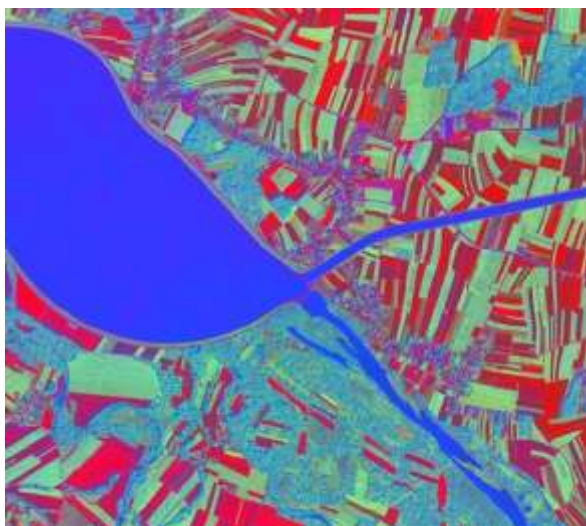
Kauth-Thomasova transformacija

Kauth-Thomasovo (oz. Tasseled cup) transformacijo posnetka smo uporabili z namenom boljšega razpoznavanja mej vodnih površin na obravnavanem območju. S postopkom transformacije iz večkanalnega posnetka ustvarimo kompozitni posnetek (Oštir, 2006). Vrednost osnovnih kanalov kompozitnega posnetka (svetlost, zelenost in vlažnost) je določena kot utežna vsota izvornih kanalov posnetka (rdeč, zelen, moder in infrardeč). Vrednosti uteži za posamezne kanale sensorja IKONOS podaja tabela 2 (Horne, 2003).

Kanal	Svetlost	Zelenost	Vlažnost
Moder	0,326	-0,311	-0,612
Zelen	0,509	-0,356	-0,312
Rdeč	0,560	-0,325	0,722
Infrardeč	0,567	0,819	-0,081

Preglednica 14: Uteži Kauth-Thomasove transformacije za sensor IKONOS (Horne, 2003).

Kompozitno podobo, ki je rezultat Kauth-Thomasove transformacije posnetka Ikonos, prikazuje Slika 20.



Slika 20: Transformacija satelitskega posnetka IKONOS s Kauth-Thomasovo transformacijo. V rdeči barvi je prikazana svetlost, v zeleni zelenost in v modri vlažnost.

Kompozitna podoba s tremi kanali (svetlost, zelenost in vlažnost) poudari vodne površine in meje vodnih površin na posnetku, zato smo jo uporabili za določitev mej vodnih površin. Testi so pokazali, da je razpoznavanje meje vodnih površin uspešnejše na kompozitni podobi pridobljeni s Kauth Thomasovo transformacijo kot na izvornem posnetku Ikonos.

Normiran vegetacijski indeks

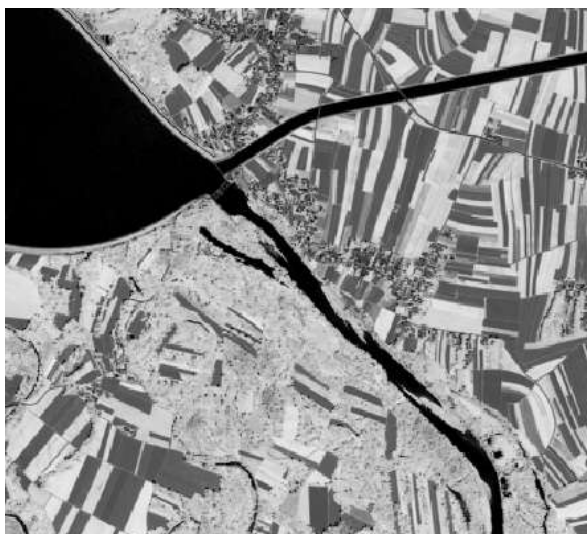
Namen izračuna normiranega vegetacijskega indeksa (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) je poudarjanje vegetacije na satelitskem posnetku. Indeks NDVI je izračunan kot razmerje med razliko infrardečega in rdečega kanala ter njuno vsoto.

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}$$

Kjer je:

IR ... vrednost bližnjega infrardečega kanala

R... vrednost rdečega kanala



Slika 21: Prikaz vrednosti NDVI za podobo IKONOS. S svetlo barvo so prikazana območja z zelo aktivno vegetacijo (visoke vrednosti NDVI), s temnejšo barvo pa območja brez vegetacije (nizke vrednosti NDVI).

Indeks NDVI zavzame vrednosti med -1 in 1, pri čemer višje vrednosti pomenijo intenzivno vegetacijo, nižje vrednosti pa vodo, prst in urbane površine. Vrednosti indeksa NDVI smo v procesu razpoznavanja vodnih površin uporabili za izločanje vegetacije iz sloja površin z visoko vlažnostjo, ki smo ga izračunali s Kauth-Thomasovo transformacijo podobe.

Objektno usmerjena klasifikacija

V naslednjem koraku smo z metodo objektno usmerjene klasifikacije razpoznali vodne površine in jih zapisali v vektorski sloj podatkov. Objektno usmerjeno klasifikacijo smo izvajali v programskem orodju Definiens Professional 5.0.

Pomemben del objektno usmerjene klasifikacije je izbor podatkov na podlagi katerih se bo vršila klasifikacija, saj nam programska oprema omogoča uporabo tako vektorskih kot tudi rastrskih podatkov. Vhodni podatki za razpoznavanje vodnih površin na območju Ptujkega jezera so:

- satelitski posnetek Ikonos (datum zajema 15.5.2008),
- transformirana Ikonos podoba s Kauth Thomasovo transformacijo,
- indeks NDVI in

- maska stavb.

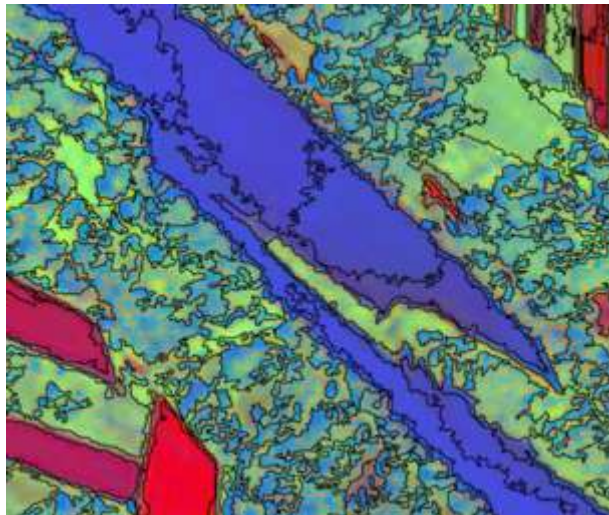
V procesu objektno usmerjene klasifikacije posnetkov ločimo dve pomembni fazi:

- segmentacija oz. razvrstitev posameznih pikslov v segmente ter
- klasifikacija segmentov v posamezne razrede.

Segmentacija posnetka pomeni razvrstitev pikslov, ki sestavljajo satelitski posnetek, v segmente sorodnih pikslov. Segmenti so realizirani s topološko usklajenimi območji (poligoni). Vsak piksel v podobi pripada natančno določenemu segmentu (bijekcija) v določeni ravni segmentacije. Način izvedbe segmentacije je določen s parametri:

- velikost segmenta (Scale),
- barvna homogenost (Color),
- oblikovna homogenost (Shape),
- kompaktnost (Compactness),
- gladkost (Smoothness).

Cilj segmentacije je doseči izgradnjo takšnih segmentov, ki v posamezni ravni podrobnosti v največji meri zajemajo meje vodnih površin. Segmentacijo smo izvedli na podlagi transformirane lkonos podobe (Kauth Thomasova transformacija), saj so meje vodnih površine na tej podobi lažje določljive. Za izgradnjo segmentov smo uporabili parametra velikost (60) in barva (100%). Velikost je določena na podlagi maksimalne heterogenosti segmenta, barva pa na podlagi vrednosti pikslov posameznega kanala. Za potrebe razpoznavanja vodnih površin oblika segmenta nima nobenega vpliva, saj so meje vodne površine lahko tako pravilne (umetni bregovi) kot tudi nepravilne (naravni bregovi) oblike. Iz tega razloga parametri homogenost, kompaktnost in gladkost niso vplivali na oblikovanje segmentov.



Slika 22: Primer segmentacije podobe.

Pred postopkom klasifikacije smo z vizualno kontrolo segmentacije preverili ustreznost tvorbe segmentov. Osnovni predpogoj za uspešnost objektno usmerjene klasifikacije je, da se v enem segmentu nahaja samo vodna površina ali samo druga vrsta površine.

V naslednjem koraku smo segmente klasificirali v razrede na podlagi lastnosti posameznega razreda in določitve pravil klasifikacije. Uporabili smo dva pristopa klasifikacije, ki smo ju medsebojno kombinirali glede na problematiko:

- klasifikacija na osnovi vzorca in
- klasifikacija na osnovi pomenskih povezav med objekti.

Klasifikacija na osnovi vzorca sloni na ročni določitvi vzorcev posameznega razreda. Za določanje verjetnosti pripadnosti določenega segmenta posameznemu razredu, se uporabi metoda najbližjega soseda. Za klasifikacijo na osnovi vzorca so bili uporabljeni izvorni kanali posnetka Ikonos (rdeč, zelen, moder in infrardeč) in sloj svetlosti posnetka.

Klasifikacija na osnovi pomenskih povezav med objekti temelji na prostorskih lastnostih segmentov oblika, topološki odnosi, vertikalna povezanost...).

V postopku klasifikacije smo uporabili vse vhodne podatke

- satelitski posnetek Ikonos (datum zajema 15.5.2008),
- transformirana Ikonos podoba s Kauth Thomasovo transformacijo,
- indeks NDVI in
- maska stavb.

V prvem koraku smo segmente klasificirali v dva razreda: vodne površine in ostalo. Pri razpoznavanju segmentov z vodno površino so težave predstavljale predvsem gozdne in urbane površine ter neobdelana polja, ki so bila delno klasificirana kot vodna površina. Zato smo v nadaljevanju razred ostalo razčlenili v 3 razrede, katerih namen je bil predvsem izločitev nepravilno klasificiranih vodnih površin. To so:

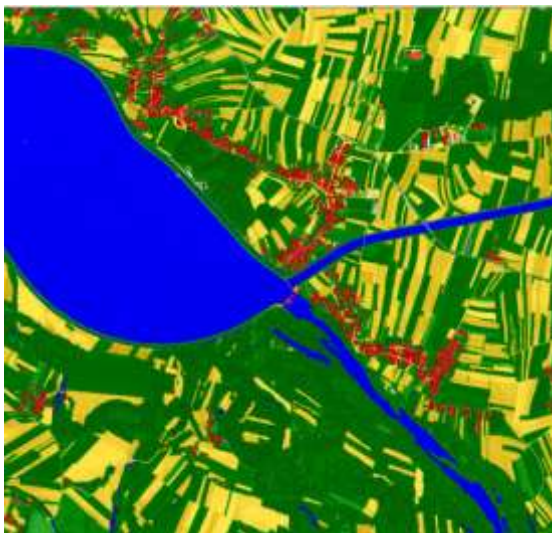
- neobdelana polja,
- urbane površine in
- vegetacija.

Neobdelana polja so klasificirana z metodo najbližjega soseda.

Urbane površine so klasificirane na podlagi maske stavb, ki je bila izdelana iz podatkov DTK5.

Vegetacija je klasificirana z metodo najbližjega soseda, sloja svetlosti podobe in sloja NDVI.

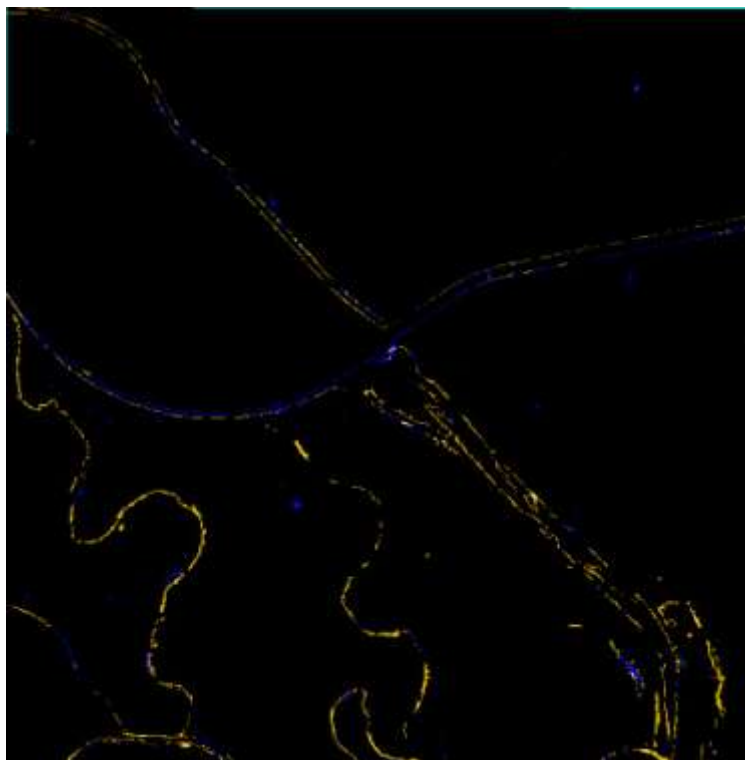
Vodne površine so klasificirane z metodo najbližjega soseda v kombinaciji s slojem NDVI, vlažnosti in GLCM kontrasta v smeri 315°. Problem pri klasifikaciji vodnih površin so predstavljale predvsem sence, ki smo jih deloma odstranili z GLCM kontrastom.



Slika 23: Končni rezultat prepoznavanja vodnih površin iz satelitske podobe z objektno usmerjeno klasifikacijo. Na karti so z modro prikazane vodne površine, z rdečo urbane, z zeleno vegetacija in z rumeno neobdelana polja.

Analiza sprememb vodnih površin

V naslednjem koraku smo izdelali karto sprememb vodnih površin na obravnavanem območju. Primerjali smo sloj vodnih površin, ki smo jih določili s klasifikacijo satelitske podobe Ikonos in sloj vodnih površin, ki smo ga dobili z ročnim zajemom vodnih površin na ortofoto načrtu (CAS2006). Rezultat primerjave je karta z dvema slojema podatkov: nove vodne površine (v modri barvi) in izsušene vodne površine (v rumeni barvi). Karta sprememb je prikazana na sliki 24.



Slika 24: Karta sprememb vodnih površin v okolici Ptujkega jezera. Z modro bravo so označene nove vodne površine, z rumeno pa izsušene vodne površine oz. vodne površine, ki z avtomatskim postopkom niso bile razpoznane.

2.2.3. Opis rezultatov testiranja

Na podlagi uporabljene metode razpoznavanja vodnih površin na satelitskem posnetku, so bile le-te kakovostno določene. Na podlagi primerjave s slojem vod, ki smo jih dobili z zajemom na ortofoto načrtu (CAS2006), smo izdelali karto sprememb. Nekaj primerov odkritih sprememb je podanih v tabeli 3.

Primer 1 kaže na zaznane spremembe v bazenih na jezu. Z avtomatskim postopkom so identificirane površine, ki niso več prekrte z vodo (jez, obalna linija in čoln).

Primer 2 kaže na zaznane spremembe v velikosti jezera, novonastalo jezero ter na izločitev manjšega pomola in mosta iz sloja vodnih površin.

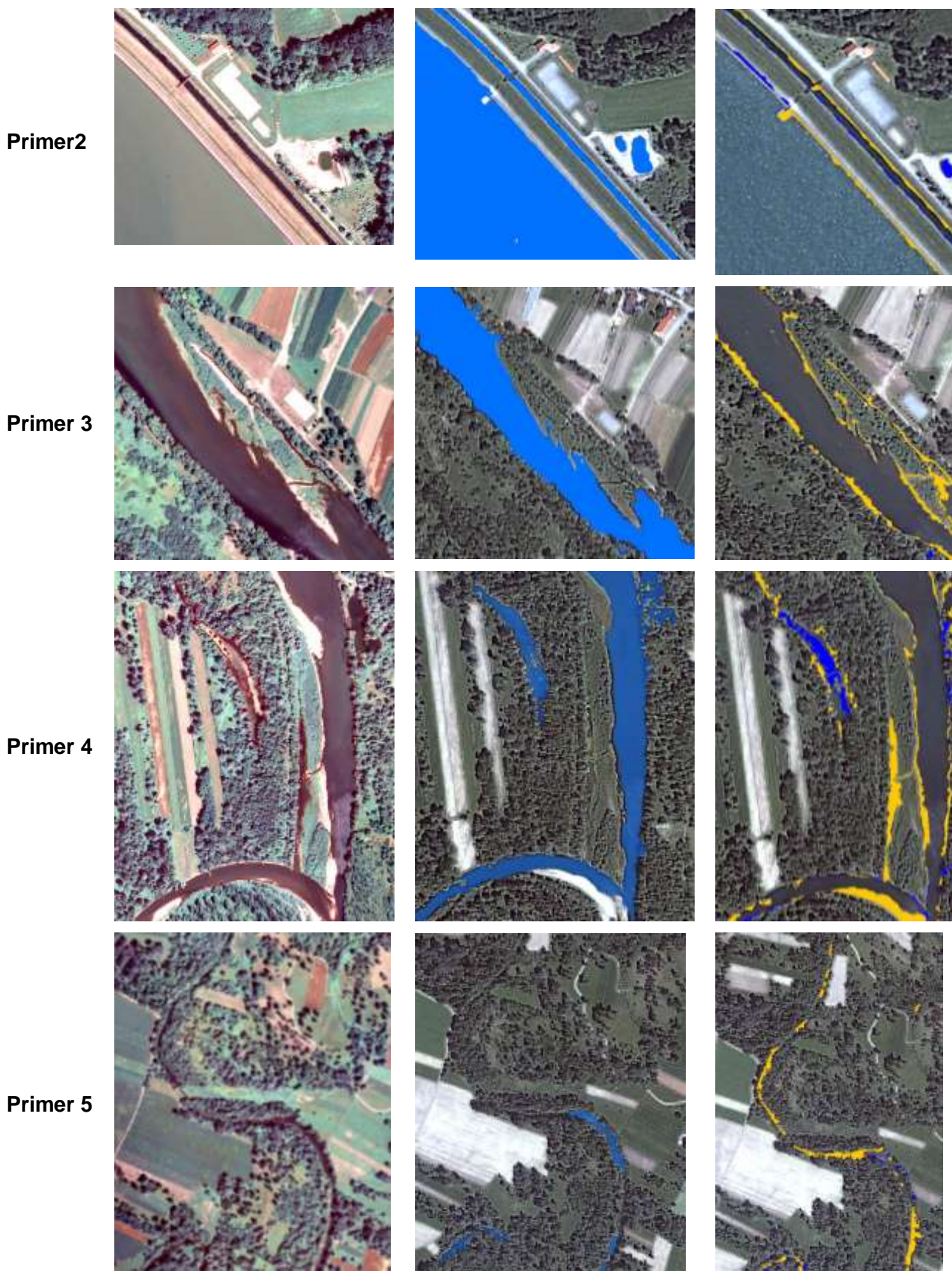
Primer 3 kaže na spremembo obalne linije, ki jo je mogoče zaznati vzdolž celotne meje vodne površine. Razlogov za to je lahko več:

- nepopolno razpoznavanje vodne površine z avtomatskim postopkom,
- različni časi snemanj in posledično različni vodostaji vodne površine,
- slaba položajna natančnost določitve meje vodne površine na posnetku (satelitski in ortofoto) in
- različna stopnja zaraščenosti bregov vodne površine, ki vpliva na vidnost vodne površine na posnetku.

Primer 4 kaže na zaznane spremembe reke. Glede na stanje na ortofoto načrtu (2006) je na satelitskem posnetku razpoznanih bistveno manj vodnih površin. Gre tako za dejanske spremembe kot tudi za nepopolno razpoznavanje vodnih površin na satelitskem posnetku.

Primer 5 kaže na zaznane spremembe reke kot posledica napak pri razpoznavanju vodne površine na satelitskem posnetku. Razpoznavanje vodnih površin (reke), katerih bregovi so obrasli z drevesi, je nepopolno. Na ortofoto načrtu (leva slika) je reka vidna, medtem ko je na satelitskem posnetku (desna slika) vidna samo na posameznih odsekih. Slabo razpoznavanje vodne površine na posnetku je posledica popolnega prekrivanja vodne površine z vegetacijo na posameznih odsekih.





Preglednica 15: Izbrani primeri odkritih sprememb vodnih površin.

2.2.4. Opis načina vzdrževanja hidrografije glede na rezultate testov

Na podlagi izvedenega testa menimo, da je s pomočjo opisanih postopkov razpoznavanja in zajemanja objektov objektnega tipa hidrografija, smiselno samo vzdrževanje objektov, ki se zajemajo kot vodne površine. Razpoznavanja objektov, ki se zajemajo z osjo vodotoka, bi bilo nepopolno.

S pomočjo avtomatskih postopkov se lahko pripravi karta vodnih površin na novem viru. Na podlagi karte novih vodnih površin in vodnih površin v DTK5 se pripravi karta sprememb vodnih površin, kjer se posebej označijo nove vodne površine in izsušene vodne površine. V naslednjem koraku bi bilo potrebno iz karte vodnih površin odstraniti vse objekte, ki predstavljajo irelevantne spremembe za potrebe vzdrževanja DTK5. Tako obdelana karta sprememb služi kot pripomoček operaterju pri stereoizjemu.

2.2.5. Smer nadaljnjega razvoja

Razpoznavanje vodnih površin na satelitskih posnetkih je pogojeno s časom snemanja. Ta vpliva na poraščenost okolice vodne površine in s tem na natančnost določitve meje vodne površine in na vidnost vodne površine. V času bujne rasti vegetacije (pomlad/poletje) na obrobju vodne površine, le-ta lahko deloma ali v celoti prekriva vodno površino in je ni mogoče zajeti na posnetku (razen stereoizjem v 3D). Od časa snemanja je odvisen tudi vodostaj vodnih površin in potek obalne linije. V naslednjih fazah bi bilo potrebno opisani postopek nadgraditi s podatki laserskih skeniranj. Na ta način bi lahko izboljšali popolnost razpoznavanja vodnih površin.

Poleg izboljšanja avtomatskih postopkov razpoznavanja vodnih površin bi bilo potrebno tudi natančneje opredeliti vsebino karte sprememb. Definirati je potrebno, kaj se za potrebe vzdrževanja DTK5 smatra kot sprememba in kaj ne (minimalni odmik obalne linije, minimalna površina..).

2.2.6. Uporabljena literatura pri izvedbi testov

Horne, J. M. 2003. A Tasseled Cup Transformation for Ikonos Images. V: ASPRS 2003 Annual Conference Proceedings. Anchorage, Alaska, maj 2003.

Oštir, K. 2006. Daljinsko zaznavanje. Ljubljana, 2006. Založba ZRC.

GeoEye, 2011. GeoEye Product Guide. <http://www.geoeye.com> (12.8.2011).

Karničnik, I., Mesner, N., Dežman Kete, V., Fajdiga, D., Ipša, A., Triglav Čekada, M., Radovan, D. 2008. OKOLJSKO in hidrološko upravljanje z zemljišči : inovativne rešitve za območje CADSES : zaključno poročilo = Environmental Hydrologic and ground management: innovative solutions for the CADES areas. Ljubljana, 2008. Geodetski inštitut Slovenije.

Simler, C., Beumier, C. 2010. Performance Evaluation of Road and Building Classifiers on VHR Images. V: Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA). Ghent, Belgium, 2010.

Lefevre, S., Weber, J., Sheeren, D. 2007. Automatic building extraction in VHR images using advanced morphological operators. V: IEEE/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas (URBAN). Francija 2007.

2.3. Objektni tip: RELIEF

2.3.1. Test 1

Kot osnovni (izhodiščni) podatki oz. obstoječa podatkovna topografska zbirka v okviru testov je predvidena DTK 5, ki pa podatkov o reliefu ne vsebuje. Zaradi tega smo pri analizi možnosti vzdrževanja reliefa kot obstoječo topografsko zbirko uporabili:

- a) DMV 5 kot najpodrobnejši trenutno razpoložljiv sloj podatkov o reliefu: izdelan v letu 2006 vzporedno s cikličnim aerosnemanjem in izdelavo ortofota, poleg podatkov cikličnega aerosnemanja so bili za izdelavo modela uporabljeni še nekateri drugi podatki, ocenjena natančnost modela je 1 m na odprtih območjih in 3 m na zaraščenem terenu
- b) DMV 12,5 kot homogen in morfološko ustrežnejši model od DMV 5: v model je vključenih več kot 25 vrst višinskih podatkov, zajetih od leta 1947 do leta 2005, kot so digitalni modeli reliefa s prostorsko ločljivostjo od 10 do 600 m, digitalizirane plastnice, sloji cest in železnic različnih meril, geodetske točke, kataster stavb ipd., ocenjena natančnost modela je 3,2 m (ravnine 1,1 m, gričevja 2,3 m, hribovja 3,8 m, gorovja 7,0 m)
- c) Sloj reliefa DTK 25, ki poleg podatkov o višinah vsebuje tudi pogojne prikaze značilnih reliefnih oblik (skoki, skalovje, jarki, balvani...).

2.3.1.1. Opis vhodnih podatkov glede na izvedena testiranja za posamezen objektni tip

Kot vhodne podatke smo uporabili naslednje načine pridobivanja izvornih podatkov:

A. Aerosnemanje

- CAS 2006 (orientirani aeroposnetki, DOF, DMR)
- CAS 2009 - 2011 (orientirani aeroposnetki, DOF, DMR)

Kot osnovne vhodne podatke smo uporabili aeroposnetke ter parametre zunanje orientacije Cikličnega aerosnemanja Slovenije 2006 in 2009. S temi podatki smo izdelali štiri DMVje za območje Odlagališča odpadkov Barje v formatu GeoTIFF:

- DMV s prostorsko ločljivostjo 5 m iz CAS 06
- DMV s prostorsko ločljivostjo 12,5 m iz CAS 06
- DMV s prostorsko ločljivostjo 5 m iz CAS 09
- DMV s prostorsko ločljivostjo 12,5 m iz CAS 09

Območje DMV:

Y: 459170 – 460320 X: 97050 – 98100 (1150 m x 1050 m)



Slika 25: Območje testiranja na podlagi podatkov aerosnemanja.

B. Satelitsko snemanje

Analiza uporabe stereoparov satelitskega snemanja za potrebe zajema in vzdrževanja podatkov o reliefu je bila v Sloveniji že opravljena in objavljena v Geodetskem vestniku (Marsetič, Oštir, 2010). Objavljeni izsledki kažejo na to, da je dosegljiva višinska natančnost okoli 8 m, kar je znatno slabše kot je ciljna natančnost obstoječe naloge, zato satelitski posnetki kot vir niso primerni. Zaradi tega dodatnega testa nismo izvajali, kljub temu, da smo imeli na voljo orientiran stereopar IKONOS z območja Cerknice s prostorsko ločljivostjo 1 m za pankromatski kanal. V nadaljnjih zaključkih povzemamo ugotovitve omenjenega članka.

C. Aero lasersko skeniranje

Uporabili smo štiri testna območja, na dveh območjih smo uporabili podatke namenskega snemanja, na dveh območjih pa podatke systemskega snemanja Slovenije, ki se je začelo v letu 2011:

C1: območje Koroške Bele (KB)

Y: 430269,44 – 432280,41, X: 142269,31 – 143880,69 (2 × 1,6 km)

Oblika podatkov: DMV 0,5 m

Snemanje 5/2009, višina leta 1000 m, Flycom, namen poplavna študija

C2: območje Jereke (JE)

Y: 420100 – 421300, X: 127000 – 129000 (2 × 1,2 km)

Oblika podatkov: klasificiran oblak točk, ~ 12 točk/m²

višina leta 500 m, Flycom, namen snemanje daljnovodov

Snemanje 7/2008,

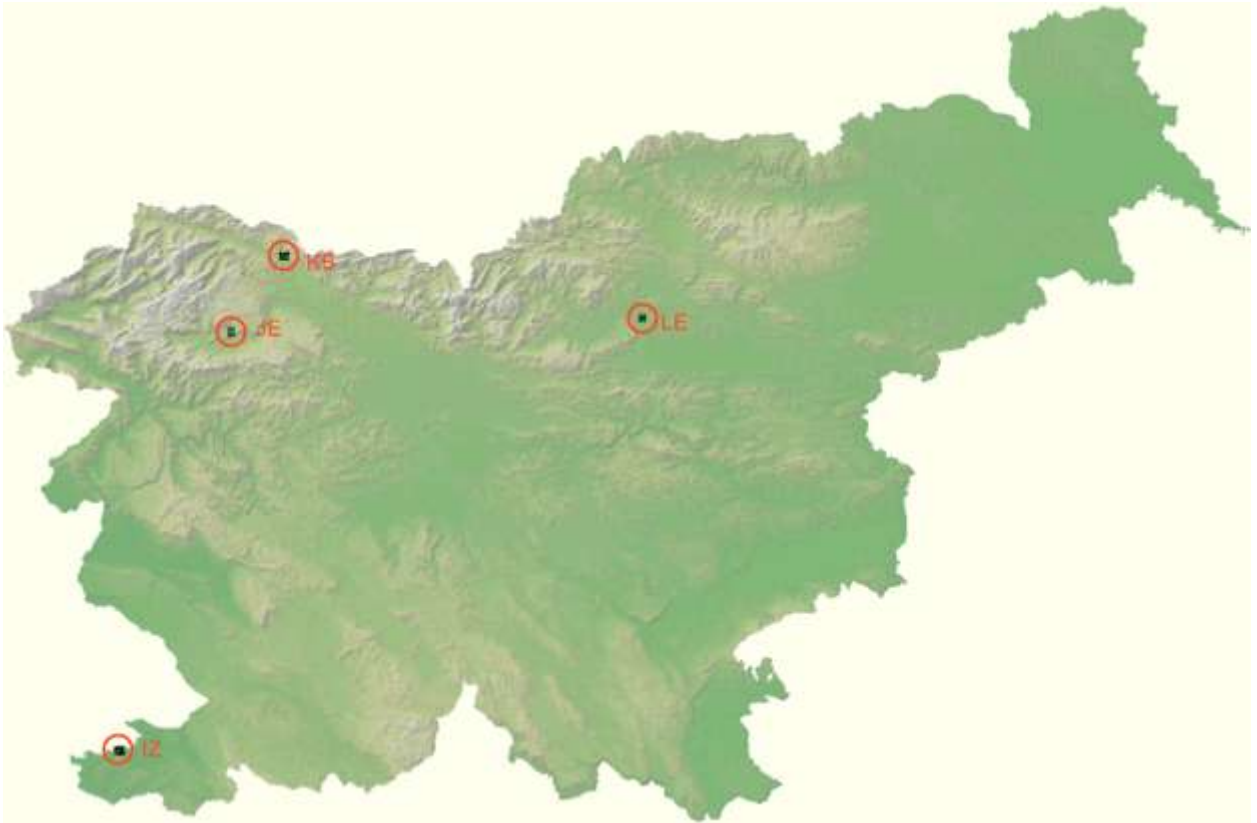
C3: območje B21, Izola - Markovec (IZ)

Y: 397350 – 399375, X: 43580 – 45520 (2 × 2 km)

Oblika podatkov: DMV 1 m

Snemanje 5/2011, Geoin, sistemsko snemanje Slovenije

C4: območje A6, Letuš (LE)
Y: 501875 - 503400, X: 130000 - 131500 (1,5 × 1,5 km)
Oblika podatkov: DMV 1 m
Snemanje 5/2011, Geoin, sistemsko snemanje Slovenije



Slika 26: Območje testiranja na podlagi podatkov aero laserskega skeniranja.

2.3.1.2. Opis testiranja in implementacije postopkov

A. Aerosnemanje

1 Postopki predobdelave izvornih podatkov

a) Izdelava DMV iz aeroposnetkov CAS

Uporabili smo aeroposnetke Cikličnega aerosnemanja Slovenije iz leta 2006 in 2009 in njihove orientacijske parametre. Z metodami samodejnega slikovnega ujemanja smo v programu *Socet Set*, ki vključuje tudi nekatere samodejne postopke za filtriranje visokih objektov iz DMP, izdelali DMV. Parametre filtriranja smo določili tako, da se odstrani večina visokih objektov (stavbe, drevesa) obenem pa se ohranijo geomorfološke značilnosti zemeljskega površja. Najpomembnejša parametra filtriranja sta širina in višina objektov. Drugi parametri vplivajo na glajenje, natančnost in strategijo izdelave DMV-ja.

Za naše območje so se kot optimalni izkazali naslednji parametri:

- Višina objektov: 2 - 30
- Širina objektov: 2 – 80
- Elevation Deviation: 1

- Minimal Depth: 3
- Smoothing: low

Naknadno smo DMV obdelali še z ročnimi algoritmi za urejanje območij, saj se višinske točke na obsežnejših gozdnih površinah in na nekaterih drevesih na robu DMVja niso odstranile. Uporabili smo naslednje algoritme:

- *Smoothing convolution* – glajenje,
- *Bare earth dense tree canopy lie on ground* – filtriranje večjih, gostih gozdnih površin,
- *1st order fill* – odstranjevanje posameznih objektov.

Rezultat sta dva DMVja (1. CAS06 in 2. CAS09) prostorske ločljivosti 1 m v formatu GeoTIFF.

b) Transformacija koordinatnih sistemov

Ciklično aerosnemanje 2009 je bilo izvedeno v novem koordinatnem sistemu (D96), zato smo DMVje, pridobljene iz CAS09, transformirali v star državni koordinatni sistem (D48). Območje obdelave je relativno majhno (1,2 km²), zato smo izvedli le premik v dveh smereh; 371 m proti zahodu ter 486 m proti jugu.

c) Prevzorčenje

Izdelane DMVje smo v programu ArcGIS prevzorčili na velikost celice 5 m in 12,5 m, da smo jih lažje primerjali z uradnimi DMVji (DMV 05 in DMV 12,5). Za ta namen smo uporabili bilinearno interpolacijo.

2 Iskanje sprememb za namen vzdrževanja TZ

Glavni cilj naloge je iskanje sprememb za potrebe vzdrževanja topografskih evidenc.

Za namen vzdrževanja podatkov o reliefu in iskanje sprememb na DMRju smo uporabili podatke CAS. Kot obstoječe TZ smo uporabili DMV 5 in DMV 12,5 od katerih smo odšteli izdelane DMVje iz aeroposnetkov.

Za namen pridobitve višinskih razlik med izhodiščnim in vhodnim DMVjem smo uporabili funkcijo *'minus'* v programskem paketu *ArcGIS*. Tako pridobljeni podatkovni sloj prikazuje višinske razlike, ki so posledica:

- različne točnosti in morebitnih grobih napak posameznega vira
- dejanskih sprememb površja.

Za sloj višinskih razlik moramo izločiti razlike, ki so manjše od mejne vrednosti določene z višinsko točnostjo izhodiščnega in vhodnega DMVja.

$$\sigma_{\text{razlike}}^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2, \text{ kjer je točnost DMV1: } \sigma_1 \text{ (RMSE}_1\text{) in DMV2: } \sigma_2 \text{ (RMSE}_2\text{)}$$

Podatek	Velikost celice	Ocenjen RMSE
DMV125	12,5 m	2,3 m
DMV5	5 m	1 m
DMV (iz aeroposnetkov)	1 m	1 m

Preglednica 16: Ocena natančnosti DMV.

Za DMV12,5 smo privzeli RMSE 2,3 m, kar je najslabša višinska točnost na območju obdelave in se nanaša na gričevnata območja (uradni podatek, GURS).

Za DMV 5 smo ocenili RMSE na 1 m, saj je območje obdelave pretežno ravninsko in manj zaraščeno.

RMSE za DMV izdelan iz aeroposnetkov smo empirično ocenili na 1 m. Ocena se nanaša na ravninska in manj poraščena območja.

Ocena višinske točnosti pri vzdrževanju DMV 5:

Za DMV5 - DMV_{cas}:

$$\sigma_{\text{razlike}}^2 = 1^2 + 1^2 = 2 \rightarrow \sigma = 1,41 \text{ m} \rightarrow 2\sigma = 2,82 \text{ m}, 3\sigma = 4,24 \text{ m}$$

Ocena višinske točnosti pri vzdrževanju DMV 12,5:

Za DMV125 – DMV_{cas}

$$\sigma_{\text{razlike}}^2 = 2,3^2 + 1^2 = 10,33 \rightarrow \sigma = 2,51 \text{ m} \rightarrow 2\sigma = 5,02 \text{ m}, 3\sigma = 7,52 \text{ m}$$

Mejni vrednosti višinskih razlik med DMRjema nad oz. pod katerima bomo določili spremembe površja postavimo glede na tveganje, ki smo ga pripravljene sprejeti. Če naj mejna vrednost presega 95% vseh slučajnih napak uporabimo za mejno vrednost $2\sigma_{\text{razlike}}$, če želimo zaobjeti 99% vseh slučajnih napak uporabimo mejno vrednost $3\sigma_{\text{razlike}}$. Povedano drugače, za višinsko razliko, ki jo bomo pripisali spremembi površja bo veljajo 5% (ali 1%) tveganje, da je v resnici posledica slučajne napake.

Izračunane višinske razlike nad določeno mejno vrednostjo so tako lahko posledica slučajnih (in grobih) napak v obeh DMRjih, pa tudi dejanskih sprememb površja.

3 Zajem podatkov za namen vzdrževanja TZ

Identificirali smo območja s statistično značilno avtokorelacijo s pomočjo lokalnega Morans-ovega avtokorelacijskega indeksa. To so območja potencialnih sprememb.

4 Vnos in brisanje podatkov pri vzdrževanju TZ

Spremembe se podajo v obliki rastrskega sloja sprememb, z isto velikostjo celice, kot jo imajo podatki v ciljni TZ. Spremembe se vključi z metodo usklajevanja robov (Podobnikar, 2001). Če smo primerjavo izvedli v novem državnem KS, je potrebno območje sprememb ustrezno transformirati.

C. Aero lasersko skeniranje

1 Postopki predobdelave izvornih podatkov

a) izboljšanje georeferenciranja

Čeprav so bili tako izhodiščni podatki (obstoječi DMV) kot vhodni podatki (lidarski DMV) georeferencirani, smo v nekaterih primerih ugotovili sistematično razliko višin obeh virov, ki so bile lahko le posledica neustreznega položajnega ujemanja modelov. Za izboljšanje georeferenciranja smo uporabili algoritem ujemanja ploskev s pogojem minimalne vsote kvadratov odstopanj med ploskvama (Pâquet, 2004). Izkazalo se je, da je horizontalni premik smiseln za DMV12,5 na območju Koroške Bele. V ostalih primerih se je prostorska razporeditev višinskih razlik po zamikih poslabšala.

b) transformacija koordinatnih sistemov

Za območji LE (A6) in IZ (B21) smo morali lidarski DMR transformirati v star državni KS. Ker gre za majhni območji, smo izvedli le premik v ravnini. Transformacijska parametra smo določili na dva načina:

- s pomočjo šestih veznih točk s koordinatami v obeh KS; izračunali smo povprečne razlike koordinat identičnih točk v obeh KS,
- S pomočjo algoritma ujemanja ploskev, pri čemer smo dober medsebojni začetni položaj obeh DMRjev dosegli s premikom 370 m proti zahodu in 485 m proti jugu.

Ocenjujemo, da je tako v primeru a) kot b) medsebojna položajna natančnost obeh DMRjev boljša od 0,5 m.

c) prevzorčenje

Potrebno je zagotoviti isto velikost celice v obeh primerjanih DMRjih. Zato smo lidarski DMR prevzorčili na velikost celice 12,5 m in 5 m, tako da smo izračunali povprečno vrednost višin znotraj posamezne celice.

2 Iskanje sprememb za namen vzdrževanja TZ

Glavni cilj naloge je iskanje sprememb za potrebe vzdrževanja topografskih evidenc. Primerjana DMRja (izhodiščni in vhodni) smo med seboj odšteli, tako da smo odšteli višini v vsaki prilegajoči se celici. Razlike manjše od mejne vrednosti, ki jo določa višinska točnost izhodiščnega in vhodnega DMV, moramo pred obravnavo izločiti.

$$\text{DMV1: } \sigma_1 (RMSE_1) \quad \text{DMV2: } \sigma_2 (RMSE_2)$$

$$\text{razlike} = \text{DMV2-DMV1: } \sigma_{\text{razlike}}^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2$$

Podatek	Velikost celice	Ocenjen RMSE
DMV125	12,5m	3,2 m (uradni podatek, GURS) (1,1, 2,3, 3,8, 7)
DMV5	5 m	pribl. 3 m (ocena)
DMR05, DMR1 (LIDARSKI DMR)	0,5 m, 1 m	0,15 m (razpisna dokumentacija za LS in aerofoto. 2011)

Preglednica 17: Ocena natančnosti DMV.

Ocena višinske točnosti pri vzdrževanju DMV 5:

Za DMV5 - DMR05:

$$\sigma_{\text{razlike}}^2 = 3^2 + 0,15^2 = 9,09 \rightarrow \sigma = 3,00 \text{ m} \rightarrow 2\sigma = 6,00 \text{ m}, 3\sigma = 9,01 \text{ m}$$

Ocena višinske točnosti pri vzdrževanju DMV 12,5:

Za DMV125 – DMR05 (ocenjena srednja točnost):

$$\sigma_{\text{razlike}}^2 = 3,2^2 + 0,15^2 = 10,33 \rightarrow \sigma = 3,20 \text{ m} \rightarrow 2\sigma = 6,4 \text{ m}, 3\sigma = 9,61 \text{ m}$$

Ocena točnosti glede na značaj površja:

	$\sigma_{razlike} [m]$	$2\sigma [m]$	$3\sigma [m]$
Ravnina	1,14	2,24	3,42
Gričevje	2,32	4,64	6,96
Hribovje	3,81	7,62	11,44
Gorovje	7	14	21

Preglednica 18: Ocena višinske točnosti glede na značaj površja.

Vidimo, da različna točnost DMRja glede na tip površja (ravnina, gričevje,...) močno vpliva na prag zaznavanja sprememb. Mejni vrednosti višinskih razlik med DMRjema nad oz. pod katerima bomo določili spremembe površja postavimo glede na tveganje, ki smo ga pripravljene sprejeti. Če naj mejna vrednost presega 95% vseh slučajnih napak uporabimo za mejno vrednost $2\sigma_{razlike}$, če želimo zaobjeti 99% vseh slučajnih napak uporabimo mejno vrednost $3\sigma_{razlike}$. Povedano drugače, za višinsko razliko, ki jo bomo pripisali spremembi površja bo veljajo 5% (ali 1%) tveganje, da je v resnici posledica slučajne napake.

Izračunane višinske razlike nad določeno mejno vrednostjo so tako lahko posledica slučajnih (in grobih) napak v obeh DMRjih (možno predvsem pri LIDARskih DMRjih), pa tudi dejanskih sprememb površja.

3 Zajem podatkov za namen vzdrževanja TZ

Identificirali smo območja s statistično značilno avtokorelacijo s pomočjo lokalnega Moranovega avtokorelacijskega indeksa. To so območja potencialnih sprememb.

4 Vnos in brisanje podatkov pri vzdrževanju TZ

Spremembe se podajo v obliki rastrskega sloja sprememb, z isto velikostjo celice kot jo imajo podatki v ciljni TZ. Spremembe se vključi z metodo usklajevanja robov (Podobnikar, 2001). Če smo primerjavo izvedli v novem državnem KS, je potrebno območje sprememb ustrezno transformirati.

5 Polsamodejno prepoznavanje značilnih reliefnih oblik

Obstoječe evidence o reliefu v Sloveniji so organizirane izključno v obliki pravilne geometrijske (kvadratne) mreže višin, ki ne omogočajo popolnega opisa reliefa površja. Med manjkajoče podatke moramo prišteti vsaj še ekstremne točke (vrhovi, dna kotanj) in značilne lomne linije. Ker je eden namenov osnovnih topografskih evidenc tudi kartografska upodobitev, se pojavi problem še pri velikih nagibih površja, ko prikaz s samodejno generiranimi plastnicami ni mogoč. Tam se kartografski prikaz reliefa s plastnicami dopolnjuje s pogojnimi znaki za nekatere značilne reliefne oblike, kot so skalovje, škraplje ipd.

Navedenih reliefnih oblik v topografskih zbirkah reliefa sicer ni, so pa vključene v prikaz reliefa na državnih topografskih kartah, na TTN, DTK 25 in DTK 50. TTN zaradi nehomogenosti prikaza (dve merili, dve ekvidistanci), vsebinske zastarelosti in izključno rastrske oblike sloja reliefa ni smiselno upoštevati kot izhodiščne topografske zbirke. Sloj reliefa DTK 25 je sicer tudi vsebinsko zastarel, a homogen in delno vektoriziran (sicer ni urejen in na voljo uporabnikom),

zato smo ga v testu uporabili kot izhodiščni sloj značilnih reliefnih oblik. Primerjava med izhodiščnim slojem (relief DTK 25) in vhodnim slojem za iskanje sprememb (podatki laserskih snemanj) je za vsa štiri testna območja izvedena vizualno (prekrivanje sloja reliefa s poltonskim senčenjem lidarskega DMR).

Metode prepoznavanja točkovnih reliefnih oblik (ekstremov) so opisane in preizkušene (Podobnikar, 2008), vendar je primerjava zajetih točk z izhodiščnim točkovnim slojem učinkovita in zanesljiva le z ročno metodo primerjave. Na testnem območju Koroške Bele (KB) smo preizkusili metodo polsamodejnega prepoznavanja značilnih (linijskih) reliefnih oblik – dolin, jarkov in grebenov. Pri prepoznavanju smo uporabili orodja za hidrološke analize (Petrovič, Podobnikar, 2011). Za vsako celico DMR smo izračunali smer naklona z uporabo modela večkratne prepoznave toka (Multiple Flow Detection – MFD) in akumulacijo toka (flow accumulation). Ekstremne vrednosti robov smo določili s filtrom velikosti 3×3 celice. Kot celice, ki tvorijo dno jarkov in dolin so bile prepoznane tiste, pri katerih je raven akumulacije toka preseгла 8000. Prepoznavna grebenov in slemen je bila izvedena z enakim postopkom, le da je bil DMR pred uporabo opisanega postopka invertiran, spodnja raven akumulacije toka pa določena na 60.000.

2.3.1.3. Opis rezultatov testiranja

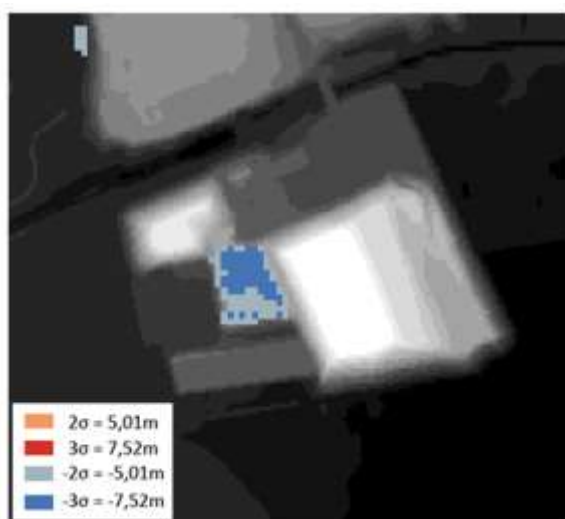
A. Aerosnemanje

Za območje obdelave je Odlagališče odpadkov Barje namensko izbrano, saj se višine nenehno spreminjajo. Tako lahko ocenimo uspešnost algoritmov za iskanje sprememb.

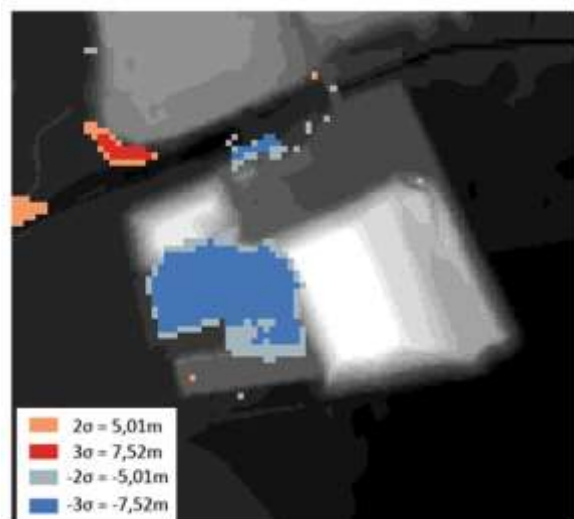
Na slikah so prikazana območja, kjer višinske razlike med primerjanima DMVjema presežejo vrednost 2σ . Pozitivna vrednost (rdeča) predstavlja manjšo višino od izhodiščne (odkop), negativna (modra) pa deponijo.

Pri tem smo uporabili splošno oceno kakovosti slojev DMV 5 in DMV 12,5.

Za prikaz sprememb smo uporabili DMV 5, ki smo ga prekrili s slojem višinskih sprememb. Na sloju višinskih sprememb, ki je izdelan v prostorski ločljivosti 12,5 m oziroma 5 m, je z modro barvo označena negativna razlika (torej deponija), z rdečo barvo pa so označene pozitivne spremembe (primanjkljaj višin glede na izhodiščni DMV).



DMV12,5 – DMV_{CAS06}



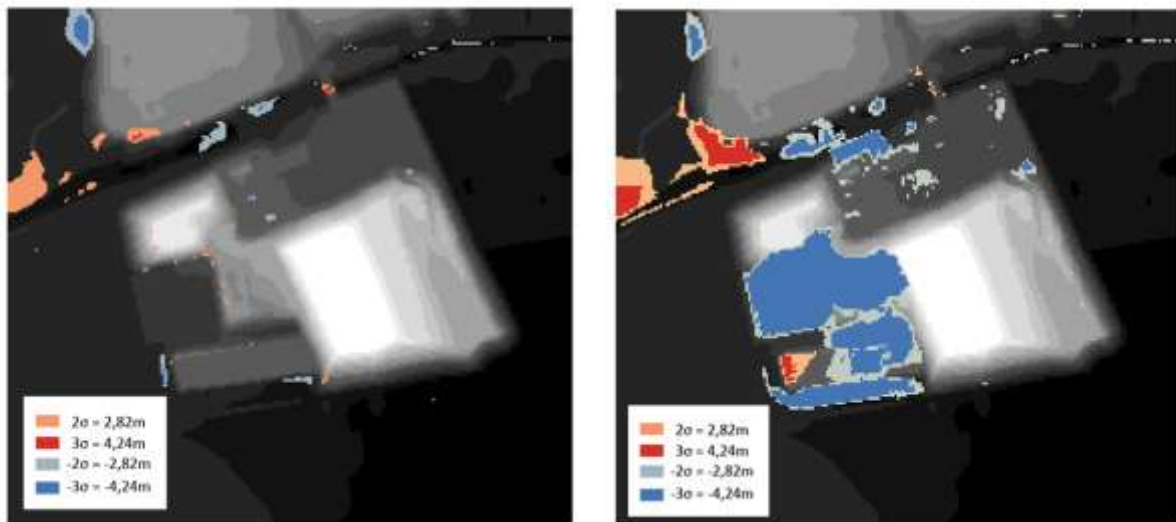
DMV12,5 – DMV_{CAS09}

Slika 27: Primerjava iz CAS izdelanih DMV-jev z obstoječo zbirko DMV12,5 na območju Odlagališča odpadkov Barje.

V prvem koraku smo izdelane DMVje iz CAS primerjali z obstoječo zbirko DMV 12,5. Statistično značilne razlike se v prvem primeru (primerjava DMV 12,5 in DMV_{CAS06}) pojavijo le na območjih, kjer so dejanske spremembe površja.

Na levi sliki se negativna razlika (torej deponija) pojavi v sredini odlagališča odpadkov, kjer so odložili večje količine materiala.

Območje negativnih razlik na desni sliki (primerjava med DMV 12,5 in DMV_{CAS09}) zajema večjo površino – skladno z dodatnimi količinami odloženega materiala. Tu se pojavi tudi pozitivna razlika (rdeče), ki je najverjetneje posledica slabše izdelanega DMVja iz CAS09 (ročno odstranjevanje gozdov).



DMV5 – DMV_{CAS06}

DMV5 - DMV_{CAS09}

Slika 28: Primerjava iz CAS izdelanih DMV-jev z obstoječo zbirko DMV5 na območju Odlagališča odpadkov Barje.

Primerjava med DMV5 in DMV_{CAS06} (zgoraj levo) teoretično ne bi smela dati razlik, saj sta oba DMVja izdelana iz istega izvornega vira – aeroposnetki iz leta 2006. Iz slike lahko vidimo, da se večja območja razlik pojavijo le na robovih DMVjev, kar je posledica slabšega algoritma za odstranjevanje gozdov na robovih DMVja.

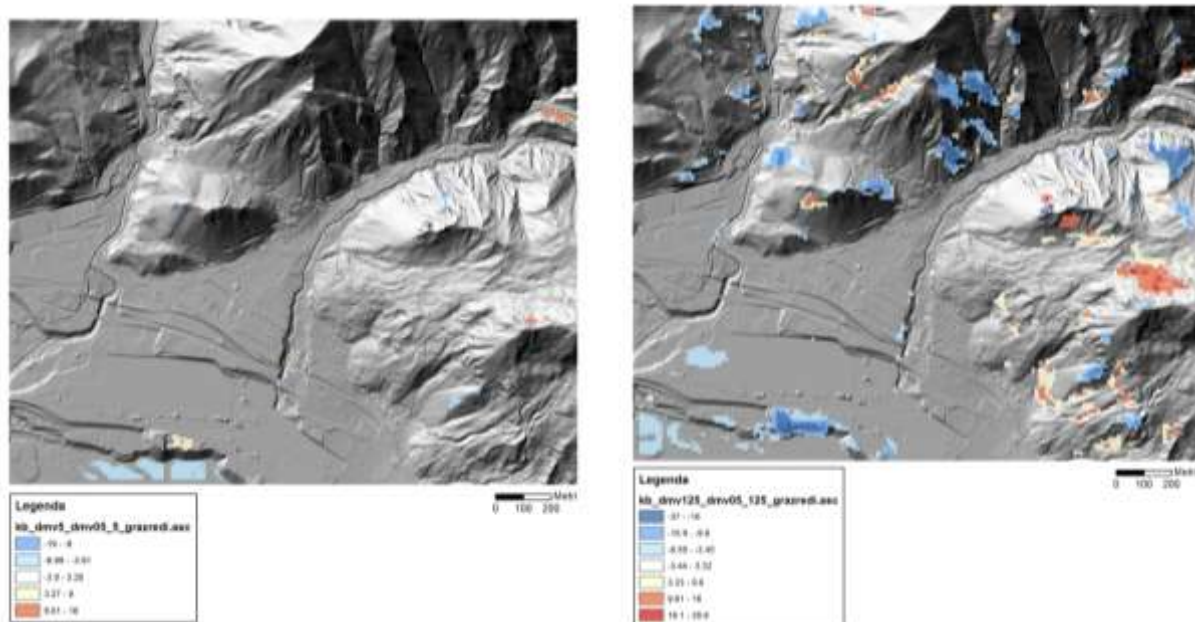
Na sliki zgoraj desno (DMV5 – DMV_{CAS09}) so negativne in pozitivne spremembe na območju odlagališča odpadkov posledica dejanskih odkopov in deponij. V severozahodnem delu območja obdelave pa se pojavijo razlike za katere ni znano, da bi predstavljale dejanske spremembe višin.

C. Aero lasersko skeniranje

1. Iskanje sprememb in zajem podatkov za namen vzdrževanja TZ

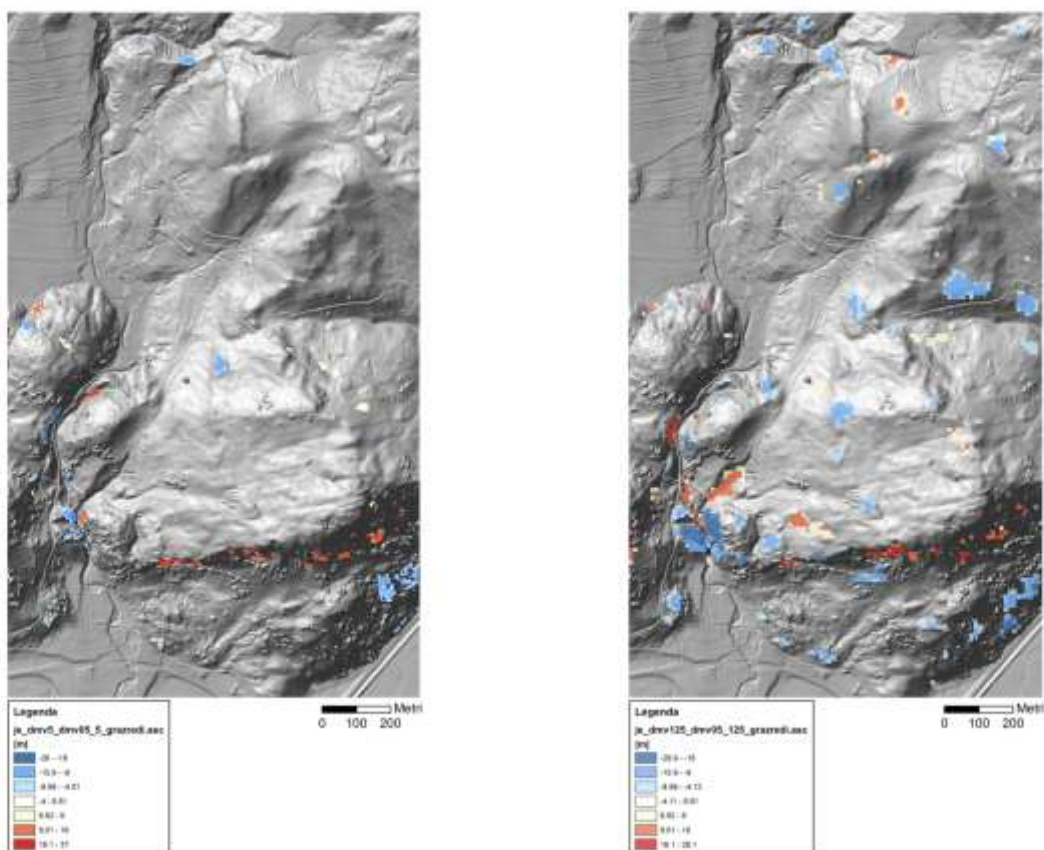
Metoda je bila preizkušena na vseh štirih testnih območjih in to glede na DMV 5 ter DMV 12,5 kot izhodiščni sloj. Prikazana so območja, kjer višinske razlike presežejo vrednost 2σ razlike. Pozitivna vrednost (rjava) predstavlja manjšo višino od izhodiščne (odkop), negativna (modra) pa deponijo. Pri tem smo uporabili regionaliziran sloj kakovosti DMV 12,5 ter splošno oceno kakovosti sloja DMV 5. Na osnovi poznavanja terena lahko zaključimo, da so zaznane razlike v

večini primerov posledica nepopolne horizontalne usklajenosti slojev ali napak pri izločitvi talnih točk iz oblaka točk.



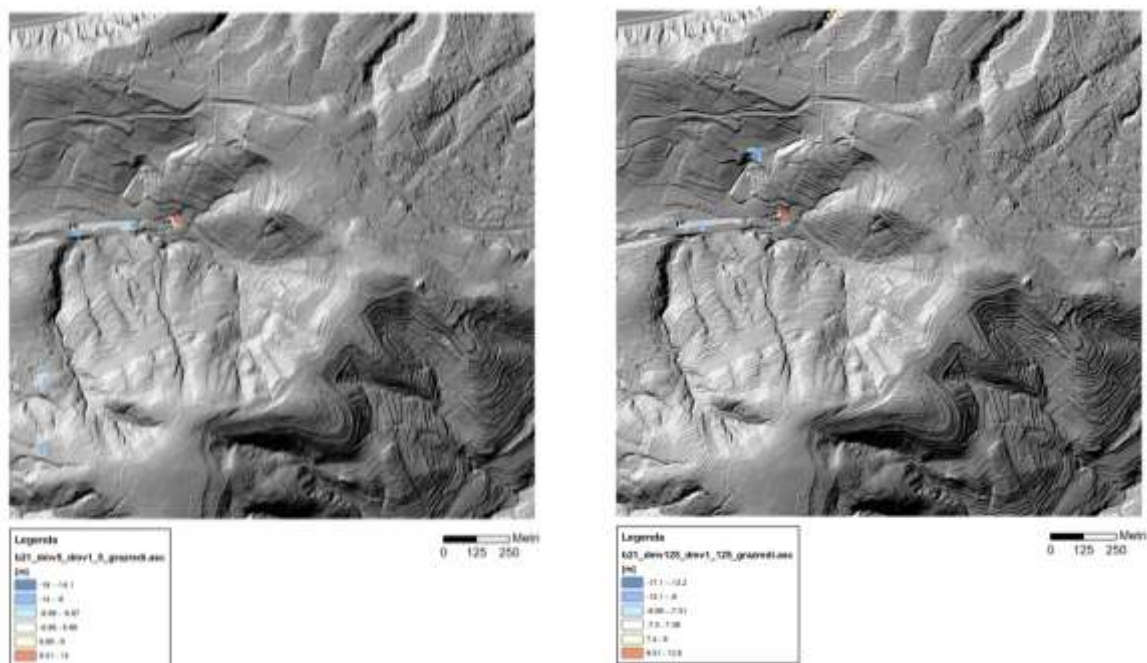
Slika 29: Spremembe reliefa na testnem območju Koroška Bela.

Dejanske spremembe reliefa so nasutja brežine Save dolinke pod jeklarno Acroni v J delu testnega izseka.



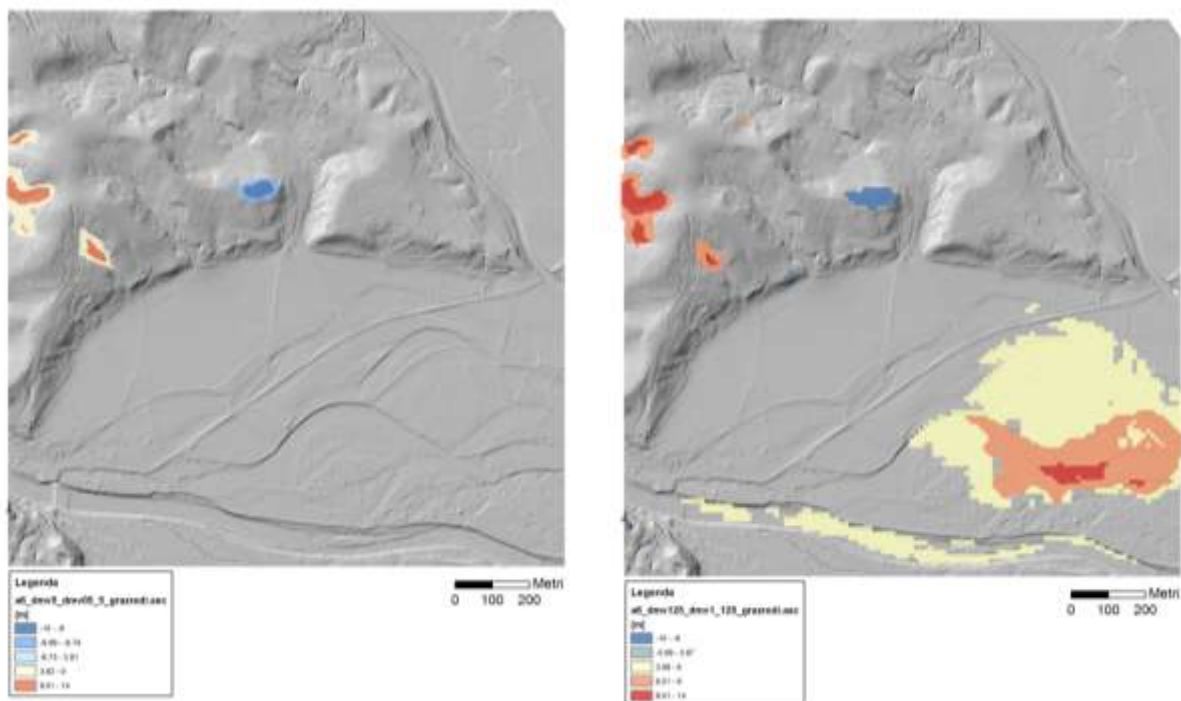
Slika 30: Spremembe reliefa na testnem območju Jereke.

Ni znano, da bi prepoznane razlike predstavljale dejansko spremembo reliefa.



Slika 31: Spremembe reliefa na testnem območju Izola Markovec.

Dejanske spremembe reliefa so izkop in nasutje na portalu gradbišča predora Markovec.

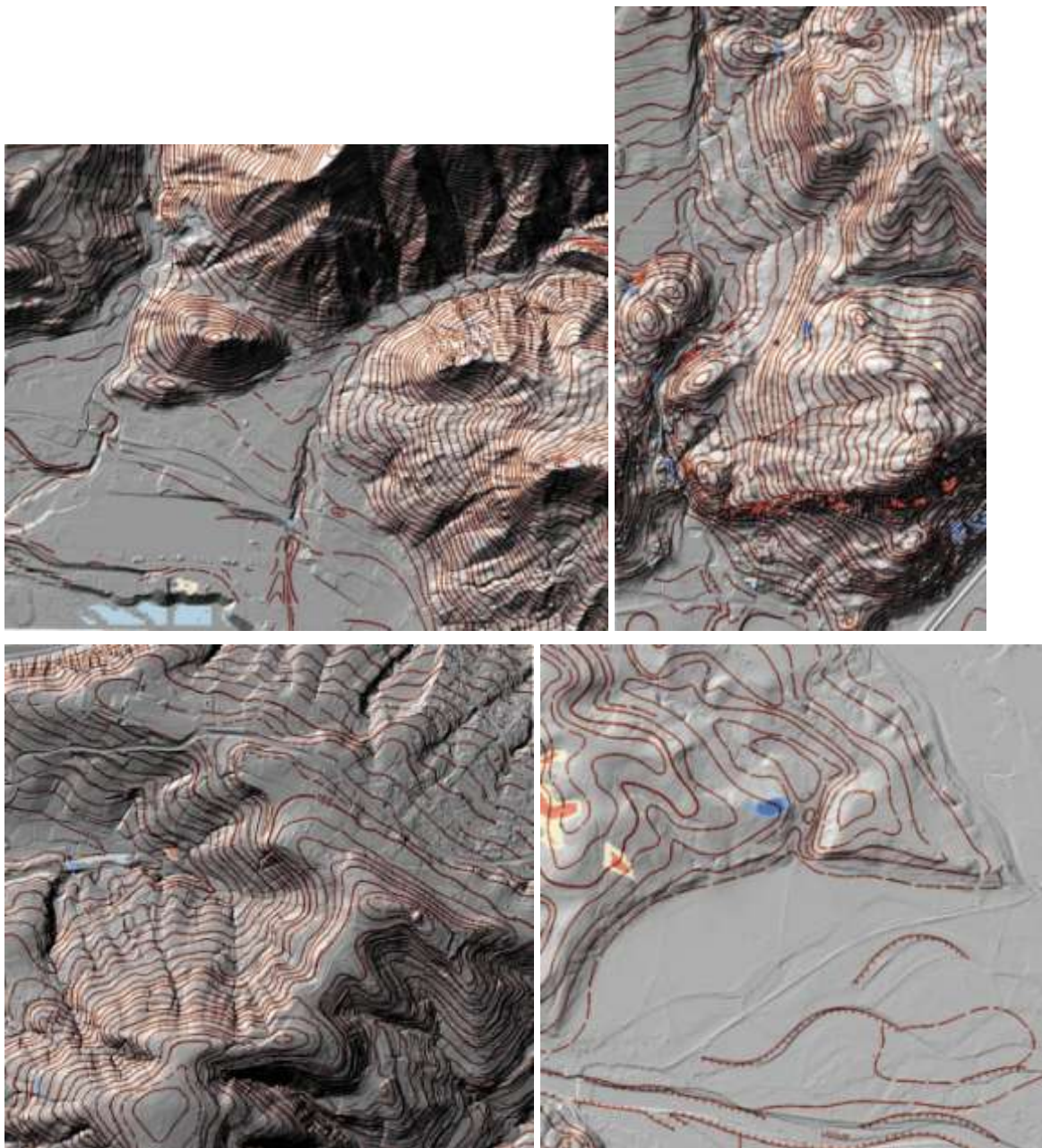


Slika 32: Spremembe relief na testnem območju Letuš.

Ni znano, da bi prepoznane razlike predstavljale dejansko spremembo reliefa.

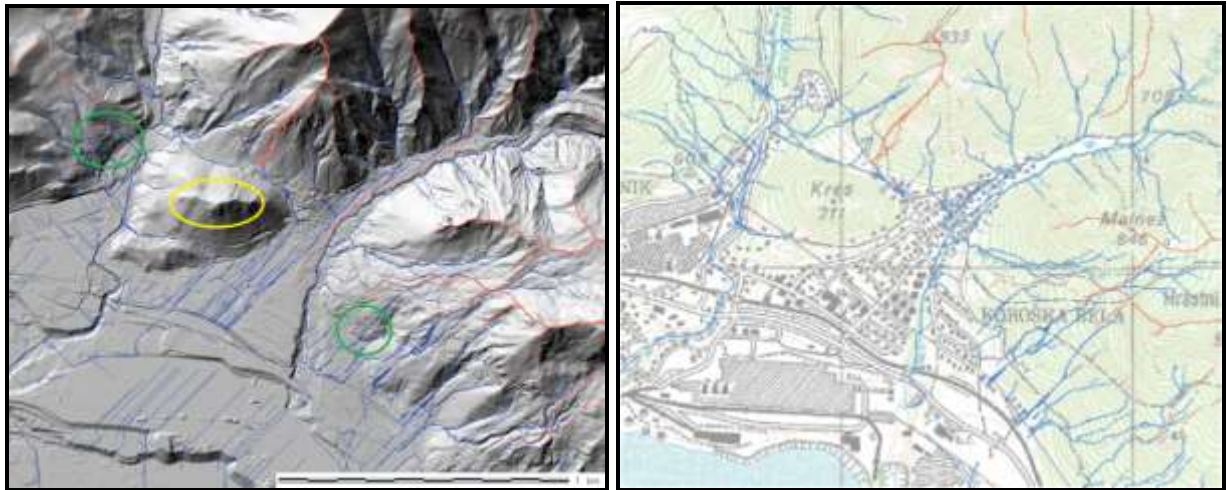
2. Polsamodejno prepoznavanje značilnih reliefnih oblik

Primerjava med izhodiščnim slojem (relief DTK 25) in vhodnim slojem - poltonskim senčenjem lidarskega DMR) je opravljena za vsa štiri testna območja. V strmem terenu je prepoznavnost oblik zelo problematična, medtem ko je v ravninskem terenu oblike možno prepoznati.



Slika 33: Preskus metode polsamodejnega prepoznavanja značilnih reliefnih oblik na testnem območju Koroška Bela.

Na testnem območju Koroške Bele (KB) smo preizkusili metodo polsamodejnega prepoznavanja značilnih (linijskih) reliefnih oblik – dolin, jarkov in grebenov.



Slika 34: Rezultat samodejne prepoznave značilnih reliefnih oblik.

Leva slika prikazuje rezultat samodejne prepoznave. Rdeče črte prikazujejo grebene in slemena, modre jarke in doline. V reliefno razgibanem strmem terenu je prepoznavna zadovoljiva, mnogo slabša pa v ravninskem območju. Napake pri prepoznavi dolin se pojavljajo na križiščih dolin s potmi, ki potekajo vodoravno čez pobočje (zeleno območje). Rumeno območje prikazuje izrazit hrib, kjer v nasprotju s pričakovani slemo ni bilo prepoznano kot lomna linija. Desna slika prikazuje vektorizirane in ročno obdelane prepoznane oblike.

2.3.1.4. Opis načina vzdrževanja posameznega objektnega tipa glede na rezultate testov

Testi so pokazali, da je tako iz podatkov letalskega stereo snemanja kot laserskega snemanja mogoče zaznavati spremembe reliefa s predvideno točnostjo, vendar zaradi različnih virov in postopkov pri vzpostavitvi različnih modelov reliefa (DMV) zaznavamo poleg dejanskih sprememb reliefa tudi razlike, ki so posledica različnih DMV. Celo pri primerjavi dveh DMV, izdelanih iz istega vira (CAS), so prisotne razlike zaradi uporabe različnih metod. Kljub temu so rezultati pokazali, da bo metode mogoče uporabiti za samodejno prepoznavanje, a šele takrat, ko bodo postopki izdelave DMV popolnoma poenoteni.

Po drugi strani so rezultati pokazali možnosti samodejne vzpostavitve nekaterih značilnih točk in linij, ki bi morali tvoriti dopolnilni sloj podatkov o reliefu.

2.3.1.5. Smer nadaljnega razvoja

Leta 2011 se v Sloveniji začne vzpostavitev novega DMV na osnovi podatkov laserskega skeniranja. Ta DMV bo predstavljal novi izhodiščni vir. Ker v nekaj letih ni pričakovati bistveno ustrežnejše tehnologije za zajem podatkov o reliefu, je smiselno zagotoviti ciklično lasersko skeniranje območja Slovenije in na osnovi tega snemanja vsakokratno izdelavo DMV s čim bolj podobnimi parametri. Tako bi s predstavljenimi metodami učinkovito samodejno prepoznavali razlike, ki pa bi jih potem ročno vključevali v ostale izvedene oblike podatkov o reliefu (plastnice, pogojni znaki reliefnih objektov, lomne linije). Interpretirane lomne linije in ekstremne točke bi bilo mogoče z obstoječo evidenco primerjati tudi samodejno, za kar bi potrebovali nadaljnje analize.

2.3.1.6. Uporabljena literatura pri izvedbi testov

MARSETIČ, Aleš, OŠTIR, Krištof. Izdelava digitalnega modela površja in ortopodob iz stereo posnetkov Ikonos, zajetih v istem preletu = Digital surface model and ortho-images generation from Ikonos in-track stereo images. Geod. vestn.. [Tiskana izd.], 2010, letn. 54, št. 3, str. 417-448, ilustr. <http://www.geodetski-vestnik.com/>

Wheaton:

http://www.gis.usu.edu/~jwheaton/Downloads/Thesis/JMWthesis_V7_LR_Chapter04.pdf

PÂQUET, R. J. M. 2004. Theory and Applications of Weighted Least Squares Surface Matching for Accurate Spatial Data Registration.

PODOBNIKAR, Tomaž. Digitalni model reliefa iz geodetskih podatkov različne kakovosti : doktorska disertacija št. 140. Ljubljana: [T. Podobnikar], 2001. 343 str., ilustr.

PODOBNIKAR, Tomaž. Topografska in geomorfološka opredelitev vrhov ter analiza oblik. Geogr. vestn., 2008, letn. 80, št. 2, str. 131-141, ilustr., zvd., graf. prikazi. <http://zgds.zrc-sazu.si/GV2008/gv80-2/gv80-2-podobnikar.pdf>.

PETROVIČ, Dušan, PODOBNIKAR, Tomaž. Use of airborne laser scanning data for updating topographic maps in hilly and mountain areas. V: Proceedings of the 25th International Cartographic Conference : Paris, 3-8 July 2011. Paris: ICC, 2011, str. 1-7, ilustr. http://icaci.org/documents/ICC_proceedings/ICC2011/Oral%20Presentations%20PDF/A4-Mountain%20cartography/CO-042.pdf.

2.3.2. Test 2

2.3.2.1. Opis vhodnih podatkov glede na izvedena testiranja za posamezen objektni tip

Seznam vhodnih podatkov, ki smo jih uporabili pri testiranju postopkov zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja Digitalnega Modela Reliefa (DMR), je zapisan v Preglednica 19 (testni podatki).

	DMV5 2006	DMV5 2011	DMR odlagališče Barje	DMR LSA 2011
Lastnik podatkov	GURS	GURS	DFG	GURS
Izvirne meritve	CAS 2006	CAS 2009/10/11	TLS	ALS
Datum izmere	2006	19. in 20. 4. 2011	5.1.2011	2011
Format datotek	*.txt / DTK5 list	*.dmr / sekcijo	*.gtm odlagališča	*.txt / km mreža
Koordinatni sistem	GK D48	TM D96	GK D48	TM D96
Prostorska ločljivost	5 × 5 m	5 × 5 m	0,25 × 0,25 m	1 × 1 m
Površina/lokacija	območje Barje in Koper	območje Barje	območje Barje	območje Koper

Preglednica 19: Seznam testnih podatkov.

Prvi set podatkov DMV5 2006 predstavlja referenčno mrežo višin. Le-to smo primerjali s preostalimi tremi seti podatkov, ki predstavljajo že izračunane višinske mreže (v nadaljevanju:

primerjalne višinske mreže). Primerjalne višinske mreže so rezultat obdelav različnih izvornih meritev (ciklično aerosnemanje – CAS, terestično lasersko skeniranje – TLS ali aero lasersko skeniranje - ALS). Postopkov obdelav izvornih meritev znotraj tega raziskovalnega projekta nismo preverjali in smo višinske mreže prevzeli kot pravilne.

Testni podatki ležijo na dveh geografskih lokacijah in sicer znotraj:

- listov E2302 in E2303 (staro poimenovanje), t.i. območje Barje.
- listov B2036 in B2037 (staro poimenovanje), t.i. območje Koper.

2.3.2.2. Opis testiranja in implementacije postopkov

Postopek vzdrževanja Digitalnega Modela Reliefa (DMR) je relativno enostaven, saj gre pri odkrivanju sprememb terena preprosto za primerjavo višin referenčnega in novega DMR na določeni x,y lokaciji, t.j. na lokaciji mrežne točke. DMR sistematično prekriva celo Slovenijo (pravilna mreža), zato je pomembno odkriti le spremembe višin, ne pa tudi dodanih ali izbranih objektov oziroma podatkov (t.j. višin). Postopek izračuna sprememb višin, t.j. modela višinskih razlik med referenčnim in primerjalnim DMR-jem (dDMR), je podrobneje opisan v nadaljevanju.

Transformacija mreže višinskih točk

Ker so vhodni podatki višinskih mrež podani v starem (KG D48) in novem (TM D96) državnem koordinatnem sistemu (glej Preglednica 19), jih je bilo potrebno pred primerjavo najprej transformirati v isti koordinatni sistem. Ker je referenčni set podatkov podan v starem koordinatnem sistemu, smo se odločili, da primerjalni višinski mreži DMV5 2011 in DMR LSA 2011 transformiramo iz novega v stari sistem. Koraki transformacije, ki smo jih izvedli s pomočjo interne programske kode, so:

1. Sedem-parametričnaprostorska transformacija za pretvorbo pravilne mreže višin iz TM D96 v KG D48. Zaradi rotacije in skaliranja rezultat transformacije ni več pravilna mreža ampak nepravilno razporejen oblak točk.
2. Linearna interpolacija oblaka točk in izračun pravilne mreže višin v KG D48. Prostorska ločljivost interpolirane mreže je enaka ločljivosti originalne mreže v TM D96.
3. Razsek interpolirane mreže višin na DTK5 liste, tako da lahko neposredno izvedemo primerjavo višin interpolirane mreže s podatki DMV5 2006.

Izračun sprememb višin

Za izračun višinskih razlik smo uporabili DFG-jev interni program ZiZas. Ta omogoča neposreden uvoz *.xyz datotek s podatki višinske mreže (x in y koordinata ter višina za vsako točko mreže) in izračun višinskih razlik na območju, kjer se mreži prekrivata. Razliko DMR-jev (dDMR) smo izračunali tako, da smo od novejšega primerjalnega DMR-ja odšteli starejši referenčni DMR (torej DMV5 2006). Razlike se lahko izračunajo na mrežnih točkah (x, y) referenčne ali primerjalne mreže. Ker je namen izračuna višinskih razlik vzdrževanje DTK5 podatkov, smo višinske razlike izračunali za mrežne točke DMV5 2006. Rezultat je torej mreža velikosti 5 × 5 m.

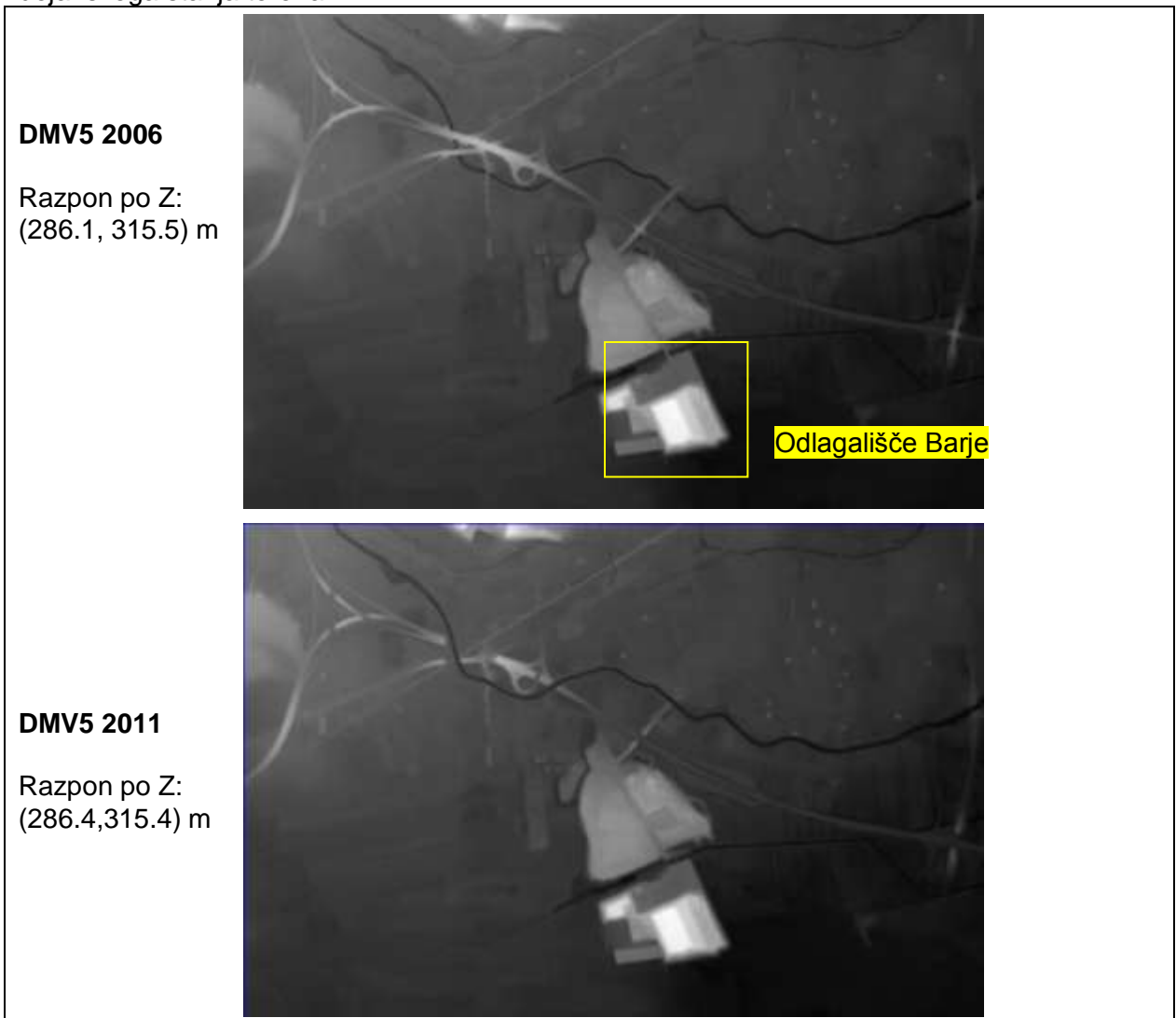
2.3.2.3. Opis rezultatov testiranja

Spremembe višin terena smo ugotavljali za vsako območje posebej, za območje Barje in ločeno za območje Koper. Postopek obdelave DMR-jev je enak, različni so le izvorni podatki s katerih je bil DMR izračunan in prostorska ločljivost DMR-jev. Na spodnjih slikah (slika 35 do 37) so prikazani vhodni podatki, t.j. mreže višin, in rezultati, t.j. mreže višinskih razlik. Sivi toni označujejo višine oz. višinske razlike. Poleg grafičnega prikaza mrež so dodani še nekateri opisni podatki teh mrež.

Slika 35 prikazuje območje listov E2302 in E2303 (območje Barje), kjer smo izvedli primerjavo med DMV5 2006 in DMV5 2011. Razlike med DMR-jema so vidne že ob prvem pregledu zgornje in srednje slike. Vizualizacija dDMR-ja na spodnji slikopi območja razlik neposredno izpostavi. Izkaže se, da je DMV5 2006 dejansko DMRO, ki vsebuje tudi objekte kot so mostovi in nadvozi, medtem ko je DMV5 2011 dejansko model reliefa. Zato so višinske razlike na območju mostov in nadvozov negativne (obarvane s temno sivo) sicer pa so enake 0 m (siva barva). Osnovni podatki mreže so:

- Število stolpcev: 901
- Število vrstic: 601
- Velikost celice: 5 m
- VoidVal: -999.000
- Razpon po X: 4500 m; (457250.000, 461750.000)
- Razpon po Y: 3000 m; (97000.000, 100000.00)

Slika 36 prikazuje območje odlagališča Barje, ki leži na stiku listov E2302 in E2303. Referenčni DMR je prikazan že na zgornji sliki Slika 35 (znotraj rumenega okvirja). Rezultati prikazani na sliki 35 kažejo, da na območju odlagališča med leti 2006 do 2011 ni prišlo do sprememb, medtem ko primerjava s DFG meritvami deponije Barje prav tako leta 2011 kaže značilne razlike (glej spodnjo sliko na sliki 36). Del deponije se je povišal za največ 18,887 m (svetli toni), del deponije pa znižal za največ 7,457 m (temni toni). Iz rezultatov primerjave višinske mreže DMV5 2006 in DMR odlagališča Barje sledi, da je DMV5 2011 neažuren in ne prikazuje dejanskega stanja terena.

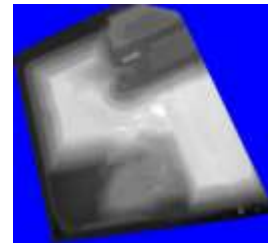




Slika 35: Izračun sprememb višine terena na območju listov E2302 in E2303 (območje Barje). Zgoraj: referenčni DMR s podatki DMV5 2006. Rumeni kvadrat označuje območje odlagališča Barje. V sredini: primerjalni DMR s podatki DMV5 2011. Spodaj: razlika DMR-jev DMV5 2011 in DMV5 2006 (dDMR).

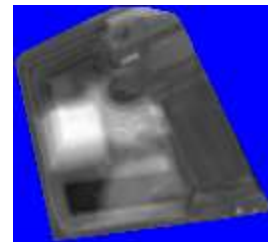
DMR odlagališča Barje

Število stolpcev: 2613
 Število vrstic: 2377
 Velikost celice: 0.25 m
 VoidVal: -999.0
 Razpon po X: 653 m; (459377.0, 460030.0) m
 Razpon po Y: 594 m; (97251.0, 97845.0) m
 Razpon po Z: (288.090, 317.854) m



dDMR (DMR odlagališča Barje - DMV5 2006)

Število stolpcev: 131
 Število vrstic: 119
 Velikost celic: 5 m
 VoidVal: -999.000
 Razpon po X: 650 m; (459380.000, 460030.000) m
 Razpon po Y: 590 m; (97255.000, 97845.000) m
 Razpon po Z: (-7.457, 18.887)

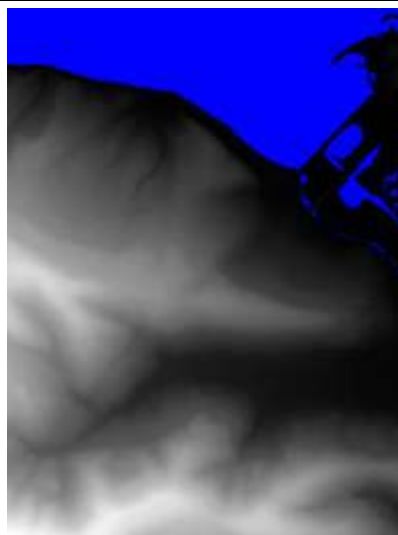


Slika 36: Izračun sprememb višine terena na območju odlagališča Barje (območje Barje). Zgoraj: primerjalni DMR s podatki DMR odlagališča Barje. Spodaj: razlika DMR-jev DMR odlagališča Barje in DMV5 2006 (dDMR).

Slika 36 prikazuje območje lista B2026 (del območja Koper). Zgornja in srednja slika ter pripadajoči tekstovni podatki nazorno prikazujejo razliko med DMR-jem, ki je pridobljen iz aeroposnetkov, in DMR-jem iz podatkov laserskega skeniranja. Slednji ima petkrat manjšo ločljivost in tako prikazuje podrobnejši model terena. DMR LSA 2011 ima na območju morja šum, kar bi morali dodatno pregledati in te višine odstraniti. Spodnja slika na sliki 37 prikazuje spremembe višin terena, ki imajo razpon od -10.970 do 12.320.

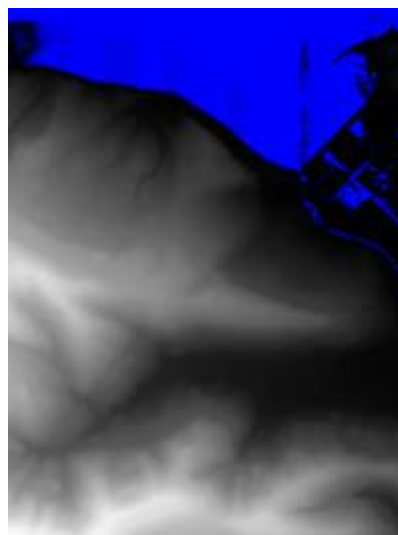
DMV5 2006

Število stolpcev: 451
Število vrstic: 601
Velikost celice: 5 m
VoidVal: -999.0
Razpon po X: 2250 m; (398750.0, 401000.0) m
Razpon po Y: 3000 m; (43000.0, 46000.0) m
Razpon po Z: (0.1, 253.9) m



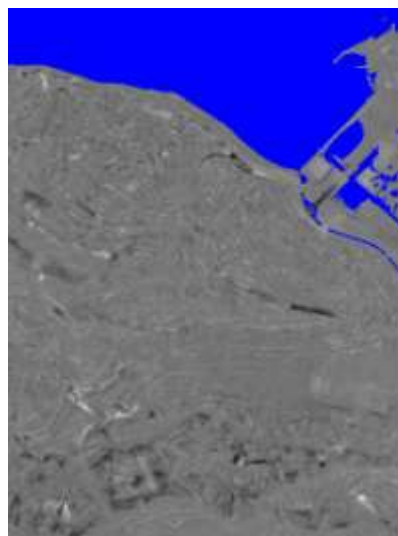
DMR LSA 2011

Število stolpcev: 2250
Število vrstic: 3000
Velikost celice: 1 m
VoidVal: -999.000
Razpon po X: 2249 m; (398750.5, 400999.5) m
Razpon po Y: 2999 m; (43000.5, 45999.5) m
Razpon po Z: (-0.010, 253.580) m



dDMR (DMR LSA 2011 – DMV5 2006)

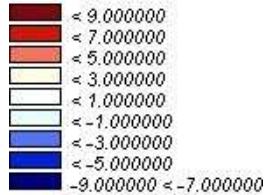
Osnovni podatki o gridu so enaki kot pri DMV5 2006.
Razpon po Z: (-10.970, 12.320) m



Slika 37: Izračun sprememb višine terena na območju lista B2036 (del območja Koper). Zgoraj: referenčni DMR s podatki DMV5 2006. V sredini: primerjalni DMR s podatki LSA 2011. Spodaj: razlika DMR-jev: DMR LSA 2011 in DMV5 2006 (dDMR).

2.3.2.4. Opis načina vzdrževanja posameznega objektnega tipa glede na rezultate testov

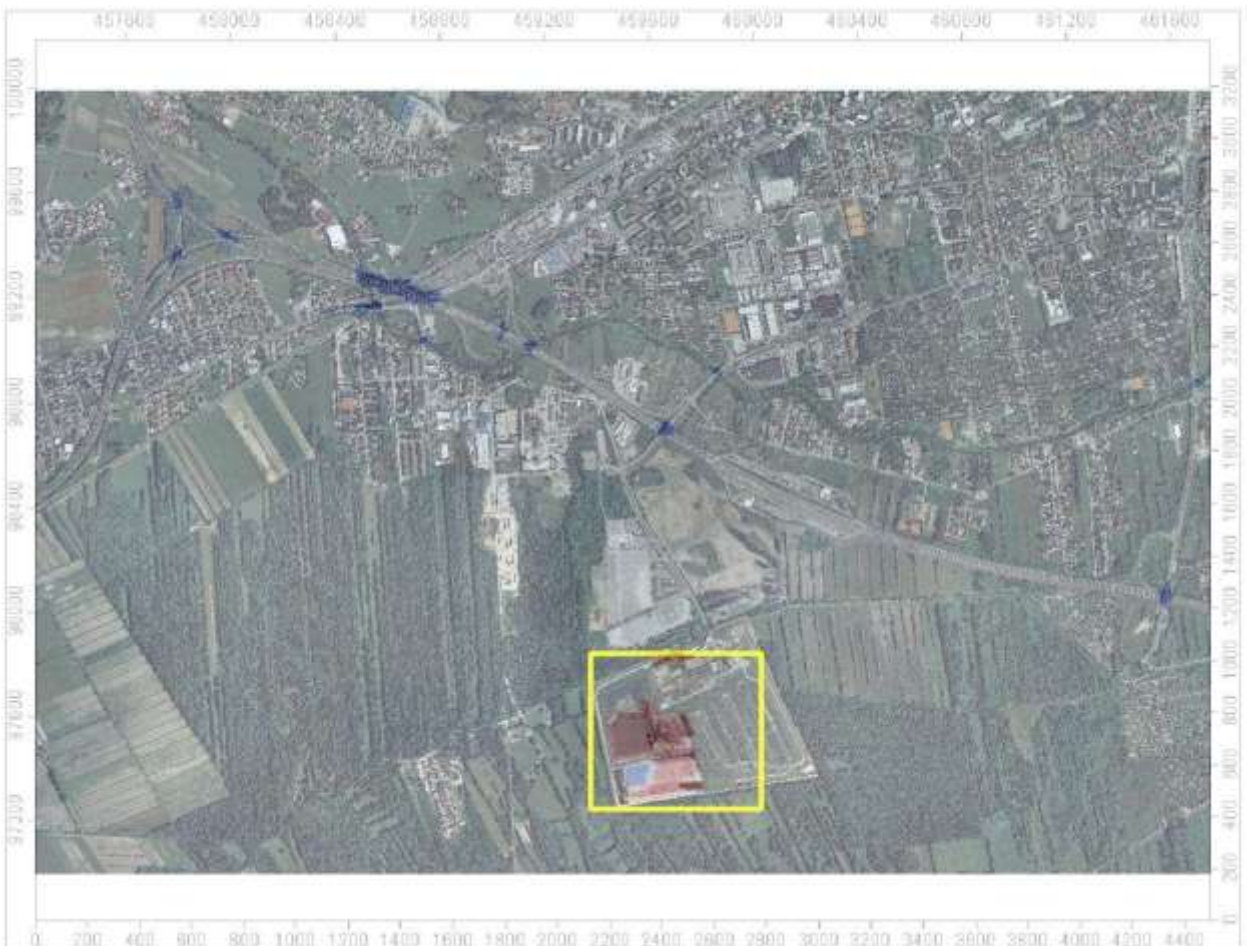
Za potrebe vzdrževanja DMR-ja smo s primerno nastavljenjo barvno lestvico vizualno izpostavili višinske razlike, ki predstavljajo območje potencialne spremembe višin DMR-ja. Za vizualizacijo dDMR-ja smo uporabili odprto-kodni program SAGA. Mejo za označbo potencialnih sprememb smo določili glede na kakovost vhodnih DMR-jev in glede na odločitev, kako velika mora biti razlika med vhodnima DMR-jema, da se jo obravnava kot spremembo višin. V tem testnem primeru smo za mejo prevzeli najslabšo natančnost višin vhodnih podatkov, ki je enaka 3 m za DMV5 na zaraščenih območjih. Barvna lestvica je prikazana na sliki 38.



Slika 38: Barvna lestvica izdelana v programu Saga za vizualizacijo dDMR.

Tako obarvano geolocirano sliko višinskih razlik smo položili na DOF istega območja (v odprto-kodnem programu Quantum GIS). Na ta način lahko operater pregleda območja, kjer so višinske razlike večje od 3 m (rdeči odtenki) oziroma – 3 m (modri odtenki) in se odloči ali jih vnese v bazo ali ne. Ažuriranje baze se izvede preprosto z zamenjavo obstoječe višine mrežne točke z novo višino.

Primer preklopa slojev dDMR in DOF je prikazan na sliki 39 za območje Barje in na sliki 40 za območje Koper. Slika 40 (primerjaj s spodnjo sliko na sliki 35 in sliki 36) sedaj jasno pokaže nepravilnosti DMV5 2006 na območju mostov in viaduktov in spremembe višin na območju odlagališča Barje.



Slika 39: Primerjava višin DMV5 2011 in DMR odlagališča Barje (območje označeno z rumenim kvadratom) z višinami referenčnega DMV5 2006, območje Ljubljansko barje.

Slika 40 (primerjaj s spodnjo sliko na sliki 37) pa pokaže, da se največje negativne višinske razlike (DMR LSA 2011 leži pod DMV5 2006) pojavijo na območju vegetacije oziroma dreves, kar nakazuje na znano prednost podatkov laserskega skeniranja; t.j. da lahko zajamemo tudi točke na terenu, ki je sicer poraslo z vegetacijo (delovanje in lastnosti te tehnologije so podrobneje opisane v prvem vmesnem poročilu z dne 18.11.2010). Pozitivne višinske razlike (DMR LSA 2011 leži nad DMV5 2006) so posledica večje ločljivosti DMR LSA 2011, ki tako bolj detajlno opiše konveksno obliko terena. Nekatere višinske razlike nenazadnje prikazujejo tudi dejanske spremembe na terenu, npr. sprememba reliefa zaradi izgradnje novih hiš (rumena elipsa na sliki 40) in izgradnje nove ceste (rumeni pravokotnik na sliki 40).



Slika 40: Primerjava višin DMR LSA 2011 z višinami referenčnega DMV5 2006, območje Koper. Rumena elipsa oziroma rumeni kvadrat označujeta omočja spremembe terena zaradi izgradnje hiš oziroma ceste.



Slika 41: Detalj iz slike 40– sprememba terena zaradi izgradnje hiš. Levo: podložen je DOF 2006. Desno: podložen je DOF 2009.

2.3.2.5. Smer nadaljnega razvoja

Opisani način vzdrževanja DMR se lahko izvaja s preprostimi algoritmi in z uporabo odprtokodnih programov. Zato se pri nadaljnem razvoju postopka ažuriranja DMR-ja lahko usmerimo predvsem v avtomatizacijo vseh korakov odkrivaja sprememb višin terena in zapisa novih višin v bazo. Ideja je v tem, da bi v namensko aplikacijo uvozili referenčni DMR in novi DMR, določili nekatere parametre kot so koordinatni sistem, prostorska ločljivost mreže, datum izdelave višinske mreže, mejno vrednost višinske spremembe itd. in avtomatsko pridobili območja potencialnih sprememb višin reliefa. Operater bi nato polsamodejno pregledal ta območja in v posameznem primeru presodil, ali gre dejansko za spremembo terena v naravi, nato pa s klikom na gumb avtomatsko zapisal spremenjene višine v bazo.

Več raziskovalnega časa bi bilo potrebno nameniti optimizaciji in avtomatizaciji izdelave pravilnega DMR-ja iz izvornih podatkov (CAS, LIDAR, satelitske slike). V našem testu smo predpostavili, da imamo na razpolago pravilne in ažurne podatke terena, zapisane v pravilni mreži višin, t.j. v DMR-ju. Kot pa so pokazali rezultati testa na območju Barje, trenutni državni DMR imenovan DMV5 2006 izdelan iz CAS 2006 meritev ne vsebuje le terena, kot to po definiciji velja za DMR, pač pa tudi nekatere objekte. Nadalje DMV5 2011 izdelan in CAS 2009/10/11 meritev ne prikazuje dejanskega stanja reliefa. Bistveno boljši rezultat smo dobili z uporabo podatkov laserskega skeniranja in izvedenega DMR LSA 2011, ki pa se v Sloveniji šele uveljavlja. V prihodnje bi morali podatke laserskega skeniranja upoštevati kot osnovo za izdelavo DMR. Na podlagi že izvedenih projektov izdelave podatkov laserskega skeniranja lidarskega DMR-ja (doma in v tujini) bi morali napisati smernice in standarde za zajem podatkov laserskega skeniranja in za postopek izdelave standardiziranega DMR. S cikličnimi laserskimi skeniranjem bi lahko enostavno in natančno posodabljali državni DMR.

2.3.2.6. Uporabljena literatura pri izvedbi testov

Je ni bilo.

2.4. Objektni tip: VEGETACIJA

Poglavje opisuje izbrane metode za pridobivanje podatkov o objektu tipu vegetacija. V testiranju smo se posvetili pridobivanju podatkov o gozdnih površinah (gozdni meji), pa tudi ostalim objektnim pod-tipom vegetacije: njive, travniki, posamezna drevesa. Objektni tip vegetacija smo določali iz satelitskega posnetka WorldView-2 in letalskega posnetka DOF(CAS) ter rezultate primerjali z obstoječo topografsko zbirko DTK 5.

2.4.1. Opis vhodnih podatkov glede na izvedena testiranja

2.4.1.1. WorldView-2

Za potrebe raziskave smo uporabili visoko ločljivi satelitski posnetek WorldView-2 z osmimi spektralnimi in enim pankromatskim (ČB) kanalom. Posnetek je bil zajet 10. avgusta 2010. Zaradi topografskih spremenljivosti zemeljskega površja je bil satelitski posnetek ortorektificiran. Za to smo uporabili DMV 12,5 (GURS) in tako odpravili nepravilnosti, ki nastanejo kot posledica geometrije snemanja. Na posnetku je bila uporabljena tudi Gram-Schmidt tehnika ostrenja (ang. pansharpning), s katero smo pridobili posnetek, ki združuje multispektralne informacije osmih kanalov in višjo prostorsko ločljivost pankromatskega kanala. Posnetek je bil nato prevzorčen na ločljivost 0,5 metra ter zglajen s filtrom velikosti okna 3 x 3. Za predobdelave posnetka smo uporabili program Erdas Imagine.

Za obdelavo podatkov (klasifikacijo objektnih tipov je bil uporabljen programski paket ENVI EX Feature Extraction.

Datum snemanja	10.8.2010
Območje snemanja	Ljubljana z okolico
Senzor	WorldView-2
Odklon od nadirja	18,8 °
Resolucija v nadirju	0,496 m ČB; 1,984 m MS
Resolucija 26° odklonski kot	0,5 m ČB; 2 m MS
Kanali senzorja	ČB, obalno moder, moder, zelen, rumen, rdeč, robni rdeč, bližnji IR1, bližnji IR2
Nivo predobdelave	Radiometrically Corrected
Metoda georeferenciranja	RPC model
Natančnost georeferenciranja	RMS (Pan) 0.5 m, RMS (MS): 2 m

Preglednica 20: Podatki o satelitskem posnetku WorldView-2, ki je bil uporabljen za razpoznavanje vegetacije.

2.4.1.2. DOF

Uporabljene slikovne podatke sestavlja državni barvni ortofoto DOF050 s prostorsko ločljivostjo 0,5 m. Ortofoto je bil izdelan leta 2005, 2006 in 2011 iz posnetkov CAS in je zapisan v barvnem prostoru RGB z radiometrično ločljivostjo 24 bitov (po 8 bitov za rdeči, zeleni in modri sloj).

	DOF050
Opis	barvni ortofoto
Leto izdelave	2005, 2006, 2011
Oznaka lista	E2301
Datoteka	E230161C (sid), E230162D

	(jpg in jgw, E230362D, E050162 (TIF in TFW))
Barvni prostor	RGB
Radiometrična ločljivost	24-bit; 8 bitov za posamezni kanal
Prostorska ločljivost	0,5 m

Preglednica 21: Lastnosti ortofota.

Slabost podatkov DOF je v tem, da so aeroposnetki prevzorčeni v barvni prostor RGB z radiometrično ločljivostjo 24 bitov (po 8 bitov za rdeči, zeleni in modri sloj), zdi se tudi, da ne vselej po enakem postopku. Slednje povzroča številne težave za postopke radiometrične korekcije, predvsem radiometrične standardizacije ortofoto posnetkov. Za samodejne postopke primerjave posnetkov so takšni posnetki precej neuporabni, zato bi veljalo v prihodnosti razmišljati o delu na izvornih kanalih sensorja, v izvorni radiometrični ločljivosti. Za izračun prilagojenega vegetacijskega indeksa iz DOF smo sicer uporabili barvni prostor prvega in tretjega kanala, ker je ta kombinacija med vsemi dala najboljše rezultate, dejansko pa upodobitev ni najbolj kompatibilna s splošnimi lastnostmi indeksa NDVI.

2.4.1.3. Testna območja

Za testiranje vegetacijskih površin smo vzeli dve različni območji, ki ju zaznamujejo različne lastnosti pokrovnosti tal. Prvo območje je izrazito urbano in zajema del stanovanjskih in poslovnih površin v centru Ljubljane na približno 1700 m x 1000 m velikem izseku satelitskega posnetka WorldView-2 (Slika 42). To območje predstavlja gost in zelo razdrobljen urban predel, kjer lahko najdemo poleg pozidanih površin (zgradbe, ceste in železnica) tudi zelene površine (drevesa, urbani travniki). Na majhnem območju lahko tako najdemo veliko različnih vrst pokrovnosti tal.

Drugo območje zajema mestno obrobje Ljubljane (Brezovica) (Slika 43), za katerega je značilna predvsem individualna gradnja in prostorska razdrobljenost zazidalnih površin. Na testnem območju je mogoče opaziti južno avtocesto, ki poteka v smeri Ljubljana - Postojna, prav tako pa tudi regionalne in lokalne ceste ter železnico. Na izseku posnetka je mogoče zaznati tako večje območje gozda kot tudi intenzivne kmetijske površine na Barju, ki so prepredene s kolovozi.

Ožje območje preizkušanja metod za zajem vegetacije Ljubljana – center (TO 1) ima površino okoli 1000 m × 1700 m z robnimi koordinatami v državnem koordinatnem sistemu D48/GK:

ULX: 461373.7846

ULY: 102238.5698

LRX: 463068.2376

LRY: 101201.1967

Ožje območje preizkušanja metod za zajem vegetacije Brezovica (TO 2) ima površino 5397 m × 5226 m z robnimi koordinatami v državnem koordinatnem sistemu D48/GK:

ULX: 455715.6081

ULY: 98718.9778

LRX: 457063.6081

LRY: 97412.9778

Vsi uprabljeni podatki (WorldView-2, DOF, DTK 5) so zapisani v državnem koordinatnem sistemu D48/GK.



Slika 42: Območje testiranja zajema, razpoznavanja in vzdrževanja objektnega tipa vegetacija v centru Ljubljane (testno območje 1).



Slika 43: Območje testiranja zajema, razpoznavanja in vzdrževanja objektnega tipa vegetacija v okolici Brezovice (testno območje 2).

2.4.2. Opis testiranja in implementacije postopkov

Testiranje in implementacijo postopkov razpoznavanja vegetacije smo izvedli v naslednjih korakih:

- predobdelava satelitskega posnetka WorldView-2 (Erdas Imagine) in predobdelava posnetka DOF(2006),
- segmentacija (ENVI Feature Extraction),
- objektno usmerjena nadzorovana klasifikacija (ENVI Feature Extraction),
- objektno usmerjena klasifikacija z upoštevanjem pravil (ENVI Feature Extraction),
- vizualno vrednotenje rezultatov,

- analiza sprememb vegetacijskih površin (ENVI Feature Extraction, Erdas Imagine, ArcGIS).

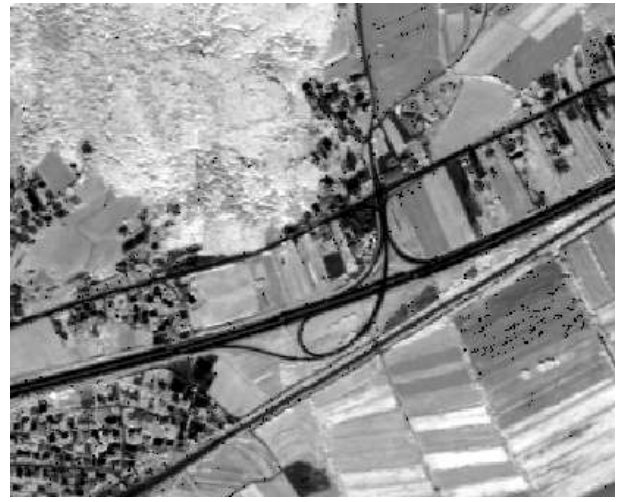
2.4.2.1. Predobdelava posnetka WV2

Poleg osnovne skupne predobdelave (ortorektifikacija, ostrenje, glajenje) satelitskega posnetka WorldView-2 (WV2) smo v raziskavi testirali tudi različne vhodne kombinacije osnovnih in izpeljanih podatkov. Predobdelava posnetka se v tej točki nanaša predvsem na pridobivanje informacij iz spektralnega prostora posnetka, za potrebe boljšega prepoznavanja lastnosti površja. Pripravili smo sloje različnih kombinacij razmerij kanalov po vzoru izračuna normaliziranega vegetacijskega indeksa (NDVI) ter vrednotili njihovo uporabnost pri izboljšanjem razpoznavanju in razlikovanju posameznih elementov vegetacije. Pokazalo se je, da s kombinacijo kanalov 5 in 7 (standardni NDVI za WorldView-2 posnetke) lahko dobro razločimo vegetacijsko aktivne in neaktivne površine, vendar se v vzorec neaktivnih površin (pozidane površine) precej mešajo tudi neobdelane njive. Nadalje smo poskušali ugotoviti ali katera druga kombinacija razmerij kanalov lahko bolje razlikuje tudi med neobdelanimi njivami in dejansko pozidanimi površinami (ceste, stavbe, utrjene površine). Izmed vseh kombinacij je razmerje med kanaloma 8 in 6 dalo uporabne rezultate. Iz vzorca neaktivne vegetacije dobljenega z razrezom NDVI vrednosti ($NDVI < 0.58$) lahko tako odstranimo dobršen del neobdelanih njiv. Primer rezultatov ustvarjanja maske vegetacijsko neaktivnih površin prikazuje slika 44.

S postopkom objektne klasifikacije, opisanem v nadaljevanju, smo testirali tudi prednosti in slabosti različno pred-pripravljenih podatkov (npr. maskiranje) za razpoznavanje vegetacije na satelitskem posnetku WV2.



WV2_NDVI (kanala 5 in 7): [-0.2, 0.88]



WV2_aNDVI (kanala 6 in 8): [-0.44, 0.47]



WV2_NDVI (kanala 5 in 7) < 0.58



WV2_kombinacija obeh pogojev

WV2_aNDVI (kanala 6 in 8) < 0.045



WV2_maska vegetacijsko neaktivnih površin

Slika 44: Rezultat ustvarjanja maske vegetacijsko neaktivnih površin s kombinacijo razmerij spektralnih kanalov posnetka WV-2.

2.4.2.2. Segmentacija posnetka

Segmentacija je najpomembnejša faza objektno usmerjene klasifikacije, hkrati pa zahteva tudi največ pozornosti, saj se podrobnosti in natančnosti homogenih objektov (segmentov) v fazi segmentacije prenašajo na klasifikacijo. V tej raziskavi smo uporabili nadzorovano segmentacijo za potrebe pridobitve segmentov vegetacije na obeh študijskih območjih na podlagi osmih spektralnih kanalov. V uporabljeni programski opremljeni (ENVI EX) mora uporabnik definirati dva segmentacijska parametra: stopnjo segmentacije (ang. scale level) in parameter združitve (ang. merge), definirana v vrednostih od 0 do 100 (večja izbrana vrednost ustvari manj segmentov, manjša pa več). Z nastavitvijo stopnje segmentacije torej kontroliramo povprečno velikost segmenta na podobi. Segmentacijski parametri so bili izbrani tako, da so bili v primeru razpoznavanja geografskih objektov površja prilagojeni optimalnemu ločevanju segmentov posameznega vegetacijskega tipa. Zemeljsko površje je namreč sestavljeno iz različnih tipov pokrovnosti tal (npr. gozd, ceste, zgradbe), ki lahko v naravi zavzemajo različno velike površine. Ker nudi uporabljeni satelitski posnetek osem spektralnih kanalov, smo za karakterizacijo prepoznavne objektov izbrali kanale 5, 3 in 2. Atributi segmentov, ki se navezujejo na barvni prostor (npr. barvni odtenek, nasičenost in intenziteta) so bili torej izračunani za dane tri spektralne kanale. Za normalizirano razmerje med kanali sta bila uporabljena kanala 5 in 7 (rdeči in bližnje rdeči kanal), ki v tej kombinaciji obenem predstavlja tudi indeks NDVI. Sicer pa so bili uporabljeni vsi spektralni kanali (pri segmentaciji podobe so imeli enako težo), zato so bili vsi razpoložljivi atributi izračunani za vse segmente (geometrični, spektralni, teksturni atributi).

Slika 45 prikazuje primer segmentacije vegetacijskih površin.



Slika 45: Primer rezultata segmentacije vegetacijskih površin.

2.4.2.3. Objektno usmerjena nadzorovana klasifikacija

2.4.2.3.1. Objektno usmerjena klasifikacija na osnovi učnih vzorcev

Postopek smo nadaljevali z objektno usmerjeno nadzorovano klasifikacijo, ki je v večji meri kontrolirana s strani uporabnika. V fazi izbire vzorcev smo označili segmente (učne vzorce), ki predstavljajo reprezentativne vzorce pokrovnosti tal in za katere smo vedeli, da se tam v realnosti nahajajo. Segmenti so bili klasificirani v pripadajoč razred po algoritmu SVM (ang. Support Vector Machine algoritem). Vegetacijske objekte na podobi smo razdelili v primeru študijskega območja Ljubljana center v dva informacijska razreda pokrovnosti tal (drevesa, travnik), v primeru Brezovice pa zaradi drugačne pokrovnosti tal v štiri razrede (njive_zelene, njive_zrele, drevesa, travnik). Razred »drevesa« v obeh obravnavanih območjih predstavljajo iglasta in listnata drevesa ter grmičevje, pod »travnik« spadajo tako urbane zelene površine kot tudi travniške površine v parkih in okolici urbanega središča. Na območje Brezovice sta bili namesto ene izbrani dve kategoriji razreda plodne zemlje oziroma njiv. Območja kmetijskih površin so zaradi različnih stadijev vegetacije spremenljiva (od njiv z zelenimi pridelki do zoranih njiv) in imajo zato takšni razredi različno odbojnost (spektralne lastnosti). S tem, ko jih razdelimo znotraj iste kategorije v podskupine, se izognemo spektralni spremenljivosti ter tako zagotovimo boljšo natančnost klasifikacije. Njive z vegetacijo, ko le ta ne izvaja fotosinteze, smo združili v razred »njive_zrele«, zelene, fotosintetične njive pa v razred »njive_zelene«.

2.4.2.3.2. Objektno usmerjena klasifikacija z upoštevanjem pravil

Uporabljena programska oprema omogoča tudi klasifikacijo z upoštevanjem pravil. S pomočjo opredeljenih pravil uporabnik spreminja dopustne vrednosti atributov, ki jih nosijo segmenti in tako vpliva na izločanje segmentov želenega tipa površja. Omenjena tehnika je bila preizkušena na razredu gozd, saj je omenjeni tip vegetacije od vseh ostalih še najbolj izstopajoč in enostaven za modeliranje (spektralni podpis, tekstura, oblika segmentov). Po daljšem prilagajanju vrednosti atributov za avtomatski zajem gozdov smo v najboljšem primeru dobili rezultate ne samo dreves, ampak tudi ostalih zelenih površin (npr. zelene njive, travniki), ki imajo podobne spektralne vrednosti v določenih spektralnih kanalih. Ker z ustvarjanem niza pravil nismo prišli do zadovoljivih rezultatov za razpoznavanje izbranega tipa pokrovnosti (gozd) smo ta pristop odkrivanja vegetacije ovrgli (slika 46).

Za klasifikacijo z upoštevanjem pravil je značilno, da je po navadi uspešna pri zaznavi tipičnih antropogenih značilnosti na površju, ki so zgrajene v skladu z določenimi standardi in so zato razmeroma enostavne za modeliranje (Lang in Blaschke, 2003). To je najverjetneje tudi razlog, da iz satelitskega posnetka WV-2 na obeh študijskih območjih nismo prišli do ustreznih rešitev. Gozd in na splošno vsa vegetacija namreč ne predstavlja enoličnih primerov površja (temnejše zelene njive, travniki s posamičnimi drevesi, grmičevje in drevesa je bila enako klasificirana, in sicer kot gozd).



Slika 46: Rezultat samodejne zaznave vegetacije na območju Brezovice z uporabo objektne klasifikacije z upoštevanjem pravil.

2.4.2.4. Analiza sprememb vegetacijskih površin

Ker smo razpolagali samo z enim satelitskim posnetkom visoke ločljivosti na obeh omenjenih območjih, analize sprememb v časovni vrsti ni bilo mogoče opraviti. Možnosti analize sprememb vegetacije smo zato opravili na nekaj drugih načinov:

- vizualna primerjava rezultatov klasifikacije iz WV2 in DOF,
- z RGB kompozitom treh različno časovno zajetih prilagojenih NDVI slojev DOF-ov ter
- s primerjavo rezultatov klasifikacije na stanje v DTK5.

2.4.2.4.1. Metoda RGB-NDVI

Problem določanja sprememb pokrovnosti tal ob uporabi DOF posnetkov treh časovnih presekov smo opravili z metodo RGB - NDVI. Omenjena metoda temelji na ustvarjanju kompozita podob NDVI posnetkov treh različnih obdobj (slika 50). Uporabljena metoda daje točne, vendar zgolj vizualne rezultate sprememb pokrovnosti tal in je predvsem lahko opredeljiva. Rezultate je prav tako enostavno interpretirati, saj so območja sprememb dobro diskriminirana, poleg tega pa ta način omogoča sočasno primerjavo treh in ne samo dveh vhodnih podatkov (Gomez, 1999). Vsaki podobi smo izračunali prilagojeni NDVI (normirani diferencialni vegetacijski indeks). Izmed vseh kombinacije je približno ustrezala kombinacija kanalov 1 in 3. Pri indeksu NDVI praviloma območja svetlih tonov predstavljajo območja z močno vegetacijo (gozd) in obratno, v temnih tonih so prikazana območja s šibko vegetacijo oziroma brez vegetacije (urbane površine). V našem primeru je situacija ravno obratna, vendar je bila to edina kombinacija kanalov, ki je ponujala najboljše vizualno razlikovanje med vegetacijsko aktivnimi in neaktivnimi površinami. Vsaka od treh pridobljenih podob NDVI je potem bila dodeljena posameznemu kanalu sestavljene podobe (kompozita) RGB. Transformirana podoba iz leta 2005 je bila dodeljena rdečemu kanalu, podoba 2006 modremu ter podoba 2011 zelenemu kanalu. Pridobljena podoba s tremi NDVI kanali predstavlja spremembe urbanih in vegetacijskih površin med različnimi časovnimi obdobji z rdečo, zeleno in modro barvo.

2.4.3. Opis rezultatov testiranja

Objektni tip vegetacija smo z metodo objektne klasifikacije z učnimi vzorci razpoznavali na naslednjih podatkih:

- izostrena podoba WorldView-2 posnetka (ločljivost 0.5 m): na testnem območju LJ-center in Brezovica,
- izvorna multispektralna podoba WorldView-2 posnetka (ločljivost 2 m): na testnem območju Brezovica,
- izostrena podoba WorldView-2 posnetka z upoštevanjem maske vegetacijsko neaktivnih površin (0.5 m): na testnem območju Brezovica,
- DOF posnetek iz leta 2006 (ločljivost 0.5 m): na testnem območju Brezovica.

2.4.3.1. Klasifikacija objektnega tipa vegetacija

Klasifikacijo objektnega tipa vegetacija smo izvedli z objektno klasifikacijo na izostreni podobi WorldView-2 posnetka.

Na podlagi uporabljene metode razpoznavanja vegetacije na satelitskem posnetku lahko trdimo, da so rezultati pridobljeni z zelo zadovoljivo natančnostjo. Na obeh študijskih območjih smo rezultate pridobili detajlno, z dobro ločljivostjo med izbranimi tipi pokrovnosti tal (slika 47, slika 48).

Na urbanem območju v centru Ljubljane (slika 47) je dobro zaznan park Tivoli z vsemi detajli (posameznimi drevesnimi krošnjami in območji travnikov), prav tako pa tudi urbana vegetacija med stavbami v zazidanem območju mesta.



Slika 47: Originalni satelitski izrez posnetka nad centrom Ljubljane (1) in rezultati vegetacijskih površin (2).

Na testnem območju Brezovica (slika 48) je dobro zaznan gozd severno od naselja Brezovica, z vsemi detajli gozdne meje. Prav tako pa tudi vegetacija med stavbami v zazidanem območju individualne gradnje (travnate površine z drevesnimi krošnjami) in območja grmičevja ter obrežnega drevesnega rastja na okoliških njivah in travnikih.



Slika 48: Originalni satelitski izrez posnetka nad Brezovico (1) in rezultati klasifikacije vegetacije (2).

Dobljene klasificirane vegetacijske poligone smo primerjali z referenčnim DTK 5 (slika 49, poglavje 2.4.3.2.1). Tukaj je treba izpostaviti dejstvo, da klasificirani rezultati pridobljeni iz satelitskega posnetka dajejo veliko več podrobnosti o vegetaciji (tako v stopnji geometričnih kot semantičnih lastnosti), kot so zajete na DTK 5 (natančnejša gozdna meja, zajem vseh kmetijskih površin in manjših sklopov vegetacije). Zato v veliko primerih sama primerjava ni bila ne relevantna, ne realna.

2.4.3.2. Analiza sprememb

Neposredna analiza sprememb (časovna analiza) na satelitskih posnetkih ni bila izvedena, ker smo razpolagali zgolj z enim WV-2 posnetkom.

Neposredna analiza sprememb (z razlikovanjem podob, angl. image differencing) na DOFih je zelo otežena, saj imajo različne serije DOFov različno urejene spektralne kanale. Z drugimi besedami to pomeni, da ni nujno, da so si istoležni kanali v podobni (npr. zeleni kanal) sorodni po radiometričnih značilnostih med različnimi serijami snemanj. Zaradi tega obstoječih DOFov ni mogoče radiometrično urediti in standardizirati na način, kot je v praksi pri analizah časovne serije satelitskih posnetkov. S tem, žal, preostane zgolj možnost, da za vsako izbrano območje ločeno opravimo objektno klasifikacijo, ki pa je pri večji količini posnetkov DOF ter stopnji detajla, ki jo DOF ponuja, precej zamudna. Zato tudi neposredna primerjava stanja na DOFih različnih datumov ni bila izpeljana.

2.4.3.2.1. Primerjava razpoznavanja gozda

Primerjavo razpoznavanja objektnega tipa gozd, ki je element objektnega tipa vegetacija, smo opravili na rezultatih objektno klasifikacije različnih vhodnih podatkov ter DTK 5, za testno območje Brezovica:

- izvorna multispektralna podoba WorldView-2 posnetka (ločljivost 2 m),
- DOF posnetek iz leta 2006 (ločljivost 0,5 m),
- DTK 5.

Namen testiranja je bil ugotoviti, kateri podatki so najbolj optimalni za razpoznavanje vegetacije. Analiza pokaže, da je gozdne površine, pa tudi posamezna drevesa in drevorede, mogoče kakovostno pridobiti tako iz multispektralne podobe ločljivosti 2 m, kot DOFa visoke ločljivosti 0,5 m. Rezultati za večje gozdne površine so primerljivi, za manjše zaplate dreves, pa daje DOF boljše rezultate. Bistvena razlika je v količini dela (postklasifikacija in popravki), saj je delo na satelitski podobi bistveno hitreje opravljeno.



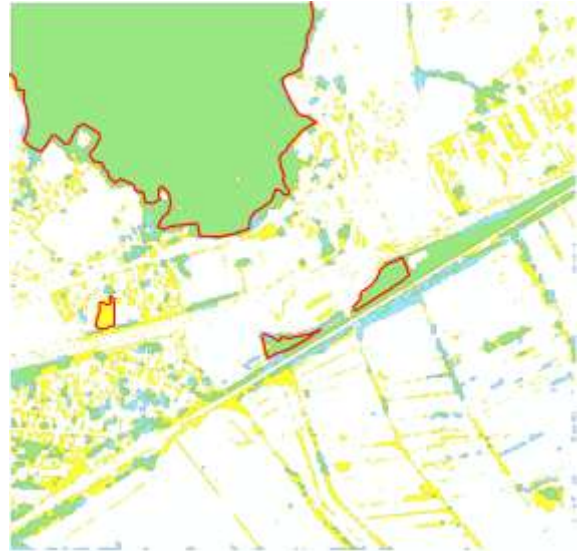
WorldView2_Brezovica



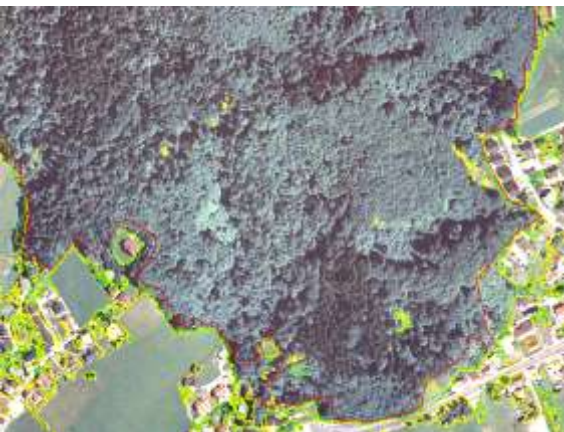
DOF_2006_Brezovica



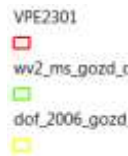
Kartiranje gozdnih površin (v ozadju DOF_2006)



- VPE2301
- ww2_ms_gozd_c
- dof_2006_gozd



Kartiranje gozdne meje – detajl (v ozadju izsek DOF_2006)



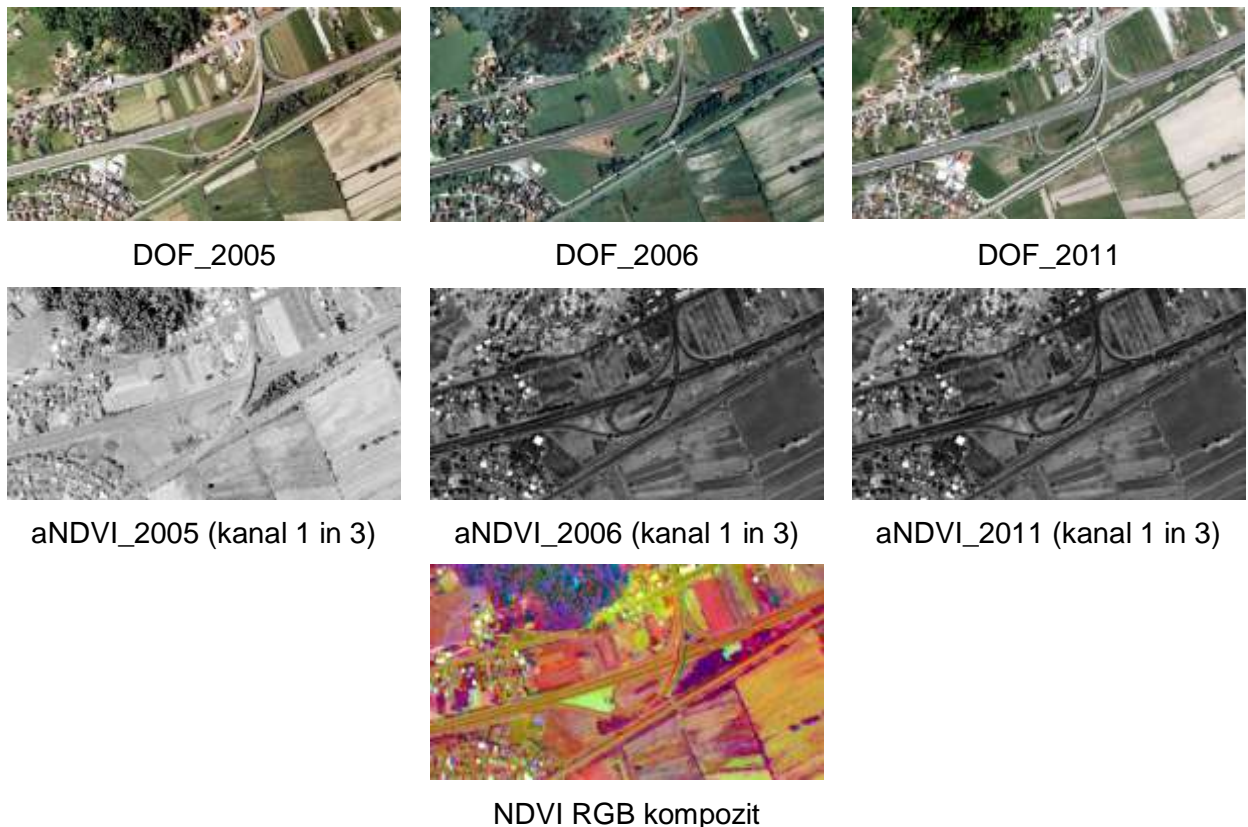
Slika 49: Primerjava razpoznavanja gozdnih površin in gozdne meje pridobljene z objektno klasifikacijo na različnih podatkih.

Slika 49 prikazuje primerjavo razpoznavanja gozdne meje pridobljene z objektno klasifikacijo na različnih podatkih, na območju Brezovica. Z rdečo barvo je označena razmejitev vegetacije DTK 5. Vidimo, da je linija precej generalizirana, niti ne sledi dejanskemu stanju gozdnih obronkov. S tega vidika so rezultati objektno klasifikacije na satelitskih posnetkih učinkovita in dobra rešitev za vzpostavitev in vzdrževanje topografskih virov kot je DTK 5.

2.4.3.2.2. Vizualni pregled sprememb z metodo RGB-NDVI

Vhodni podatki za vizualni pregled večjih sprememb po metodi RGB-NDVI so sloji prirejenega NDVI iz treh časovno različno zajetih DOFov: 2005, 2006 in 2011 (vsi CAS).

Slika 50 prikazuje detajl rezultatov z metodo RGB kompozita prilagojenega NDVI, po korakih. NDVI_kompozit prikazuje barvno shemo treh časovnih slojev. Zelo svetle ali zelo temne vrednosti pomenijo večje spremembe. Barva določa med katero časovno sekvenco je prišlo do sprememb. Na sliki se lepo vidijo spremembe vegetacije na območju priključkov na avtocesto: ogoleli travnik 2006 – površina trikotne oblike v svetlo rumenih tonih, posek grmičevja 2011 – tanjši trikotnik v magenta odtenkih. Na območju gozdnih površin so spremembe tudi precej izražene, vendar so te predvsem posledica različne lege padanja senc na posnetkih, deloma pa tudi zato, ker izračunani prilagojeni NDVI ni pravi NDVI (zgolj najboljši izmed razpoložljivih možnosti).

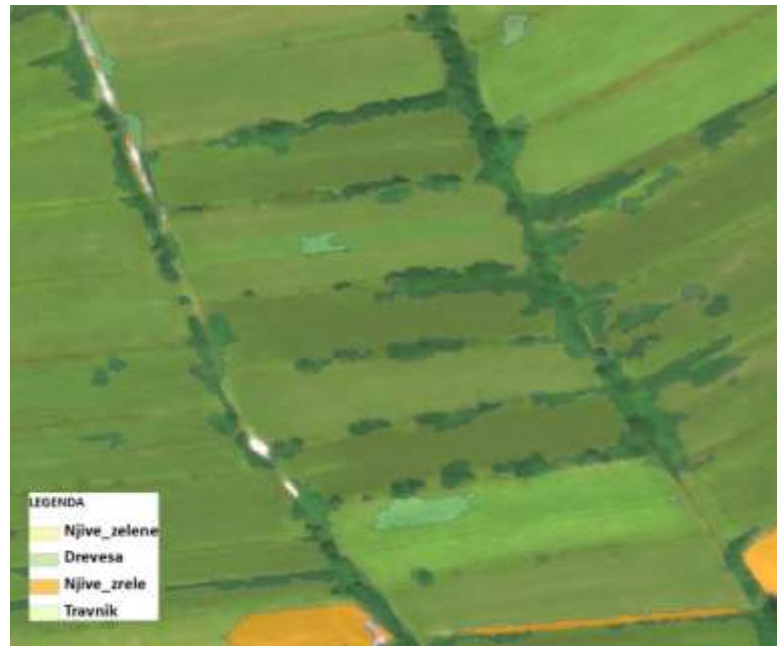


Slika 50: Primer detajla vizualne primerjave sprememb iz treh obdobjih posnetkov DOF z metodo RGB-NDVI.

Metoda RGB-NDVI sicer ni kvantitativna, je pa dober pripomoček pri hitrem ugotavljanju sprememb v prostoru.

2.4.3.3. Omejitve za samodejnost postopka

Nepopolnost klasificiranja vegetacije se je kazala v primeru študijskega območja Brezovica v pretirani zaznavi omenjenega razreda, saj so namesto gozda in drevesnih krošenj klasificirane pod ta razred še zelene njive (slika 51). Ta pretirana klasifikacija razreda drevesa je posledica podobnega spektralnega podpisa med obema razredoma.



Slika 51: Pretirano klasificiranje razreda "drevesa" med zelene njive zaradi podobnih spektralnih lastnosti.

Težavo smo skušali odpraviti s predhodno razdelitvijo podobe na vegetacijsko neaktivne površine ter vegetacijsko aktivne površine (maskiranje s pogojem NDVI_57 in VI_68). Pri tem postopku vsebino podobe razdelimo na dva sloja, ki ju nato vsakega posebej klasificiramo z usmerjeno objektno klasifikacijo. Rezultati samega razvrščanja posameznih objektnih tipov vegetacije niso bili bistveno boljši od rezultatov opisanih v poglavju 2.1.3.1, le dela v fazi postklasifikacije je manj. Slabšega razločevanja zelenih njiv in gozda tudi v tem primeru nismo odpravili. Razlog je v tem, da so tako v enem kot drugem sloju (aktivne nasproti neaktivne površine) še vedno prisotne in zastopane vse vrste pokrovnosti površja, le da v manjšem obsegu. To pomeni, da se spektralni prostor za proučevani objektni tip ni dovolj zožil, da bi omogočil boljše razpoznavanje znotraj enega razreda (npr. njive) pri objektnih s podobnimi spektralnimi podpisi.

Opisane težave znižujejo stopnjo samodejnosti postopka, saj je treba v okviru postopka ovrednotenja rezultatov napačno klasificirane površine preveriti vizualno in ročno popraviti (poklasifikacija).

2.4.4. Opis načina vzdrževanja za objektni tip vegetacija glede na rezultate testov

Informacijo o razporedu objektnega tipa vegetacija v prostoru je mogoče pridobiti tako iz satelitskih posnetkov, kot posnetkov DOF. Oba vira podatkov ponujata rezultate, ki so v geometričnem in vsebinskem smislu boljši od prikaza objektnega tipa vegetacija v DTK 5. Postopek pridobivanja informacije o razporeditvi tipov vegetacije je pol-samodejen, če uporabljamo zgolj omenjena vira podatkov. Z dodajanjem informacije o višinah objektov, pridobljenimi iz podatkov laserskega skeniranja, ter ustreznim modeliranjem, je postopek mogoče razviti do stopnje, ko bi deloval v samodejnem načinu. Na ta način lahko zagotovimo stanje objektnega tipa vegetacija (in izboljšamo trenutno informacijo v DTK 5) na širšem območju, obenem pa lahko izvajamo tudi časovne primerjave z novejšimi podatki različnih virov.

2.4.5. Smer nadaljnega razvoja

Ob testiranju različnih kombinacij vhodnih podatkov ter različne stopnje predobdelave je poleg usmerjene objektna klasifikacije na izostrenih podobah, dobre rezultate za razpoznavanje vegetacije dala tudi objektna klasifikacija neizostrenega posnetka, torej analiza multispektralne podobe v ločljivosti 2 m. To je zlasti pomembno, ker je obseg dela na satelitski podobi v manjši prostorski ločljivosti znatno manjši od dela na DOFih. Glavna slabost kombinacije objektno usmerjenega pristopa in uporabljeneih podatkov je, da niti s podrobno klasifikacijo, niti z dodatno predobdelavo podob (predhodno ločevanje na vegetacijsko aktivne in neaktivne površine) nismo uspeli v okviru samega postopka klasifikacije zadovoljivo razločiti vseh objektnih tipov vegetacije (problem slabega razlikovanja med gozdom in zelenimi njivami) v samodejnem načinu. To povzroča dodatno delo v fazi poklasifikacije (ročno preverjanje in popravljanje). Preverili smo različne vhodne kombinacije podatkov (DOF, WV-2), z različno stopnjo priprave podatkov, vendar je bil opisani problem povsod enak. Navkljub osmim spektralnim kanalom satelitskega posnetka ni bilo mogoče samodejno in popolno razlikovati med objektnima tipoma gozd (drevesa) in zelene njive, medtem, ko je razlikovanje njiv glede na njihovo fotosintetično aktivnost zelo dobro. Zato menimo, da bi k učinkovitejšemu razlikovanju med tema dvema objektnima tipoma - gozd (drevesa) in zelene njive - zelo pripomogla informacija o višini objektov, ki jo je mogoče pridobiti iz podatkov laserskega skeniranja.

Pomembno pa je na tem mestu tudi opozoriti, da je za kakovostno razpoznavo vegetacije bistvenega pomena informacija infrardečih spektralnih kanalov. V okviru obstoječe raziskave testiranja razpoznavne vegetacije nismo izvedli tudi na DOF-IR. Vsekakor bi veljajo v nadaljnje študije vključiti infrardeče DOFe, predvsem pa analizo izvajati na izvornih podatkih CAS (izvirne radiometrične lastnosti) ter v kombinaciji s podatki laserskega skeniranja o višinah objektov.

2.4.6. Uporabljena literatura pri izvedbi testov

Blaschke, T., Lang, S., Lorup, E., Strobl, J., Zeil, P., 2000. Object-oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications. V: Environmental Information for Planning, Politics and the Public vol. II, edited by Cremers A. and Greve K., Marburg: Metropolis Verlag, pp. 555–570.

Burnett, C., Blaschke, T., 2003. A multi-scale segmentation/object relationship modeling methodology for landscape analysis. Ecological Modelling 168, pp. 233-249.

Gomez, O.F. 1999: Change detection of vegetation using Landsat imagery. Medmrežje: <http://www.crwr.utexas.edu/gis/gishydro99/class/gomez/termproj.htm> (30.8.2011).

Kampouraki, M., Wood, G. A., Brewer, T. R., 2008. Opportunities and limitations of object-based image analysis for detecting urban impervious and vegetated surfaces using true-color aerial photography. In: Object-Based Image Analysis. Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications, edited by Blaschke, T., Lang, S., Hay, G.J., Springer - Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, pp. 555-569.

Kanjir, U., Veljanovski, T., Marsetič, A., Oštir, K., 2010. Vizualno ugotavljanje sprememb urbanih površin na posnetkih Landsat z uporabo indeksa NDVI. V: PERKO, Drago (ur.), ZORN, Matija (ur.). Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009-2010, (GIS v Sloveniji, 10). Ljubljana

Lang, S., Blaschke, T., 2003, Hierarchical object representation – comparative multiscale mapping of anthropogenic and natural features. ISPRS Archives 34, Part 3/W8: 17 – 19.

Marsetič, A., Oštir, K., 2010. Izdelava digitalnega modela površja in ortopodob iz stereo posnetkov Ikonos, zajetih v istem preletu = Digital surface model and ortho-images generation from Ikonos in-track stereo images. Geod. vestn.. [Tiskana izd.], 2010, letn. 54, št. 3, str. 417-448, ilustr. <http://www.geodetski-vestnik.com>.

2.5. Objektni tip: CESTE

2.5.1. Test 1

2.5.1.1. Opis vhodnih podatkov glede na izvedena testiranja

2.5.1.1.1. WorldView-2

Za potrebe raziskave smo uporabili visoko ločljivi satelitski posnetek WorldView-2 z osmimi spektralnimi in enim pankromatskim kanalom. Posnetek je bil zajet 10. avgusta 2010. Zaradi topografskih spremenljivosti zemeljskega površja je bil satelitski posnetek ortorektificiran. Za to smo uporabili DMV in tako odpravili nepravilnosti, ki nastanejo kot posledica geometrije snemanja. Na posnetku je bila uporabljena tudi Gram-Schmidt tehnika ostrenja (ang. pansharpending), s katero smo pridobili posnetek, ki združuje multispektralne informacije osmih kanalov in višjo prostorsko ločljivost (0,46 m) pankromatskega kanala. Posnetek je bil nato prevzorčen na ločljivost 0,5 metra ter zglajen s filtrom velikosti okna 3 x 3. Za predobdelave posnetka smo uporabili program Erdas Imagine.

Za obdelavo podatkov (klasifikacijo objektnih tipov) je bil uporabljen programski paket ENVI EX Feature Extraction.

Datum snemanja	10.8.2010
Območje snemanja	Ljubljana z okolico
Senzor	WorldView-2
Odklon od nadirja	18,8 °
Resolucija v nadirju	0,496 m ČB; 1,984 m MS
Resolucija 26° odklonski kot	0,5 m ČB; 2 m MS
Kanali senzorja	ČB, obalno moder, moder, zelen, rumen, rdeč, robni rdeč, bližnji IR1, bližnji IR2
Nivo predobdelave	Radiometrically Corrected
Metoda georeferenciranja	RPC model
Natančnost georeferenciranja	RMS (Pan) 0.5 m, RMS (MS): 2 m

Preglednica 22: Podatki o satelitskem posnetku WorldView-2, ki je bil uporabljen za razpoznavanje cestnih površin.

Za testiranje cestnih površin smo vzeli dve različni območji pokrovnosti tal. Prvo območje je izrazito urbano in zajema del stanovanjskih in poslovnih površin v centru Ljubljane na približno 1700 m x 1000 m velikem izseku satelitskega posnetka WorldView-2 (Slika 52). To območje predstavlja gost in zelo razdrobljen urban predel, kjer lahko najdemo poleg pozidanih površin (zgradbe, ceste in železnica) tudi zelene površine (drevesa, urbani travniki). Na majhnem območju lahko najdemo veliko različnih vrst pokrovnosti tal.



Slika 52: Območje testiranja zajema, razpoznavanja in vzdrževanja objektnega tipa ceste v centru Ljubljane (testno območje 1).

Drugo območje zajema mestno obrobje Ljubljane (Brezovica) (Slika 53), za katerega je značilna prevsem individualna gradnja in prostorska razdrobljenost zazidalnih površin. Na testnem območju je mogoče opaziti južno avtocesto, ki poteka v smeri Ljubljana- Postojna, prav tako pa tudi regionalne in lokalne ceste. Na izseku posnetka pa je mogoče zaznati tako večje območje gozda kot tudi intenzivne kmetijske površine na Barju, ki so prepredene s kolovози.



Slika 53: Območje testiranja zajema, razpoznavanja in vzdrževanja objektnega tipa ceste v okolici Brezovice.

2.5.1.2. Opis testiranja in implementacije postopkov

Testiranje in implementacijo postopkov razpoznavanja cestnih površin smo izvedli v naslednjih korakih:

- Segmentacija posnetka,
- objektno usmerjena nadzorovana klasifikacija,
- objektno usmerjena klasifikacija z upoštevanjem pravil,

- vizualno ovrednotenje rezultatov.

2.5.1.2.1. Segmentacija posnetka

Segmentacija je najpomembnejša faza objektno usmerjene klasifikacije, hkrati pa zahteva tudi največ pozornosti, saj se podrobnosti in natančnosti homogenih objektov (segmentov) v fazi segmentacije prenašajo na klasifikacijo. V tej raziskavi smo uporabili nadzorovano segmentacijo za potrebe pridobitve segmentov cest na obeh študijskih območjih na podlagi osmih spektralnih kanalov. V uporabljeni programski opremi (ENVI EX) mora uporabnik definirati dva segmentacijska parametra: stopnjo segmentacije (ang. scale level) in parameter združitve (ang. merge), definirana v vrednostih od 0 do 100 (večja izbrana vrednost ustvari manj segmentov, manjša pa več). Z nastavitvijo stopnje segmentacije torej kontroliramo povprečno velikost segmenta na podobi. Segmentacijski parametri so bili izbrani tako, da so bili v primeru razpoznavanja cestnih površin prilagojeni optimalnemu ločevanju segmentov omenjenega tipa površja. Zemeljsko površje je namreč sestavljeno iz različnih tipov pokrovnosti tal (npr. gozd, ceste, zgradbe), ki lahko v naravi zavzemajo različno velike površine. Ker nudi uporabljeni satelitski posnetek osem spektralnih kanalov, smo za karakterizacijo prepoznave objektov izbrali kanale 5, 3 in 2. Atributi segmentov, ki se navezujejo na barvni prostor (npr. barvni odtenek, nasičenost in intenziteta) so bili torej izračunani za dane tri spektralne kanale. Za normalizirano razmerje med kanali sta bila uporabljena kanala 5 in 7 (rdeči in bližnje rdeči kanal), ki v tej kombinaciji obenem predstavlja tudi indeks NDVI. Sicer pa so bili uporabljeni vsi spektralni kanali (pri segmentaciji podobe so imeli enako težo), zato so bili vsi razpoložljivi atributi izračunani za vse segmente (geometrični, spektralni, teksturni atributi). Slika 54 prikazuje primer segmentacije cestnih površin.



Slika 54: Rezultat segmentacije cestnih površin.

2.5.1.2.2. Objektno usmerjena nadzorovana klasifikacija

Postopek smo nadaljevali z objektno usmerjeno nadzorovano klasifikacijo, ki je v večji meri kontrolirana s strani uporabnika. V fazi izbire vzorcev smo označili segmente (učne vzorce), ki predstavljajo reprezentativne vzorce pokrovnosti tal in za katere smo vedeli, da se tam dejansko nahajajo. Segmenti so bili klasificirani v pripadajoč razred po algoritmu SVM (ang. Support Vector Machine algoritem).

V vse podtype razreda cest so bile zajete tako asfaltirane kot tudi tlakovane urbane površine. Čeprav ceste klasificiramo po hierarhiji v več razredov pa teh razredov z objektno klasifikacijo

nismo mogli pridobiti. V mestnem središču smo izbrali dva razreda pokrovnosti tal, in sicer ceste in zazidane površine. Čeprav so tako ceste kot zgradbe zazidane površine pa smo jih ločili v podrazrede, saj ima vsak razred od naštetih svoje geometrijske, spektralne in teksturne značilnosti. Pod »ceste« spadajo vse cestne površine v urbanem naselju, pod »zazidane površine« pa ostale asfaltirane ali tlakovane površine. Pod zazidane površine spadajo prekrite zemeljske površine z neprepustnimi materiali, ki so posledica urbanega razvoja in infrastrukture (npr. parkirni prostori).

Razred cest smo v primeru Brezovice razdelili na dva podrazreda (ceste_sive in ceste_bele). Pod »ceste_sive« spadajo cestne površine, ki imajo na posnetku spektralni odboj v sivi barvi in predstavljajo predvsem ceste višjih kategorij (avtocesta, regionalna cesta, železnica). »Ceste_bele« pa so predvsem lokalne ceste nižje hierarhije in kolovozi.

2.5.1.2.3. Objektno usmerjena klasifikacija z upoštevanjem pravil

Uporabljena programska oprema omogoča tudi klasifikacijo z upoštevanjem pravil. S pomočjo opredeljenih pravil uporabnik spreminja dopustne vrednosti atributov, ki jih nosijo segmenti in tako vpliva na izločanje segmentov zelenega tipa površja. Omenjena tehnika je bila preizkušena za ceste, kjer so se upoštevali atributi povprečne vrednosti modrega kanala, podaljšanost ter povprečna vrednost pikslov znotraj segmenta.

V primeru Brezovice so bili rezultati dokaj zadovoljivi tam, kjer so ceste obdane z vegetacijo (npr. kolovozi med polji ali lokalne ceste med zelenimi površinami), saj se zidane površine dobro ločijo od vegetacije (Slika 55). Po drugi strani pa po tem postopku v samem urbanem območju ni mogoče dobro avtomatsko določiti cest, saj se segmenti cest mešajo s segmenti zgradb ali drugih urbanih pozidanih površin ter na kmetijskih površinah z že dozorelo vegetacijo (vegetacija brez klorofila). V primeru urbanega študijskega območja Ljubljana nismo dobili primernih rezultatov.



Slika 55: Rezultat samodejne zaznave cest na območju Brezovice z uporabo objektne klasifikacije z upoštevanjem pravil.

Čeprav je za to klasifikacijo značilno, da je po navadi uspešna pri zaznavi tipičnih antropogenih značilnostih na površju, ki so zgrajene v skladu z določenimi standardi in so zato razmeroma enostavne za model (Lang in Blaschke, 2003), smo tehniko objektne klasifikacije z upoštevanjem pravil zaradi slabih rezultatov opustili pri samodejni zaznavi cest.

2.5.1.2.4. Analiza sprememb cestnih površin

Ker smo operirali samo z enim satelitskim posnetkom visoke ločljivosti na obeh omenjenih območjih, analizo sprememb v časovni vrsti ni bilo mogoče opraviti. Analiza sprememb cest se je opravila vizualno, s kompozitom treh različno časovno zajetih DOF-ih po metodi RGB-NDVI (poglavje 2.4.2.4.1) ter primerjavo na stanje DTK 5.

2.5.1.3. Opis rezultatov testiranja

Objektni tip ceste smo z metodo objektna klasifikacije z učnimi vzorci in z upoštevanjem pravil razpoznavali na naslednjih podatkih:

- izostrena podoba WorldView-2 posnetka (ločljivost 0.5 m): na testnem območju LJ-center in Brezovica.

Ker z metodo klasifikacije z upoštevanjem pravil nismo dobili zadovoljivih rezultatov (glej poglavje 2.5.1.2.3), so v nadaljevanju prikazani le rezultati za primer klasifikacije z učnimi vzorci.

2.5.1.3.1. Klasifikacija objektnega tipa ceste

Na podlagi uporabljene metode razpoznavanja cest na satelitskem posnetku WV2 z učnimi vzorci lahko trdimo, da so rezultati pridobljeni z zadovoljivo natančnostjo. Dobljene klasificirane poligone cest in zazidljivih površin smo po vizualnem pregledu v urbanem območju centra Ljubljane pridobili z manjšimi odstopanji, vendar zadovoljivimi izhodnimi podatki.



Slika 56: Originalni satelitski izrez posnetka za testno območje centra Ljubljane (1) in rezultati cestnega omrežja ter zazidanih površin (2).



Slika 57: Originalni satelitski izrez posnetka zaz testno območje Brezovica (1) in rezultati cestnega omrežja (2).

Največji problem pri pravilnem klasificiranju so predstavljeni spektralno podobni si razredi. Z pol-avtomatsko obdelavo (učne vzorce pripravimo ročno) je bilo v urbanem območju težko razločiti asfaltne površine in sive strehe zgradb. Predvidevamo, da bi se to dalo dobro razločiti z uporabo lidarja, ki podaja informacije o višini, vendar pa v okviru te raziskave z lidarskimi podatki v mestu Ljubljana nismo razpolagali.

Negativna stran pridobivanja cestnih mrež iz satelitskih posnetkov je tudi nezveznost poteka cest, saj jih motijo objekti, ki prekrivajo sloj interesa na posnetku, kar je v največjih primerih vegetacija ali drugi visoki objekti (npr. krošnje dreves segajo čez ceste zaradi kota snemanja in višine sonca) (slika 58). To napako je potrebno ročno popraviti ali pa bi bilo potrebno razviti algoritem, ki bi sledil tem nezveznostim, kar pa presega cilje zastavljene raziskave.



Slika 58: Primer nezveznosti zajema cest zaradi vegetacije, ki na posnetku sega čez cestne objekte.

V primeru študijskega območja Ljubljane smo zaradi večje heterogenosti površja na splošno dobili slabše rezultate pol-avtomatske zaznave cestnih površin. Zaradi višjih urbanih objektov so na posnetku prisotni večji sklopi senc, ki prav tako kot drevesne krošnje zastirajo dejansko pokritost tal v urbanih območjih. Zveznost cest pa predvsem ceste višjih hierarhij zaradi velikih detajlov na posnetku prekinjajo prehodi za pešce (Slika 59).



Slika 59: Primer padanja senc na cesno omrežje ter nezveznost zajema zaradi detajlov na posnetku (prehodi za pešče) v urbanem območju Ljubljane.

Ker izhodni rezultati nimajo lepih geometrijskih linij in oblik, ki bi neposredno ustrezale kartografskim merilom topografskih zbirk večjega merila, priporočamo za uporabne končne rezultate še ročno poobdelavo (generalizacijo).

2.5.1.3.2. Analiza sprememb

Slika 50, poglavje 2.4.3.2.2, prikazuje detajl rezultatov z metodo RGB kompozita prilagojenega NDVI, po korakih. NDVI_kompozit prikazuje barvno shemo treh časovnih slojev. Zelo svetle ali zelo temne vrednosti pomenijo večje spremembe. Barva določa med katero časovno sekvenco je prišlo do sprememb. Ker v tem obdobju (2005 - 2011) ni prišlo do večjih gradenj v cestni mreži na obravnavanem območju, večjih sprememb za objektni tip ceste ni bilo mogoče zaznati.

Metoda siver ni kvantitativna, je pa dober pripomoček pri hitrem ugotavljanju sprememb v prostoru.

2.5.1.4. Opis načina vzdrževanja posameznega objektnega tipa glede na rezultate testov

Postopek pridobivanja informacije o razporeditvi tipov cest je pol-samodejen, če uporabljamo zgolj visokoločljive satelitske posnetke. Z dodajanjem informacije o višinah objektov, pridobljenimi iz podatkov laserskega skeniranja, ter ustreznim modeliranjem, je postopek mogoče razviti do stopnje, ko bi deloval v samodejnem načinu. Na ta način lahko zagotovimo stanje objektnega tipa cest (in izboljšamo trenutno informacijo v DTK5) na širšem območju, obenem pa lahko izvajamo tudi časovne primerjave z novejšimi podatki različnih virov. Takšen postopek lahko prihrani veliko časa v primerjavi s klasičnim iskanjem sprememb, ki najpogosteje poteka z vizualno primerjavo topografskih podatkov z letalskimi posnetki ali ortofotom.

2.5.1.5. Smer nadaljnega razvoja

Ker je najbolj moteča stran avtomatskega pridobivanja cestnih mrež iz satelitskih posnetkov nezveznost poteka cest zaradi visokih objektov, ki prekrivajo sloj interesa na posnetku (npr. krošnje dreves segajo čez ceste zaradi kota snemanja in višine sonca) je potrebno za nadaljni razvoj najti rešitev za te prepreke. To napako je treba ročno popraviti ali pa bi bilo potrebno razviti algoritem, ki bi sledil tem nezveznostim in posledično ustvaril diskontinuiteto obravnavanega sloja. Za boljšo pridobitev cestnih mrež predlagamo, da se rezultati dopolnijo s podatki laserskega skeniranja oziroma se kar v celoti prevzamejo iz Lidarja, čeprav

predvidevamo, da se lahko v slednjem primeru srečamo s podobnimi preprekami kot v primeru zaznave cest iz visokoločljivih podatkov.

2.5.1.6. Uporabljena literatura pri izvedbi testov

Blaschke, T., Lang, S., Lorup, E., Strobl, J., Zeil, P., 2000. Object-oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications. In: Environmental Information for Planning, Politics and the Public vol. II, edited by Cremers A. and Greve K., Marburg: Metropolis Verlag, pp. 555–570.

Burnett, C., Blaschke, T., 2003. A multi-scale segmentation/object relationship modeling methodology for landscape analysis. Ecological Modelling 168, pp. 233-249.

Carleer, A.P., Wolff, E., 2006. Urban land cover multi-level region-based classification of VHR data by selecting relevant features. International Journal of Remote Sensing 27 (6), pp. 1035–1051.

Gomez, O.F. 1999: Change detection of vegetation using Landsat imagery. Medmrežje: <http://www.crwr.utexas.edu/gis/gishydro99/class/gomez/termproj.htm> (30.8.2011).

Kampouraki, M., Wood, G. A., Brewer, T. R., 2008. Opportunities and limitations of object-based image analysis for detecting urban impervious and vegetated surfaces using true-color aerial photography. In: Object-Based Image Analysis. Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications, edited by Blaschke, T., Lang, S., Hay, G.J., Springer - Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, pp. 555-569.

Kanjir, U., Veljanovski, T., Marsetič, A., Oštir, K., 2010. Vizualno ugotavljanje sprememb urbanih površin na posnetkih Landsat z uporabo indeksa NDVI. V: PERKO, Drago (ur.), ZORN, Matija (ur.). *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2009-2010*, (GIS v Sloveniji, 10). Ljubljana

Lang, S., Blaschke, T., 2003, Hierarchical object representation – comparative multiscale mapping of anthropogenic and natural features. ISPRS Archives 34, Part 3/W8: 17 – 19.

Li, P., Guo, J., Song, B, Xiao, X., 2011. A multilevel hierarchical image segmentation method for urban impervious surface mapping using very high resolution imagery. IEEE Journal of selected topics in applied Earth observations and remote sensing 4 (11), pp. 103-116.

2.5.2. Test 2

2.5.2.1. Opis vhodnih podatkov glede na izvedena testiranja za posamezen objektni tip

Seznam vhodnih podatkov, ki smo jih uporabili pri testiranju postopkov zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja DTK5 sloja ceste, je zapisan v Preglednica 23 (testni podatki). Testni podatki Digitalnih Ortofotov (DOF) pokrivajo lista B2036 in B2037 (staro poimenovanje), t.i. območje Koper.

	DOF 2006	DOF 2009
Lastnik podatkov	GURS	
Izvirne meritve	CAS 2006	CAS 2009/10/11
Datum izmere	2006	V letih 2009-2011
Format datotek	*.tif & *.tiff / DTK5 list	
Koordinatni sistem	GK D48	TM D96
Prostorska	0,5 m	

ločljivost	
Površina/lokacija	območje Koper

Preglednica 23: Seznam testnih podatkov.

2.5.2.2. Opis testiranja in implementacije postopkov

DTK5 sloj cest je v vektorski obliki in je bil izdelan leta 2003 večinoma s pregledovanjem digitalnih stereo-aeroposnetkov in ročno vektorizacijo v stereo-načinu. Za neposredno vzdrževanje sloja cest bi potrebovali prav tako vektorske podatke novega stanja. Ročni zajem je zelo zamuden in zaradi tega drag postopek. Postopek (pol)samodejnega odkrivanja podatkov o cestah iz izvornih meritev pa zahteva uporabo izredno sofisticiranih algoritmov. Pojem ceste obsega namreč v realnem svetu zelo različne objekte, od ozkih kolovoznih poti do širokih asfaltiranih več-pasovnih avtocest. Do danes so strokovnjaki razvili kar nekaj različnih pristopov [Hiepkke in sod., 1997; Mena, 2003; Christophe in Inglada, 2007], ki pa so predvsem akademske narave in še niso implementirani v komercialne programe. Uporabljene so različne metode, kot so splošna metoda izločevanja in rekonstrukcije mreže cest, metoda sledenja cest, morfološke analize, dinamično programiranje, metoda uporabe podatkov z več-merili oziroma z več-ločljivostmi, stereoskopske in več-časovne analize, hiperspektralne analize itd [Mena, 2001].

Za potrebe projekta smo imeli na voljo določene izvirne meritve (stereo-aeroposnetki in izvedeni DOF, satelitske slike ter laserski podatki), ne pa tudi primerne programske opreme, ki bi omogočala (pol)samodejno vektorizacijo cest iz danih meritev. Zato smo za odkrivanje sprememb podatkov o cestah uporabili le DOF-e. S pomočjo relativno preproste analize rasterskih podatkov smo primerjali dve rasterski sliki – DOF 2006 in DOF 2009. Postopek je podrobneje opisan v nadaljevanju.

Transformacija DOF-a

Ker so vhodni podatki rasterskih slik podani v starem (KG D48) in novem (TM D96) državnem koordinatnem sistemu (glej preglednico 23), jih je bilo treba pred primerjavo najprej transformirati v isti koordinatni sistem. Ker je referenčni set podatkov podan v starem koordinatnem sistemu, smo se odločili, da DOF 2009 transformiramo iz novega v stari sistem. Koraki transformacije so:

1. Sedem-parametrična prostorska transformacija za pretvorbo kordinat levega zgornjega vogala DOF-ov 2009 v KG D48.
2. Izsek rastrskih podatkov DOF 2006 in DOF-ov 2009 za isto območje. Transformirani listi DOF-ov 2009 ne pokrivajo istega območja realnega sveta kot listi DOF-ov 2006. Zato smo iz obeh setov vhodnih podatkov na piksel natančno izbrali identično pravokotno območje (glej slika 60). Tako lahko nad rastrskimi podatki izvajamo preproste analitične operacije, kot je odštevanje rastrov.

Izdelava sivinske slike

Vhodni podatki, t.j. DOF 2006 in DOF 2009, so barvne geolocirane slike zapisane v treh barvnih kanalih (RBG kanali). Ker so bili DOF-i izdelani iz aeroposntkov zajetih z različnimi digitalnimi kamerami, v različnih osvetlitvenih pogojih in letnih časih, neposredna primerjava RGB vrednosti pikslov ni možna. Predvidevali smo, da lahko pridobimo boljše rezultate s primerjavo vrednosti sivinskih slik (angl. greyscale). Piksli sivinske slike imajo le eno vrednost, ki predstavlja intenziteto. Najpogosteje so slike shranjene z 8 biti na piksel, kar pomeni, da lahko vrednosti piksla zavzemajo 256 različnih intenzitet; vrednost 0 se prikazuje kot črna (najmanjša intenziteta) in 255 kot bela (največja intenziteta). Pretvorba barvne slike v sivinsko se lahko izvede na več načinov, torej z različnim uteževanjem barvnih kanalov. V našem primeru smo za

izračun sivinskih vrednosti (intenzitete) v odprtokodnem programu GIMP uporabili funkcijo »Grayscale«, ki intenziteto izračuna po enačbi :

$$\text{Intenziteta} = 0.30 \times R + 0.59 \times G + 0.11 \times B$$

Izravnavanje histogramov sivinskih slik

Da so sivinski toni čimbolj enakomerno razporejeni čez celoten obseg vrednosti (od 0 do 255), smo uporabili funkcijo normalizacije oz. izravnave histograma (angl. equalize). S tem smo poenotili razporeditev sivinskih tonov na obeh DOF-ih. Ta rezultat v nadaljevanju imenujemo izravnani sivinski DOF.

Odštevanje rasterskih slik

V idealnih primerih bi izravnani sivinski sliki morali imeti, za razliko od originalnih barvnih slik, približno enake vrednosti za položajno identične piksele, kjer ni sprememb površja. Z odštevanjem izravnanih sivinskih vrednosti dveh DOF-ov se spremembe stanja oziroma »materiala« na površju pokažejo kot svetlejša ali temnejša območja (večje razlike sivinskih tonov).

2.5.2.3. Opis rezultatov testiranja

Slika 60 prikazuje barvni DOF 2006 (zgoraj) in DOF 2009 (spodaj) za isto območje znotraj listov B2036 in B2037. Barve oziroma RGB vrednosti se precej razlikujejo. Prav tako lahko opazimo, da so bili aeroposnetki zajeti v različnem vegetacijskem obdobju; primerjaj ozelenele ali prazne njive. Zanimiva je tudi temna barva vodnih površin (rek) na zgornjem DOF-u 2006. V nadaljevanju (slika 61) so predstavljeni rezultati analize rasterskih slik manjšega območja, kjer se je cestno omrežje dejansko spremenilo. To območje je na sliki 60 označeno z rumenim kvadratom.





Slika 60: Barvni Digitalni Ortofoto (DOF) na območju izseka iz listov B2036 in B2037 (območje Koper). Zgoraj DOF 2006. Spodaj DOF 2009.

Slika 61 prikazuje detajl površja s slike 60. Levo in v sredini sta prikazana izravnana sivinska DOF-a iz leta 2006 in 2009, ki pa imata še vedno precej različne vrednosti sivinskih tonov. Vidimo sicer lahko spremembo cestnega omrežja; nastala je nova cesta, novo križišče in povezava na avtocesto, spremenilo se je še križišče in potek cest. Vendar pa teh sprememb s preprostim odštevanjem vrednosti rastrov nismo mogli izpostaviti. Rezultat odštevanja rastrov prikazuje slika 61, desno. Obris sprememb cest je sicer viden, vendar pa so z enako intenziteto označeni še drugi objekti, ki se niso spremenili (npr. vodne površine) oziroma objekti katerih sprememba nas pri ažuriranju sloja cest ne zanima (npr. sprememba zaraščenosti terena). Ti rezultati so posledica še vedno prisotne radiometrične ne-usklajenosti rastrov, ki bi jo lahko deloma odpravili (ali pa vsaj izboljšali) z radiometrično standardizacijo (npr. z linearno regresijo). Resnejši problem pa so "izvorni" podatki, tj. DOFi, ki so izdelani z uporabo različnih metod.



Slika 61: Detajl površja, kjer je prišlo do spremembe v cestnem omrežju. Levo: Detajl izravnane sivinskega DOF-a 2006. Sredina: Detajl izravnane sivinskega DOF-a 2009. Desno: Detajl razlike izravnanih sivinskih DOF-ov, kjer svetla barva označujejo velike razlike med sivinskimi vrednostmi.

2.5.2.4. Opis načina vzdrževanja posameznega objektnega tipa glede na rezultate testov

Rezultati testov (pol)samodejnega zaznavanja sprememb v cestnem omrežju na podlagi radiometričnih vrednosti DOF-ov so negativni. Preizkušanje različnih aritmetričnih operacij na rasterskih slikah se v nobenem primeru ni izkazalo za uspešno. Radiometrične vrednosti

identičnih objektov na dveh različnih posnetkih (različna digitalna kamera, osvetlitev površja, čas snemanja itd) so preveč različni in jih hkrati tudi ne moremo prevesti na skupni imenovalec. Rešitev bi bila v uporabi izvornih meritev CAS-a, t.j. aeroposnetkov.

Problem obravnavane metode je tudi v tem, da ceste nimajo enotne radiometrične vrednosti (star ali nov asfalt, makedam, večkrat prevožen asfalt je lahko temnejši ali pa ima sledi gum), da imajo hkrati podobno radiometrično vrednost tudi parkirišča, dvorišča in nekatere strehe, ki pa bi jih radi izločili iz analize. Kot rečeno že v poglavju 2.5.2.2, bi za uspešno (pol)samodejno vzdrževanje mreže cest potrebovali precej bolj sofisticirane algoritme.

2.5.2.5. Smer nadaljnega razvoja

Za razvoj in uvedbo (pol)samodejnega postopka ažuriranja DTK5 sloja cest, bi bila potrebna daljša raziskava. Do sedaj so po svetu izvedli že precej raziskav [Hiepke in sod., 1997; Mena, 2003; Christophe in Inglada, 2007] in razvili različne algoritme [OTB Development Team, 2011], ki bi jih morali iz akademske sfere prenesti na realne projekte in preizkusiti na DTK5 podatkih. Problemi, ki smo jih srečali pri našem testu so:

- Pojavnost cest zelo varira glede na geometrijske (širina) in radiometrične (barva) značilnosti.
- Izvrednotenje cest na aeroposnetkih in izvedenih DOF-ih otežkočajo sence, ki jih objekti (stavbe, drevesa) mečejo na cesto in gosta vegetacija, ki raste okoli ter nad cesto.
- Za uspešno ažuriranje podatkov cest moramo zaznati nove ceste, odstraniti ceste, ki ne obstajajo več, in ugotoviti morebitne spremembe že obstoječih cest, kot naprimer razširitev ceste, sprememba križišča v krožišče itd.

Predvidevamo, da bi z integrirano uporabo aeroposnetkov in podatkov laserskega skeniranja ter z uporabo naprednejših algoritmov segmentacije in klasifikacije lahko odpravili nekatere zgoraj naštetе probleme in prišli do boljših rezultatov. Za razvoj takšnega postopka ažuriranja sloja cest, bi bilo potrebnih nekaj mesecev raziskav in programiranja.

Druga preprostejša in hitrejša rešitev ažuriranja DTK5 sloja cest pa je, uporaba podatkovne baze cest, ki jo vodi Direkcija Republike Slovenije za ceste (DRSC). DRSC tekoče obnavlja svojo bazo z zajemom geometrijskih in atributnih podatkov iz meritev fotogrametričnega mobilnega sistema. Le-ta omogoča natančne meritve osi cest tako v mestih kot tudi pod krošnjami dreves.

2.5.2.6. Uporabljena literatura pri izvedbi testov

Hiepke, C., mayer, H., Wiedermann, C., Jamet, O. (1997). Evaluation of automatic read extraction. Proceedings of International Archives of Photogrammetry and remote Sensing, XXXII: 47-56.

Mena, J.B. (2003). State of the art on automatic road extraction for GIS update: a novel classification. Pattern Recognition Letters, 24(2003), pp. 3037-3058.

http://www2.uah.es/juan_mena/Publicaciones/State_of_the_art_PATREC.pdf

Christophe, E., Inglada, J. (2007). Robust road extraction for high resolution satellite images. In. IEEE International conference on image processing. ICIP'07, September.

<http://www.melaneum.com/documents/EChristophe-ICIP2007.pdf>

OTB Development Team (2011). The ORFEO Tool Box Software Guide. <http://www.orfeo-toolbox.org>

2.5.3. Test 3

Za testiranje zajema in vzdrževanja cest smo uporabili ortofoto dveh različnih časovnih obdobj, in sicer iz leta 2006 in 2010. Za potrebe zajema cest v DTK5 bi bilo lahko za testiranje aktualnih več atributov, vendar smo se v tem testu omejili na atribut širina cestišča.

2.5.3.1. Opis vhodnih podatkov glede na izvedena testiranja za posamezen objektni tip

Vhodni podatek za testiranje in implementacijo postopkov zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja objektnega tipa ceste sta ortofoto načrta iz leta 2006 in 2010. V testu smo uporabili ortofoto območja mesta Ptuj in Ptujskih toplic (slika 62).



Slika 62: Območje testiranja zajema, razpoznavanja in vzdrževanja objektnega tipa cest je okolica mesta Ptuj in Ptujskih toplic (levo: DOF 2010, desno: SIGI50).

Na podlagi vizualne analize smo ugotovili, da bi lahko, tako kot pri hidrografiji, tudi pri testiranju zajema cest bujna vegetacija vplivala na popolnost in pravilnost razpoznavanja cest. Druga slabost so sence stavb predvsem v mestnem jedru.

Snemanje v času bujne vegetacije vpliva na »vidnost« objektov na ortofoto načrtu, ki so lahko skriti pod vegetacijo. Posnetki zajeti v tem obdobju so bolj primerni za prepoznavanje vegetacije, ki je v tem obdobju v fazi rasti, manj pa za določanje drugih objektnih tipov, saj so lahko popolnoma ali delno prekriti z vegetacijo (slika 63 a).

Visoki objekti mečejo senco na cestišča, kar je problem predvsem pri avtomatskem zajemu cest, kjer ceste najdemo s pomočjo predhodno določenih vzorcev. Problem je predvsem v tem, ker vrednosti barv cestišča v senci preveč odstopajo od izbranega barvnega vzorca za cestišča (slika 63 b).



Slika 63: Primer prekrivanja cest z vegetacijo (a) in sence stavb na cestišču (b).

2.5.3.2. Opis testiranja in implementacije postopkov

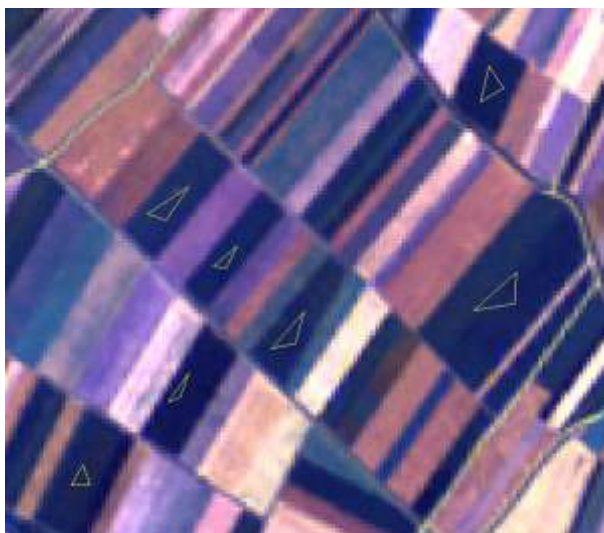
Testiranje in implementacijo postopkov razpoznavanja cest smo izvedli v naslednjih korakih:

- izbira vzorcev za posamezni objekti tip na izbranem območju,
- avtomatska klasifikacija vseh izbranih objektih tipov na izbranem območju,
- izvoz objektnega tipa cest v svoj sloj,
- analiza sprememb med avtomatsko klasifikacijo na ortofotu 2010 in DTK5 ter
- analiza sprememb med avtomatsko klasifikacijo na ortofotu 2006 in 2010.

Izbira vzorcev za posamezni objektni tip na izbranem območju

Preden lahko izvedemo avtomatsko klasifikacijo moramo izdelati datoteke z vzorci za posamezne objektne tipe (stavbe, ceste, vode, gozd, njive ...). V našem primeru smo vse naredili v programskem paketu Erdas Imagine.

Za vsak objektni tip posebej je potrebno izbrati vsaj 30 vzorcev (število je odvisno od zastopanosti posameznega objektnega tipa, na območju avtomatske klasifikacije) na celotnem testnem območju. Vzorci morajo biti čim bolj homogeni (predvsem pazimo na barvni vzorec posameznega objektnega tipa). Primer jemanja vzorcev je prikazan na sliki 64.



Slika 64: Primer izbire vzorca.

Avtomatska klasifikacija vseh izbranih objektih tipov na izbranem območju

Programski paket ERDAS Imagine uporablja pixelsko klasifikacijo, kar pomeni da izvaja klasifikacijo na osnovi vrednosti spektralnih kanalov posameznega piksla v rastru (t.i. spektralni podpis).

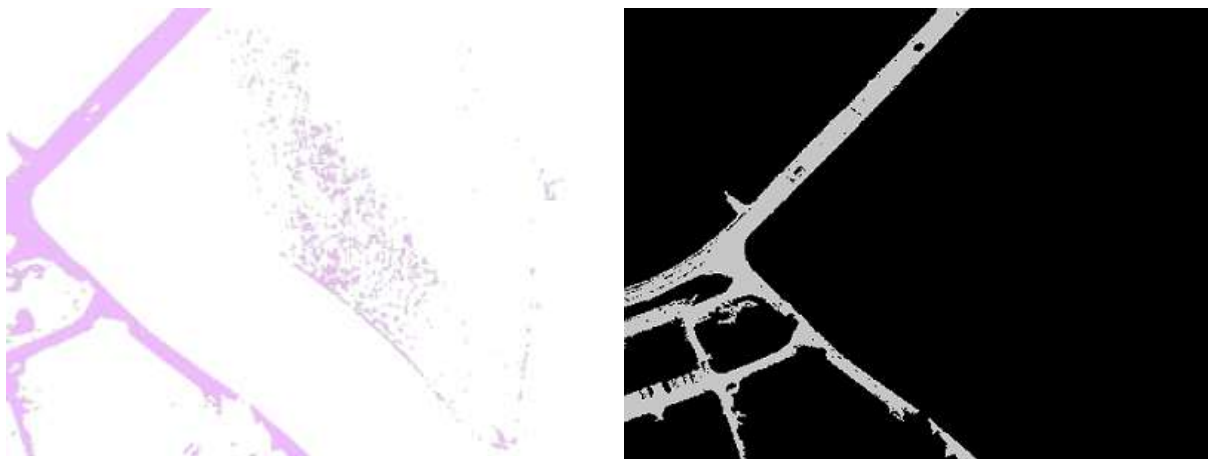
Na podlagi izbranih vzorcev naredimo legendo (datoteko .sig) objektnih tipov, ki jih bomo iskali s pomočjo nadzorovane avtomatske klasifikacije (slika 65).



Slika 65: Primer še neobdelane (surove) podobe, kot rezultat avtomatske klasifikacije.

Izvoz objektnega tipa cest v ločen sloj

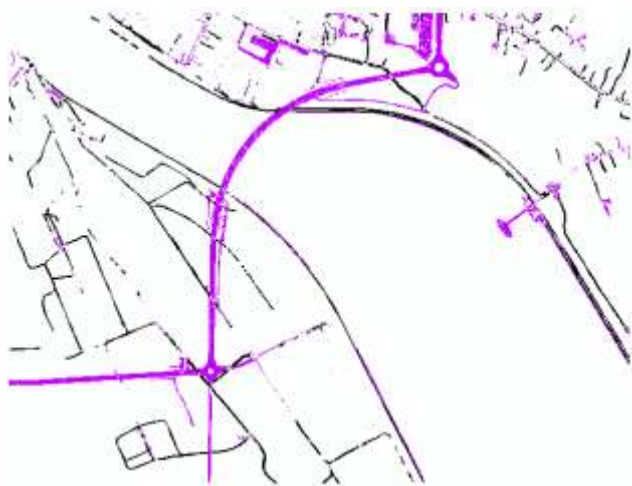
Iz dobljene podobe smo izvozili samo sloj cest in uporabili filtre za izboljšanje rezultatov. Filtriranje lahko izvedemo v rastrski ali vektorski obliki. V obeh primerih izločamo majhna območja (šume) pod izbranim velikostnim pragom, ki jih lahko izbrišemo ali pa pripojimo k večjemu območju. Postopek je iterativen (slika 66).



Slika 66: Primer šumov po avtomatski klasifikaciji (leva slika) in primer odprave teh šumov z uporabo filtrov (desna slika).

Analiza sprememb med avtomatsko klasifikacijo na ortofotu 2010 in DTK5

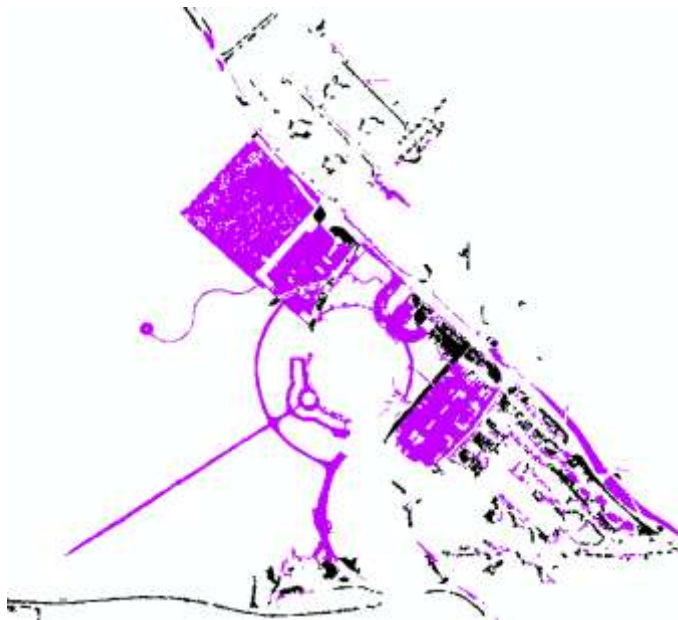
Pri testiranju smo uporabili sloj cest DTK5 (črna barva), ki so bile zajete s stereo-restitucijo iz posnetkov CAS. Na osnovi atributa SIRCES (širina cestišča) smo izdelali rastrski sloj cestišč, ki smo ga primerjali s slojem cest, dobljenim z avtomatsko klasifikacijo (vijolična barva) ortofota (CAS2010). Dobljene razlike lahko predstavljajo spremembe v prostoru (Slika 67).



Slika 67: Karta sprememb cest in prometnih površin na območju Ptujškega jezera in mesta Ptuj.

Analiza sprememb med avtomatsko klasifikacijo na ortofotu 2006 in 2010

V tem primeru smo testirali razlike avtomatskih klasifikacij ortofotov iz dveh različnih časovnih trenutkov. Za obe podobi je bilo vzorčenje izvedeno na istem položaju v prostoru. Vzorci za eno in drugo podobo so se tako razlikovali samo po barvnih vrednostih. Dobljene razlike lahko predstavljajo spremembe v prostoru (Slika 68).



Slika 68: Karta sprememb ceste in prometnih površin na območju Ptujskih toplic.

2.5.3.3. Opis rezultatov testiranja

Pri testiranju sprememb med DTK5 (rumena barva) in avtomatsko klasifikacijo (vijolična barva) ortofota 2010 se je nazorno pokazal vpliv vegetacije in senc objektov, ki segajo na cestišče, na rezultate avtomatske klasifikacije (Primer 1). Ta vpliv se še posebej pokaže v dodatnih razlikah, ki ne predstavljajo dejanske spremembe v prostoru.

Primer 2 prikazuje dejansko spremembo stanja v prostoru, in sicer izgradnja mostu. Tako velike spremembe v prostoru so dejansko hitro vidne tudi brez primerjanj. Lep primer, kjer pa bi težje našli spremembo v prostoru, brez predhodnega vedenja o njej, pa prikazuje Primer 3.

Primer 4 prikazuje izgradnjo krožnega križišča.



Primer 2



Primer 3



Primer 4



Preglednica 24: Izbrani primeri odkritih sprememb cest na območju Ptujkega jezera in širšega območja mesta Ptuj.

Pri testiranju sprememb med dvema avtomatskima klasifikacijama ortofotov različnih časovnih obdobij, je vpliv vegetacije in senc objektov izražen drugače. Ker obakrat izvedemo avtomatsko klasifikacijo podobe, je manj dodatnih razlik, ki so posledica vegetacije in senc objektov. V tem primeru nam probleme predstavljajo avtomobili na cestah in parkiriščih (Primer 5), ker jih avtomatska klasifikacija izreže iz telesa ceste oz. parkirišča. Te luknje v cesti moramo odpraviti v naknadni obdelavi podobe.

Primer 6 prikazuje spremembo cest in parkirišč na območju Ptujskih toplic.

Stanje cest 2006



Stanje cest 2010



Spremembe cest



Primer 5

Primer 6



Preglednica 25: Izbrani primeri odkritih sprememb cest območja Ptujskih toplic.

2.5.3.4. Opis načina vzdrževanja posameznega objektnega tipa glede na rezultate testov

Na podlagi izvedenega testa menimo, da je opisani avtomatski postopek segmentacije in klasifikacije objektov objektnega tipa ceste na ortofoto ali satelitskem posnetku, ustrezen za vzdrževanje sloja cest v DTK5. Iskanje sprememb v prostoru se je pokazalo kot učinkovito.

Problemi se pojavljajo predvsem na območjih, kjer so ceste zakrite z vegetacijo in območjih, kjer se na cestah pojavijo sence zaradi bližnjih visokih objektov. Ta območja v primerjavi s stanjem cest v DTK5 predstavljajo spremembo situacije na terenu, čeprav spremembe dejansko ni.

V primeru, kjer spremembe iščemo samo z avtomatsko klasifikacijo ortofotov različnih časovnih obdobij, so problemi z vegetacijo in sencami objektov minimalne, ker se te med sabo izničijo. Dodatno delo nam predstavlja le naknadna obdelava rezultatov zaradi šumov, ki so nastali med klasifikacijo.

2.5.3.5. Smer nadaljnjega razvoja

Razpoznavanje cest na ortofotu ali satelitskem posnetku je tako kot pri hidrografiji pogojen s časom snemanja. Ta vpliva na poraščenost okolice vodne površine in s tem na natančnost določitve roba ceste in na vidnost telesa ceste. V času bujne rasti vegetacije (pomlad/poletje) na robovih ceste, le-ta lahko deloma ali v celoti prekriva telo ceste in je ni mogoče pravilno zajeti na posnetku (razen stereozajem v 3D). V naslednjih fazah bi bilo potrebno opisani postopek nadgraditi s podatki laserskega skeniranja. Na ta način bi lahko izboljšali popolnost razpoznavanja cest.

2.5.3.6. Uporabljena literatura pri izvedbi testov

Oštir, K. 2006. Daljinsko zaznavanje. Ljubljana, 2006. Založba ZRC.

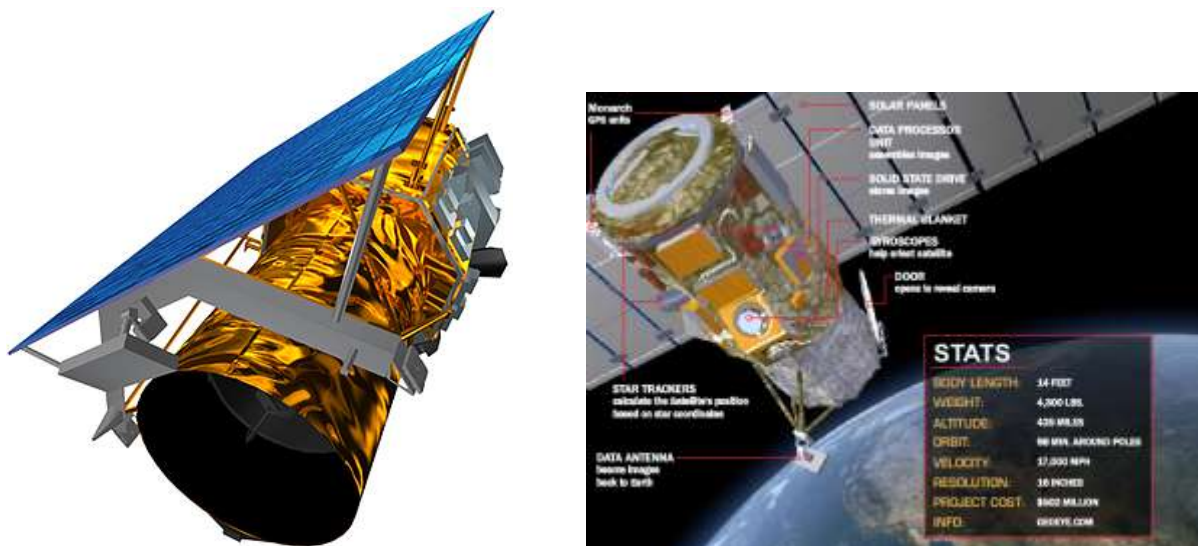
Dežman Kete V., Mesner, N., Ipša, A., Oven K. 2008. Prepoznavanje kmetijskih kultur z daljinskim zaznavanjem. Ljubljana, 2008. GIS v Sloveniji 9, Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007-2008.

3. Testiranje postopkov georeferenciranja satelitskih posnetkov skladno z obstoječo programsko opremo in razpoložljivimi vhodnimi viri

3.1. Vhodni podatki

3.1.1. GeoEye

Satelitski sistem GeoEye-1 je bil lansiran 6. septembra 2008. Omogoča zajem prostorskih podatkov z geometrično resolucijo slikovnega elementa GSD 0.41 m pankromatskega kanala in 1.65 m multispektralnih kanalov v nadirju. Ponovno ekspozicijo posnetkov zagotavlja na vsake 3 dni, kar ga uvršča med sistem z visoko časovno resolucijo.



Slika 69: Konstrukcija satelita GeoEye-1

3.1.1.1. Karakteristike satelitskega senzorja GeoEye-1

Datum izstrelitve

6. september, 2008
(11:50:57 - 11:52:21 AM PST)

Moduli kamere

- simultani črnobeli in multispektralni (ostreni)
- samo ČB
- samo MS

Resolucija

0,41 m ČB v nadirju
1,65 m MS v nadirju

Merska natančnost

CE stereo: 2 m
LE stereo: 3 m
CE mono: 2,5 m
Specificirano kot 90% CE (circular error) za horizontalno pozicijsko natančnost in 90% LE (linear error) za vertikalno

pozicijsko natančnost brez oslonilnih točk (GCP)

Širina snemalnega pasu in velikost območja

- nominalna širina snemalnega pasu – 15,2 km v nadirju
- velikost posameznega posnetka - 225 km² (15x15 km²)

Slikovni kot

Omogoča ekspozicijo v vsaki smeri

Časovna resolucija – frekvenca na višini 684 km (zemeljski cilj snemanja na 40° zemljepisne širine)

Max ČB GSD (m)	Odklonski kot (°)	Povprečni obhod (dni)
0.42	10	8.3
0.50	28	2.8
0.59	35	2.1

Izstrelitvena naprava

Delta II

Izdelovalec izstrelitvene naprave

Boeing Corporation

Lokacija izstrelitve

Vandenberg Air Force Base, California

Teža satelita

1955 kg

Satelitski pomnilnik

1 TB; X-kanal »downlink« (740 MB/s ali 150 MB/s)

Operativna življenska doba

preko 7 let; goriva premore za 15 let

Načini delovanja satelita

- shranjevanje in posredovanje
- »realni-čas« slika z »downlink«-om
- direktni »uplink« z »realnim-časom downlink«

Orbitalna višina

684 km

Orbitalna hitrost

7.5 km/s

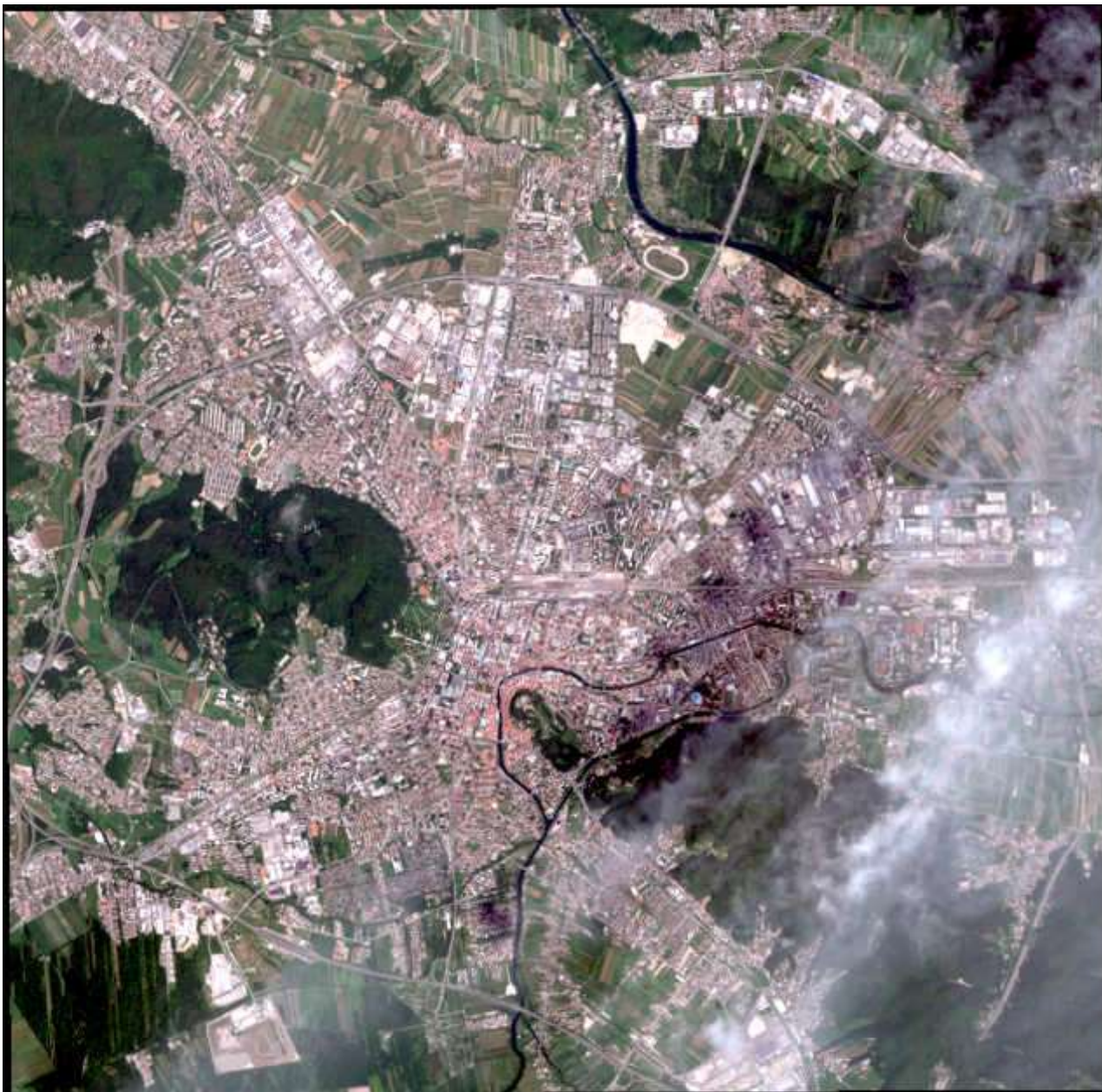
Inklinacija

98°

Orbitalni čas

98 min

3.1.1.2. Primer satelitskih slik GeoEye-1



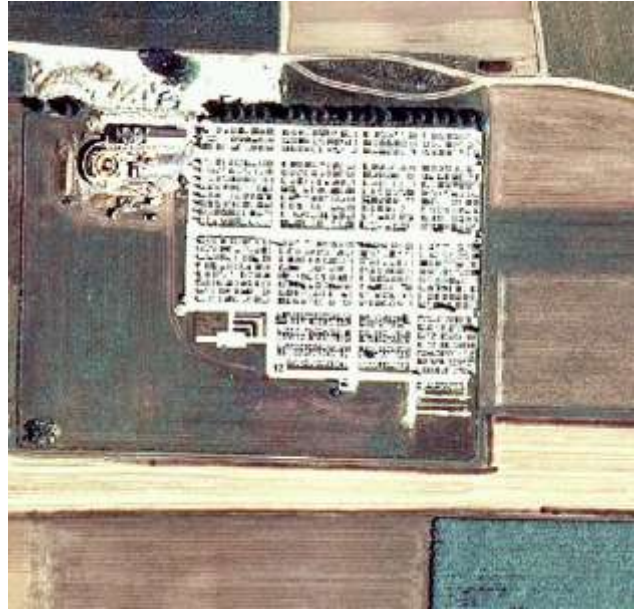
Slika 70: Ljubljana na satelitskem posnetku GeoEye. Datum snemanja 17. 8. 2009.

3.2. Postopek georeferenciranja

Pred uporabo izvornih ali predobdelanih satelitskih posnetkov za namene merskih poizvedb je potrebno le-te ortorektificirati v merskost načrta in umestiti v državni koordinatni sistem.

V postopku umestitve pridobljenih satelitskih posnetkov v državni koordinatni sistem je potrebno izvesti notranjo in zunanjo orientacijo, upoštevajoč ustrezni geometrični model, ki opredeljuje geometrične značilnosti v povezavi s senzorjem satelita. Geometrični modeli so pogosto definirani z racionalnim polinomom, katerega stopnjo je potrebno izbrati. V odvisnosti od izbrane stopnje polinoma lahko vplivamo na stopnjo odstopanj na posameznih oslonilnih točkah in na stopnjo geometričnih deformacij znotraj satelitskega posnetka.

V fazi triangulacije je potrebno vzpostaviti matematični odnos med satelitsko podobo, senzorjem satelita in zemeljskim površjem. Kakovost vzpostavljenega matematičnega odnosa je odvisna od zadostnega števila parov identičnih točk, ki predstavljajo isto položajno točko na obravnavani podobi (slikovne koordinate) in na referenčni podobi npr. na mozaiku DOF (referenčne koordinate) ali iz GPS izmere. Uporabijo se lahko dobro vidne in stalne točke, ki predstavljajo prepoznavne pojave na zemeljskem površju: križišča cest, vogale betonskih ali asfaltnih ploščadi, parkirišč, igrišč, dvorišč, dovoznih poti, in podobno.

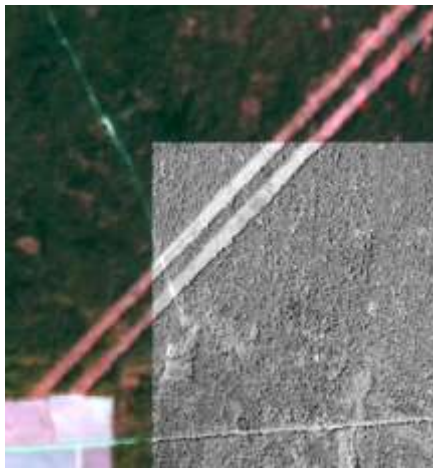


Slika 71: Primeri izbire detajlnih točk

3.3. Ortorektifikacija digitalnega posnetka

V postopku ortorektifikacije se iz surovega posnetka na podlagi rezultatov triangulacije (orientacije) in DMR pridobi ortorektificiran satelitski posnetek, ki je prost položajnih geometričnih deformacij, katere na izvornem posnetku nastanejo kot posledica vpliva konfiguracije reliefa. Z izvedbo te zadnje faze v celotnem postopku ortorektifikacije smo pridobili zanesljivo položajno natančnost vseh slikovnih elementov (pikslov) na celotnem ortorektificiranem satelitskem posnetku.

3.4. Rezultati georeferenciranja



Slika 72: Primerjava položajne natančnosti ortorektificiranega satelitskega posnetka SPOT5 z aero DOF5 (CAS)

Tako obdelan satelitski posnetek lahko v nadaljnji obdelavi ostrenja in spreminjanja histogramov na različnih barvnih kanalih uporabimo v različnih aplikacijah. Ena izmed njih je tudi zaznavanje izgrajenih/neizgrajenih sprememb v prostoru.

4. Sezname slik in preglednic

4.1. Seznam slik

Slika 1: Grafični prikaz uporabljenih podatkov.....	8
Slika 2: Diagram poteka zajema stavb iz DMP in DOF.	12
Slika 3: Diagram poteka odkrivanja stavb na posnetku GeoEye-1.	14
Slika 4: Diagram poteka zajema stavb.....	15
Slika 5: Rezultati zajema stavb, prikazani na nDMP in DOF050.	16
Slika 6: Primerjava rezultatov zajema stavb s KS	17
Slika 7: Rezultati samodejnega iskanja sprememb	19
Slika 8: Rezultati samodejnega zajema stavb, prikazani na DOF050.....	19
Slika 9: Rezultati samodejnega iskanja sprememb.	21
Slika 10: Končna maska stavb in superimpozicija na barvnem kompozitu.....	22
Slika 11: Rezultati zajema stavb, prikazani na pankromatskem posnetku.	24
Slika 12: Območje testiranja zajema, razpoznavanja in vzdrževanja objektnega tipa stavbe je lžanska cesta v Ljubljani.	27
Slika 13: Začetni sloj stavb.....	28
Slika 14: Prikaz vrednosti GRVI (levo) za ortofoto načrt (desno). S svetlo barvo so prikazana območja z zelo aktivno vegetacijo (visoke vrednosti GRVI), s temnejšo barvo pa območja brez vegetacije (nizke vrednosti GRVI).....	29
Slika 15: Primer segmentacije podobe.	30
Slika 16: Končni rezultat prepoznavanja stavb.	31
Slika 17: Karta sprememb stavb na lžanski ulici v Ljubljani. Z modro barvo so označene nove stavbe, z rdečo pa porušene stavbe oz. stavbe, ki z uporabljenim postopkom niso bile razpoznane.	32
Slika 18: Območje testiranja zajema, razpoznavanja in vzdrževanja objektnega tipa hidrografija je okolica Ptujškega jezera.....	36
Slika 19: Primer prekrivanja vodne površine z vegetacijo na satelitskem posnetku Ikonos (desna slika) in na ortofoto načrtu (leva slika).	37
Slika 20: Transformacija satelitskega posnetka IKONOS s Kauth-Thomasovo transformacijo. V rdeči barvi je prikazana svetlost, v zeleni zelenost in v modri vlažnost.	38
Slika 21: Prikaz vrednosti NDVI za podobo IKONOS. S svetlo barvo so prikazana območja z zelo aktivno vegetacijo (visoke vrednosti NDVI), s temnejšo barvo pa območja brez vegetacije (nizke vrednosti NDVI).....	38
Slika 22: Primer segmentacije podobe.	39
Slika 23: Končni rezultat prepoznavanja vodnih površin iz satelitske podobe z objektno usmerjeno klasifikacijo. Na karti so z modro prikazane vodne površine, z rdečo urbane, z zeleno vegetacija in z rumeno neobdelana polja.....	41
Slika 24: Karta sprememb vodnih površin v okolici Ptujškega jezera. Z modro barvo so označene nove vodne površine, z rumeno pa izsušene vodne površine oz. vodne površine, ki z avtomatskim postopkom niso bile razpoznane.	41
Slika 25: Območje testiranja na podlagi podatkov aerosnemanja.	46

Slika 26: Območje testiranja na podlagi podatkov aero laserskega skeniranja.	47
Slika 27: Primerjava iz CAS izdelanih DMV-jev z obstoječo zbirko DMV12,5 na območju Odlagališča odpadkov Barje.....	53
Slika 28: Primerjava iz CAS izdelanih DMV-jev z obstoječo zbirko DMV5 na območju Odlagališča odpadkov Barje.....	53
Slika 29: Spremembe reliefa na testnem območju Koroška Bela.	54
Slika 30: Spremembe reliefa na testnem območju Jereke.	54
Slika 31: Spremembe reliefa na testnem območju Izola Markovec.	55
Slika 32: Spremembe relief na testnem območju Letuš.	55
Slika 33: Preskus metode polsamodejnega prepoznavanja značilnih reliefnih oblik na testnem območju Koroška Bela.	56
Slika 34: Rezultat samodejne prepoznave značilnih reliefnih oblik.	57
Slika 35: Izračun sprememb višine terena na območju listov E2302 in E2303 (območje Barje). Zgoraj: referenčni DMR s podatki DMV5 2006. Rumeni kvadrat označuje območje odlagališča Barje. V sredini: primerjalni DMR s podatki DMV5 2011. Spodaj: razlika DMR-jev DMV5 2011 in DMV5 2006 (dDMR).	61
Slika 36: Izračun sprememb višine terena na območju odlagališča Barje (območje Barje). Zgoraj: primerjalni DMR s podatki DMR odlagališča Barje. Spodaj: razlika DMR-jev DMR odlagališča Barje in DMV5 2006 (dDMR).	61
Slika 37: Izračun sprememb višine terena na območju lista B2036 (del območja Koper). Zgoraj: referenčni DMR s podatki DMV5 2006. V sredini: primerjalni DMR s podatki LSA 2011. Spodaj: razlika DMR-jev: DMR LSA 2011 in DMV5 2006 (dDMR).	62
Slika 38: Barvna lestvica izdelana v programu Saga za vizualizacijo dDMR.....	63
Slika 39: Primerjava višin DMV5 2011 in DMR odlagališča Barje (območje označeno z rumenim kvadratom) z višinami referenčnega DMV5 2006, območje Ljubljansko barje.	64
Slika 40: Primerjava višin DMR LSA 2011 z višinami referenčnega DMV5 2006, območje Koper. Rumena elipsa oziroma rumeni kvadrat označujeta omočja spremembe terena zaradi izgradnje hiš oziroma caste.....	64
Slika 41: Detalj iz slike 40– sprememba terena zaradi izgradnje hiš. Levo: podložen je DOF 2006. Desno: podložen je DOF 2009.....	65
Slika 42: Območje testiranja zajema, razpoznavanja in vzdrževanja objektnega tipa vegetacija v centru Ljubljane (testno območje 1).	68
Slika 43: Območje testiranja zajema, razpoznavanja in vzdrževanja objektnega tipa vegetacija v okolici Brezovice (testno območje 2).	68
Slika 44: Rezultat ustvarjanja maske vegetacijsko nekativnih površin s kombinacijo razmerij spektralnih kanalov posnetka WV-2.....	70
Slika 45: Primer rezultata segmentacije vegetacijskih površin.	71
Slika 46: Rezultat samodejne zaznave vegetacije na območju Brezovice z uporabo objektna klasifikacije z upoštevanjem pravil.	72
Slika 47: Originalni satelitski izrez posnetka nad centrom Ljubljane (1) in rezultati vegetacijskih površin (2).	73
Slika 48: Originalni satelitski izrez posnetka nad Brezovico (1) in rezultati klasifikacije vegetacije (2).	74
Slika 49: Primerjava razpoznavanja gozdnih površin in gozdne meje pridobljene z objektno klasifikacijo na različnih podatkih.	76

Slika 50: Primer detajla vizualne primerjave sprememb iz treh obdobj posnetkov DOF z metodo RGB-NDVI.	76
Slika 51: Pretirano klasificiranje razreda "drevesa" med zelene njive zaradi podobnih spektralnih lastnosti.	77
Slika 52: Območje testiranja zajema, razpoznavanja in vzdrževanja objektnega tipa ceste v centru Ljubljane (testno območje 1).	80
Slika 53: Območje testiranja zajema, razpoznavanja in vzdrževanja objektnega tipa ceste v okolici Brezovice.	80
Slika 54: Rezultat segmentacije cestnih površin.	81
Slika 55: Rezultat samodejne zaznave cest na območju Brezovice z uporabo objektna klasifikacije z upoštevanjem pravil.	82
Slika 56: Originalni satelitski izrez posnetka za testno območje centra Ljubljane (1) in rezultati cestnega omrežja ter zazidanih površin (2).	83
Slika 57: Originalni satelitski izrez posnetka za testno območje Brezovica (1) in rezultati cestnega omrežja (2).	84
Slika 58: Primer nezveznosti zajema cest zaradi vegetacije, ki na posnetku sega čez cestne objekte.	84
Slika 59: Primer padanja senc na cestno omrežje ter nezveznost zajema zaradi detajlov na posnetku (prehodi za pešče) v urbanem območju Ljubljane.	85
Slika 60: Barvni Digitalni Ortofoto (DOF) na območju izseka iz listov B2036 in B2037 (območje Koper). Zgoraj DOF 2006. Spodaj DOF 2009.	89
Slika 61: Detajl površja, kjer je prišlo do spremembe v cestnem omrečju. Levo: Detajl izravnane sivinskega DOF-a 2006. Sredina: Detajl izravnane sivinskega DOF-a 2009. Desno: Detajl razlike izravnanih sivinskih DOF-ov, kjer svetla barva označujejo velike razlike med sivinskimi vrednostmi.	89
Slika 62: Območje testiranja zajema, razpoznavanja in vzdrževanja objektnega tipa cest je okolica mesta Ptuj in Ptujskih toplic (levo: DOF 2010, desno: SIGI50).	91
Slika 63: Primer prekrivanja cest z vegetacijo (a) in sence stavb na cestišču (b).	92
Slika 64: Primer izbire vzorca.	93
Slika 65: Primer še neobdelane (surove) podobe, kot rezultat avtomatske klasifikacije.	93
Slika 66: Primer šumov po avtomatski klasifikaciji (leva slika) in primer odprave teh šumov z uporabo filtrov (desna slika).	94
Slika 67: Karta sprememb cest in prometnih površin na območju Ptujskega jezera in mesta Ptuj.	94
Slika 68: Karta sprememb ceste in prometnih površin na območju Ptujskih toplic.	95
Slika 69: Konstrukcija satelita GeoEye-1.	98
Slika 70: Ljubljana na satelitskem posnetku GeoEye. Datum snemanja 17. 8. 2009.	100
Slika 71: Primeri izbire detajlnih točk.	101
Slika 72: Primerjava položajne natančnosti ortorektificiranega satelitskega posnetka SPOT5 z aero DOF5 (CAS).	102

4.2. Seznam preglednic

Preglednica 1: Lastnosti ortofota.	9
---	---

Preglednica 2: Lastnosti posnetkov CAS.....	9
Preglednica 3: Lastnosti posnetka GeoEye-1.....	10
Preglednica 4: Lastnosti posnetkov stereopara IKONOS.	11
Preglednica 5: Ocena samodejnega iskanja stavb.....	17
Preglednica 6: Ocena pravilnosti samodejnega vektorskega zajema stavb.....	18
Preglednica 7: Ocena samodejnega iskanja stavb.....	20
Preglednica 8: Ocena samodejnega iskanja stavb na posnetku GeoEye-1.....	22
Preglednica 9: Ocena kakovosti rastrskega zajema stavb na posnetku GeoEye-1.....	23
Preglednica 10: Ocena samodejnega iskanja stavb na stereoparu IKONOS.....	24
Preglednica 11: Ocena pravilnosti vektorskega zajema stavb na stereoparu IKONOS.....	25
Preglednica 12: Primeri zaznanih sprememb stavb. Z modro bravo so označene nove stavbe, z rdečo pa porušene stavbe.....	33
Preglednica 13: Podatki o satelitskem posnetku Ikonos, ki je bil uporabljen za razpoznavanje vodnih površin.....	35
Preglednica 14: Uteži Kauth-Thomasove transformacije za sensor IKONOS (Horne, 2003).	37
Preglednica 15: Izbrani primeri odkritih sprememb vodnih površin.....	43
Preglednica 16: Ocena natančnosti DMV.....	49
Preglednica 17: Ocena natančnosti DMV.....	50
Preglednica 18: Ocena višinske točnosti glede na značaj površja.....	51
Preglednica 19: Seznam testnih podatkov.....	58
Preglednica 20: Podatki o satelitskem posnetku WorldView-2, ki je bil uporabljen za razpoznavanje vegetacije.....	66
Preglednica 21: Lastnosti ortofota.....	67
Preglednica 22: Podatki o satelitskem posnetku WorldView-2, ki je bil uporabljen za razpoznavanje cestnih površin.....	79
Preglednica 23: Seznam testnih podatkov.....	87
Preglednica 24: Izbrani primeri odkritih sprememb cest na območju Ptujškega jezera in širšega območja mesta Ptuj.....	96
Preglednica 25: Izbrani primeri odkritih sprememb cest območja Ptujskih toplic.....	97

**D. VMESNO POROČILO št. 4 – Izdelava priporočil za
uvajanje novih postopkov, tehnologij in podatkov (4.
faza) in ZAKLJUČNO POROČILO**

*Ciljni raziskovalni program
»Konkurenčnost Slovenije 2006-2013« v letu 2010*

***Kombinirani visokoločljivostni postopki
zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja
prostorskih podatkov***

Vmesno poročilo št.4

Verzija 1.0

Datum 28.02.2012

in

Zaključno poročilo

Verzija 1.0

Datum 15.03.2012

Zaporedna številka prijave: 430-36/2010

Kazalo:

1. UVOD	4
1.1. OPIS TERMINOLOGIJE	5
1.2. KRATICE	6
2. OVREDNOTENJE IN KLASIFIKACIJA NOVIH POSTOPKOV, TEHNOLOGIJ TER PODATKOV	7
2.1. OVREDNOTENJE IN KLASIFIKACIJA POSTOPKOV TER TEHNOLOGIJ	7
2.1.1. <i>Stavbe</i>	7
2.1.2. <i>Hidrografija</i>	8
2.1.3. <i>Relief</i>	9
2.1.4. <i>Vegetacija</i>	10
2.1.5. <i>Ceste</i>	12
2.2. OVREDNOTENJE IN KLASIFIKACIJA PODATKOV	13
2.2.1. <i>Stavbe</i>	13
2.2.2. <i>Hidrografija</i>	15
2.2.3. <i>Relief</i>	15
2.2.4. <i>Vegetacija</i>	16
2.2.5. <i>Ceste</i>	16
3. IZDELAVA PRIPOROČIL ZA UVAJANJE NOVIH TEHNOLOGIJ IN PODATKOVNIH VIROV V STANDARDNE POSTOPKE VZDRŽEVANJA DRŽAVNIH TOPOGRAFSKIH PODATKOV IN V DISTRIBUCIJSKI SISTEM GEODETSKE UPRAVE RS	18
3.1. IZDELAVA PRIPOROČIL ZA UVAJANJE NOVIH TEHNOLOGIJ IN PODATKOVNIH VIROV V STANDARDNE POSTOPKE VZDRŽEVANJA DRŽAVNIH TOPOGRAFSKIH PODATKOV	18
3.1.1. <i>Tehnologije za razpoznavanje, zajemanje in vzdrževanje topografskih podatkov</i>	18
3.1.2. <i>Metode in postopki zajema izvornih podatkov z navedenimi tehnologijami</i>	18
3.1.3. <i>Tržna dosegljivost, cena, natančnost, ločljivost, kompleksnost in uporabnost navedenih metod in postopkov</i>	20
3.1.4. <i>Topografski objekti, ki jih je smiselno zajemati z uporabo zgoraj navedenih tehnologij oz. izvornih podatkov</i>	20
3.1.5. <i>Topografski izdelki, ki nastanejo z zajemom in vzdrževanje navedenih topografskih objektov</i>	21
3.1.6. <i>Kombinacije postopkov in tehnologij, ki so optimalne za posamezne topografske objekte</i> ..	21
3.1.7. <i>Parametri za ovrednotenje primernosti in optimalnosti metod daljinskega zaznavanja</i>	24
3.1.8. <i>Metode daljinskega zaznavanja, ki jih je smiselno na Geodetski upravi RS razviti do ravni standardiziranih rutinskih postopkov za izvajalce zajemanja, vzdrževanja in kontrole topografskih kart ter zbirk</i>	25
3.2. IZDELAVA PRIPOROČIL ZA UVAJANJE NOVIH TEHNOLOGIJ IN PODATKOVNIH VIROV V DISTRIBUCIJSKI SISTEM GEODETSKE UPRAVE RS	25
3.2.1. <i>Podatki daljinskega zaznavanja, ki naj jih GURS uvrsti med svoje standardne izdelke dostopne preko sistema distribucije geodetskih podatkov</i>	25
4. ZAKLJUČEK IN NADALJNJE SMERNICE VZDRŽEVANJA TOPOGRAFSKIH ZBIRK NA DRŽAVNEM NIVOJU	27
4.1. ZAKLJUČEK.....	27
4.2. SMERNICE VZDRŽEVANJA TOPOGRAFSKIH ZBIRK	27
4.2.1. <i>Zajem izvornih podatkov</i>	27
4.2.1.1. <i>Tehnična navodila za zajem izvornih podatkov</i>	28
4.2.2. <i>Prepoznavanje sprememb</i>	28
4.2.3. <i>Zajem topografskih objektov</i>	29
4.3. NEKAJ SMERNIC IZ TEHNIČNEGA, ORGANIZACIJSKEGA IN FINANČNEGA VIDIKA VZDRŽEVANJA TOPOGRAFSKIH ZBIRK.....	29
4.3.1. <i>Tehnični vidik</i> :	29
4.3.2. <i>Organizacijski in finančni vidik</i>	30
4.4. PREDLOGI ZA NADALJNJE RAZVOJNE PROJEKTE.....	30

CRP: Kombinirani visokoločljivostni postopki zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja prostorskih podatkov

4.4.1.	<i>Tehnični razvojni projekti:</i>	30
4.4.2.	<i>Organizacijski razvojni projekti:</i>	30
5.	REFERENCE	31

1. Uvod

Vsebina 4. faze in končnega poročila iz dokumenta ob prijavi CRP projekta:

4. FAZA: Izdelava priporočil za uvajanje novih postopkov, tehnologij in podatkov
- a) ovrednotenje in klasifikacija postopkov, tehnologij in podatkov,
 - b) izdelava priporočil za uvedbo novih tehnologij in podatkovnih virov v standardne postopke vzdrževanja državnih topografskih podatkov in v distribucijski sistem Geodetske uprave RS.

Zaključek 15.1.2012

Po zaključku 4. faze sledi usklajevanje vmesnih poročil in izdelava končnega poročila do zaključka projekta 29.2.2012.

Poročilo 4.faze in končno poročilo sta združeni v zaključno poročilo.

Cilj priporočil je odgovoriti na ključni raziskovalni vprašanji tega aplikativnega projekta:

1. Katere metode daljinskega zaznavanja je na Geodetski upravi RS smiselno razviti do ravni standardiziranih rutinskih postopkov za izvajalce zajemanja, vzdrževanja in kontrole topografskih kart ter baz?
2. Katere tipe podatkov daljinskega zaznavanja naj Geodetska uprava RS uvrsti med svoje standardne izdelke, dostopne preko sistema distribucije geodetskih podatkov?

Vprašanja na katera je potrebno odgovoriti:

1. Katere tehnologije obstajajo za zajemanje, razpoznavanje in vzdrževanje topografskih podatkov?
2. Katere metode in postopki snemanja s temi tehnologijami so primerni za pridobitev topografskih podatkov?
3. Kakšna je tržna dosegljivost, cena, natančnost, ločljivost, kompleksnost in uporabnost teh metod ter postopkov?
4. Katere topografske objekte (objektne razrede in objektne tipe) je smiselno zajemati na te načine?
5. Kateri topografski izdelki pri tem nastanejo?
6. Katere kombinacije postopkov in tehnologij so za posamezne topografske objektne razrede in objektne tipe optimalne glede na parametre kakovosti in ceno?
7. S katerimi parametri bomo primernost in optimalnost metod daljinskega zaznavanja ovrednotili ter klasificirali?

Odgovori na vprašanja so napisani v nadaljevanju.

1.1. Opis terminologije

Pridobivanje izvornih podatkov za namen vzdrževanja topografskih zbirk:

Pridobivanje izvornih podatkov je registracija, zapisovanje in prenos podatkov iz različnih platform in senzorjev v ustrezne obdelave. V tej nalogi smo se omejili na naslednje načine pridobivanja izvornih podatkov:

- aerosnemanje,
- satelitsko snemanje
- areo lasersko skeniranje,
- zajem z radarskimi sistemi.

Postopki predobdelave izvornih podatkov

Predobdelava izvornih podatkov vključuje odpravljanje napak ali pomanjkljivosti, kot so: napake senzorjev, izboljšava radiometrije, korekcije zaradi ukrivljenosti zemlje, samodejna klasifikacija oblaka točk in izboljšava georeferenciranja aero posnetkov. Predobdelava vključuje:

- dodelavo izvornih podatkov in
- izboljšavo georeferenciranja.

Iskanje sprememb za namen vzdrževanja TZ:

Zajemu izvornih podatkov sledi iskanje sprememb, ki je primerjanje starejših in novih izvornih podatkov, topografskih zbirk, kart ali njihovih kombinacij ter prepoznavanje spremenjene lokacije in/ali atributov topografskih objektov. Iskanje sprememb lahko poteka na naslednje načine:

- samodejna primerjava in iskanje sprememb med obstoječo topografsko zbirko in novimi izvornimi podatki,
- samodejna primerjava in iskanje sprememb med izvornimi podatki iz katerih je bilo obstoječe stanje topografskih zbirk izdelano in novimi izvornimi podatki,
- iskanje sprememb je mogoče opraviti ročno (obstoječa linija vzdrževanja topografskih načrtov/kart), polsamodejno in/ali na samodejni način.

Zajem podatkov za namen vzdrževanja TZ:

Ko najdemo spremembe, je potrebo zajeti objekte ali dele objektov, katerih lokacija ali atributi so spremenjeni. Zajem podatkov lahko opravimo na več načinov:

- ročni, polsamodejni in samodejni zajem objektov za namen izdelave DTK5 (za neizdelane liste),
- zajema se grafične in atributne podatke topografskih objektov in pojavov,
- atributne podatke se zajema iz izvornih podatkov (npr. aerosnemanje) ali iz resorskih zbirk (npr. kategorija ceste),
- polsamodejni zajem podatkov: metoda z delno pomočjo algoritmov npr. izdelava 3D modela zgradbe z ročnim zajemom nekaj točk in upoštevanjem DMR; sledenja dolžinskim objektom, ki zajame linijo v stereo ali mono načinu.

Vnos ali brisanje podatkov pri vzdrževanju TZ:

Zajemu podatkov takoj sledi vnos v topografske zbirke oz. se običajno izvaja istočasno. Vnos novih podatkov v zbirko se lahko izvede na več načinov:

- novi podatki se lahko vnesejo interaktivno ali paketno,
- samodejno, polsamodejno in/ali ročno.

Vzdrževanje topografske zbirke (VTZ):

Vzdrževanje topografske zbirke je proces, katerega osnovni koraki so: pridobivanje izvornih podatkov, iskanje sprememb, zajem novih ali brisanje starih podatkov, ter vnos podatkov v topografske zbirke.

1.2. **Kratice**

AF - aero foto snemanje, aerosnemanje (oz. aerofotografiranje)
ALS – aero-lasersko skeniranje
ALSS – aero-lasersko skeniranje Slovenije
BIR – barvno-infrardeči (posnetek, ortofoto; ang. colour-infrared - CIR)
CAS – Ciklično aerofotografiranje Slovenije (to je opis originalne kratice; uporablja pa se tudi: Ciklično aerosnemanje Slovenije)
DMR – digitalni model reliefa
DMP – digitalni model površja
DMV – digitalni model višin (nanaša se lahko na relief ali površje; običajno so podatki strukturirani v pravilni kvadratni mreži)
DMVO - digitalni model višin za izdelavo ortofota
DOF – glej OF
DTK – državna topografska karta (DTK5, DTK25 in DTK50)
DTI – dolžina talnega intervala (ang. GSD – Ground Sampling Distance)
DTZ – državna topografska zbirka (DTZ5, DTZ25 in DTZ50)
FSS – fotogrametrični snemalni sistem (vključuje aerofotografiranje z modernim eno ali večslikovnim analognim ali digitalnim snemalnim sistemom (RC30, DMC, UltraCAM, RCD30, DSS,...) in linijsko skeniranje (npr. ADS80)
GKB – generalizirana kartografska baza
GKOT – georeferenciran in klasificiran oblak točk
GNSS – globalni navigacijski satelitski sistem
GOT – georeferenciran oblak točk
GSD – ang. ground sampling distance (DTI – dolžina talnega intervala) – v besedilu uporabljamo kratico GSD, ker je uveljavljena v strokovni literaturi
INS – inercialni navigacijski sistem
LSA2011 – akronim projekta ALS Slovenije, ki se je začel v letu 2011
OF – ortofoto (oz. digitalni ortofoto – DOF)
RZ – resorske zbirke
SFDP – stereo fotogrametrična delovna postaja
TZ – topografska zbirka (baza)
VTZ – vzdrževanje topografskih zbirk

2. Ovrednotenje in klasifikacija novih postopkov, tehnologij ter podatkov

Poglavje opisuje ovrednotenje in klasifikacijo novih postopkov prepoznavanja topografskih objektnih tipov ter tehnologij, ki se ob tem uporabljajo in izvornih podatkov iz katerih se pridobijo nove oz. izboljšane informacije o prostoru.

2.1. Ovrednotenje in klasifikacija postopkov ter tehnologij

2.1.1. Stavbe

Podatkovni viri za zajemanje, razpoznavanje in vzdrževanje topografskih podatkov o stavbah so aeroposnetki, visokoločljivi satelitski posnetki in podatki aero laserskega skeniranja (ALS). V okviru projekta smo za samodejni zajem in vzdrževanje podatkov o stavbah preskusili pet različnih kombinacij podatkov:

- digitalni model površja (DMP), izdelan iz ALS, in državni digitalni barvni ter infra-rdeči ortofoto (OF),
- posnetke Cikličnega aerosnemanja Slovenije (CAS),
- satelitski posnetek GeoEye-1,
- stereopar posnetkov satelita IKONOS,
- digitalni model površja (DMP), izdelan iz ALS, in ortofoto izdelan iz posnetkov snemanja, ki je potekalo vzporedno z ALS, ter državni digitalni model reliefa (DMR5).

Najboljše rezultate smo pridobili s kombinacijo DMP in OF. Ta kombinacija podatkov je tudi edina, ki je pogojno uporabna za samodejni zajem podatkov v topografsko zbirko. Prostorska ločljivost uporabljenega DMP je bila 0,5 m, kar zadostuje za zajem stavb v topografsko zbirko podrobnosti merila 1 : 10 000. Glede na topografsko zbirko podrobnosti merila 1 : 5 000 je bilo na testnem območju pravilno zajetih le 37,6% stavb. Odstotek lahko izboljšamo z uporabo DMP boljše ločljivosti (npr. 0,25 m).

Vse našteje kombinacije omogočajo iskanje sprememb v podatkih o stavbah v zbirkah ali kontrolo popolnosti zajema v zbirko. Za to nalogo je spet najbolj primerna kombinacija podatkov DMP in OF, s katero lahko poiščemo spremembe v tlorisih stavb (npr. prizidki). Z ostalimi podatkovnimi viri je smiselno iskati le stavbe, ki so v celoti nove ali porušene.

Preglednica 1 prikazuje povzetek rezultatov samodejnega iskanja stavb in vektorskega zajema stavb na različnih podatkovnih virih. Vrednosti v vrstici »najdene stavbe« podajajo odstotek vseh stavb na testnem območju, ki smo jih odkrili s samodejnim postopkom. Vrednosti v vrsticah »pravilno zajete stavbe« in »generalizirane stavbe« podajajo natančnost samodejnega vektorskega zajema odkritih stavb. Z DMP, samodejno pridobljenim z obdelavo posnetkov CAS, nismo dobili dovolj kakovostnih podatkov o stavbah, da bi jih uporabili tudi za vektorski zajem stavb. Na posnetku GeoEye-1 zajema nismo izvajali, saj zaradi velike nagnjenosti posnetka ni bil smiseln.

	DMP in DOF	CAS	GeoEye-1	IKONOS	DMP in DOF izdelana iz ALS
Najdene stavbe [%]	94,4	92,5	87,4	83,2	~ 80%
Pravilno zajete stavbe [%]	37,6	-	-	15,5	-
Generalizirane [%]	58,4	-	-	26,4	-

Preglednica 1 Rezultati samodejnega iskanja in vektorizacije stavb na različnih podatkih.

Preglednica 2 prikazuje rezultate samodejnega iskanja sprememb v topografski zbirki na podlagi samodejnega zajema stavb. Popolnost opisuje delež dejanskih sprememb, ki jih samodejni postopek zazna. Pravilnost opisuje delež zaznanih sprememb, ki ustrezajo dejanskim spremembam. Rezultati kažejo, da lahko na podlagi samodejno zajetih stavb na podatkih DMP in OF učinkovito poiščemo spremembe v topografski zbirki. Pravilnost iskanja sprememb na podlagi samodejne obdelave posnetkov CAS je zelo nizka. V tem primeru znižujejo oceno pravilnosti iskanja sprememb predvsem nepravilne oblike stavb, ki smo jih pridobili iz samodejno izdelanega DMP iz posnetkov CAS. Postopek zato prevečkrat opozori na možne nove prizidke ali porušene dele stavb. Opisano metodo uporabe posnetkov CAS lahko uporabimo le za iskanje povsem novih stavb. Podobne ugotovitve veljajo za metodo, ki smo jo obravnavali na stereoparu IKONOS. Na posnetku GeoEye-1 so bile stavbe zaradi velike poševnosti posnetka preveč premaknjene iz pravilne tlorisne lege, zato posnetek ni bil uporaben za iskanje sprememb.

	DMP in OF	CAS
Popolnost [%]	93,5	74,1
Pravilnost [%]	78,4	33,9

Preglednica 2 Samodejno iskanje sprememb v topografski zbirki stavb.

2.1.2. Hidrografija

Podatkovni viri za zajemanje, razpoznavanje in vzdrževanje topografskih podatkov o hidrografiji so visokoločljivi satelitski posnetki. V okviru projekta smo za samodejni zajem in vzdrževanje podatkov o hidrografiji preskusili visokoločljivi satelitski posnetek Ikonos. Rezultate primerjave med obstoječimi topografskimi podatki in uporabljenimi viri smo predstavili grafično, zato jih ne moremo številčno ovrednotiti.

Izbrani podatki daljinskega zaznavanja ne omogočajo samodejnega zajema objektov, ki se za potrebe DTK5 zajemajo z linijsko in točkovno geometrijo. Na podlagi izvedenega testa menimo, da je s pomočjo samodejnih postopkov razpoznavanja in zajemanja objektov objektne skupine hidrografija na satelitskih posnetkih smiselno samo vzdrževanje objektov, ki se zajemajo kot ploskve.

Spremembe vodnih površin smo identificirali na podlagi primerjave stanja vodnih površin na satelitskem posnetku Ikonos (2007) in državnem ortofotu (CAS 2006). Največje težave pri iskanju sprememb na satelitskem posnetku Ikonos je predstavljala vegetacija, ki je na določenih območjih delno ali v celoti prekrivala vodno površino. Pri naročanju satelitskih posnetkov je zato potrebno posvetiti posebno pozornost času snemanja posnetkov. Za določitev optimalnega časa snemanja je potrebno upoštevati predvsem fenološke značilnosti območij (olistanost terena).

Predlagana metoda razpoznavanja sprememb hidrografije na satelitskih posnetkih je pokazala 3 probleme: različno stanje vegetacije (predvsem olistanost), zvrnjenost visokih objektov (predvsem visoka vegetacija ob bregovih) in vodostaj vodne površine. Zaradi prvih dveh smo kot spremembo vodnih površin identificirali tudi množico površin, ki niso posledica spremembe vodnih površin ampak posledica prekrivanja vodne površine z vegetacijo na enem posnetku in vidnosti vodne površine na drugem posnetku. Zaradi različnega vodostaja vodnih površin so bile vse vodne površine, ki niso omejene z grajenimi bregovi, identificirane kot spremenjena vodna površina. Razlog je v različnem času snemanj, različnem vodostaju in posledično različnem položaju obalne linije vodne površine.

Tu se pokaže bistvena pomanjkljivost samodejnih metod razpoznavanja sprememb hidrografije. Samodejne metode pri razpoznavanju ne vključujejo interpretacije pojavov na posnetku kot jo izvaja operater pri fotointerpretaciji ali stereozajemu. Prav interpretacija je pri ugotavljanju sprememb vodnih površin bistvenega pomena, saj se lahko operater na podlagi okolice vodne

površine (npr. prodišča) odloči ali gre dejansko za spremembo ali je sprememba zgolj posledica nekaterih drugih vplivov (npr. različen vodostaj, prekrivanje z vegetacijo, ipd.).

Za boljše rezultate razpoznavanja vodnih površin s predlagano metodo, bi bilo potrebno poleg satelitskih posnetkov uporabiti tudi podatke ALS a katerimi bi izboljšali izločanje vegetacije ob robovih vodnih površin.

S pomočjo samodejnih postopkov in izbiro primernih satelitskih posnetkov se lahko pripravi sloj vodnih površin. Na podlagi te karte in vodnih površin v DTK5 se pripravi karta sprememb vodnih površin, kjer se posebej označijo nove vodne površine in izsušene vodne površine. V naslednjem koraku je potrebno iz karte vodnih površin odstraniti vse objekte, ki predstavljajo nepomembne spremembe za potrebe vzdrževanja DTK5. Tako obdelan sloj sprememb lahko služi kot pripomoček operaterju pri stereozajemu. Ta mora v 1. fazi najprej interpretirati sloj sprememb tako, da za posamezne spremembe ugotovi ali gre za dejansko spremembo ali ne. V 2. fazi pa podatke o trirazsežnem položaju spremenjenih vodnih površin pridobi s stereozajemom.

2.1.3. Relief

Postopki modeliranja terena so dandanes že dobro razviti in so implementirani v več različnih programskih orodjih. Koraki obdelave so odvisni od tehnologije zajema podatkov. Podatkovni viri za zajemanje, razpoznavanje in vzdrževanje topografskih podatkov o reliefu so aeroposnetki, visokoločljivi satelitski stereo posnetki in podatki aero laserskega skeniranja (ALS).

Za referenčne topografske podatke reliefa smo prevzeli DMV 5, ki je bil izdelan iz podatkov CAS v letu 2006 vzporedno z izdelavo ortofota, DMV12,5 in sloj reliefa DTK25. Vhodni primerjalni podatki, ki smo jih uporabili pri testiranju postopkov zajemanja, razpoznavanja in vzdrževanja referenčnega sloja reliefa, so:

- podatki CAS iz leta 09/10/11,
- podatki terestričnega laserskega skeniranja (TLS) iz leta 2011,
- vzorčne podatke ALS iz leta 2008 in 2009 (namensko snemanje) ter vzorčne podatke projekta LSA2011 (lasersko skeniranje Slovenije).

Postopkov obdelave navedenih izvornih meritev (to je aeroposnetkov in laserskega oblaka točk) v sklopu tega raziskovalnega projekta nismo preverjali in smo višinske mreže prevzeli kot pravilne. Satelitski posnetki pri zajemu reliefa niso bili uporabljeni, saj se je v predhodnih analizah (Marsetič, Oštir, 2010) izkazalo, da je dosegljiva višinska točnost znatno slabša kot točnost obstoječega topografskega sloja reliefa.

Ker DMV sistematično pokriva celo Slovenijo (pravilna mreža), je pomembno odkriti le spremembe višin na določenih X,Y lokacijah, ne pa tudi dodanih ali izbrisanih objektov oziroma podatkov (t.j. višin). S tem je postopek odkrivanja sprememb terena precej poenostavljen. Uporabili smo preprosto matematično operacijo odštevanja rastrov višin referenčnega in primerjalnega DMV. Pri tem smo predhodno poskrbeli, da sta rastra višin v istem koordinatnem sistemu in da imajo višinske točke v mreži iste koordinate x, y, kar smo dosegli s postopkom prevzorčenja (angl. resampling). Razlike višin so posledica nenatančnosti vhodnih podatkov ali pa dejanskih sprememb višine reliefa. V postopku vzdrževanja zbirke je potrebno (polsamodejno) identificirati višinske razlike, ki so posledica dejanske spremembe reliefa, in jih (samodejno) vključiti v topografsko zbirko. Po pričakovanjih se je izkazalo, da so razlike višin manjše v primeru odštevanja modelov reliefa, ki so izdelani iz istih virov. Ker je trenutno za celotno ozemlje Slovenije najpodrobnejši razpoložljiv podatek DMV 5, zajet iz podatkov CAS, je uporaba CAS najustreznejša za iskanje sprememb v DMV 5. Z vzpostavitvijo novega DMV, izdelanega iz ALS, pa bodo najustreznejši vir za iskanje sprememb in dopolnitev podatki novih ALS zajemov, ki naj bi bili izvedeni s čim bolj enakimi parametri kot predhodno snemanje.

Glede na lokacijo razpoložljivih lidarskih podatkov je bilo v postopek testiranja referenčnega DMR vključenih več različnih območji. Rezultati primerjave referenčnega in primerjalnega DMR na odlagališču Barje so pokazali, da je DMV5 iz podatkov CAS 09/10/11, ki danes služi kot osnovni podatkovni sloj reliefa, na testnem območju neažuren in ne prikazuje dejanskega stanja terena. Izkazalo se je tudi, da so izračunane razlike višin posledica različnih tehničnih navodil DMV, saj npr. DMV5 iz podatkov CAS 2006 vključuje mostove, DMV5 iz podatkov CAS 09/10/11 pa predvideva dva DMV5, in sicer enega brez mostov in drugega t.i. DMVO, ki se je uporabil pri izdelavi ortofota.

Razveseljiv je podatek, da je test pokazal manjša odstopanja višin med obstoječim DMV5 in DMV iz systemskega ALS snemanja v primerjavi z razlikami med obstoječim DMV5 in DMV iz namenskega ALS snemanja. Zaradi visoke točnosti in prostorske ločljivosti so podatki ALS najprimernejši za polsamodejni zajem značilnih reliefnih oblik.

2.1.4. Vegetacija

Tradicionalne metode (npr. vzorčenje na terenu, ročna interpretacija stereoposnetkov aero snemanj) so v primerjavi s pridobivanjem informacij iz veliko površinskega satelitskega daljinskega zaznavanja dolgotrajnejše in dražje. Tehnologija daljinskega zaznavanja ponuja praktičen in ekonomičen način za zajem vegetacije, še posebej na velikih območjih. Zaradi sistematične narave opazovanja v različnih prostorskih in spektralnih merilih, tehnologija daljinskega zaznavanja razširja možnosti vzpostavitve in vzdrževanja podatkov o vegetaciji v različnih zbirkah podatkov.

Izločanje vegetacije iz daljinsko zaznanih podob je proces pridobivanja informacij o naravni pokritosti površja (vegetaciji) z interpretacijo satelitskih ali aero posnetkov. Ta temelji na razlagi elementov podobe, kot so barva, tekstura, ton, vzorec. Razvite so različne metode, ki jih okvirno delimo na nadzorovano in nenadzorovano klasifikacijo, glede na osnovno enoto razvrščanja pa na pikselo ali objektno usmerjene metode. Splošni koraki pri kartiranju vegetacije so predobdelava posnetkov in klasifikacija. Predobdelava skrbi za izboljšanje informativne vrednosti podobe, klasifikacija pa za to, da se vsak piksel/segment na podobi uvrsti v ustrezen razred (objektni tip) vegetacije.

Postopki prepoznavanja vegetacije iz podatkov tehnologij daljinskega zaznavanja se delijo tudi glede na podatkovne vire, predvsem njihovo merilo (zmožnost prikaza detajla) in spektralne lastnosti. Velja, da je za posnetke nizke in srednje prostorske ločljivosti primernejša pikselo usmerjena obravnava, za posnetke visoke prostorske ločljivosti (10 m in manj) pa objektno usmerjena obravnava. Za kakovostno prepoznavanje vegetacije je zlasti pomembna informacija v infrardečem (IR) spektru. Med visokoločljive podatkovne vire ustrezne za zajemanje, razpoznavanje in vzdrževanje topografskih podatkov o vegetaciji sodijo: aeroposnetki, visokoločljivi satelitski posnetki in podatki aero laserskega skeniranja. V okviru projekta smo za samodejni zajem in vzdrževanje podatkov o vegetaciji preskusili naslednje podatke:

- državni digitalni barvni ortofoto oz. posnetke CAS (primer obstoječih podatkov GURS),
- satelitski posnetek WorldView2 (primer enega najbolj obetavnih satelitskih senzorjev).

Metodologijo zaznave objektnih tipov/razredov vegetacije smo preverjali glede na učinkovitost določevanja naslednjih vegetacijskih razredov: gozd (večje površine), gozd (posamezna drevesa), travniki in njive (aktivne, neaktivne). Uporabili smo objektno klasifikacijo, pri čemer smo testirali zmožnosti klasifikacije na podlagi učnih vzorcev ter klasifikacije na podlagi upoštevanja pravil. Testirali smo tudi vpliv predpriprave (predobdelave) podatkov in vključevanja dodatnih slojev (ločevanje določenih lastnosti pokrovnosti) na rezultate klasifikacije vegetacije.

Glede zmožnosti objektno usmerjene metodologije na visokoločljivih satelitskih podatkih ugotavljamo, da je za samodejnost (polsamodejnost) prepoznave in klasifikacije vegetacije od drugih pokritosti tal metoda zelo učinkovita in vsekakor primerna za zajem vegetacije. Nadalje so rezultati pokazali, da je za pravilno prepoznavanje posameznih elementov vegetacije ključno

učinkovito razlikovanje med tistimi elementi, ki imajo sorodne spektralne lastnosti. Doseganje kakovostnega in zanesljivega razlikovanja posameznih tipov/razredov je lahko resna omejitev za praktično uporabo tega pristopa, kar je tudi sicer splošna značilnost postopkov samodejne klasifikacije. To pomeni, da v primeru popolne samodejnosti postopka lahko ostaja veliko dela na ročnem popravljanju rezultatov klasifikacije (poklasifikacija).

Pokazalo se je, da s kombinacijo kanalov 5 in 7 (standardni NDVI za WV-2 posnetke) lahko dobro razločimo vegetacijsko aktivne in neaktivne površine. Z upoštevanjem dodatnega pogoja iz kombinacije kanalov 6 in 8 pa lahko prepoznamo in odstranimo znaten delež odprtih (zoranih) njiv, ki se zgolj ob pogoju NDVI vrednosti med klasifikacijo napačno uvrstijo med vegetacijsko neaktivne površine (najpogosteje v razred ceste). Pridobljeno informacijo smo kot sloj (vključi/izključi območje) uporabili v postopku objektne klasifikacije z uporabo učnih vzorcev. Elemente vegetacije smo kasneje poskušali pridobiti še s postopkom objektne klasifikacije z upoštevanjem pravil, vendar do uporabnih rezultatov v tem primeru nismo prišli. Razlog je, da je klasifikacija z upoštevanjem pravil učinkovita le v primeru objektov, ki so v prostoru dobro in enolično definirani. Elementi vegetacije so po svojih lastnostih in načinu pojavljanja za to tehniko preveč heterogenih lastnosti, zato vseh ne moremo opisati z nizom pravil v skupni obravnavi. Zaključujemo, da klasifikacija z upoštevanjem pravil ni primerna za vsakodnevno operativno rabo, napredno nadzorovano objektno klasifikacijo na podlagi učnih vzorcev pa je mogoče pripraviti za vsakodnevno operativno rabo, ne glede na vir vhodnih podatkov.

Tudi na ortofotih je bila testirana nadzorovana objektna klasifikacija na podlagi učnih vzorcev. Predobdelava podatkov je obsegala glajenje in dopolnilno tudi prevzorčenje na nižjo prostorsko ločljivost (iz 0.5 na 1 m). Ugotavljamo, da so podatki in uporabljen postopek primerni za razpoznavanje vegetacije, vendar je za zagotovitev kakovostne razpoznave posameznih elementov vegetacije nujno, da ortofoti vsebujejo tudi IR kanal.

Ob testiranju stopnje predobdelave je poleg usmerjene objektne klasifikacije na izostrenih podobah, dobre rezultate za razpoznavanje vegetacije dala tudi objektna klasifikacija neizostrenega posnetka WV-2, torej analiza multispektralne podobe v ločljivosti 2 m. To je zlasti pomembno, ker je obseg dela na satelitski podobi v manjši prostorski ločljivosti znatno manjši od dela na ortofotih. Tako ugotavljamo, da je za zajem in za namen vzdrževanja topografskih zbirk gozdno mejo mogoče kakovostno in relativno enostavno določiti tudi na satelitskem posnetku nižje prostorske ločljivosti, kar poenostavi in pohitri celoten postopek. Razveseljivo je tudi, da je tako pridobljena gozdna meja veliko boljše semantične in geometrične kakovosti, kot je obstoječa v DTK 5.

Glavna slabost kombinacije objektno usmerjenega pristopa in uporabljenih podatkov je, da niti s podrobno klasifikacijo, niti z dodatno predobdelavo podob (predhodno ločevanje na vegetacijsko aktivne in neaktivne površine) nismo uspeli v okviru klasifikacije zadovoljivo razločiti vseh objektnih tipov vegetacije (problem slabega razlikovanja med gozdom in določenimi njivami) v samodejnem načinu. To povzroča dodatno delo v fazi poklasifikacije. Zato menimo, da bi k učinkovitejšemu razlikovanju med omenjenima objektnima tipoma zelo pripomogla informacija o višini objektov, ki jo je mogoče pridobiti iz podatkov laserskega skeniranja.

Pomembno pa je na tem mestu ponoviti, da je za kakovostno razpoznavo vegetacije bistvenega pomena informacija v infrardečem spektru. V okviru obstoječe raziskave razpoznave vegetacije na BIR ortofota nismo izvedli. Vsekakor bi veljajo v nadaljnje študije vegetacije vključiti barvne infrardeče ortofote, predvsem pa analizo izvajati na izvornih posnetkih CAS (izvorni radiometrični R,G,B in IR kanali) ter v kombinaciji s podatki laserskega skeniranja o višinah objektov.

Neposredna analiza sprememb (z razlikovanjem podob, angl. image differencing, post-classification differencing) na satelitskih podatkih ni bila mogoča, saj smo razpolagali le z enim WV2 posnetkom za obravnavano območje. Analiza sprememb na ortofotih prav tako ni bila izvedena. Nadzorovana objektna klasifikacija na časovni seriji ortofotov ni bila izvedena zato, ker brez IR kanala ostaja delež napačno klasificiranih objektov velik in je zato obdelava časovno potratna. Namesto tega je bila izvedena vizualna analiza sprememb vegetacije, s kompozitom treh različno časovno zajetih ortofotih z metodo RGB-NDVI. Z vidika ugotavljanja sprememb na

vegetaciji lahko zaključimo, da tehnika dobro odstira velike, očitne spremembe (npr. pozidano, gola tla – ozelenjeno, in obratno, gozd - poseka). Slabost je lahko pretirana zaznava znotraj gozdnih površin, saj so pogoji snemanja različni in tako sence krošenj dreves pogosto zavzamejo različne lege, ki pa jih tehnika zazna kot spremembe. Trenutna slabost je tudi, da je zaradi različnih radiometričnih lastnosti ortofotov med fotogrametričnimi bloki (zapis v barvnem formatu RGB) nemogoče pridobiti primerljive t.i. modificirane sloje NDVI.

Zaključujemo, da je objektno usmerjen pristop za zajem in vzdrževanje podatkov o vegetaciji za namen vzdrževanja topografskih zbirk z manjšimi prilagoditvami (glede na vir in lastnosti podatkov, velikost območja obdelave) in razširitvijo (vključevanje informacije o višinah objektov iz podatkov lidarskega snemanja) testiranega postopka sprejemljiv za vsakodnevno operativno delo.

2.1.5. Ceste

Postopki prepoznavanja cest iz podatkov visokoločljivostnih tehnik daljinskega zaznavanja se v veliki meri še razvijajo. Uporabljajo se različne metode, kot so splošna metoda izločevanja in rekonstrukcije mreže cest, metoda sledenja cest, morfološke analize, dinamično programiranje, metoda uporabe podatkov z več merili oziroma z več-ločljivostmi, stereoskopske in več-časovne analize, hiperspektralne analize itd. Kljub številnim raziskavam (pol)samodejnega zajemanja cest, ti algoritmi v večini še niso vgrajeni v komercialne programe. To je vsekakor ovira in hkrati tudi motivacija pri razvoju operativnih postopkov zajema cest.

V okviru tega projekta smo testirali postopke prepoznavanja cest iz digitalnih ortofoto posnetkov in visoko ločljivega satelitskega posnetka WorldView-2. Dobljene rezultate smo primerjali z vektorskih slojem cest iz zbirke DTK5. Pri testiranju smo primerjali (pol)samodejno pridobljene cest s slojem cest iz zbirke DTK5 in (pol)samodejno pridobljene ceste iz ortofotov dveh različnih časovnih obdobj.

V enem od testov je bila uporabljena pikselska nadzorovana klasifikacija. Na podlagi izvedenih testov smo ugotovili, da je uporabljena metoda ustrezna za vzdrževanje sloja cest, vendar pa je ne moremo popolnoma prepustiti avtomatizaciji.

Problemi se pojavljajo predvsem na območjih, kjer so ceste zakrite z vegetacijo in območjih, kjer se na cestah pojavijo sence zaradi bližnjih visokih objektov (visoke zgradbe, visoka drevesa..). Ta območja v primerjavi s stanjem cest v DTK5 predstavljajo spremembo situacije na terenu, čeprav spremembe dejansko ni. V primeru, kjer spremembe iščemo samo s samodejno klasifikacijo ortofotov različnih časovnih obdobj, so ti problemi minimalni, saj se ti med sabo izničijo. Dodatno delo nam predstavlja le naknadna obdelava rezultatov zaradi napak, ki so nastali med klasifikacijo.

V drugem testu smo uporabili preprosto metodo primerjanja rastrskih podatkov. Primerjali smo dve rastrski sliki iz različnih obdobj. Preizkušanje različnih aritmetičnih operacij na rastrskih slikah, se ni izkazalo za uspešno. Problem so bili "izvirni" ortofoti, ki so izdelani z uporabo različnih metod in imajo tako preveč različne radiometrične vrednosti, da bi jih lahko primerjali med seboj. Na drugi strani je problem obravnavane metode tudi v tem, da ceste nimajo enotne spektralne ločljivosti znotraj iste objektne skupine (npr.: star ali nov asfalt, makadam, večkrat prevožen asfalt je lahko temnejši ali pa ima sledi gum) ter da imajo hkrati podobne spektralne vrednosti tudi parkirišča, dvorišča in nekatere strehe, ki pa bi jih radi izločili iz analize. Predvidevamo, da bi z integrirano uporabo aeroposnetkov in podatkov laserskega skeniranja ter z uporabo naprednejših algoritmov segmentacije in klasifikacije lahko odpravili nekatere zgoraj naštetje probleme in prišli do boljših rezultatov.

V tretjem testu smo za potrebe določevanja objektne skupine cest uporabili ortorektificiran visoko ločljivi satelitski posnetek WorldView-2 z osmimi spektralnimi in enim pankromatskim kanalom na urbanem (Ljubljana center) in suburbanem (Brezovica) območju. Uporabljena

metodologija za zaznavanje cest je bila objektna klasifikacija, ki jo je v večji meri kontroliral oziroma nadzoroval uporabnik. Pri izbiri objektnih razredov smo v primeru urbanega študijskega območja izbrali dva generalna tipa cest: ceste (cestne površine) in zazidane površine (prekrite zemeljske površine z neprepustnimi materiali, npr. parkirni prostori). V primeru suburbanega območja pa dva različna razreda glede na njune značilne spektralne značilnosti, to sta razreda ceste_sive in ceste_beje. Slednji razred predstavljajo predvsem lokalne ceste nižje hierarhije, medtem ko imajo pretežno siv odboj ceste višjih kategorij (avtocesta, regionalna cesta, železnica). Poleg nadzorovane objektno usmerjene klasifikacije smo poskusili zaznati omenjeno objektno skupino tudi s klasifikacijo z upoštevanjem pravil, kjer so se upoštevali atributi povprečne vrednosti modrega kanala, podaljšanost ter povprečna vrednost pikslov znotraj segmenta. Zadovoljive rezultate s tem pristopom smo dobili samo na območjih, kjer se ceste dobro ločijo od okolice (npr. kolovozi med polji ali lokalne ceste med zelenimi površinami). Čeprav je za to klasifikacijo značilno, da je po navadi uspešna pri zaznavi tipičnih antropogenih značilnostih na površju, smo tehniko objektno klasifikacije z upoštevanjem pravil zaradi slabih rezultatov opustili pri samodejni zaznavi cest.

Za visoko ločljive satelitske posnetke je uporabljena objektno usmerjena klasifikacija trenutno najbolj primerna metodologija za samodejno zaznavanje vseh tipov pokrovnosti tal. Ta metoda omogoča kakovostno in relativno enostavno vzdrževanje topografskih zbirk objektno skupine cest. Seveda je popolnoma nesmiselno govoriti o popolni avtomatizaciji zaznavanja cest, saj je v okviru faze klasifikacije še vedno nemogoče zadovoljivo razločiti vse objektno tipe cest, prav tako tudi ne o hierarhiji cest tako v državnem kot tudi v občinskem cestnem omrežju. Kot že omenjeno v primeru vegetacije polsamodejna metodologija povzroča dodatno delo, predvsem v fazi poklasifikacije (ročno preverjanje in popravljanje). Izhodni rezultati zaradi velikih detajlov na satelitskih posnetkih nimajo geometrijskih linij in oblik, ki bi neposredno ustrezale kartografskim merilom topografskih zbirk večjega merila. Zato priporočamo izvedbo ročne poobdelave oblike cest (generalizacijo).

Preverili smo različne vhodne kombinacije podatkov, z različno stopnjo predpriprave podatkov, vendar je bil opisani problem povsod enak. Navkljub osmim spektralnim kanalom satelitskega posnetka ni bilo mogoče samodejno in popolnoma razlikovati med objektnima tipoma asfaltne površine in sive strehe zgradb. Posledično smo zato pridobili slabšo klasifikacijo v urbanem kot v manj heterogenem suburbanem območju. K učinkovitejšemu razlikovanju med tema dvema objektnima tipoma bi pripomogla informacija o višini objektov, ki jo je mogoče pridobiti iz podatkov laserskega skeniranja. Z dodatno informacijo o višinah bi pravilneje razvrstili objekte v fazi klasifikacije in s tem povečali stopnjo samodejnosti postopka ter posledično zmanjšali delo v fazi ročnega popravljanja.

Kvantitativno oceno iskanja sprememb zaradi obravnave samo enega satelitskega posnetka visoke ločljivosti na obeh omenjenih območjih v časovni vrsti ni bilo mogoče opraviti. Analiza sprememb cest se je tako kot v primeru iskanja sprememb vegetacije opravila vizualno, s kompozitom treh različno časovno zajetih in izdelanih ortofotov po metodi RGB-NDVI ter primerjavo na stanje DTK 5. Z omenjeno metodo je mogoče hitro, poceni in dobro vizualno ugotoviti posege, ki so se dogajali v prostoru skozi čas in lahko tako iz barvnega kompozita dobro izstopajo novo zgrajene cestne povezave in ostale zazidane (asfaltirane ali tlakovane) površine. Ker v tem obdobju (2005 - 2011) ni prišlo do večjih gradenj v cestni mreži na obravnavanem območju, večjih sprememb za objektni tip ceste ni bilo mogoče zaznati.

2.2. Ovrednotenje in klasifikacija podatkov

2.2.1. Stavbe

Aeroposnetke in izdelke, ki se na njih navezujejo (OF, DMR), v Sloveniji pridobivamo v okviru CAS. S stališča samodejnih postopkov je slabost slikovnih podatkov (posnetki in ortofoti), ki jih pridobimo na GURS, v tem, da so zapisani v barvnem formatu RGB. Za samodejne postopke

so bolj uporabni osnovni kanali, ki jih pridobimo z digitalnim snemalnim sistemom (moder, zelen, rdeč in infrardeč kanal). Ocenjeni stroški CAS za potrebe izdelave DTK5 za območje Slovenije znašajo 600.000 €, od tega:

- zajem podatkov: 250.000 €,
- dodelava izvornih podatkov: 10.000 €,
- georeferenciranje izvornih podatkov: 100.000 €.

Razliko do polne cene (240.000 €) predstavljajo stroški izdelave DMR in OF.

V Sloveniji smo pričeli s projektom lidarskega snemanja celotne države. Ocenjeni stroški ALS Slovenije za potrebe izdelave DTK5 (gostota snemanja 4-8 točk/m²) znašajo 1,6 M €. Temu je treba dodati še stroške naknadne obdelave podatkov (izdelava DMR, DMP, ...).

Za pridobivanje podatkov o stavbah so primerni satelitski posnetki, ki imajo prostorsko ločljivost za pankromatski kanal 1 m ali boljše in snemajo površje Zemlje tudi z multispektralnimi kanali. Preglednica 3 podaja nekatere parametre naročanja najbolj razširjenih satelitskih posnetkov, ki imajo omenjene lastnosti. Snemalno okno je obdobje, v katerem dobavitelj posname določeno območje. Rok snemanja se lahko podaljša v primeru slabih vremenskih pogojev. Z dodatnim plačilom se lahko rok tudi skrajša. Najmanjša velikost posnetka izraža najmanjšo velikost posnetka, ki jo lahko naročimo pri ponudniku. Snemalni kot podaja usmeritev snemalne osi glede na zemeljsko površje (pri kotu 90° je snemalna os usmerjena navpično navzdol, z manjšanjem snemalnega kota se povečuje poševnost posnetkov). Posnetki, pri katerih snemalna os odstopa za več kot 25° od nadirja, praviloma niso uporabni za zajem stavb. Snemalni kot lahko v intervalu 10° stopinj (npr. od 80° do 90°) naročimo le za posnetke QuickBird. Za zajem stavb je zato smiselno naročiti stereopare.

Cene, podane v preglednici, so okvirne in odvisne od več parametrov (pokritosti posnetka z oblaki, faze obdelave, naročila novih ali arhivskih posnetkov, velikosti izbranega območja, izbranega tipa licence - enojna, več uporabnikov, časa dostave posnetkov, popusti za večja naročila). Smotrneje je naročiti osnovne, negeoreferencirane posnetke. K stroškom nakupa je seveda treba prišteti še stroške, ki jih imamo sami z georeferenciranjem posnetkov.

	Snemalno okno	Najmanjša velikost posnetka	Snemalni kot [°]	Stereo-pari	Okvirna cena [€/ km ²]	Okv. cena za Slovenijo [€]	Okv. cena za stereopar [€/ km ²]
GeoEye	60 dni	25 km ² arhiv 100 km ² novi	60 – 90 72 - 90	da	19,48	395.000	30
IKONOS	60 dni	25 km ² arhiv 100 km ² novi	60 – 90 72 - 90	da	15,66	318.000	25
QuickBird	90 dni	12 km×12 k m; 15×14 oz 15×28 km za stereo	45 – 90 ali min/max razpon 10°	-	22,77	462.000	-
WorldView-2	4 mes. Stereo: 9 mes.	12 km×12 k m; 15×14 oz 15×28 km za stereo	65 – 90 ali 45 - 90	da	17,00	345.000	37

Preglednica 3 Naročanje in dostopnost satelitskih posnetkov.

2.2.2. Hidrografija

Za zajem podatkov o vodnih površinah so primerni satelitski posnetki, ki imajo prostorsko ločljivost za pankromatski kanal 1 m ali boljše in snemajo površje Zemlje tudi z multispektralnimi kanali ter imajo vsaj en IR kanal. Preglednica 3 podaja nekatere parametre naročanja najbolj razširjenih satelitskih posnetkov, ki imajo omenjene lastnosti. Priporoča se naročanje surovih, neobdelanih posnetkov. V tem primeru je potrebno k stroškom nakupa prišteti še stroške georeferenciranja posnetkov.

Cene, podane v preglednici, so okvirne in odvisne od več parametrov (pokritosti posnetka z oblaki, faze obdelave, naročila novih ali arhivskih posnetkov, velikosti izbranega območja, izbranega tipa licence - enojna, več uporabnikov, časa dostave posnetkov, popusti za večja naročila).

2.2.3. Relief

Stroški pridobitve podatkov za potrebe dopolnjevanja podatkov reliefa so omejeni na stroške zajema in osnovne obdelave.

Pri uporabi podatkov CAS tako potrebujemo le aeroposnetke ter parametre zunanje orientacije posnetkov. Celoten projekt snemanja CAS (za 2009) je bil ocenjen na 600.000 EUR za celotno Slovenijo (glej poglavje 2.2.1) Ocenjeni stroški dopolnitve zbirke reliefa iz podatkov CAS za območje Slovenije znašajo:

- dodelava DMR: 180.000 €.

Dodelava vključuje naslednja opravila: slikovno ujemanje s filtriranjem, ročno urejanje višin na urbanih območjih, transformacija v star koordinatni sistem (D48/GK), primerjava DMV (odštevanje višin, klasifikacija višinskih razlik glede na prag za spremembe), ročni pregled – interpretacija, zajem sprememb ter vključitev sprememb v obstoječo zbirko podatkov.

Osnovni izdelki systemskega ALS Slovenije so: georeferenciran oblak točk (GOT), georeferenciran in klasificiran oblak točk (GKOT), oblak točk reliefa (OTR) in digitalni model reliefa 1 m x 1 m (DMR1). Ocenjeni stroški ALS Slovenije so 1.600.000 EUR. Od tega je cca 48.000 EUR strošek georeferenciranja (3%) in cca 112.000 EUR (7%) strošek dodatne obdelave (klasifikacija oblaka točk). Ocenjeni stroški dopolnitve zbirke reliefa iz podatkov ALS za območje Slovenije znašajo:

- zajem podatkov: 1.440.000 €,
- georeferenciranje izvornih podatkov: 48.000 €,
- klasifikacija oblaka točk: 112.000 €,
- dodelava izvornih podatkov: 110.000 €.

Dodelava pri ALS celotne države vključuje naslednja opravila: izdelava OTR, interpolacija DMR iz OTR, priprava stare in nove mreže višin za primerjavo (usklajevanje položaja mrež, transformacija med koordinatnimi sistemi, prevzorčenje). Če pa bi ALS izvedli le za območja sprememb, dodelava ALS vsebuje tudi primerjavo DMV (odštevanje višin, klasifikacija višinskih razlik glede na prag za spremembe), ročni pregled zaznanih sprememb reliefa – interpretacija, vključitev sprememb v obstoječo zbirko podatkov ter identifikacija in zajem značilnih reliefnih oblik.

Podatki, ki se jih dandanes po svetu največkrat uporablja za modeliranje reliefa, so lidarski oblaki točk. Zajem lidarskih podatkov in njihova obdelava je nekajkrat dražja v primerjavi z zajemom in obdelavo aero-posnetkov, ki smo jih v Sloveniji uporabljali do sedaj. Vendar pa je kakovost novonastajajočega systemskega digitalnega modela višin izvedenega iz lidarskih podatkov (v smislu natančnosti in ločljivosti) boljša od obstoječega slovenskega DMV-ja izračunanega iz aero-posnetkov. Zaradi tega ima lidarski DMV večjo aplikativno vrednosti in se ga lahko uporabi za več različnih namenov.

2.2.4. Vegetacija

Stroški pridobitve podatkov za potrebe vzpostavitve in dopolnjevanja podatkov vegetacije so omejeni na stroške zajema in osnovne obdelave. V primeru satelitskih posnetkov je strošek zajema precej odvisen od dogovora s ponudnikom. Osnovna obdelava satelitskih posnetkov pa zajema najmanj georeferenciranje in ortorektifikacijo, lahko pa tudi ostrenje, radiometrično standardizacijo (atmosferski in topografski popravki) ter postopke izboljšave podob.

Samodejna zaznava vegetacije iz visokoločljivih satelitskih posnetkov WorldView-2 in ortofotov je dala dobre rezultate, zato bi bilo vegetacijo smiselno razpoznavati in vzdrževati na predlagan način, seveda z določenimi nadgradnjami in prilagoditvami predstavljenega postopka. Prednost multispektralnih satelitskih posnetkov je, da številni spektralni kanali v IR spektru ponujajo natančnejše prepoznavanje različnih tipov vegetacije, omejitev je strošek nakupa posnetkov za pokrivanje celotnega državnega ozemlja. Prednost podatkov OF je njihova razpoložljivost in geometrični detajl, slabost pa velika radiometrična raznolikost med posnetki iste serije ali med različnimi serijami snemanj. Za prepoznavanje elementov vegetacije je bistvenega pomena informacija v infrardečem spektru, medtem ko prostorska ločljivost zavzema manjšo vlogo. Ugotavljamo, da so za vzdrževanje TZ oziroma kartiranje osnovnih elementov vegetacije primerni vsi izvorni OF, ki imajo IR kanal in ločljivost do 1 m. Z vidika implementacije postopkov pa so zaradi multispektralne narave primernejši visoko ločljivi satelitski posnetki, ki vsebujejo 5 ali več spektralnih kanalov in potencialno tudi pankromatski kanal, in imajo prostorsko ločljivost do 2 m.

Meje objektnega tipa gozd smo pridobili z višjo natančnostjo in večjimi detajli (v geometričnem in semantičnem smislu), kot jih vsebujejo referenčni podatki DTK 5. Kljub visokemu nivoju avtomatizirane zaznave pa je zaenkrat za pridobitev podatkov primernih za topografske zbirke še vseeno treba rezultate tudi ročno popravljati. V primeru pridobivanja gozdne meje je uporabnost predlaganih postopkov nesporna, saj je gozdna meja pridobljena iz izvorne satelitske podobe v 2 m ločljivosti popolnejša in točnejša od obstoječe in zelo generalizirane gozdne meje v DTK 5.

Za dodatne izboljšave bi veljalo izbrane podatke kombinirati z ostalimi razpoložljivimi prostorskimi podatki. Za vegetacijo je visoko priporočljivo združevanje podatkov z infrardečimi kanali posnetkov, prav tako pa je smiselna uporaba podatkov lidarskih snemanj, saj je podatek o višini lahko ključnega pomena pri izboljšani klasifikaciji vegetacije. Zato je za vzdrževanje TZ vsaj glede objektnega tipa vegetacija smiselno uporabljati podatke iz rednih, sistematičnih in standardiziranih serij aero snemanj, tj. skupnega aero foto in lidarskega zajema.

Glede vzdrževanja topografskih zbirk za objektni tip vegetacija predlagamo ažurno (vz)postavitev DTK 5-vegetacija (bodisi iz satelitskih posnetkov ali OF-IR), ki bi jo lahko v nadaljnjih fazah enostavno obnavljati s predlaganim potekom zaznave vegetacije in iskanja sprememb. Pri tem je nujno izpostaviti dejstvo, da je za pridobitev relevantnih podatkov o vegetaciji iz OF potrebna izvedba postopka na izvornih kanalih OF (kompozit originalnih radiometrično »pravih« kanalov), ki vključujejo tudi IR kanal.

GURS predlagamo, da izvajalcem aero snemanj postavi enotne standarde za izdelke aero foto snemanj, ki vključujejo obstoječe geometrične zahteve (prostorska ločljivost, kakovostna ortorektifikacija in podobno), poleg njih pa tudi enotno radiometrično strukturo spektralnih kanalov podatkov aero snemanj. S konsistentnimi serijami OF je mogoče razviti procesno verigo za kakovostno in skoraj samodejno vsakodnevno delo pri vzdrževanju topografskih podatkov o objektnih tipih/razredih vegetacije.

2.2.5. Ceste

Zaznava cestnega omrežja je bila na podlagi uporabljene metode uspešna. Do večjih dvomov o uporabi teh korakov prihaja zgolj zaradi omejitev na samih posnetkih, ki so omenjena v poglavju

2.2.4. Dobljene klasificirane poligone cest in zazidljivih površin smo po vizualnem pregledu v urbanem območju pridobili z manjšimi odstopanji, vendar zadovoljivimi izhodnimi podatki. Največji problem pri pravilnem klasificiranju so predstavljali razredi, ki so si spektralno podobni. S pol samodejno obdelavo je bilo v urbanem območju namreč težko razločiti asfaltne površine in sive strehe zgradb, zato smo posledično pridobili slabšo rezultat klasifikacije kot v manj heterogenem suburbanem območju.

Negativna stran pridobivanja podatkov o cestni mreži iz stereoposnetkov, ortofotov ali satelitskih posnetkov je vizualna nezveznost cest na posnetku, saj jih prekrivajo objekti, kot so visoka vegetacija ali drugi visoki objekti (npr. krošnje dreves prekrivajo cesto). Zveznost cest na satelitskem posnetku pa prekinjajo tudi večji detajli na samem cestišču (npr. prehodi za pešce). Omenjene prekinitve bi bilo potrebno ročno popraviti ali pa bi bilo potrebno razviti algoritem, ki bi sledil poteku ceste kljub tem nezveznostim, kar pa presega cilje zastavljene raziskave.

Tukaj predlagamo, da se rezultati dopolnijo z lidarskimi podatki oziroma se kar v celoti prevzamejo iz lidarja, čeprav predvidevamo, da se lahko v slednjem primeru srečamo s podobnimi preprekami kot v primeru zaznave cest iz visokoločljivih daljinsko zaznanih podatkov. V primeru nezadostne gostote točk lidarskega oblaka ni mogoče ločiti odbojev signala od tal in odbojev signala od vrhov objektov. Z dodajanjem informacije o višinah objektov, pridobljenimi iz podatkov lidarskega snemanja, ter ustreznim modeliranjem, je postopek mogoče razviti do stopnje, ko bi deloval bližje samodejnemu načinu zaznave cest. Na ta način lahko zagotovimo stanje objektnega tipa cest (in izboljšamo trenutno informacijo v DTK5) na širšem območju, obenem pa lahko izvajamo tudi časovne primerjave z novejšimi podatki različnih virov in tako prihranimo veliko časa v primerjavi s klasičnim načinom zajemanja in iskanja sprememb.

3. Izdelava priporočil za uvajanje novih tehnologij in podatkovnih virov v standardne postopke vzdrževanja državnih topografskih podatkov in v distribucijski sistem Geodetske uprave RS

3.1. Izdelava priporočil za uvajanje novih tehnologij in podatkovnih virov v standardne postopke vzdrževanja državnih topografskih podatkov

3.1.1. Tehnologije za razpoznavanje, zajemanje in vzdrževanje topografskih podatkov

Za razpoznavanje, zajemanje in vzdrževanje topografskih podatkov smo izbrali naslednje tehnologije: aerosnemanje, satelitsko snemanje v visoki ločljivosti in aero lasersko skeniranje (ALS). Tehnologijo radarskega zajema in obdelave radarskih podatkov smo zaradi neprimernosti za obdelavo topografskih podatkov izločili iz obravnave.

Vse našteje tehnologije omogočajo ročno, polsamodejno in samodejno razpoznavanje, zajem in vzdrževanje topografskih podatkov. Ročna obdelava velikih količin podatkov je draga in zamudna zato je potrebno uvajanje polsamodejnih in samodejnih postopkov. Polsamodejni postopki zahtevajo prisotnost operaterja, ki je zaradi uporabe teh postopkov manj obremenjen in bolj učinkovit. Pri samodejnih postopkih operater zažene proces in oceni rezultate, pri samem izvajanju pa ni prisoten.

Topografske podatke razvrščamo v različna objektna področja. V razvojni nalogi smo obravnavali predstavnike (objektne tipe) vseh objektnih področij topografskih podatkov in sicer: relief, hidrografijo, vegetacijo, stavbe in ceste.

Katere tehnologije ali njihove kombinacije je smiselno uporabiti za obdelavo (razpoznavanje, zajemanje in vzdrževanje) posameznih elementov topografskih podatkov pa je odvisno od mnogo dejavnikov, ti so podrobneje razloženi v nadaljevanju.

V Sloveniji imamo možnost pri vzpostavitvi in vzdrževanju topografskih zbirk možnost uporabiti vse tri tehnologije. Največ izkušenj imamo z uporabo letalskih posnetkov, saj je bilo celotno območje države že večkrat prekrto z aeroposnetki v klasični in digitalni tehniki. Slovenija s satelitskimi posnetki visoke ločljivosti kot tudi oblakom laserskih točk še ni bila v celoti prekrita in posledično imamo pri obdelavi podatkov kombinacije različnih tehnologij manj izkušenj. To pomanjkanje izkušenj smo deloma zmanjšali v okviru te razvojne naloge.

3.1.2. Metode in postopki zajema izvornih podatkov z navedenimi tehnologijami

Faze delovnega procesa pred pridobivanjem topografskih podatkov so naslednje:

- zajem izvornih podatkov,
- osnovna obdelava izvornih podatkov,
- georeferenciranje izvornih podatkov in
- priprava izvornih podatkov za pridobivanje topografskih podatkov.

V vsaki od teh faz delovnega procesa lahko uporabimo različne metode in postopke.

Kot že omenjeno so za zajem izvornih podatkov na voljo naslednje tehnologije: aerosnemanje, satelitsko daljinsko zaznavanje (uporaba optičnih satelitskih senzorjev) in lasersko skeniranje. Osnovni parametri, ki jih je potrebno zagotoviti za vsak zajem podatkov so: ravninska in višinska točnost in ustrezna prostorska ločljivost. Poleg osnovnih pa je potrebno določiti še vrsto

drugih parametrov, še posebej, če se predpostavlja, da bomo uporabili polsamodejne in samodejne postopke (npr. kot opazovanja, višina sonca, radiometrične lastnosti posnetkov, letni čas in podobno).

Aerosnemanje se lahko izvaja s klasičnimi filmskimi aerofotoaparati (npr. Hexagon – Leica Geosystems: RC30), z digitalnimi srednje in velikoformatnimi aerofotoaparati (npr. srednjeformatni: Hexagon - Leica Geosystems: RCD 30, ali velikoformatni: Hexagon - Intergraph: DMC, Microsoft - Vexcel: UltraCam) ali linijskimi senzorji (npr. Hexagon - Leica Geosystems: ADS80).

Število klasičnih filmskih aerofotoaparatorov hitro upada, saj so postopki obdelave filma in njihovo skeniranje precej dražji, zahtevnejši in občutljivejši od digitalnih sistemov in se jih običajno izloči že v razpisnih specifikacijah. Ponavadi se v specifikacijah izločijo tudi vse bolj številni digitalni aerofotoaparati malega in srednjega formata, ker je zajem izvornih podatkov na večjih površinah z njimi predrag. Postopki snemanja z digitalnimi aerofotoaparati in linijskimi skenerji so naslednji: izdelava načrta aerosnemanja, zajem podatkov, prenos podatkov, osnovna obdelava podatkov (združevanje slik iz več senzorjev), približno georeferenciranje s pomočjo INS in GNSS ter natančno georeferenciranje z aerotriangulacijo. Pri vseh aerosnemanjih je običajno vključen zajem stereoposnetkov, kar ne poveča stroškov zajema, razen v kolikor na stroške vpliva obdelava večje količine podatkov.

Zajem satelitskih stereo posnetkov visoke ločljivosti za večje površine se običajno naroča vnaprej saj stereopokritja za želena območja ni mogoče pridobiti iz arhiva posnetkov. Pri naročilu zajema stereo satelitskih parov posnetkov je treba paziti na časovno in radiometrično usklajenost posnetkov. Satelitski posnetki so deloma geometrično in radiometrično že obdelani, praviloma so tudi že grobo umeščeni v prostor (približna orientacija posnetkov). Na strani uporabnika je, da izvede točno georeferenciranje, ortorektifikacijo in po potrebi radiometrično usklajevanje.

Po letu 1999 je bilo v Zemljino orbito izstreljenih več komercialnih visokoločljivih satelitov s prostorsko ločljivostjo pankromatskih posnetkov 1 m ali boljše (GeoEye-1, IKONOS, KOMPSAT-2, QuickBird, WorldView-2), nekateri od teh satelitov imajo večjo spektralno ločljivost oziroma boljše kombinacijo spektralnih kanalov kot letalski posnetki. Multispektralni kanali imajo izvorno manjšo prostorsko ločljivost kot pankromatski kanal, vendar precej izboljšajo interpretacijo posnetkov in omogočajo digitalno klasifikacijo. S postopki pankromatskega ostrenja podob pa lahko prostorsko ločljivost multispektralnih kanalov izboljšamo, tako da postane enaka kot v pankromatskem kanalu, in tako združimo posamezne prednosti kanalov. Iz visokoločljivih satelitskih posnetkov lahko zajamemo večino topografskih objektov.

Poleg slikovnih podatkov predstavljajo pomemben vir za zajem in vzdrževanje topografskih podatkov tudi podatki o višinah. Najbolj kakovostne podatke o nadmorskih višinah točk na zemeljskem površju pridobivamo z ALS.

Izvedba laserskega skeniranja je odvisna od zahtevane gostote in velikosti območja skeniranja. Običajno za zajem topografskih vsebin uporabimo oblak točk s srednjo gostoto od 0,5 do 5 točk/m² (Švedska 0,5 točke/m², Švica 1 točka/m², Poljska 4 točke/m², Slovenija 5 točk/m²). Po zajemu podatkov sledi direktno georeferenciranje in izboljšanje le tega na podlagi primerjav točk na preklonih pasov in terenskih meritev oslonilnih točk. Sledi klasifikacija in filtriranje podatkov.

Mogoč je istočasen zajem aeroposnetkov in lidarskih podatkov, kar se pri snemanju manjših površin velikokrat izvaja, pri snemanju večjih površin (npr. države v celoti) pa je za izvedbo potrebna vrhunška oprema. Težava pri kombiniranem snemanju večjih površin je, da lidar deluje tudi ponoči, aerofotoaparat pa potrebuje dnevno svetlobo, kar zmanjšuje donosnost uporabe drage opreme. Tudi snemalni kot pri laserskem skeniranju je običajno ožji kot pri aerofotografiranju, kar pomeni več letenja v dnevnem času. Za snemanje je treba izbrati tudi ustrezne vremenske razmere in višino sonca. Zato se običajno sistemska snemanja in skeniranja opravljajo ločeno, vendar je opazen trend istočasne izvedbe.

3.1.3. Tržna dosegljivost, cena, natančnost, ločljivost, kompleksnost in uporabnost navedenih metod in postopkov

Smiselno je, da se vsi topografski podatki na nivoju celotne države zajemajo in vzdržujejo iz čim manj različnih izvornih podatkov, saj bi bili sicer stroški preveliki. Žal nobena od razpoložljivih tehnologij nima vseh prednosti in lahko dosežemo dobre rezultate le s primerno kombinacijo virov. Najbolj osnoven in nepogrešljiv vir so še vedno optični posnetki (letalski ali satelitski) v vidnem spektru, saj topografijo prikazujejo na način, ki je domač človeškemu zaznavanju fizičnega okolja. Postopki zajema so se razvijali desetletja in so operativno izpopolnjeni in uveljavljeni v vsakodnevni praksi. Digitalna tehnologija zajema slik omogoča tudi zajem dodatnih spektralnih kanalov (npr. v infrardečem spektru), ki še izboljša kakovost interpretacije in klasifikacije vsebine posnetkov. V tem kontekstu se lahko torej odločamo med letalskimi ali visoko ločljivimi satelitskimi sistemi. Po drugi strani pa je lidarska tehnologija prinesla nekatere nove zmožnosti za hiter in učinkovit zajem topografskih podatkov, ki jih lahko obravnavamo kot komplementarne optičnim snemalnimi sistemom. Izbira med optičnimi snemalnimi sistemi in lidarjem ne more prinesiti absolutnega zmagovalca, saj ima vsaka tehnologija tako prednosti kot slabosti. V nadaljevanju tehnologije podrobneje analiziramo po različnih kriterijih.

Aeroposnetki CAS so cenovno dosegljivi in dovolj natančni za zajem topografskih podatkov v merilu 1 : 5000 ali celo večjem. Njihova prostorska ločljivost omogoča zajem večine objektov topografske zbirke, če so le vidni v stereomodelu. Njihova uporabnost je z modernimi digitalnimi fotogrametričnimi postajami, ki jim je v zadnjih letih močno padla cena, enostavna in vsestranska. Avtomatizacija postopkov prepoznavanja, zajema in vzdrževanja topografskih zbirk pa je težja, če se uporablja le ena vrsta podatkov, kar pa velja tudi za satelitske posnetke in lidar.

Satelitski posnetki imajo prednost pred aeroposnetki zaradi bolj enakomernih radiometričnih vrednostih na večjih območjih, ki so pomembne za samodejno klasifikacijo in druge operacije, ki temeljijo na obdelavi numeričnih vrednosti slikovnih elementov. Imajo pa manjšo prostorsko ločljivost in ravninsko ter višinsko točnost kar zmanjšuje moč prepoznavanja, obdelave in kartiranja manjših topografskih objektov v topografske zbirke merila 1 : 5000. Satelitski posnetki so bolj primerni za vzdrževanje topografskih zbirk srednjih in manjših meril npr. 1 : 25 000 ali 1 : 50 000, ki tudi ne vsebujejo podatkov v 3D.

Podatki laserskega skeniranja so natančni vendar je njihova uporabnost za samostojno uporabo pri vzdrževanju topografskih zbirk omejena. Interpretacija in ročni ter polsamodejni zajem topografskih objektov pri gostoti laserskih točk s katero se običajno skenira celotna država daje slabše rezultate kot pri uporabi stereo aero ali satelitskih posnetkov. Lidarski podatki so najbolj uporabni pri samodejnih procesih izločanja točk terena, streh in vegetacije medtem, ko se procedure za izločanje cest in hidrografije ter drugih topografskih objektov še razvijajo.

3.1.4. Topografski objekti, ki jih je smiselno zajemati z uporabo zgoraj navedenih tehnologij oz. izvornih podatkov

Terena, hidrografija, vegetacija, ceste in stavbe so bile obravnavane v projektni nalogi in so objektni tipi, ki jih je potrebno zajeti in vzdrževati v topografskih zbirkah različnih meril. Kakšno strukturo podatkov navedenih topografskih objektnih tipov pa je potrebno zajeti oz. vzdrževati je zelo pomembno vprašanje za uporabnike topografskih zbirk. Na kakšen način zajeti oz. vzdrževati določen topografski objekt je odvisno od zahtevanega detajla. Npr. stavbo lahko zajamemo glede na različne nivoje detajla in z različnimi atributi. Nivoji detajla so lahko (Kolbe in drugi, 2005): blokovni model – stavbe podane s tlorisom in višino ter ravnimi strehami (nivo podrobnosti ang. Level of Detail - LoD 1), enostaven model stavbe (LoD 2), kjer imajo modeli stavb oblikovane strehe in tematsko opredeljene fasade, model stavbe s podrobnostmi na strehi in fasadah (LoD 3), model stavbe s podrobnostmi tudi v notranjosti (LoD 4). Za potrebe topografskih zbirk je smiselno stavbe zajemati največ do 3. nivoja.

Poleg geometrijskih detajlov se za vsak objekt zajemajo in vzdržujejo tudi atributi. Če je npr. atribut stavbe površina, ki ne sme biti manjša od 4 m² (tloris strehe) in višina najmanj 2 m, bomo tako stavbo na satelitskem posnetku s prostorsko ločljivostjo 0,5 m težko prepoznali. Iz lidarskih podatkov z gostoto 5 točk/m² bi tako stavbe verjetno prepoznali, zelo malo verjetno pa je, da bi jo prepoznali samodejno, ker je zelo podobna skladovnici drv, parkiranemu tovornjaku ali počitniški prikolici. Z uporabo kombinacije letalskih posnetkov in lidarskih podatkov pa bi lahko izločili drevesa in večja grmovja (uporaba IR posnetkov) in tako zmanjšali število objektov, ki niso stavbe, še vedno pa ostane težava prepoznavanja tovornjakov ali večjih skladovnic, ki jih brez interpretacije v stereomodelu ali celo obiska na terenu ni mogoče zanesljivo izločiti iz objektnega tipa stavba.

Podobno kot pri stavbah je tudi samodejno prepoznavanje in izločanje drugih objektnih tipov oteženo zaradi spreminjanja značilnosti objektov in prekrivanja z drugimi objektnimi tipi. Npr. kako v hidrografiji samodejno izločiti linije zaraščenih bregov; ali kako pri vegetaciji samodejno ločiti med različnimi poljinami ali v gozdu ločiti med listnatimi, iglastimi in mešanimi sestoji; kako pri cestah izločiti le robove pomembnih cest ne pa tudi množico nepomembnih privozov.

Vsak topografski objekt ima svoje značilnosti, ki jih je potrebno upoštevati v postopku zajema in vzdrževanja topografske zbirke. Samodejni in polsamodejni postopki se razlikujejo glede na tip objekta in jih je zato treba večkrat izvajati z vsebinsko različnimi metodami, spremenjenim vrstnim redom operacij in nastavitvami parametrov tudi če uporabljamo enake izvirne podatke. V okviru naloge smo se ukvarjali predvsem s samodejnim izločanjem geometrije objektov manj pa z njihovimi atributi.

Pomembno je upoštevati tudi ali se izločajo topografski objekti za osnovni zajem v topografsko zbirko ali za vzdrževanje. Pri osnovnem zajemu je potrebno najti, prepoznati in zajeti nov objekt z vsemi atributi, pri vzdrževanju pa običajno iščemo le spremembe in je lahko dovolj že, da najdemo objekte, ki so spremenjeni glede na zadnje evidentirano stanje, nato pa jih ročno popravimo, tako geometrično kot tudi njihove attribute. Avtomatizacija postopkov prepoznavanja sprememb, ki jih nato v topografsko zbirko vnesemo ročno, je običajno nekoliko preprostejša.

3.1.5. Topografski izdelki, ki nastanejo z zajemom in vzdrževanje navedenih topografskih objektov

Osnovna topografska zbirka, ki naj bi pokrivala celotno državo je Državna topografska karta v merilu 1 : 5 000 (DTK5). Vendar je trenutno na ozemlju celotne Slovenije izdelanih le cca. 60% listov v tem merilu. Poleg merila 1 : 5 000 sta zanimivi še merili 1 : 25 000 in 1 : 50 000.

Ob polnjenju in vzdrževanju DTK5 bi lahko vzdrževali še nekaj zbirk, ki vsebujejo topografske objekte, vendar so vodene in vzdrževane ločeno od DTK5. To so Kataster stavb (KS), zbirka dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč, zbirka grajene javne infrastrukture (GJI), zbirka cest, ...

Katere topografske zbirke se bodo vzdrževale, kateri objekti znotraj teh zbirk in čas cikla vzdrževanja, naj bi bilo določeno v strategiji vzdrževanja topografskih zbirk na nivoju države. Ob tem naj bi se upoštevala tudi razpoložljiva sredstva in zahteve uporabnikov. Strategija je pomembna za uvajanje zajema in vzdrževanja digitalnih topografskih zbirk v vsakodnevno delo, ni pa bila toliko pomembna za izvedbo opisanih testiranj.

3.1.6. Kombinacije postopkov in tehnologij, ki so optimalne za posamezne topografske objekte

Relief

Obstoječi podatki DMV 5 m x 5 m so zajeti fotogrametrično iz posnetkov CAS, v teku pa je projekt sistematičnega aero-laserskega skeniranja Slovenije (LSA2011).

Uporaba satelitskih posnetkov ne daje dovolj natančnih višin terena za modeliranje reliefa, kar je bilo ugotovljeno v predhodnih raziskavah. Preostaneta torej ALS in fotogrametrična izdelava DMV oz. DMR in DMP. CAS se izvaja iz precejšnje višine (cca. 3000-3500 m nad terenom) in zaradi večjega kota snemanja kot pri lidarskem snemanju potrebuje manj letenja, kar vpliva na

ceno zajema izvornih podatkov. Iz obstoječih podatkov CAS je mogoča izdelava DMV z višinsko natančnostjo do 1 m na odprtih oz. slabšo v zaraščenih območjih. Ker pa nekateri uporabniki potrebujejo večjo točnost, je boljša izbira ALS. CAS se uporablja tudi v kmetijstvu in se zato izvaja v času olistanja, kar še zmanjšuje višinsko točnost DMV. Pri fotogrametrični izdelavi DMV je ravninska točnost boljša od višinske. Še posebej je opazna razlika med kakovostjo izvedenih podatkov na gozdnih površinah in urbanih območjih, kjer ima ALS nesporno prednost. ALS se na projektu LSA2011 izvaja na višini pod 1000 m nad terenom kar omogoča višinsko točnost pod 0,15 m in nekoliko slabšo ravninsko točnost.

Glavni izdelek v projektu LSA2011 je DMV z visoko ločljivostjo (1 m x 1 m), drugi osnovni izdelki pa so še: georeferenciran oblak točk (GOT), georeferenciran in klasificiran oblak točk (GKOT) in oblak točk reliefa (OTR).

Za vzdrževanje DMV izdelanega v projektu LSA2011 so naslednje možnosti (vrstni red alinej je tudi predlog prioritete izvedbe):

- izvaja se ciklični ALS, vendar le v primeru, če ga bo mogoče istočasno izvesti s CAS oz. če stroški istočasnega zajema ne bodo bistveno preseгли samostojne izvedbe CAS,
- ALS se izvaja samo na območjih večjih sprememb; celotno državo pa se ponovno skenira na daljši rok (npr. 15-20 let),
- za vzdrževanje lidarskega DMV se izvede aerosnemanje z boljšo prostorsko ločljivostjo kot pri CAS (npr. DTI = 10 cm), ki običajno sovпада s snemanjem območij največjih sprememb in izdelavo ortofotov mest ter njihovih okolic.

Katera od naštetih možnosti bo uporabljena za vzdrževanje zbirke DMV, je odvisno od zahtev zapisanih v tehnični dokumentaciji razpisa izvedbe CAS in/ali ALS ter od sredstev, ki bodo na razpolago za vzdrževanje zbirke DMV in izvedbo CAS.

Hidrografija

Obstoječi podatki o hidrografiji v DTK5 so zajeti fotogrametrično iz posnetkov CAS.

Trenutno je najbolj operativna tehnologija za zajem hidrografije v zbirko DTK5 stereozajem iz posnetkov CAS. Veliko obeta tudi tehnologija obdelave podatkov ALS, vendar je potrebno algoritme za iskanje karakterističnih linij vodotokov, kot so definirani v zbirki objektnih tipov hidrografije, še dodelati. Interpretacija izkušenega operaterja na podlagi aeroposnetkov je trenutno najbolj zanesljiva metoda zajema in vzdrževanja objektov v hidrografiji. Kakovost in interpretabilnost bi se zelo izboljšala ob uporabi aeroposnetkov zajetih v času neolistanja. Kombinacija aeroposnetkov z dodanim IR kanalom, podatkov ALS in obstoječe hidrografske zbirke bi omogočala hitrejše iskanje sprememb.

Ob upoštevanju tehnoloških zahtev in stroškov so satelitski posnetki bolj primerni za vzdrževanje hidrografije topografskih zbirk meril manjših od 1 : 5 000, če bi se te vzdrževale v ločenem procesu od DTK5.

Vegetacija

Obstoječi podatki o vegetaciji so zajeti fotogrametrično iz posnetkov CAS oz. ortofotov narejenih iz teh posnetkov.

Sloj vegetacije je mogoče vzpostaviti iz satelitskih posnetkov visoke prostorske ločljivosti kot tudi iz posnetkov CAS, ki pa morajo vsebovati tudi IR kanal. V obeh primerih bi dodatna uporaba lidarskih podatkov izboljšala rezultate samodejnega prepoznavanja in izločanja posameznih vegetacijskih tipov.

Medtem ko satelitski posnetki (npr. WorldView-2) povsem ustrezajo zahtevam samodejnega prepoznavanja in izločanja posameznih tipov vegetacije pa bi bilo treba pri posnetkih CAS pooprstiti specifikacije glede poenotenja radiometričnih vrednosti vseh 4 kanalov in snemanja nasploh izvajati v čim bolj podobnih naravnih in tehnoloških pogojih.

Spektralne lastnosti satelitskih posnetkov resda omogočajo natančnejše prepoznavanje posameznih vegetacijskih tipov, vendar je nabavna cena satelitskih posnetkov v primerjavi z aeroposnetki večja. Pri primerjavi nabavne cene za stereo posnetke pa se razlika še poveča. Uporabnost satelitskih stereoposnetkov v primerjavi s stereo aeroposnetki je za vzdrževanje topografskih zbirk v velikem merilu manjša predvsem zaradi slabše prostorske ločljivosti. V primeru ločenega vzdrževanja topografskih zbirk različnih meril (npr. 1 : 5 000, 1 : 25 000 in 1 : 50 000) in različni dolžini cikla vzdrževanja pa bi bila uporaba satelitskih posnetkov kot osnovnega izvirnega podatka smiselna in upravičena.

Ceste

Obstoječi podatki o cestah v DTK5 so zajeti fotogrametrično iz posnetkov CAS.

Postopek samodejnega in polsamodejnega odkrivanja podatkov o cestah iz izvornih podatkov zahteva uporabo zahtevnih algoritmov. Posebnost zajemanja cest je v tem, da se v realnem svetu pojavljajo na zelo različne načine oziroma v različnih oblikah: od ozkih kolovoznih poti do širokih asfaltiranih več-pasovnih avtocest.

Glede na parametre kakovosti in ceno je za zajem cest optimalna kombinacija podatkov aerolaserskega skeniranja in aeroposnetkov. Z uporabo aeroposnetkov in podatkov ALS, ki bi bili zajeti v času neolistanja, pa bi povečali kakovost zajema podatkov gozdnih cest in drugih cest, ki jih deloma prekriva vegetacija.

Druga možnost je prevzem visoko kakovostnih podatkov cest iz zbirk upravljavcev cest, vendar bi v tem primeru potrebovali drugačno organiziranost vzdrževanja topografskih podatkov. Težava pri prevzemanju podatkov iz zunanjih zbirk je tudi v povezljivosti teh zbirk in ciklih vzdrževanja ter popolnosti podatkov različnih upravljavcev cest.

Stavbe

Obstoječi podatki o stavbah v DTK5 so zajeti fotogrametrično iz posnetkov CAS ali z geodetsko terensko izmero.

Za samodejni zajem, vzdrževanje in kontrolo podatkov o stavbah je glede na raziskave, ki smo jih opravili v okviru te naloge, najbolj optimalna kombinirana uporaba podatkov CAS in ALS. Iz njih lahko pridobimo rastrske podatke o stavbah (izdelava DMP, DMR in nDMP iz ALS, odstranitev vegetacije na podlagi rdečega in infrardečega kanala letalskih posnetkov ali iz teh kanalov narejenega OF), ki so uporabni za samodejno iskanje sprememb v podatkovni zbirki. Odkrite spremembe samodejno vodijo operaterja, da na aeroposnetkih ročno izvede zajem in vzdrževanje v podatkovno zbirko.

Kombinacija podatkov CAS in ALS omogoča tudi vektorski zajem stavb v zbirko (npr. prazni listi DTK5). Natančnost vektorskega zajema je najbolj odvisna od gostote lidarskih točk in posledično od prostorske ločljivosti izdelanega DMP. Za natančen zajem stavb v topografsko zbirko rabimo DMP s prostorsko ločljivostjo vsaj 0,25 m.

Ocena in primerjava stroškov

V tabeli je ocena stroškov v EUR (brez DDV) pridobivanja izvornih podatkov z osnovno dodelavo in izboljšanim georeferenciranjem, za potrebe vzdrževanja topografskih zbirk meril 1 : 5.000, 1 : 25.000 in 1 : 50.000. Zajem podatkov je prilagojen merilu, t.j. manjša prostorska ločljivost za manjša merila in manjša gostota točk laserskega skeniranja:

zajem izvornih podatkov za VTZ					WorldView-2	
merilo 1 : 5000	CAS		LIDAR		SAT.POS.	

zajem podatkov	250.000		1.440.000		560.000	
dodelava podatkov	10.000	4%	110.000	8%	28.000	5%
izboljšava georeferenciranja	100.000	40%	48.000	3%	84.000	15%
	360.000		1.598.000		672.000	
					IKONOS	
merilo 1 : 25000	CAS		LIDAR		SAT.POS.	
zajem podatkov	192.000		942.000		317.000	
dodelava podatkov	7.680	4%	73.000	8%	15.850	5%
izboljšava georeferenciranja	76.800	40%	31.000	3%	47.550	15%
	276.480		1.046.000		380.400	
					SPOT	
merilo 1 : 50000	CAS		LIDAR		SAT.POS.	
zajem podatkov	160.000		547.000		30.000	
dodelava podatkov	6.400	4%	43.000	8%	1.500	5%
izboljšava georeferenciranja	64.000	40%	18.000	3%	4.500	15%
	230.400		608.000		36.000	
	merilo 1 : 5.000		merilo 1 : 25.000		merilo 1 : 50.000	
1. CAS+LIDAR+SAT.POS.	2.630.000		1.702.880		874.400	
2. CAS+LIDAR	1.958.000		1.322.480		838.400	
3. CAS+SAT.POS.	1.032.000		656.880		266.400	
4. SAT.POS.+LIDAR	2.270.000		1.426.400		644.000	
5. CAS	360.000		276.480		230.400	
6. LIDAR	1.598.000		1.046.000		608.000	
7. SAT.POS.	672.000		380.400		36.000	

Preglednica 5: Ocena in primerjava stroškov zajema in obdelave izvornih podatkov

3.1.7. Parametri za ovrednotenje primernosti in optimalnosti metod daljinskega zaznavanja

Metode daljinskega zaznavanja smo razdelili na metode zajema izvornih podatkov in metode zajema topografskih podatkov. Metode zajema izvornih podatkov smo ocenili v poglavju 3.1.3.

Metode daljinskega zaznavanja zajema topografskih podatkov se razlikujejo glede na namen uporabe. Osnovni zajem topografskih podatkov (za prazne liste) običajno zahteva drugačne metode kot iskanje sprememb in vzdrževanje topografskih zbirk. Seveda se metode razlikujejo tudi glede na uporabljene izvorne podatke in kakovost obstoječih podatkov v topografskih zbirkah.

Primernost metod smo ovrednotili s tremi osnovnimi parametri in sicer: kakovost zajetih topografskih objektov iz izvornih podatkov, količinska uspešnost zajema topografskih objektov in cena zajema topografskih objektov.

Na primer: pri zajemu stavb v topografsko zbirko smo uporabili odstotek odkritih stavb in odstotek pravilno zajetih stavb. Za potrebe vzdrževanje topografske zbirke (samodejno iskanje sprememb) smo uporabili popolnost, ki opisuje delež dejanskih sprememb, ki jih samodejni

postopek zazna, ter pravilnost, ki opisuje delež zaznanih sprememb, ki ustrezajo dejanskim spremembam.

Pri ostalih topografskih objektih smo uporabili opisne parametre vrednotenja primernosti in optimalnosti metod daljinskega zaznavanja.

3.1.8. Metode daljinskega zaznavanja, ki jih je smiselno na Geodetski upravi RS razviti do ravni standardiziranih rutinskih postopkov za izvajalce zajemanja, vzdrževanja in kontrole topografskih kart ter zbirk

Metode zajema izvornih podatkov daljinskega zaznavanja za potrebe zajema in vzdrževanja topografskih kart in zbirk smo omejili na aerosnemanje, pridobitev satelitskih visokoločljivih posnetkov in lasersko skeniranje. Vsaka od metod zajema podatkov se še razvija in je enkrat bolj drugič manj popularna. Pričakuje se, da se bosta metodi aerosnemanja in laserskega skeniranja združili v rutinski sistem za zajem izvornih podatkov na nivoju države, kar bo bistveno zmanjšalo ceno in še povečalo konkurenčnost satelitskim posnetkom.

Metode zajema topografskih objektov, še posebej samodejnega in polsamodejnega, in vzdrževanje topografskih zbirk se razvijajo in dopolnjujejo, tako da popolne operativnosti še ne moremo pričakovati, posamezne postopke pa je vseeno smiselno postopno vključevati v prakso, saj bomo le na tak način lahko metode preverjali in pridobivali ustrezne izkušnje.

Metoda fotogrametričnega stereo izvedenja je še vedno najbolj razširjena metoda zajema topografskih podatkov, saj je nekatere podatke mogoče iz posnetkov interpretirati le iz okolice objekta, ki jim samodejni in polsamodejni postopki še dolgo ne bodo kos. Če je na primer mogoče samodejno izločiti večjo stavbo iz stereomodela ali podatkov ALS, pa jo interpretira (npr. da je objekt šola) zaenkrat lahko le dober operater, ki zna informacijo prepoznati z opazovanjem okolice objekta, včasih pa potrebuje podatek iz drugih virov ali celo iz terena.

Težava topografske zbirke 1 : 5 000 oz. DTK5 je v tem, da je 40 % listov še praznih. Torej se ni mogoče osredotočiti le na vzdrževanje, pač pa tudi na zajem novih topografskih objektov.

Pri vzdrževanju topografskih zbirk pa bi bilo dovolj, da bi ugotavljali spremembe in tako pomagali operaterju na fotogrametrični stereopostaji, da bi se hitreje pomikal po zbirki in izpustil oz. bistveno skrajšal fazo primerjanja novega in starega stanja in iskanja sprememb.

ALS je najboljša metoda zajema podatkov za izdelavo kakovostnega modela terena, ki je neposredno uporaben v mnogih aplikacijah in pomaga pri izvajanju samodejnih in polsamodejnih postopkov zajema topografskih objektov in prepoznavanju sprememb z drugimi viri podatkov.

3.2. Izdelava priporočil za uvajanje novih tehnologij in podatkovnih virov v distribucijski sistem Geodetske uprave RS

3.2.1. Podatki daljinskega zaznavanja, ki naj jih GURS uvrsti med svoje standardne izdelke dostopne preko sistema distribucije geodetskih podatkov

Predlagamo, da Geodetska uprava RS med svoje standardizirane izdelke uvrsti:

- barvne infra-rdeče aero-posnetke (R,G,B in IR) in njihove orientacijske parametre,
- ortofoto posnetke (barvne in barvne infra-rdeče),
- georeferenciran in klasificiran oblak točk (GKOT) s samodejno klasifikacijo,
- DMR1 z resolucijo 1 m x 1 m,

- vse druge podatke daljinskega zaznavanja (aeroposnetki, satelitski posnetki in lidarski podatki), ki so bili pridobljeni v okviru občinskih in nesistemskih državnih projektih.

Barvni aero-posnetki naj imajo nominalno prostorsko ločljivost enako ali boljšo od $DTI = 25$ cm. Radiometrična ločljivost originalnih posnetkov naj bo 12 bitov na kanal ali boljša. Aeroposnetki naj se hranijo v visokoločljivem pankromatskem kanalu in 4 kanalih t.j. rdečem, zelenem, modrem in infra-rdečem, kot 5 ločenih datotek. V 6. datoteki naj se hrani barvna izostrena (ang. pansharpening) slika s kanali R, G, B. Posnetki se lahko hranijo v stisnjeni obliki, ki pa ohranja vse originalne vrednosti najmanjših slikovnih elementov. Format zapisa naj bo TIF. Orientacijski parametri naj bodo zapisani obliki E, N, H (D96/TM z nadmorsko višino) in omega, fi, kapa in sicer koordinate na 3 decimalna mesta in kote v gradih ali decimalnih stopinjah na 6 decimalnih mest.

Ortofoti naj imajo prostorsko ločljivost enako nominalni prostorski ločljivosti posnetkov oz. $DTI = 25$ cm ali boljšo. Radiometrična ločljivost naj bo za obe vrsti ortofototov 8 bitov po barvi. Barvni ortofoti vsebujejo rdečo, zeleno in modro barvo medtem ko barvni infrardeči (BIR) ortofoti vsebujejo infra-rdeči, rdeči in zeleni kanal na mestih za rdečo, zeleno in modro barvo. Ortofoti se lahko hranijo v stisnjeni obliki, ki pa ohranja vse originalne vrednosti najmanjših slikovnih elementov. Način zapisa naj bo TIF in TFW, ki vsebuje informacije o lokaciji ortofotov v državnem koordinatnem sistemu D96/TM.

Georeferenciran in klasificiran oblak točk (GKOT) laserskega skeniranja se hrani in distribuira v obliki LAS datotek po kvadratnih kilometrih.

Vse točke v oblaku so podane s koordinatami v D96/TM in nadmorskimi višinami. Poleg koordinat vsaka točka vsebuje še informacije o intenziteti odboja, času odboja, izvorni datoteki, izvornem pasu in številki odboja ter drugih informacijah, ki so originalno zajete. Podatki se hranijo v LAS formatu lahko pa se hranijo tudi v stisnjem formatu, če je brezplačno na voljo program, ki razširi stisnjene datoteke v originalne LAS datoteke brez izgube informacij. Gostota točk naj bo med 2 in 5 točk na m^2 .

Poleg GKOT se hranijo tudi podatki GOT, ki so izvorni podatki za izdelavo GKOT, z enakimi ali več podatki kot GKOT ter elipsoidno višino in brez klasifikacije. Podatki GOT se hranijo, niso pa na voljo za distribucijo, pač pa se hranijo za namen ponovnega preračuna višin z izboljšanim geoidom.

Originalno se izdelava DMR1 iz katerega se po potrebi izračunajo tudi različice, in sicer $2\text{ m} \times 2\text{ m}$, $5\text{ m} \times 5\text{ m}$, ter $10\text{ m} \times 10\text{ m}$, tudi $100\text{ m} \times 100\text{ m}$, za analize in prikaze cele Slovenije naenkrat, ki jih je mogoče naročiti preko sistema distribucije podatkov GURS. Vsi izdelki se zapišejo v koordinatnem sistemu D96/TM in z nadmorskimi višinami. DMR se izdajajo za velikost območja $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ za izdelke $1\text{ m} \times 1\text{ m}$, in $2\text{ m} \times 2\text{ m}$, ter za velikost območja $5\text{ km} \times 5\text{ km}$ za izdelke $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ in $10\text{ m} \times 10\text{ m}$. DMR1 je na razpolago le državnim institucijam in manjši deli za potrebe raziskav. Hrani in vzdržuje se le DMR1, vsi ostali izdelki s slabšo prostorsko ločljivostjo pa se tvorijo po naročilu.

Poleg pridobivanja in posredovanja naštetih podatkov daljinskega zaznavanja država preko svojih institucij opravlja raziskave ali izvedbene projekte na manjših območjih in v ta namen naroča zajem drugih podatkov daljinskega zaznavanja kot so: satelitski posnetki, radarski posnetki, aeroposnetki večje ali manjše prostorske ločljivosti kot je predvidena za celo državo, kot tudi zračna laserska skeniranja z večjo ali manjšo gostoto. Tudi občine naročajo svoje zajeme podatkov daljinskega zaznavanja iz različnih senzorjev. Vse te podatke bi bilo smiselno hraniti tako, da so dostopni tudi v okviru distribucije GURS, njihovi meta podatki pa so na voljo za pregled na spletnih straneh.

Potrebno bi bilo upoštevati tudi zajeme podatkov daljinskega zaznavanja večjih podjetij (Telekom, Geoplin,...) in sicer v javno-zasebnem partnerstvu, ki bi omogočalo zmanjševanje stroškov za zajem tako državi in občinam kot tudi podjetjem, ki bi se za tako partnerstvo odločila.

4. Zaključek in nadaljnje smernice vzdrževanja topografskih zbirk na državnem nivoju

4.1. Zaključek

V okviru projekta smo raziskali različne podatkovne vire in metodologije vzdrževanja topografskih zbirk. Za posamezni objektni tip smo izbrali različne kombinacije podatkov in metodo obdelave za potrebe zajema in/ali vzdrževanja topografske zbirke. Testiranja je vsak od partnerjev na projektu izvajal z razpoložljivo komercialno programsko opremo ali z lastnimi programskimi rešitvami.

Eden od glavnih ciljev in hkrati izzivov raziskovalne naloge je bil opisati sistem, ki bi omogočal samodejno obdelavo predpisanih objektnih tipov od zajema izvornih podatkov, prepoznavanja topografskih objektov, zajema novih topografskih objektov do vzdrževanja topografskih zbirk z realnimi stroški in v realnem času. Posamezni koraki so danes že povsem rutinski, drugi pa še niso zadovoljivo rešeni, vsak korak od slednjih pa predstavlja svoj izziv. V toku naloge smo vsi partnerji posvetili več pozornosti izbranim objektnim tipom topografskih podatkov. Izvorni podatki, ki jih različni sistemi posredujejo so v najrazličnejših oblikah in stopnjah predobdelave. Glede na namen je pomembno izbrati ustrezen tip izvornih podatkov (satelitski, letalski, lidarski ali kombinacija navedenih podatkov) za izbran objektni tip, ki jih s samodejnim postopkom vpnejo v prostor.

Obdelava podatkov je skupek različnih postopkov in metod, kjer se lahko kombinira več izvornih in obstoječi podatkov s ciljem zajema in vzdrževanja topografskih objektov. Obdelava izvornih podatkov je trd oreh za računalniške algoritme in relativno enostaven za človeške možgane. Ni samodejnih metod in postopkov, ki dajo popoln rezultat glede na kakovost in popolnost zajetih topografskih objektov. Še najbližje temu je izdelava DMR iz podatkov laserskega skeniranja, sledijo izdelave modelov stavb, cest, hidrografije in vegetacije, ki pa imajo različne zahteve po kakovosti in tipu izvornih podatkov ter končnih rezultatov. V Sloveniji imamo cca. 40% praznih listov DTK5, ostali pa so bolj ali manj nevzdrževani. Osnovni zajem in vzdrževanje topografskih zbirk zahteva različne metode in postopke. V raziskavi smo se osredotočili na osnovni zajem in iskanje razlik med obstoječim stanjem topografskih objektov, t.j. predvsem njihovega grafičnega dela. Poleg grafike pa vsebujejo topografske zbirke tudi veliko atributov, ki jih je tudi potrebno prepoznati in zapisati ali spremeniti v zbirki.

Izbrane metode in postopki so bili delno uspešni, kar je opisno v predhodnih poročilih te razvojne naloge. Na podlagi testiranj in cen oz. dostopnosti in uporabnosti izvornih podatkov smo se odločili, da kot izvirne podatke država sistematično zajema in hrani posnetke CAS in lidarske podatke.

4.2. Smernice vzdrževanja topografskih zbirk

4.2.1. Zajem izvornih podatkov

Postopki zajema in začetne obdelave izvornih podatkov so v veliki meri že avtomatizirani in rutinski ter jim je za uporabo na celotnem območju države potrebno določiti le vhodne parametre.

V bližnji prihodnosti bo kombinacija aerosnemanja in laserskega skeniranja tudi za večja območja oz. pokritje celotne države verjetno še bolj dostopna. Cena kombinacije teh podatkov se bo v primerjavi s sedanjim ločenim zajemom znižala in posledično bo finančno verjetno lažje vključiti tudi visokoločljive večspektralne satelitske posnetke ali celo aero hiperspektralna snemanja.

Razen za razpoznavanje in vzdrževanje državnih topografskih zbirk se satelitski posnetki lahko uporabijo tudi za druge cilje pridobivanja dragocenih informacij o površju, kot so: napovedovanje stanja pridelkov v kmetijstvu in opazovanje posledic suše, spremljanje stanja gozdov, zaraščanja in zmanjševanja njihovega obsega, opazovanje vpliva človekove dejavnosti na vegetacijo, ocenjevanje ekološke škode, spremljanje urbanih površin, opazovanje legalnih in nelegalnih odlagališč odpadkov, izdelavo modelov višin oziroma reliefa, kartiranje, izdelavo topografskih in tematskih kart, opazovanje kopenskih in morskih voda, opazovanje poplav, opazovanje naravnih nesreč, hitro kartiranje in oceno škode.

Potencialna kombinacija vseh treh ali celo več tipov podatkov bi omogočala izboljšanje metod in postopkov zajema ter vzdrževanja objektov v topografskih zbirkah. Potrebno pa bo stalno spremljanje novih in izboljšanih tehnologij zajema izvornih podatkov in njihove obdelave za namen vzdrževanja topografskih baz ter druge namene na nivoju države.

4.2.1.1. Tehnična navodila za zajem izvornih podatkov

Pomembno je, da se vsi izvorni podatki zajemajo po zapisanih tehničnih navodilih, kjer so natančno opisani postopki, končni izdelki in njihove lastnosti. Skladno s tehničnimi navodili je potrebno izvajati kontrolo kakovosti izvornih podatkov in izdelkov.

Za CAS in ALS na območju cele države so bila napisana tehnična navodila, ki jih je treba izboljševati in po potrebi dopolnjevati z novimi izkušnjami in zahtevami pred vsakim novim ciklom zajema izvornih podatkov za celo državo. Nekatero podrobnosti, če je potrebno, pa dopolniti ali spremeniti še med izvajanjem cikla. Za potrebe države in občin so se izvajala različna aerosnemanja in aero-laserska skeniranja na manjših območjih vendar brez uporabe natančnih tehničnih navodil in brez ustrezne kontrole kakovosti. V bodoče bo to treba spremeniti in izboljšati nadzor nad kakovostjo zajema izvornih podatkov.

Vsi zajeti izvorni podatki lahko služijo vzdrževanju topografskih zbirk, če le izpolnjujejo zahteve glede kakovosti podatkov. Običajno se na manjših območjih zajemajo še podrobnejši in natančnejši podatki kot v primeru zajema izvornih podatkov za celotno državo. Težava je v tem, da ti podatki običajno niso dostopni niti niso na razpolago njihovi metapodatki in se posledično ne morejo uporabljati za vzdrževanje topografskih zbirk. Ti podatki se običajno zajemajo za območja največjih sprememb in so tako za vzdrževanje topografskih zbirk neposredno uporabni.

Dobra in sodobna tehnična navodila, ki so del razpisne dokumentacije za zajem izvornih podatkov in pridobivanje rezultatov, ter kontrola kakovosti zajetih izvornih podatkov in rezultatov so predpogoj, da se vzdrževanje topografskih zbirk lahko uspešno izvaja.

4.2.2. Prepoznavanje sprememb

Za uspešno vzdrževanje topografskih zbirk je treba izvajati primerjavo med obstoječo zbirko in novimi izvornimi podatki ter najti spremembe. V obstoječih topografskih zbirkah je namreč veliko podatkov in informacij, ki jih ni mogoče samodejno izluščiti iz podatkov daljinskega zaznavanja, ker so bili pridobljeni iz drugih virov ali v procesu kompleksne interpretacije, tem pa računalniški algoritmi še dolgo ne bodo kos.

Ko bodo enkrat zajeti tudi vsi prazni listi topografske zbirke 1 : 5 000, bo potrebno to bogastvo podatkov vzdrževati skozi proces spremljanja sprememb. Takrat bo še bolj do izraza prišlo dejstvo, da je treba najti spremembe, ki nato omogočajo polsamodejno ali ročno vzdrževanje posameznih topografskih objektov. Če bodo samodejni procesi uspešni tudi pri vzdrževanju topografskih zbirk bo upravičeno vlagati v dodatne izvirne podatke.

Če topografske zbirke dolgo časa niso vzdrževane, v prostoru pa pride do veliko sprememb, postane njihovo prepoznavanje nesmiselno in je topografsko zbirko treba vzpostaviti na novo.

Samodejni zajem topografskih podatkov in iskanje sprememb sta običajno različna procesa. Iskanje sprememb je lahko manj zahtevna naloga, katere osnovna naloga je, da prihrani operaterju delovno intenzivno in zahtevno primerjavo med vsebino obstoječe topografske zbirke in novimi izvornimi podatki. Če sistem za vzdrževanje topografske zbirke samodejno vodi operaterja od spremembe do spremembe, ki jo le ta ustrezno registrira, se proces vzdrževanja bistveno pohitri in s tem poceni. Tudi če sistem samodejno najde kakšno lokacijo več, kjer dejansko ni sprememb, je bolje, kot če najde kakšno lokacijo premalo, kjer je do sprememb dejansko prišlo.

4.2.3. Zajem topografskih objektov

Raziskave in razvoj samodejnega zajema topografskih objektov iz izvornih podatkov se izvaja že vsaj dve desetletji, vendar na trgu še ni na voljo komercialnih izdelkov, ki bi nadomestili operaterja, ki prepozna topografske objekte, jih zajema in vzdržuje. Kjer samodejni zajem ni uspešen, se le ta dopolni s polsamodejnim ali ročnim zajemom.

Metod in postopkov za samodejno prepoznavanje in zajem topografskih podatkov ni mogoče predpisati in to tudi ni smiselno, saj se metode in postopki skupaj s tehnologijo razvijajo in dopolnjujejo vsakodnevno. Pomembno je natančno doreči vsebine, cikle, nivoje, natančnosti ter financiranje in organiziranost vzdrževanja topografskih zbirk.

Potrebno je čimprej zajeti preostalih 40% listov DTK5 in vzpostaviti sistem vzdrževanja vseh listov DTK5 tako, da se bo izvajalo v istem časovnem obdobju kot zajem izvornih podatkov, t.j. npr. 1/3 listov na leto.

Da bi dokončali zajem preostalih listov DTK5 in nadaljevali z vzdrževanjem topografske zbirke je potrebno stalno spremljanje samodejnih in polsamodejnih metod ter postopkov z uporabo različnih izvornih podatkov.

4.3. Nekaj smernic iz tehničnega, organizacijskega in finančnega vidika vzdrževanja topografskih zbirk

Podano je nekaj predlogov smernic tehničnega in organizacijsko finančnega vidika vzdrževanja topografskih zbirk, ki naj bi služili kot spodbuda za aktivnejše delovanje vseh odgovornih akterjev na tem področju.

4.3.1. Tehnični vidik:

- na nivoju države se je potrebno dogovoriti kateri nivoji TZ naj bi se vzdrževali (npr. 1 : 5 000 in 1 : 50 000),
- smiselno bi bilo razdeliti državo na tri osnovna merila (npr. območja 1 : 2 500 za mesta, 1 : 5 000 za ruralna območja in 1 : 10 000 za velike gozdove in visokogorja),
- določiti osnovne sloje in posamezne objektne tipe za vsako od omenjenih meril,
- določiti tudi druge zbirke podatkov (KS, raba tal, zbirka cest,...), ki se povezujejo ali so celo del topografske zbirke in omogočiti njihovo skupno vzdrževanje,
- določiti časovni cikel vzdrževanja posameznega merila,
- na podlagi gornjih podatkov določiti cikel zajema izvornih podatkov za vzdrževanje topografskih zbirk,
- razviti več uporabniških aplikacij, ki jim za osnovo služijo topografski podatki.

4.3.2. Organizacijski in finančni vidik

- povezati ministrstva in velike odjemalce topografskih podatkov, ki bi skupaj financirali zajem topografskih podatkov in njihovo vzdrževanje,
- povezati ministrstva in velike odjemalce topografskih podatkov, ki bi skupaj uskladili vsebinska vprašanja omenjena v tehničnem delu,
- pripraviti in spraviti skozi proceduro zakon, ki bi opredelil organizacijski in finančni vidik vzdrževanja topografskih zbirk,
- razviti način prodaje oz. plačljive distribucije vsebine topografskih zbirk ali zagotoviti sistemska sredstva, kar bi omogočilo vzdrževanje le teh,
- omogočiti zbiranje pripomb in popravkov od uporabnikov in jih za tovrstno obveščanje ustrezno motivirati.

4.4. Predlogi za nadaljnje razvojne projekte

Predlogi za tehnične in organizacijske razvojne projekte so podani v vrstnem redu njihovega izvajanja. Izvedba organizacijskih in tehničnih razvojnih projektov je med seboj časovno neodvisna, razen v primeru izvedbe razpisov, ko naj bi že veljala nova zakonodaja oz. pravilniki.

4.4.1. Tehnični razvojni projekti:

- proučitev kakovosti obstoječih topografskih zbirk in drugih sorodnih zbirk ter atributov glede na najnovejše izvorne podatke z namenom ugotavljanja uporabe različnih specifikacij, različne kakovosti izvornih podatkov,
- glede na smernice vzdrževanja topografskih zbirk postaviti strategijo in določiti nekatere osnovne parametre kot so: katere topografske zbirke se vzdržujejo; morebitne delitve države na različna merila; vsebine topografskih zbirk, ki se bodo vzdrževale; kako dolg je cikel vzdrževanja,
- izvedba kombinacije samodejnega, polsamodejnega in ročnega zajema topografske zbirke 1 : 5 000 za nekaj praznih listov z namenom priprave razpisa za popolnitev praznih listov DTK5,
- izvedba samodejnega iskanja sprememb za namen vzdrževanja obstoječih polnih listov topografskih zbirk,
- izvedba vzdrževanja za nekaj testnih listov topografskih zbirk z namenom izdelave tehnične dokumentacije za izvedbo razpisa za vzdrževanje,
- testiranje predlaganih samodejnih postopkov obdelave in izbor najbolj optimalne programske opreme in/ali programerskih rešitev na pravih podatkih izbranih izvornih podatkov in njihovih kombinacij z namenom vzdrževanja topografskih zbirk,
- priprava razpisa zajema v topografsko zbirko praznih listov DTK5,
- priprava razpisa vzdrževanja obstoječih polnih listov DTK5.

4.4.2. Organizacijski razvojni projekti:

- preučiti primere dobre evropske ali svetovne prakse vzdrževanja topografskih zbirk s tehničnega kot tudi z organizacijskega vidika (Norveška, VB, Nemčija,...),
- izvedba razvojne naloge za pripravo organizacijske oblike Sveta za vzdrževanje topografskih zbirk, ki naj bi ga sestavljale državne institucije, velika podjetja z mešanim lastništvom in velika privatna podjetja, ki potrebujejo topografske zbirke,
- preučiti obstoječo in pripraviti novo zakonodajo ali pravilnike za ureditev sistema vzdrževanja topografskih zbirk.

5. Reference

Kolbe T. H., Gröger G. (2003): Towards unified 3D city models. In: Schiewe, J., Hahn, M., Madden, M., Sester, M. (eds): Challenges in Geospatial Analysis, Integration and Visualization II. Proc. of Joint ISPRS Work-shop, Stuttgart.

MARSETIČ, Aleš – OŠTIR, Krištof, 2010, Izdelava digitalnega modela površja in ortopodob iz stereo posnetkov Ikonos, zajetih v istem preletu. *Geod. vestn.* 54 (3): 417-448.