

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

*Janova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Geodezija,  
smer Geodezija

Kandidatka:

**Darja Vodišek**

# **Opazovanje poplav s podatki daljinskega zaznavanja**

**Diplomska naloga št.: 776**

**Mentor:**

izr. prof. dr. Krištof Oštir

Ljubljana, 23. 4. 2009

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisana **DARJA VODIŠEK** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:  
**»OPAZOVANJE POPLAV S PODATKI DALJINSKEGA ZAZNAVANJA«.**

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL, Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 17.04.2009

---

(podpis)



## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo



## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK:** 528.8:556.166(043.2)  
**Avtor:** Darja Vodišek  
**Mentor:** izr. prof. dr. Krištof Oštir  
**Naslov:** Opazovanje poplav s podatki daljinskega zaznavanja  
**Obseg in oprema:** 98 str., 17 pregl., 40 sl., 23 en., 8 pril.  
**Ključne besede:** daljinsko zaznavanje, naravne nesreče, program Vesolje in velike nesreče, SPOT, analiza podob, normiran diferencialni vegetacijski indeks, klasifikacija, raba tal

### **Izvleček**

Z daljinskim zaznavanjem opazujemo razne pojave na Zemlji, s satelitskimi sistemi z boljšo prostorsko ločljivostjo lahko spremljamo naravne nesreče bolj nazorno. V diplomski nalogi sem predstavila uporabnost satelitskih posnetkov v primeru naravnih nesreč. Opisan je postopek pridobitve, predobdelave, klasifikacije in interpretacije satelitskih podob ob katastrofalni poplavi leta 2007.

Z aktivacijo mednarodnega programa Vesolje in velike nesreče so bili za opazovanje poplave pridobljeni satelitski posnetki, sledila je ortorektifikacija, ostrenje večspektralne podobe s pankromatsko ter izboljšanje kontrasta uporabljenih podob SPOT. Iz predobdelanih podob SPOT sem s klasifikacijskim algoritmom metode največje verjetnosti določila poplavljen območja. Natančnost klasifikacije je bila izboljšana z normiranim diferencialnim vegetacijskim indeksom, z digitalnim modelom višin in s slojem hidrografije. Iz poplavljenih območij sledi statistična analiza poškodovane rabe tal.

**BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTAL INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 528.8:556.166(043.2)  
**Author:** Darja Vodišek  
**Supervisor assist.:** assoc. prof. dr. Krištof Oštir  
**Title Surface:** Observing floods from remote sensing data  
**Notes:** 98 p., 17 tab., 35 fig., 23 eq., 8 ann.  
**Key words:** remote sensing, natural disasters, Space and Major Disasters charter, SPOT, image analysis, normalized difference vegetation index, classification, land use

**Abstract**

Remote sensing techniques have been used to observe various phenomena on the Earth. With improved satellite system natural disasters can be better monitored. The Thesis deals with the usefulness of satellite images in the case of natural disasters and presents the procedure with which we obtaine, preprocess, classify and interpret satellite images of catastrophic flood in year 2007.

The international charter Space and Major Disasters was activated in order to get satellite images to observe floods. The satellite images SPOT have been processed as follows: orthorectification, pan-sharpening of multispektral images and contrast enhancement. Maximum likelihood algorithm was used as the main classifier and the accuracy of results was further improved by normalized difference vegetation index, digital elevation model and hydrological data. From these flooded areas statistical analysis for damaged land use was made.

## **ZAHVALA**

Mentorju izr. prof. dr. Krištofu Oštirju se zahvaljujem za satelitske posnetke, pomoč in uporabne nasvete pri izdelavi diplomske naloge. Satelitski posnetki so bili pridobljeni v okviru programa Space and Major Disasters, aktivacija št. 179.

Posebno zahvalo namenjam staršema, ki sta mi omogočila študij.





## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>DALJINSKO ZAZNAVANJE IN OPAZOVANJE NARAVNIH NESREČ .....</b>	<b>5</b>
2.1	OSNOVE DALJINSKEGA ZAZNAVANJA .....	5
2.2	SATELITSKI SISTEMI ZA OPAZOVANJE ZEMLJE .....	8
2.3	PRIMERI UPORABE .....	8
2.3.1	<i>Opazovanje naravnih nesreč .....</i>	<i>9</i>
2.3.2	<i>Določanje pokrovnosti oziroma rabe tal .....</i>	<i>15</i>
2.4	PROGRAM VESOLJE IN VELIKE NESREČE (SPACE AND MAJOR DISASTERS) .....	16
2.4.1	<i>Postopek delovanja programa .....</i>	<i>18</i>
2.4.2	<i>Aktivacija programa v Sloveniji 19.09.2007 .....</i>	<i>20</i>
<b>3</b>	<b>SATELITSKI SISTEM SPOT .....</b>	<b>25</b>
3.1	SATELITI SPOT .....	25
3.2	PODOBE SPOT .....	28
<b>4</b>	<b>OBDELAVA PODOB .....</b>	<b>31</b>
4.1	GEOMETRIJSKI POPRAVKI .....	32
4.1.1	<i>Ortorektifikacija .....</i>	<i>33</i>
4.1.2	<i>Ortorektifikacija podob SPOT .....</i>	<i>35</i>
4.2	IZBOLJŠANJE PODOB .....	36
4.2.1	<i>Izboljšanje kontrasta .....</i>	<i>37</i>
4.2.2	<i>Izboljšanje podob SPOT .....</i>	<i>38</i>
4.3	TRANSFORMACIJA PODOB .....	39
4.3.1	<i>Transformacija HSI in RGB .....</i>	<i>41</i>
4.3.2	<i>Normiran diferencialni vegetacijski indeks NDVI .....</i>	<i>44</i>
4.4	KLASIFIKACIJA IN ANALIZA PODOB .....	45
4.4.1	<i>Nadzorovana klasifikacija .....</i>	<i>46</i>
4.5	VIZUALNA INTERPRETACIJA PODOB .....	49
<b>5</b>	<b>POSTOPEK OBDELAVE PODOB SPOT IN REZULTATI .....</b>	<b>53</b>
5.1	POSTOPEK IZRAČUNA NORMIRANEGA DIFERENCIALNEGA VEGETACIJSKEGA INDEKSA (NDVI) .....	55
5.2	KLASIFIKACIJA POPLAVLJENIH OBMOČIJ .....	57
5.2.1	<i>Zahodno prizadeto območje .....</i>	<i>58</i>
5.2.2	<i>Vzhodno prizadeto območje .....</i>	<i>69</i>

---

5.3	IZBOLJŠANJE KLASIFIKACIJE Z INTEGRACIJO PODATKOV V GIS .....	70
5.3.1	<i>Pridobljeni podatki</i> .....	71
5.3.2	<i>Prostorske analize</i> .....	76
5.4	OCENA NATANČNOSTI MODELIRANE POKLASIFIKACIJE .....	79
5.5	ANALIZA REZULTATOV KLASIFIKACIJE.....	82
<b>6</b>	<b>ANALIZA RABE TAL</b> .....	<b>83</b>
6.1	SATELITSKI PODATKI .....	84
6.2	TERENSKI PODATKI.....	86
6.3	PRIMERJAVA TERENSKIH IN SATELITSKIH PODATKOV .....	86
<b>7</b>	<b>SKLEP</b> .....	<b>89</b>
<b>VIRI</b>	.....	<b>93</b>
UPORABLJENI VIRI	.....	93
OSTALI VIRI	.....	96

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Atmosferska okna (Campbell, 1999 ).....	6
Preglednica 2: Članice programa in njihovi satelitski sistemi (Buehler in sod., 2007) .....	17
Preglednica 3: Seznam pridobljenih satelitskih posnetkov (Pehani in sod., 2008) .....	22
Preglednica 4: Kanali satelitov SPOT (Dagras in sod., 1995).....	25
Preglednica 5: SPOT sprejemne postaje (Spot Image, 2008) .....	28
Preglednica 6: Uporabljeni posnetki SPOT .....	32
Preglednica 7: Matrika napak vzorcev .....	64
Preglednica 8: Definirani kriteriji pri prostorski analizi .....	77
Preglednica 9: Ocena natančnosti celotnega zahodnega območja .....	81
Preglednica 10: Ocena natančnosti območja ob Selški Sori .....	81
Preglednica 11: Matrika napak celotnega zahodnega območja.....	81
Preglednica 12: Matrika napak območja ob Selški Sori .....	81
Preglednica 13: Izboljšanje klasifikacije z dodatnimi sloji .....	82
Preglednica 14: Poplavljen površina posamezne kategorije rabe tal.....	84
Preglednica 15: Poplavljen površina posamezne kategorije rabe tal območja ob Selški Sori.....	85
Preglednica 16: Poplavljen površina posamezne kategorije rabe tal za zahodno območje in območje ob Selški Sori .....	86
Preglednica 17: Poplavljen kategorije rabe tal iz satelitskih in terenskih podatkov za območje ob Selški Sori.....	87

## KAZALO SLIK

Slika 1: Shema poteka pridobitve sloja poplavljenih območij.....	3
Slika 2: Postopek daljinskega zaznavanja (CCRS, 2004).....	6
Slika 3: Prikaz 100 letnih poplav v Železnikih v aplikaciji GIS ujme.....	11
Slika 4: Satelitska karta poplavljenih območij (Elbe Flood, 2008).....	14
Slika 5: Aktivacije programa Vesolje in velike nesreče v letu 2007 (International Charter, 2008b).....	18
Slika 6: Postopek delovanja programa (International Charter, 2008c).....	19
Slika 7: Satelitsko posneta vzhodna in zahodna prizadeta območja (Neurje, 2008) .	21
Slika 8: SPOT 5 in njegovi senzorji (Bouillon in sod., 2006) .....	27
Slika 9: Ortorektificirana podoba (Erdas Field Guide, 2008).....	34
Slika 10: Iskanje sivih vrednosti (Erdas Field Guide, 2008) .....	35
Slika 11: Izboljšanje kontrasta (CCRS, 2004) .....	37
Slika 12: RGB model (Mather, 1999) .....	40
Slika 13: HSI barvni model (Mather, 1999) .....	40
Slika 14: Shema poteka ostrenja barvnega posnetka s pankromatskim (Švab, 2003) .....	44
Slika 15: Metoda največje verjetnosti (Oštir, 2006) .....	47
Slika 16: Shema poteka pridobitve sloja poplavljenih območij .....	53
Slika 17: Izostren večspektralni posnetek SPOT zahodnega prizadetega območja, kanali 413.....	54
Slika 18: Izostren večspektralni posnetek SPOT vzhodnega prizadetega območja, kanali 413.....	54
Slika 19: NDVI za zahodno območje.....	56
Slika 20: NDVI za vzhodno območje.....	56
Slika 21: Določevanje vzorcev s programom ERDAS IMAGINE 9.1 .....	59
Slika 22: Rezultat prve iteracije za območje Železnikov, Škofje Loke in Kranja, podlaga podoba SPOT .....	61
Slika 23: Spektralni podpisi vzorcev z dodanim vzorcem .....	62
Slika 24: Spektralni podpisi vzorcev.....	63

---

Slika 25: Klasificirana podoba SPOT za območje Železnikov.....	65
Slika 26: Filtrirana klasificirana podoba SPOT za območje Železnikov.....	66
Slika 27: Reklasificirana podoba SPOT poplavljenih območij za območje Železnikov, podlaga podoba SPOT.....	67
Slika 28: Reklasificirana podoba SPOT poplavljenih območij celotnega zahodnega območja, podlaga podoba SPOT.....	68
Slika 29: Klasificirana podoba SPOT za območje Celja in Vojnika.....	70
Slika 30: Uporabljeni podatki hidrografije.....	72
Slika 31: DMV 12,5 za zahodno območje (ZRC SAZU).....	74
Slika 32: Filter 3×3 za izračun naklona.....	75
Slika 33: Informacijski sloj poplavljenih območij, območje Železnikov, podlaga podoba SPOT.....	78
Slika 34: Informacijski sloj poplavljenih območij, podlaga podoba SPOT.....	79
Slika 35: Izbrano območje ob Selški Sori v D48 koordinatnem sistemu.....	80
Slika 36: Pokrovnost tal za zahodno območje.....	83
Slika 37: Poplavljen površina posamezne kategorije rabe tal.....	84
Slika 38: Poplavljen površina posamezne kategorije rabe tal za območje ob Selški Sori.....	85
Slika 39: Primerjava poplavljen rabe tal iz satelitskih in terenskih podatkov.....	87
Slika 40: Terenski in klasificirani satelitski podatki območja ob Selški Sori, podlaga podoba SPOT.....	88

---

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
CCRS	Canada Centre for Remote Sensing
CONAE	Comision Nacional de Actividades Espaciales
CORINE	COoRdination of INformation on the Environment
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
DLR	Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt
DMR	digitalni model reliefa
DMV	digitalni model višin
ERS	European Remote - Sensing Satellites
GIS	geografski informacijski sistem
IR	infrardeči spekter
IRS	Indian Remote Sensing
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
SAR	syntetic aperture radar
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre
TM	Thematic Mapper
URSZR	Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS	World Geodetic System
ZRC SAZU	Znanstveno raziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti

## **PRILOGE**

### **PRILOGA A: OBDELAVA PODOB SPOT V PROGRAMU ERDAS IMAGINE 9.1**

- A1: Rezultati analize ločljivosti vzorcev
- A2: Statistične vrednosti in kovariančna matrika spektralnih podpisov
- A3: Matrika napak vzorcev v pikslih in odstotkih
- A4: Shema modela pri izboljšanje klasifikacije
- A5: Seznam in vrednost uporabljenih klasificiranih in referenčnih točk
- A6: Poročilo o oceni natančnosti izboljšane klasifikacije

### **PRILOGA B: PREGLEDNI KARTI POPLAVLJENIH OBMOČIJ**

- B1: Pregledna karta poplavljenih območij zahodne Slovenije
- B2: Pregledna karta poplavljenih območij ob Selški Sori





## 1 UVOD

Naravne nesreče so vedno pogostejše in tudi vedno bolj obsežne. So posledica človeškega ravnanja ali pa zgolj običajnih naravnih pojavov. Njihovo preprečevanje, izogibanje ter omejevanje je pomembno pri ohranjanju kvalitete življenjskega okolja sodobnega človeka. V današnjem času se večja potreba po poznavanju, napovedovanju ali preprečevanju naravnih nesreč. Širjenje človeškega življenjskega prostora in poseganja na manj primernejša območja za različne dejavnosti povečujejo potrebo po kakovostnem določevanju ogroženih območij. V Sloveniji so od naravnih nesreč pogoste poplave in plazovi. Ena obsežnejših poplav je bila 18.09.2007.

Pri določevanju ogroženih in poškodovanih območjih uporabljamo različne tehnike, najbolj pa so uporabne metode, ki zajamejo celo območje nesreče. Pri tem so zelo uporabni satelitski posnetki, saj zajamemo veliko območje na zemeljski površini. Reševanje, analiziranje in ukrepanje ob naravnih nesrečah je širši problem, kjer ima GIS tehnologija pomembno vlogo. Različne tehnike daljinskega zaznavanja so nepogrešljive pri spremljanju in analiziranju stanja ter pripravi najrazličnejših kart.

Prednost daljinskega zaznavanja je ta, da ima obsežen arhiv satelitskih posnetkov, kar nam omogoča časovno in prostorsko pokritost s podatki za izbrano območje. Prednost z ostalimi klasičnimi metodami je tudi v tem, da en posnetek pokriva razmeroma veliko območje, s pravilno obdelavo pa lahko pridobimo tudi takšne podatke, ki jih s klasičnimi tehnikami opazovanja ne moremo pridobiti (npr. normiran diferencialni vegetacijski indeks, podatki o vlažnosti tal, temperaturi in podobno). Teh lastnosti drugi prostorski podatki, ki se zbirajo na površju Zemlje, večinoma nimajo. Seveda pa ima daljinsko zaznavanje tudi določene omejitve, s temi se večinoma soočamo prav pri časovnih analizah na satelitskih posnetkih, saj te zahtevajo visoko primerljivost v vseh pogledih po celotni časovni vrsti posnetkov, ki pa je ni mogoče doseči enostavno in hitro. Določen kompromis moramo nadalje skleniti tudi z vidika zmožnosti obdelave velike količine podatkov, torej merila posnetkov in s tem še mogočega zaznavanja najmanjšega detajla na površju. Učinkovitost metodologije je v veliki meri odvisna od položajne umestitve v prostor ter kakovosti podatkov. Surovi satelitski

posnetki praviloma niso registrirani (položajno poravnani) niti med seboj niti glede na ustrezajoče državne topografske karte. Potreba po posebni pod-pikselski položajni natančnosti je značilna prav za študije sprememb. Položajna usklajenost namreč v prvi vrsti narekuje kakovost in relevantnost končnega rezultata modeliranja. Prav tako pomembna je tudi poravnava podobe (Veljanovski, 2007).

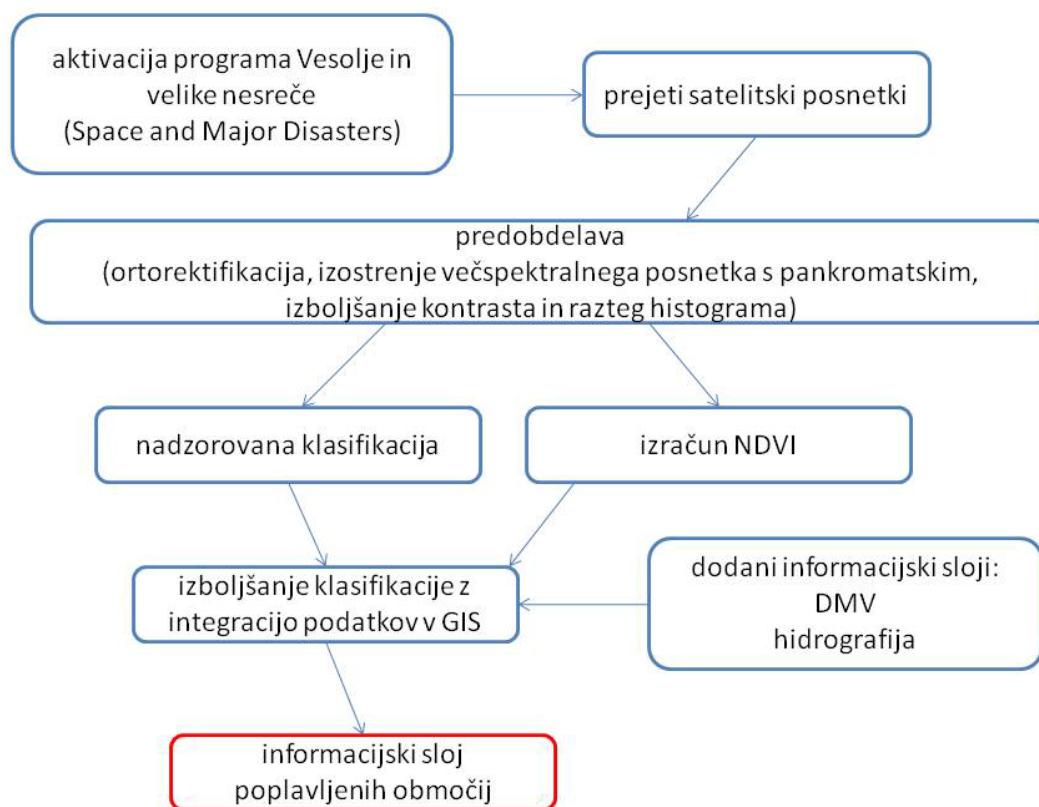
Z daljinskim zaznavanjem opazujemo razne pojave na Zemlji, s satelitskimi sistemi z boljšo prostorsko ločljivostjo lahko spremljamo naravne nesreče bolj nazorno. Na svetu je veliko ponudnikov satelitskih podob, če hočemo pridobiti uporabne podatke, moramo naročiti primerne satelitske podobe ter jih nato primerno obdelati in interpretirati. Za to pa potrebujemo kvalitetno programsko opremo in usposobljen kader za obdelavo. Za učinkovito uporabo satelitske tehnologije v primeru naravnih in drugih nesreč, so vesoljske agencije ustanovile program Vesolje in velike nesreče (Space and Major Disasters). V primeru nesreče sprožijo pooblaščen uporabniki aktivacijo ter tako dobijo satelitske podobe prizadetega območja, ki pa jih je potrebno obdelati ter interpretirati.

V diplomski nalogi sem predstavila postopek pridobitve, obdelave in interpretacije satelitskih podob ob naravni nesreči. 25 satelitskih podob je bilo pridobljenih ob aktivaciji programa Vesolje in velike nesreče ob katastrofalni poplavi 18.09.2007 v Sloveniji. Za obdelavo sem pridobila 4 podobe SPOT na ZRC SAZU. Dve podobi, pankromatska in multispektralna, sta bili pridobljeni za zahodno prizadeto območje, dve pa za vzhodno. Podobe so delno že obdelali na ZRC SAZU, kjer so jih ortorektificirali, izostrili in izboljšali kontrast. Iz predhodno obdelanih podob je nato sledila naknadna obdelava, in sicer nadzorovana klasifikacija in izračunan normiran diferencialni vegetacijski indeks (NDVI) v programu ERDAS IMAGINE 9.1. Klasifikacijo sem izboljšala z upoštevanjem NDVI, digitalnega modela višin in hidrografije. Sledi statistična analiza poplavljenе rabe tal. Statistično analizirane satelitske podatke sem nato primerjala s terenskimi podatki.

Cilj diplomske naloge je prikazati uporabnost satelitskega daljinskega zaznavanja v primeru naravne nesreče ter z ustrezno obdelavo in interpretacijo uporabljenih satelitskih posnetkov določiti poplavljenā območja in poškodovano rabo tal.

Diplomska naloga je sestavljena iz več delov. Najprej so predstavljene teoretične osnove za opazovanje poplav z daljinskim zaznavanjem, sledi opis in postopek obdelave podob ter na koncu analiza obdelanih in interpretiranih podob.

Slika 1 prikazuje shemo poteka pridobitve informacijskega sloja poplavljenih območij iz prejetih satelitskih posnetkov.



**Slika 1: Shema poteka pridobitve sloja poplavljenih območij**

V drugem poglavju so opisane teoretične osnove daljinskega zaznavanja in satelitskih sistemov za opazovanje. Sledi bolj podroben opis uporabe daljinskega zaznavanja v primeru naravnih nesreč, na koncu poglavja je opis programa Vesolje in velike nesreče (Space and Major Disasters) ter aktivacija tega programa v Sloveniji ob katastrofalni poplavi leta 2007.

V tretjem poglavju so predstavljeni sateliti in podobe SPOT, ki so bile najbolj uporabne pri določevanju poplavljenih območij. V četrtem poglavju so opisani uporabljeni postopki pri obdelavi podob SPOT.

Sledi peto poglavje o postopku obdelave podob SPOT, postopku izračuna NDVI in klasifikacije ter integracije podatkov v geografski informacijski sistem. Na koncu poglavja sledi ocena natančnosti in analiza rezultatov obdelave.

Naslednje poglavje je namenjeno statistični analizi poplavljenih rabe tal. Diplomska naloga se zaključuje s sklepom o uporabnosti satelitskih posnetkov v primeru naravnih nesreč.

## 2 DALJINSKO ZAZNAVANJE IN OPAZOVANJE NARAVNIH NESREČ

Pri daljinskem zaznavanju večinoma pridobivamo in interpretiramo podatke o površju Zemlje, s katerimi ne pridemo v neposredni stik. Podatke pridobivamo z zaznavanjem in zapisovanjem odbitega ali sevanega elektromagnetnega valovanja ter jih nato obdelamo, analiziramo in uporabimo v različnih aplikacijah (Oštir, 2006).

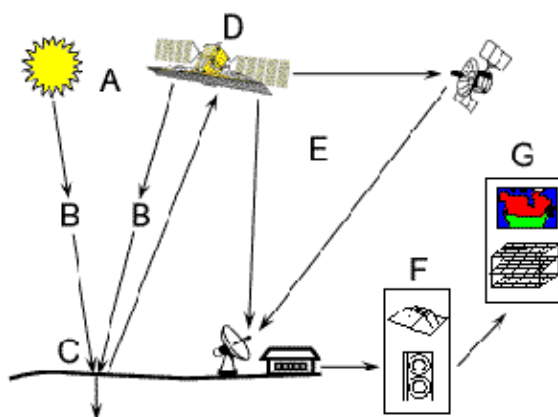
Ker se v diplomski nalogi pogosto srečamo s pojmi posnetka, podobe in piksla, sledi v spodnjih odstavkih njihova razlaga.

Posnetek nastane z uporabo optičnih naprav ter analognega ali digitalnega senzorja. Predstavlja sliko opazovanih predmetov, zajeto v določenem trenutku pri izbrani valovni dolžini. Posnetek za razliko od podobe podaja vrednosti, ki jih je zajel senzor in so le malo ali skoraj nespremenjene. Podoba pa je za razliko od posnetka izključno v digitalni obliki in predstavlja širši pojem, saj poleg podatkov samega senzorja vključuje tudi rezultate analiz, transformacije, modele in interpretacijo. Podoba je digitalna predstavitev podatkov daljinskega zaznavanja v obliki matrike slikovnih elementov oziroma pikslov. Lahko predstavlja odbojnost ali lastno sevanje površja in je eno ali več razsežna odvisno od števila kanalov. Zajema tudi vse rezultate obdelave, preobdelave (izboljšanja in transformacije), klasifikacije, modeliranja in simulacije. V najširšem pomenu je podoba vsaka slika v rastrski obliki (Oštir, 2006).

Piksel oziroma slikovni element je najmanjši del podobe, praviloma kvadrat. Piksel podaja sivo ali barvno vrednost določenega dela površja, izraženo s številčno vrednostjo (Oštir, 2006).

### 2.1 Osnove daljinskega zaznavanja

Postopek daljinskega zaznavanja (slika 2) lahko predstavimo v naslednjih sedmih korakih (Oštir, 2006):



Slika 2: Postopek daljinskega zaznavanja (CCRS, 2004)

- A. Vir elektromagnetnega valovanja: Najpogostejši izvir elektromagnetnega valovanja je Sonce. Pri daljinskem zaznavanju izkoriščamo lastno termično sevanje opazovanih predmetov in uporabljamo umetne vire (radarske antene).
- B. Potovanje skozi atmosfero: Valovanje potuje skozi atmosfero in z njo integrira. Valovanje potuje skozi atmosfero pri opazovanju lastnega sevanja zemeljskega površja enkrat, v primeru umetnega vira pa potuje dvakrat. Za daljinsko zaznavanje so pomembni tisti deli elektromagnetnega spektra, na katere atmosfera ne vpliva pretirano. Imenujemo jih atmosferska okna. Preglednica 1 prikazuje atmosferska okna.

Preglednica 1: Atmosferska okna (Campbell, 1999 )

Spektralni pas	Valovna dolžina ( $\lambda$ )
Ultravijolična in vidna svetloba	0.30 - 0.75 $\mu\text{m}$
	0.77 - 0.91 $\mu\text{m}$
Bližnja infrardeča svetloba	1.55 – 1.75 $\mu\text{m}$
	2.05 – 2.40 $\mu\text{m}$
Daljna (termična) infrardeča svetloba	8.00 – 9.20 $\mu\text{m}$
	10.2 – 12.4 $\mu\text{m}$
Mikrovalovi	7.5 – 11.5 mm
	20 mm+

- C. Interakcija s površjem: Elektromagnetno valovanje se na površju odbije, absorbira ali prodre skozi snov, odvisno od lastnosti površja in od valovne dolžine vpadnega kota. Če na predmetih zemeljskega površja merimo energijo, ki se odbije ali pa jo ta sevajo, lahko ustvarimo spektralni podpis opazovanih predmetov.
- D. Zapisovanje elektromagnetnega valovanja s senzorjem: Senzor s katerim zapisujemo odbito ali sevano elektromagnetno valovanje, se nahaja na nosilcu oziroma stabilni platformi. V daljinskem zaznavanju uporabljamo platforme, ki so na tleh, letalih, na helikopterju, na balonih, satelitih ali vesoljskih plovilih. Senzorji so lahko aktivni ali pasivni. Pasivni senzorji merijo v naravi obstoječo energijo. Aktivni senzorji uporabljajo za snemanje lastni vir elektromagnetnega valovanja oziroma energije.
- E. Sprejem, prenos in obdelava: Pri letalskem snemanju so podatki na razpolago po pristanku. Pri satelitskem snemanju prenesemo signale, ki jih zabeležijo senzorji, praviloma v elektronski obliki z radijskim valovanjem, do sprejemne postaje na Zemlji. V sprejemni postaji podatke obdelamo in iz njih ustvarimo podobo, ki je praviloma digitalna.
- F. Interpretacija in analiza: Postopke pri obdelavi podob lahko razdelimo na naslednje korake:
- predobdelava: radiometrični in geometrični popravki,
  - izboljšanje: spremenimo videz podobe za boljšo interpretacijo,
  - transformacije: iz obstoječih ustvarimo nove informacije,
  - klasifikacija in analiza: piksele prepoznamo in jih razdelimo v razrede.
- G. Uporaba: Možnosti za uporabo podob je ogromno. V poglavju 2.3 je podan opis nekaterih primerov uporabe.



## 2.2 Satelitski sistemi za opazovanje Zemlje

Prvi satelitski sistemi so bili optični in so se pojavili leta 1960. Prvi satelit, narejen izključno za opazovanje zemeljskega površja je bil Landsat-1, ki ga je izstrelila NASA leta 1972 (Campbell, 1996). Optične sisteme so v zadnjem desetletju prejšnjega stoletja pričeli dopolnjevati tudi radarski. Pri tem imata vodilno vlogo evropska in kanadska vesoljska agencija s sateliti ERS, Envisat in RADARSAT (Oštir, 2006). ERS-1 sateliti so začeli delovati leta 1991, RADARSAT-1 in ERS-2 leta 1995, Envisat pa leta 2002. V današnjem času je zelo veliko število satelitov in ponudnikov satelitskih podob.

Satelitske sisteme lahko razdelimo glede prostorske ločljivosti na (Oštir, 2006; Stancalie in sod., 2006; Petrie, 2008):

- visokoločljive satelite, ki imajo prostorsko ločljivost pod 10 m: Ikonos, QuickBird, GeoEye-1, WorldView-1 in 2, EROS-B, Kompsat-2, Cartosat-2, DK-1, SPOT-5, Formosat-2, Cartosat-1, Beiijing-1, TopSat, ALOS, EROS-A, IRS-1C, IRS-1D, IRS-P6, RapidEye,
- srednjeločljive, ki imajo prostorsko ločljivost med 10 m in 100 m: SPOT-2, SPOT-4, Landsat-7, Terra sateliti, CBERS-2, PROBA, Landsat-5, UK-DMC, NigeriaSat, BILSAT-1, ALSAT-1
- in nizkoločljive, ki imajo prostorsko ločljivost nad 100 m.

## 2.3 Primeri uporabe

Satelitske podobe lahko uporabljamo v mnogih primerih, težko bi našteali vsa področja in primere uporabe. Nekatera področja uporabe so hidrologija, geologija, geodezija, gradbeništvo, meteorologija, kmetijstvo, ekologija in oceanografija. Pogosto jih uporabljamo za (Campbell, 1999; Barrett in sod., 1999):

- vključevanje v geografske informacijske sisteme,
- opazovanje in določevanje vegetacije,
- analiziranje in napovedovanje vremena,
- opazovanje globalnih sprememb klime,

- opazovanje vode v okolju (hidrometeorologija, hidrologija površja, hidrogeologija, oceanografija),
- opazovanje oblik površja in prsti,
- odkrivanje zalog kamnin in rudnin,
- ekologijo in varstvo narave,
- določanje rabe in pokrovnosti tal,
- napovedovanje pridelka v kmetijstvu,
- kartiranje (izdelava topografskih in tematskih kart)
- in opazovanje naravnih nesreč.

### 2.3.1 Opazovanje naravnih nesreč

V 20. stoletju se je s širjenjem poselitve in z razvojem različnih dejavnosti povečal pritisk na neposeljena območja, ki so se jih ljudje v preteklosti izogibali. Zaradi mišljenja, da lahko naravo spremenimo s tehničnimi sredstvi, se je povečal obseg škode zaradi naravnih nesreč. Na slovenskem ozemlju so naravne nesreče razmeroma pogoste in povzročajo veliko gmotno škodo. Najpogostejše naravne nesreče pri nas so (Naravne nesreče, 2008):

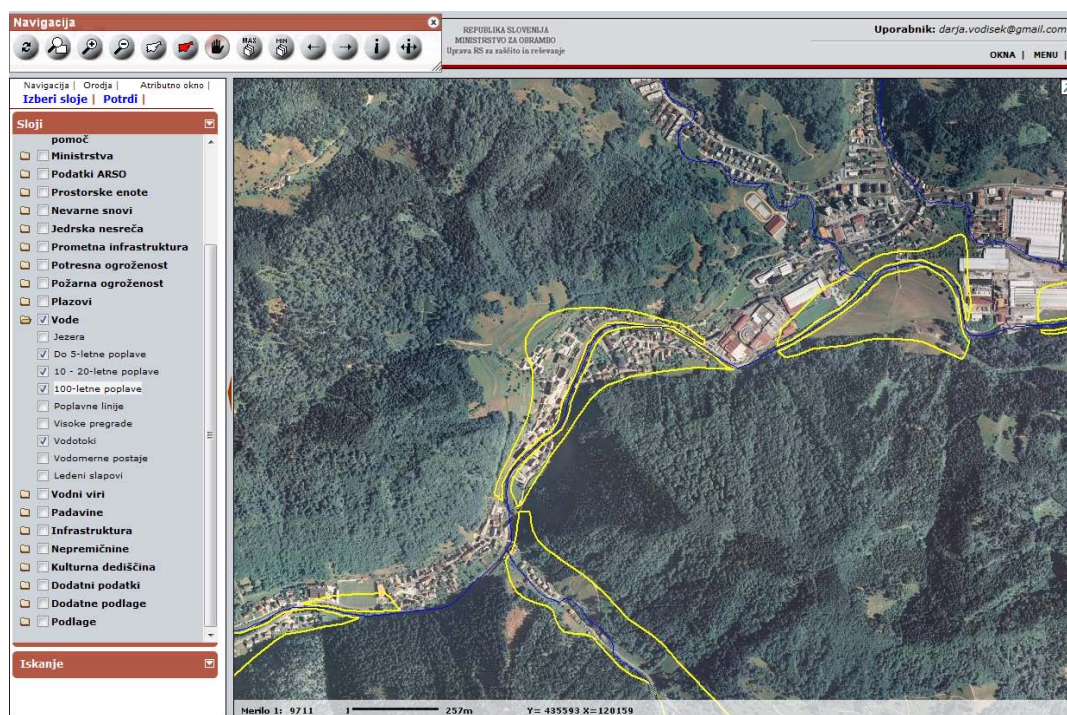
- potresi,
- poplave,
- zemeljski plazovi, usadi in tokovi,
- podori in skalni odlomi,
- obilne snežne padavine in plazovi,
- erozija,
- nevihte, viharji (močan veter) in toča,
- suša,
- pozeba in žled,
- požari.

Satelitsko daljinsko zaznavanje ima pomembno vlogo pri naravnih nesrečah, saj je velikokrat edina razpoložljiva tehnologija pri opazovanju nesreč. Z daljinskim zaznavanjem imamo lahko na razpolago podobe pred, med in po nesreči. Z optičnimi in radarskimi satelitskimi

sistemi lahko ocenimo in zmanjšamo tveganje ter ocenimo škodo nastalo pri naravnih nesrečah.

V Sloveniji Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje ukrepa ob nesrečah ter vodi digitalno bazo podatkov GIS ujme. Spletna aplikacija GIS ujme ima obsežno podatkovno bazo o prostoru (topografske karte, hišne številke, prometno in komunalno infrastrukturo, itd.), ocenah nesreče (nevarnost poplav, požarna ogroženost, potresna ogroženost, nevarnost zemeljskih in snežnih plazov, itd.). Njihova baza omogoča uporabnikom pregled prostorskih informacij povezanih z zaščito in reševanjem na celotnem območju Republike Slovenije. V aplikaciji GIS ujme so vključene naslednje naravne nesreče (Portal GIS\_UJME, 2008):

- Poplave: Aplikacija prikazuje vektorske podatke 5, 10-20 ter 100 letnih poplav. Vir podatkov je Agencija Republike Slovenije za okolje. Slika 3 prikazuje spletno aplikacijo GIS ujme, ki prikazuje 100 letne poplave v naselju Železniki.
- Plazovi: Vsebuje podatke zemeljskih plazov ter verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov. Prikazuje potencialna plazovita območja za območje celotne Slovenije v šestih razredih verjetnosti pojavljanja plazov (ni verjetnosti, zelo majhna verjetnost, majhna verjetnost, srednja verjetnost, velika verjetnost, zelo velika verjetnost).
- Potresi: Prikazuje potresna območja glede na stopnjo potresa za območje Republike Slovenije. Vir podatkov je URSZR, ki je naredil študijo ocene ogroženosti s potresi.
- Požari: Sloj prikazuje statistično z nevarnostjo požarov bolj ali manj ogrožene občine.



Slika 3: Prikaz 100 letnih poplav v Železnikih v aplikaciji GIS ujme

### 2.3.1.1 Poplave

Poplave so del naravnega hidrološkega kroga. Izboljšajo rodovitnost prsti, vendar pa lahko tudi povzročijo izgubo življenj, začasno uničenje živalskega okolja in pustijo trajne posledice na urbanih in podeželskih infrastrukturah. Celinske poplave so lahko posledica motenj v naravnih ali umetnih jezovih, prekomernega taljenja ledu in snega, dežja ali čezmernega spomladanskega odtekanja vode (CCRS, 2004).

Z daljinskim zaznavanjem lahko uspešno zmanjšamo posledice ekstremnih poplav. S pogostimi radarskimi opazovanji zemeljske površine, lahko učinkovito opozarjamo pred poplavami. Hitro odzivanje in kartiranje poplavnih območij zagotavlja koristne informacije o nesreči (Stancalie in sod., 2006).

S podobami daljinskega zaznavanja merimo in spremljamo poplave ter tako učinkovito določimo površine, ki so bile poškodovane. Podatke daljinskega zaznavanja vključimo v geografski informacijski sistem. Združeni podatki omogočajo hitre izračune in ocene višine vode, škode ter določevanje poplavno ogroženih območij. Te podatke naj bi potrebovale agencije za napovedovanje poplav, hidroelektrarne, urbanisti, civilna zaščita, zavarovalnice

(za oceno odškodnin pri poplavah) (CCRS, 2004). Z daljinskim zaznavanjem lahko opazujemo velika območja in hitro ugotovimo okvirno škodo poplave.

Obvladovanje tveganja poplav zahteva celosten, strukturen sklop dejavnosti, ki se izvajajo pred, med in po poplavi. Z optičnimi in radarskimi podobami zagotovimo najnovejše podatke (Stancalie in sod., 2006):

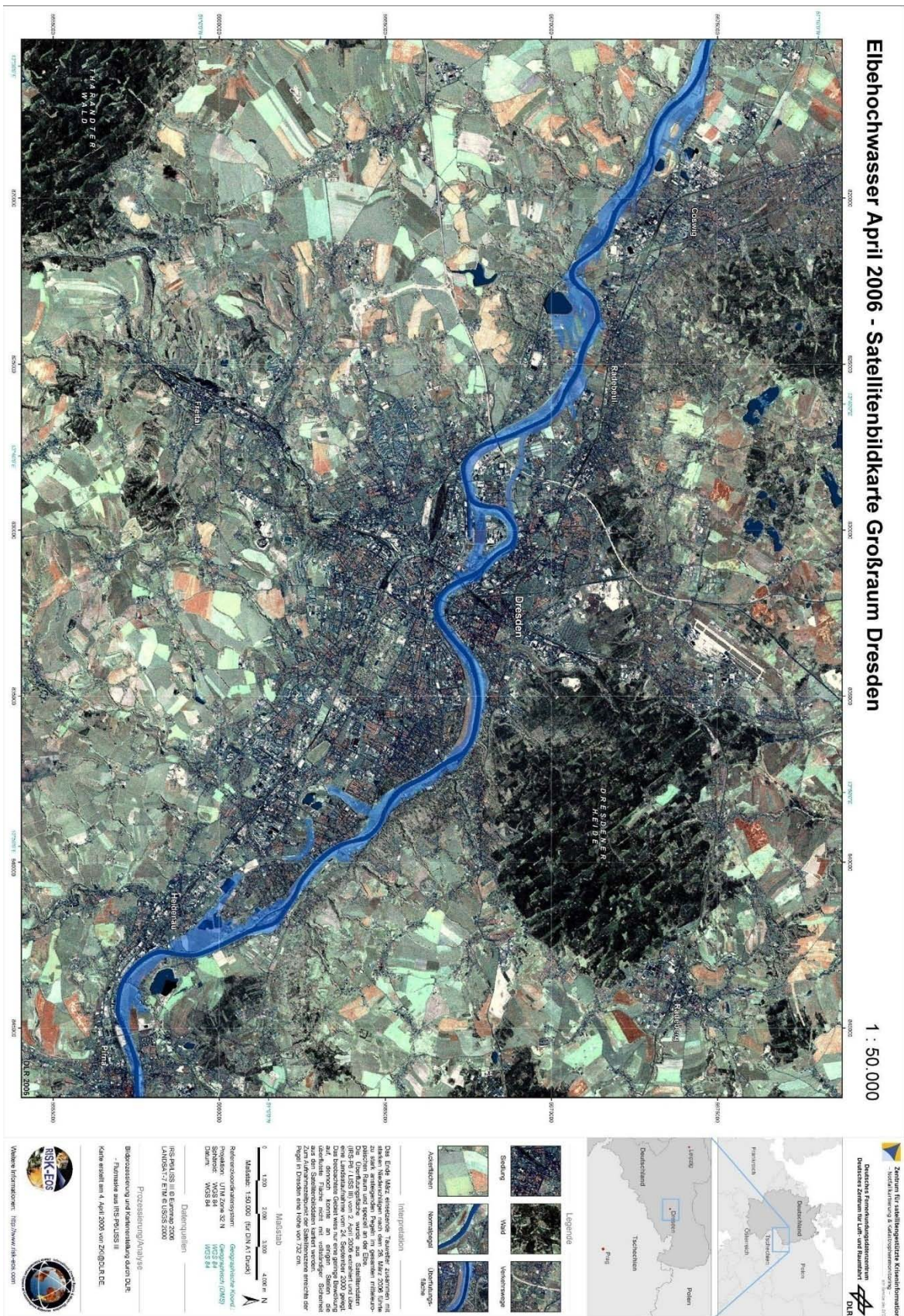
- pred poplavo določimo pokrovnost tal,
- med poplavo opazujemo poplavljen in ogrožen območja,
- po poplavi določimo prizadeta območja.

Od leta 1980 so bile nekaj časa podobe satelita Landsat TM s prostorsko resolucijo 30 m glavni vir za opazovanje poplav. Posebna pozornost je bila namenjena opazovanju monsunskih poplav v državah v razvoju, v zahodni Afriki, v Indiji in na Tajskem. S kanalom 4, satelita Landsat TM, lahko dobro razločimo vodne površine od suhih zemeljskih površin. Pojavi se težava pri določevanju urbaniziranih površin. Kanal 4 podobe satelita Landsat TM odbija zelo malo energije iz asfaltnih površin, zato lahko hitro zamenjamo urbanizirana območja z vodno površino. Z združitvijo kanala 4 in 7 lažje razlikujemo vodne od urbaniziranih površin, kljub temu v nekaterih primerih težko določamo poplavna območja dovolj učinkovito (Sanyal, 2004).

Pri določevanju poplavnih območij lahko uporabljamo podobe satelita SPOT, pri katerih uporabljamo podobne predpostavke, da ima voda zelo nizko odbojnost v bližnjem infrardečem spektru. Pri poplavah z regionalno razsežnostjo so zelo uporabni sateliti NOAA s senzorjem AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Podobe imajo slabo resolucijo in so pogosto prekrivane z oblaki. Prednost podob je, da imajo visoko časovno ločljivost, ki nam omogoča spremljanje napredovanja poplav v skoraj realnem času. Pri senzorju AVHRR lahko opazujemo poplave tudi z normiranim diferencialnim vegetacijskim indeksom (NDVI, normalized difference vegetation index). NDVI je pri poplavljenih območjih manjši od 0, pri ostalih območjih pa je pogosto večji od 0. Indeks je precej odvisen od kraja poplave, sedimentov poplavljenе vode, atmosferskih pogojev, oblačnosti in kota snemanja satelita. Zato je lahko NDVI samo v pomoč pri opazovanju poplav (Sanyal, 2004).

Oblačnost je pomembna ovira pri opazovanju poplav z optičnimi senzorji, medtem ko lahko z radarskimi senzorji opazujemo poplave tudi v slabem vremenu. Radarski senzorji delujejo v mikrovalovnem delu elektromagnetnega spektra, ki je neobčutljiv na vremenske pojave. Z radarskimi senzorji lahko opazujemo tudi ponoči. S tehnologijo umetno odprtinskega radarja (SAR, syntetic aperture radar) je danes ustvarjenih veliko satelitskih posnetkov, na posnetkih lahko dobro ločimo kopno in vodo. V že obstoječih študijah so opozorili na težave, ki so se pojavile pri opazovanju poplav, glavni problem je povezan z razmerjem med radarsko valovno dolžino in hrapavostjo terena ter vodnih površin. V normalnih razmerah se čista in mirna voda zrcalno odbije na radarski signal, zato radarske antene ne prejmejo povratnega radarskega signala. Voda je na radarskih SAR posnetkih temna, njena odbojnost je enaka nič, ker se celotno radarsko valovanje odbije v smeri proč od detektorja. Na grobih vodnih površinah pa je voda na posnetkih SAR v svetlejših tonih, v tem primeru gre za razpršeni odboj. Med poplavo je voda običajno razburkana, zato je težko določiti obseg poplave. Tudi pri poplavljenih gozdnih in naseljenih površinah se pojavi problem določevanja poplavljenih območij. Zaznavanje radarskih senzorjev je tudi odvisno od usmerjenosti grobe površine, ista površina lahko povzroči drugačen tonski zapis (na primer brazde na polju) (Sanyal, 2004). Radarski posnetki so najbolj uporabni, če jih združimo s podobami, ki so bile zajete pred poplavo, ter jih predstavimo v geografskem informacijskem sistemu.

Opazovanje poplav z daljinskim zaznavanjem je najbolj učinkovito, če uporabljamo posnetke zajete z optičnim in radarskim senzorjem. Slika 4 prikazuje satelitsko karto, ki je bila narejena ob poplavi Elbe v Nemčiji, iz satelitskih podatkov satelita IRS-P6 (LISS III). Svetlejša modra barva prikazuje poplavljen območja.



Slika 4: Satelitska karta poplavljenih območij (Elbe Flood, 2008)

### 2.3.2 Določanje pokrovnosti oziroma rabe tal

Pri določevanju poplavljenih območij nas zanima raba tal, ki je bila poškodovana. Raba tal je definirana kot namen za katerega ljudje izkoriščajo nek del zemljišča (poljedelstvo, trgovina, industrija). Gre za precej abstrakten pojem, ki ga včasih ne moremo določiti objektivno niti s podrobnim ogledom. Pokrovnost tal pomeni konkretne podatke o površju (redko pozidano, vegetacija, voda, travniki, itd.). Pokrovnost lahko neposredno opazujemo s tehnikami daljinskega zaznavanja. Klasifikacija satelitskih posnetkov predstavlja natančno in cenovno ugodno možnost določevanja pokrovnosti tal večjih površin. Evropska okoljska agencija (European Environment Agency, EEA) je pripravila program za usklajevanje informacij o okolju z imenom CORINE (COOrdination of INformation on the Environment) Land Cover, z namenom določitve in smiselne razvrstitve pokrovnosti tal in izdelave kakovostne baze podatkov. V Sloveniji smo prvič opravili interpretacijo v letih 1996 in 1997, v letu 2003 pa je bil končan projekt I&CLC2000, ki opisuje stanje iz leta 2000. Kot osnovni vir podatkov so bili uporabljeni ortorektificirani satelitski posnetki Landsat, sloj pokrovnosti pa je bil pridobljen z vizualno interpretacijo (Oštir, 2006).

Določevanje pokrovnosti tal in rabe zemljišč iz satelitskih podob olajšuje redno posodabljanje in primerjave, na primer iz rabe tal lahko določimo rabo poplavljenih območij. Rabo tal pogosto uporabljamo za (CCRS, 2004):

- upravljanje naravnih virov,
- zaščito naravnega okolja živali,
- izhodišče za GIS kartiranje,
- širjenje mestnih posegov,
- ocenjevanje škode (v primeru poplav, potresov, požarov itd.),
- davek in vrednotenje nepremičnin.

Daljinsko zaznavanje se lahko uporablja za razvrščanje vrst rabe zemljišč na velikih območjih. Pri odkrivanju sprememb in kartiranju potrebujemo za ruralna in urbana območja (CCRS, 2004):

- visoko ločljivostne podobe za pridobitev podrobnih informacij
- in multispektralne optične podatke, da lahko dobro določimo različne rabe tal.



Iz senzorjev, ki delujejo v vidnem in infrardečem delu spektra, dobimo najbolj koristne podatke za analizo rabe zemljišč. Mnoge značilnosti mestnih površin lahko odkrijemo iz radarskih posnetkov, predvsem zaradi visoke odbojnosti. Določevanje ruralnih in urbanih površin iz satelitskih posnetkov je odvisno od atmosferskih pogojev. Rabo tal pri pogosto oblačnih pogojih določamo iz radarskih posnetkov, pri jasnem vremenu pa določamo iz optičnih ali radarskih posnetkov (CCRS, 2004).

## **2.4 Program Vesolje in velike nesreče (Space and Major Disasters)**

Za učinkovito uporabo satelitske tehnologije so pomembnejše vesoljske agencije ustanovile program Vesolje in velike nesreče. Njegovi pobudniki sta bili leta 1999, po UNISPACE III konferenci na Dunaju, Evropska vesoljska agencija (European Space Agency, ESA) in francoski Centre national d'etudes Spatiales (CNES). Leta 2000 se jima je pridružila Canadian Space Agency (CSA), kasneje so se jim pridružile National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Indian Space Research Organization (ISRO), Comision Nacional de Actividades Espaciales CONAE, Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), United States Geological Survey (USGS) in China National Space Administration (CNSA). Namen programa je zagotoviti enoten sistem zbiranja in distribucije podatkov satelitskega daljinskega zaznavanja ob nesrečah z naravnim ali človeškim vzrokom. Uradno je začel delovati 1. novembra 2000. Sodelujoče organizacije brezplačno ponudijo svoje snemalne sisteme. Po aktivaciji programa pooblaščen uporabniki dobijo prve satelitske posnetke, ki jih je potrebno primerno obdelati, zato skrbi posebna strokovna oziroma lokalna organizacija (International Charter, 2008a).

V preglednici 2 so našteje članice programa in njihovi satelitski sistemi. Prek CNES in USGS so dosegljivi podatki podjetja Digital Globe (Quickbird) in GeoEye (Ikonos in OrbView) ter Tajvanske nacionalne vesoljske organizacije (Formosat – 3), (Buehler in sod., 2007).

**Preglednica 2: Članice programa in njihovi satelitski sistemi (Buehler in sod., 2007)**

ČLANICE	SATELITI
European Space Agency ESA	ERS ENVISAT PROBA
Centre national d'etudes Spatiales CNES (Francija)	SPOT
Canadian Space Agency CSA	RADARSAT
National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA (USA)	POES GOES
Indian Space Research Organization ISRO	IRS
Comision Nacional de Actividades Espaciales CONAE	SAC - C
Japan Aerospace Exploration Agency JAXA	ALOS
United States Geological Survey USGS	Landsat
China National Space Administration CNSA	Beijing - 1
National Aeronautics and Space Administration NASA (USA)	ASTER TERRA AQUA
Disaster Monitoring Constellation DMC	UK – DMC ALSAT – 1 NigeriaSat BILSAT - 1

Od začetka do danes je program opazoval že več kot sto katastrofalnih nesreč, kot so poplave, požari, plazovi, potresi, hurikani, razlitje nafte, itd. Prvo študijo, ki je bila izvedena v njegovem okviru, predstavlja opazovanje plazov v Logu pod Mangartom (Oštir, 2006). Med pomembnejša aktiviranja sodijo (International Charter, 2008d):

- Vulkanski izbruh v Demokratični Republiki Kongo v letu 2002, kjer so s pomočjo satelitskih podatkov določevali begunska taborišča.
- Razlitje nafte iz tankerja Prestige v Španiji leta 2002. S sateliti ERS, ENVISAT in RADARSAT so skoraj vsakodnevno v slabih vremenskih razmerah spremljali naftni madež.

- Leta 2004 so po uničujočem potresu in cunamiju v Južni Aziji zelo hitro naredili več kot 250 kart iz satelitskih posnetkov in drugih virov.
- Orkan Katrina je leta 2005 porušil mesto Louisiana. S pomočjo satelitskih podatkov so naredili karte, ki so bile v pomoč reševalni ekipi in ocenjevanju škode.
- Pri gozdnem požaru na Portugalskem leta 2005 in v Grčiji leta 2007 so uporabili satelitske podobe za reševanje. Za primer Portugalske so iz satelitskim podob analizirali način širitve požara.
- Obsežnejše poplave v Boliviji leta 2007: S satelitskimi podobami so ocenili obseg poškodovanih kmetijskih površin, ki so glavni dohodek za prebivalstvo.

19.09.2007 je bila sprožena aktivacija ob poplavi v Sloveniji. Slika 5 prikazuje aktivacije programa v letu 2007, ki jih je bilo 42. Modri baloni prikazujejo aktivacije ob poplavih, rdeči ob požarih, svetlo zeleni ob potresih, beli ob hurikanih in cunamijih, rjavi ob razlitju nafte, temno zeleni pa pomenijo druge nesreče. Modri balon na območju Slovenije predstavlja aktivacijo ob katastrofalni poplavi.

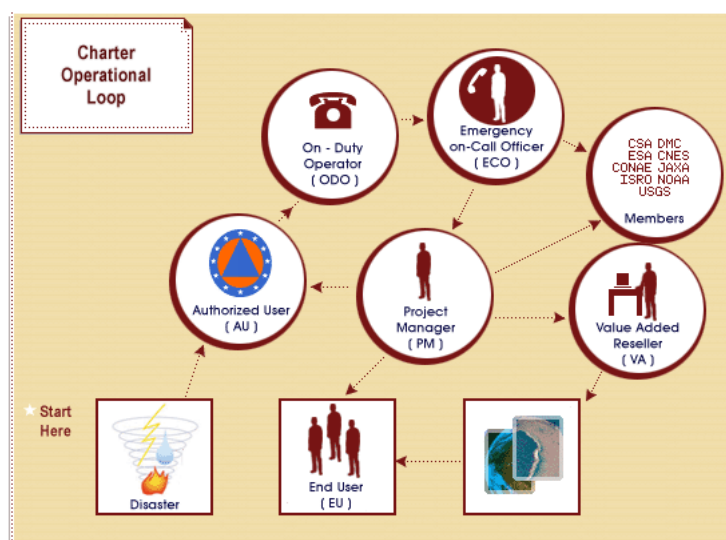


Slika 5: Aktivacije programa Vesolje in velike nesreče v letu 2007 (International Charter, 2008b)

#### 2.4.1 Postopek delovanja programa

Program deluje po vnaprej določenih postopkih. Slika 6 prikazuje zaporedje dogodkov ob aktivaciji programa. Pooblaščen uporabnik (AU) ob nesreči sproži aktivacijo programa s telefonskim klicem (ODO). Pooblaščen uporabniki imajo svojo lastno pristopno telefonsko

številko, delajo v pridruženih članicah programa in so uradni predstavniki civilne zaščite, reševalcev, obrambnih ter zaščitnih institucij države. Izjemoma lahko vodstvo organizacije dovoli pridobivanje podatkov določenim organizacijam, s katerimi se partnerji programa oziroma organizacije želijo povezati (International Charter, 2008c).



Slika 6: Postopek delovanja programa (International Charter, 2008c)

Dežurni operater (ODO) je dosegljiv 24 ur na dan in sprejema klice od pooblaščenih uporabnikov (AU), ki zaprosijo za satelitske podatke in informacije. Pooblaščeni uporabniki podajo osnovne podatke o nesreči (vrsta, lokacija, čas nastanka, obseg). Dežurni operater preveri pooblaščene uporabnike ter podatke in prenese podatke o koordinatah najkasneje v eni uri glavnemu uradniku (ECO) (International Charter, 2008c).

Glavni uradnik (ECO) je tudi dosegljiv 24 ur na dan. Obdeluje informacije prejete od dežurnega operaterja, preveri resničnost podatkov o zahtevani naravni nesreči, določi najprimernejši satelit, aktivira potrebne vesoljske agencije ter zaprosi agencije za potrebne posnetke (nove ali iz arhivov). Potem pripravi načrt postopkov in zbere vse pomembnejše informacije v krizni mapi, ki jo posreduje vodji projekta nesreče. Vesoljske agencije obvešča o statusu njihovih vesoljskih virov (International Charter, 2008c).

Članice programa naredijo načrt pridobivanja podatkov glede na zahteve uradnika za nujne primere, rešijo morebitne nesporazume, usmerijo njihove razpoložljive satelite za

pridobivanje podatkov na zeleno območje in predlagajo alternativne podatke, če je potrebno. Vsi sateliti članic ne morejo enako dobro posredovati ustreznih podatkov za vse vrste nesreč ter tudi vsi vesoljski viri niso razpoložljivi za vsakega pooblaščenega uporabnika (International Charter, 2008c).

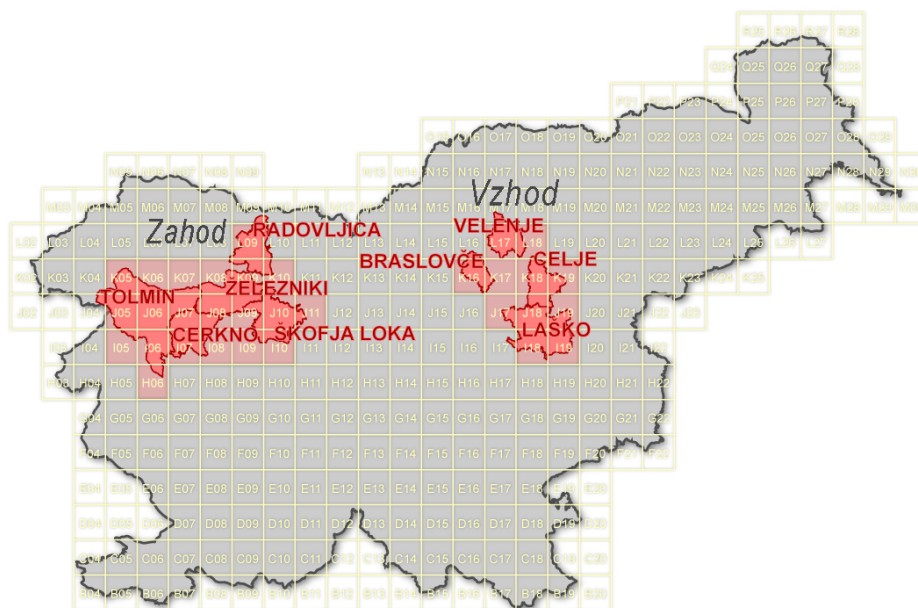
Obdelovalec podatkov (VA) primerno obdela pridobljene podatke ter jih posreduje končnemu uporabniku (EU) (International Charter, 2008c).

Vodja projekta (PM) je ob aktivaciji programa določen s strani izvršnega sekretariata in je na voljo med običajnim delovnim časom. Skrbi, da končni uporabnik dobi zelene podatke in potrjuje točnost podatkov ter jih zna interpretirati. Kadar je potrebno, usklajuje obdelane podatke in informacije s koordinatami, na koncu dopolni in arhivira krizno mapo ter poroča o nesreči izvršnemu sekretariatu programa (International Charter, 2008c).

#### 2.4.2 Aktivacija programa v Sloveniji 19.09.2007

Hudourniško deževje je 18.9.2007 zajelo severno zahodno Slovenijo (severno primorsko regijo, južno Gorenjsko regijo) in vzhodno Slovenijo (jugozahodno regijo Štajerske). Na prizadetih območjih je poplavljalno veliko rek, ki so poškodovale na stotine hiš, povzročile smrt šestih ljudi, odplavile mostove in avtomobile. Količina padavin je bila več kot 100 l / m<sup>2</sup>, ocenjujejo da so to 500-letne vode. Katastrofalna škoda je bila ugotovljena v občini Železniki, druga prizadeta območja so bila mesta Cerklje, Bohinjska Bistrica, Kropa in soteska Baška grapa. Na vzhodu pa so bila zelo prizadeta območja ob reki Paki, Bolski in ob spodnjem toku reke Savinje (Pehani in sod., 2008).

Program Vesolje in velike nesreče je bil aktiviran naslednje jutro, 19.09.2007. Uprava Republike Slovenije za civilno zaščito in reševanje je sprožila program pri dežurnemu operaterju iz argentinske CONAE. Pooblaščen uporabnik (za koordinacijo, sprejem in obdelavo) je bil Znanstveno raziskovalni center SAZU, vodja projekta Tobias Schneiderhan, DLR (Pehani in sod., 2008). Satelitska snemanja so bila osredotočena na najhujše prizadeta območja na vzhodu in zahodu Slovenije, ki jih prikazuje slika 7 (označene so najbolj prizadete občine).



Slika 7: Satelitsko posneta vzhodna in zahodna prizadeta območja (Neurje, 2008)

Prva dva tedna po aktivaciji programa so potekale intenzivne aktivnosti in komunikacija med vpletenimi stranmi. Prve arhivske podatke so pridobili 21.09.2007, tri dni po nesreči. Takrat so potekala tudi prva snemanja prizadetih območij, katerih posnetke so prejeli 25.09.2007. Posnetih in posredovanih je bilo 25 satelitskih posnetkov iz šestnajstih snemanj s satelitskimi sistemi SPOT, Envisat, Radarsat, IRS in Formosat. Sistema Envisat in Radarsat delujeta v radarskem delu elektromagnetnega spektra. Sistemi SPOT, Formosat in IRS delujejo v optičnem delu spektra, rezultat njihovega snemanja je običajno pankromatski in večspektralni posnetek. Pri satelitu Envisat je zatajila snemalna naprava, dva posnetka SPOT pa sta bila zaradi oblačnosti neuporabna. Snemanje s sistemom Ikonos je bilo odpovedano zaradi časovnega okvirja, ki je določen na eno leto. Preglednica 3 prikazuje satelitske podatke, ki so bili pridobljeni v okviru programa (Pehani in sod., 2008).

**Preglednica 3: Seznam pridobljenih satelitskih posnetkov (Pehani in sod., 2008)**

satelitski sistem	snemalni senzor, ločljivost, tip podatkov	datum snemanja	prizadeto območje	datum prejetja
SPOT	SPOT5, 2.5 pan in 10 m večspektralni	21.09.2007	zahod	24.09.2007
	SPOT5, 2.5 m večspektralni	12.03.2007	zahod	21.09.2007
	SPOT5, 5 m večspektralni	25.09.2007	vzhod	neuporaben
	SPOT5, 5 m večspektralni	26.09.2007	vzhod	neuporaben
	SPOT5, 2.5 pan in 10 m večspektralni	30.09.2007	vzhod	01.10.2007
	SPOT5, 10 m večspektralni	7.08.2005	vzhod	24.09.2007
RADARSAT	RS1, 15 m radarski	22.09.2007	zahod	24.09.2007
	RS1, 15 m radarski	26.09.2007	vzhod	26.09.2007
	RS1, 15 m radarski	19.08.2001	zahod	24.09.2007
IRS-P6	LISS – III, 5 m pan, 23.5 večspektralni ter 56 m večspektralni AWF	22.09.2007	zahod	24.09.2007
ENVISAT	ASAR, 25 m radarski	30.09.2007	zahod	1.10.2007
	ASAR, 25 m radarski	22.07.2007	zahod	20.09.2007
	ASAR, 25 m radarski	19.07.2007	vzhod	24.09.2007
FORMOSAT	F-2, 2 m pan, 8 m večspektralni	21.09.2007	zahod	25.09.2007
	F-2, 2 m pan, 8 m večspektralni	22.09.2007	zahod	25.09.2007
	F-2, 2 m pan, 8 m večspektralni	23.09.2007	zahod	25.09.2007
	F-2, 2 m pan, 8 m večspektralni	24.09.2007	zahod	25.09.2007
	F-2, 2 m pan, 8 m večspektralni	25.09.2007	zahod	25.09.2007

Posnetki Envisat in Radarsat niso bili uporabni za analizo poplavljenih območij, saj je voda v času snemanja že odtekla, opazovani relief pa je tudi manj primeren za radarsko snemanje. Posnetki Formosat imajo zelo slabo geometrično kakovost, podobe so bile že delno rektificirane, niso pa bile usklajene med seboj. Posnetki IRS so dobri za opazovanje velikih območij, imajo pa premajhno prostorsko ločljivost za opazovanje razsežnosti katastrofalne poplave na zahodu in vzhodu Slovenije. Posnetki optičnih snemalnih sistemov, zlasti posnetki SPOT, so se izkazali za najbolj ustrezne pri opazovanju poplavljenih območij. Posnetki SPOT imajo visoko prostorsko ločljivost, dobro geometrijo snemanja, odlične radiometrične

lastnosti in primerno spektralno ločljivost. Posnetki SPOT so bili zajeti tri dni po neurju za zahodno območje in 12 dni po neurju za vzhodno območje (Pehani in sod., 2008). Za potrebe diplomske naloge sem pridobila najbolj uporabne posnetke SPOT na ZRC SAZU, v nadaljevanju sledi opis njihove obdelave in interpretacije.





### 3 SATELITSKI SISTEM SPOT

#### 3.1 Sateliti SPOT

Sateliti SPOT (Systeme Pour l'Observation de la Terre) so bili zasnovani v CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) v Parizu s podporo Švedske in Belgije. Prvi satelit SPOT 1 je bil izstreljen februarja 1986. Leta 1990 so izstrelili SPOT 2 in leta 1993 SPOT 3 (Campbell, 1996). SPOT 4 je bil izstreljen 1998, maja 2002 pa je bil izstreljen SPOT 5, ki združuje veliko novih instrumentov in izboljšav glede na predhodne senzorje (Dagras in sod., 1995). Preglednica 4 prikazuje satelite SPOT in njihove spektralne pasove, valovne dolžine ter ločljivost.

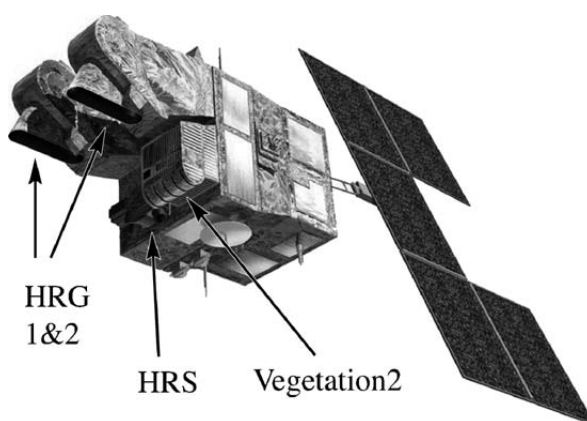
**Preglednica 4: Kanali satelitov SPOT (Dagras in sod., 1995)**

satelit	kanal: spektralni pas	valovna dolžina [ $\mu\text{m}$ ]	ločljivost [m]
SPOT 5	P: pankromatski	0.48 – 0.71 $\mu\text{m}$	5 ali 2.5
	B1: zelena	0.50 – 0.59 $\mu\text{m}$	10
	B2: rdeča	0.61 – 0.68 $\mu\text{m}$	10
	B3: bližnja IR	0.78 – 0.89 $\mu\text{m}$	10
	B4: srednja IR	1.58 – 1.75 $\mu\text{m}$	20
SPOT 4	P: pankromatski	0.61 – 0.68 $\mu\text{m}$	10
	B1: zelena	0.50 – 0.59 $\mu\text{m}$	20
	B2: rdeča	0.61 – 0.68 $\mu\text{m}$	20
	B3: bližnja IR	0.78 – 0.89 $\mu\text{m}$	20
	B4: srednja IR	1.58 – 1.75 $\mu\text{m}$	20
SPOT 1, 2, 3	P: pankromatski	0.50 – 0.73 $\mu\text{m}$	10
	B1: zelena	0.50 – 0.59 $\mu\text{m}$	20
	B2: rdeča	0.61 – 0.68 $\mu\text{m}$	20
	B3: bližnja IR	0.78 – 0.89 $\mu\text{m}$	20

Sateliti krožijo v sončno sinhronih skoraj polarnih tirnicah (naklon tirnice  $98.7^\circ$ ) okrog Zemlje. Od Zemlje so oddaljeni približno 822 km, čas ponovnega obiska je 26 dni. Ekvator prečkajo okoli pol enajstih dopoldne po krajevnem sončnem času. SPOT uporablja tehniko snemanja z vzdolžnim skenerjem, ki istočasno zajame celotno vrstico na Zemlji. Takšni senzorji nimajo vrtečega zrcala, ampak vrsto detektorjev, ki se nahajajo v goriščni razdalji sistema leč. Vsak posamezen senzor zaznava energijo točno določene resolucijske celice, zato velikost detektorjev prek njihovega polja določa prostorsko ločljivost. Vzdolžni skenerji imajo za vsak kanal poseben sistem detektorjev, ki zaznavajo energijo po vrsticah, jo nato spremenijo v električne impulze in pretvorijo v digitalno obliko. Vzdolžni senzor je sestavljen iz štirih (SPOT 1 do 3) ali petih vrstic (SPOT 4), ena vrstica ima 6000 elementov in je namenjena pankromatskemu snemanju, ostale vrstice pa imajo po 3000 elementov in snemajo večspektralne kanale. Satelit SPOT 5 ima pankromatski detektor z 12000 elementi in večspektralni po 6000 elementov. Pri tem oba senzorja opazujeta isti del površja, centri njunih pikselov pa so zamaknjeni za polovico. Z interpolacijo obeh podob dobimo podobo z večjo ločljivostjo. Sateliti SPOT 1 do 3 imajo dva multispektralna senzorja HRV (High Resolution Visible), SPOT 4 ima dva senzorja HRVIR (High Resolution Visible and Infrared), ki imata dodan kanal za bližnjo infrardečo svetlobo. SPOT 5 pa ima dva senzorja HGR (High resolution Geometry), ki imata izboljšano prostorsko ločljivost. Ker so sateliti opremljeni z dvema senzorjema, lahko snemajo posamezno ali povezano, skupaj posnamejo pas širine 117 km (3 km je prekrivanja pasov), vendar lahko zajamemo samo pankromatske ali večspektralne podatke. Satelita SPOT 4 in 5 imata še senzor za spremljanje vegetacije, ki ima ločljivost 1 km (Bouillon in sod, 2006; CCRS, 2004; Oštir, 2006).

Pri satelitih SPOT lahko s tako imenovanim stranskim gledanjem precej zmanjšamo čas ponovnega snemanja, senzorje obrnemo do  $27^\circ$  od nadirja, kar omogoča opazovanje območja kjer koli v pasu širine 950 km. S tem tudi povečamo pas snemanja, ki je pri snemanju v nadirju 60 km, v skrajnih legah pa je kar 80 km. Z obračanjem senzorjev lahko ustvarimo tudi stereoskopske pare posnetkov. Kadar snemamo isto površje iz dveh različni kotov, lahko podobe opazujemo in analiziramo v treh razsežnosti, kar je uporabno pri študijah površja, kartiranju in simulaciji terena. Z obračanjem senzorjev lahko ekvatorialne pase snemamo na tri dni, kraje na geografski širini  $45^\circ$  lahko snemamo še pogosteje (11 krat v 26 dneh) (CCRS, 2004; Oštir, 2006).

SPOT 5 je opremljen s posebnim senzorjem HRS (High Resolution Stereoscopic), ki ustvarja pare stereo podob. HRS ima dva teleskopa, eden je usmerjen  $20^\circ$  glede na nadir v smeri leta, drugi pa  $20^\circ$  v nasprotni smeri leta. Najprej posname podobo s prvimi teleskopom, čez 90 sekund pa še z drugim, tako je stereopar narejen iz podob, ki sta posneti skoraj istočasno. Kadar so v času snemanja idealni meteorološki pogoji, lahko s primerno obdelavo pridobimo natančen model višin. HRS stereopar pokriva območje velikosti 600 krat 120 km. SPOT 5 ima obsežen arhiv stereoparov in iz njih izdelanih DMV, ki pokrivajo več kot 100 milijonov kvadratnih kilometrov (Bouillon in sod.,2006; Oštir, 2006).



Slika 8: SPOT 5 in njegovi senzorji (Bouillon in sod., 2006)

Sateliti imajo sprejemne postaje po celem svetu, glavna postaja je v mestu Toulouse v Franciji. V preglednici 5 so našteje sprejemne postaje po svetu in njihove organizacije, ki so začele delovati v prejšnjem stoletju.

**Preglednica 5: SPOT sprejemne postaje (Spot Image, 2008)**

država	mesto	organizacija	začetek sprejema
Francija	Toulouse	CNES	februar 1986
Švedska	Kiruna	SSC Satellitbild AB	februar 1986
Pakistan	Islamabad	SUPARCO	junij 1989
Južna Afrika	Hartebeesthoek	CSIR	avgust 1989
Saudova Arabija	Riyad	KACST	oktober 1990
Izrael	Tel Aviv	Israel Space Agency	februar 1991
Tajvan	Chung-Li	CSRSR	julij 1993
Združene države Amerike	Eagle Vision	US Air Force	junij 1994
Singapur	Singapur	CRISP	september 1995
Kitajska	Miyun	CEODE	julij 1998

### 3.2 Podobe SPOT

Podobe SPOT lahko naročnik naroči v petih različnih stopnjah predobdelave (Technical information SPOT, 2008a):

- Level 1A: Podobe so popravljene za radiometrične popravke in so namenjene izkušenim uporabnikom, ki imajo primerno programsko opremo za nadaljnjo obdelavo.
- Level 1B: Podobe so poleg radiometričnih popravkov, popravljene še za geometrične sistematične popravke (ukrivljenost in rotacija Zemlje, distorzija). Primerne so za geometrične meritve (merjenje razdalj, kotov, površin), fotointerpretacije in tematske raziskave.
- Level 2A: Podobe so georeferencirane v standardno kartografsko projekcijo (UTM WGS 84) brez uporabe oslonilnih točk površja. Primerne so za uporabo v kombinacij z drugimi geografskimi podatki v standardni kartografski projekciji (vektorske in rastrske karte, druge satelitske podobe).
- Level 2B: Podobe so georeferencirane v želeno kartografsko projekcijo, ki je pritrjena na oslonilne točke terena. Točke so pridobljene iz kart ali pa GPS

merjenj. Podobe so popravljene za povprečno višino območja, zato jih lahko uporabljamo v primerih, kjer deformacije zaradi reliefa niso pomembne.

- Level 3: Podobe so georeferencirane v želeno kartografsko projekcijo in deformacije zaradi reliefa so popravljene z uporabo digitalnega modela višin. Primerne so za kartiranje reliefa.

Podobe so zapisane v standardnem digitalnem formatu DIMAP (Digital Image MAP), starejše so zapisane v formatu CAP (Centre d'Archivage et de Pretraitement). Format DIMAP vsebuje naslednje datoteke: GeoTIFF posnetek (imagery.tif), metapodatke (metadata.dim), ikono (ikon.jpg), predogled podobe (preview.jpg), grafično okolje za prikaz podobe v internetnem pregledovalniku (style.xsl). GeoTIFF format temelji na TIFF formatu (Tagged Image File Format), ki ga podpira večino komercialnih programov. Format GeoTIFF podpirajo vsi GIS programi. Metapodatki so v XML (eXtensible Markup Language) formatu (Technical information SPOT, 2008b).

Podobe SPOT so uporabne za opazovanje urbanih površin, pri kartiranju in pridobivanju topografskih informacij (stereoskopski posnetki SPOT). V primeru naravnih nesreč usmerijo satelite nad krizna območja, tako nastanejo posnetki, ki so v veliko pomoč pri reševanju in oceni škode. Imajo pa tudi obsežen arhiv posnetkov, saj površje snemajo že vse od leta 1986 (Oštir, 2006). Podobe so primerne za uporabo v regionalnih in lokalnih merilih od 1:100 000 do 1:10 000 (Spot Image, 2006).



## 4 OBDELAVA PODOB

Postopki obdelave so odvisni od posamezne podobe. Lahko jih razdelimo na naslednje korake (Oštir, 2006):

- **Predobdelava:** Pri predobdelavi popravimo podobe za radiometrične in geometrične popravke. Pri radiometričnih popravkih odpravimo nepravilnosti v delovanju senzorja in odstranimo atmosferske šume. Nato pretvorimo podatke v vrednosti, ki ustrezajo zaznanemu odbitemu ali oddanemu elektromagnetnemu valovanju. Z geometričnimi popravki odstranimo popačenje zaradi geometrije snemanja (satelit, Zemlja) in zaradi njenega spreminjanja (stabilnost tirnice, zasuk senzorja, vrtenje Zemlje, itd.). V predobdelavi sledi še postopek georeferenciranja podobe. Nekaj opisanih popravkov je že opravljenih v sprejemni postaji.
- **Izboljšanje:** Pri izboljšanju podob uporabimo tehniko, s katero spremenimo videz podobe in si olajšamo vizualno interpretacijo. Za vsak namen in za vsako podobo moramo poiskati svoj razpon kontrasta. Vsak primer zahteva svojo spremembo svetlosti. Izboljšanje podob lahko naredimo tudi z različnimi filtriranjmi, ki poudarijo ali prikrijejo določene prostorske vzorce na podobi.
- **Transformacije:** V tem postopku ustvarimo iz obstoječih nove informacije, katere lahko ustvarimo z aritmetičnimi operacijami, z analizo osnovnih komponent (ustvarimo manjšo število informacijsko gostejših kanalov), z barvnimi transformacijami (transformacija HSI) in s frekvenčnimi transformacijami.
- **Klasifikacija in analiza:** V tem koraku obdelave piksele prepoznamo in jih razdelimo v razrede.

Za obdelavo satelitskih podob poznamo veliko programov, najbolj pogosto uporabljeni so naslednji namenski programi (Oštir, 2006):

- Erdas Imagine,
- ENVI
- in Geomatica.

Splošni programi za obdelavo podob so naslednji (Oštir, 2006):



- ArcGIS,
- GRASS,
- IDRISI,
- MicroStation,
- GeoGraphics
- in TNTmips.

V nadaljevanju sledi teoretičen opis postopkov obdelave, ki so bili uporabljeni pri obdelavi podob SPOT. V spodnji preglednici so informacije o surovih podobah SPOT, ki so bile uporabljene.

**Preglednica 6: Uporabljeni posnetki SPOT**

tip podatkov	datum snemanja	prizadeto območje	datum prejetja	predobdelava
SPOT5, 2.5 m črnobel, 10 m barvni	21.09.2007	zahod	24.09.2007	level 1B
SPOT5, 2.5 m črnobel, 10 m barvni	30.09.2007	vzhod	01.10.2007	level 1B

#### 4.1 Geometrijski popravki

Podobe vsebujejo različne geometrijske napake, ki imajo različne vzroke. Najpogostejši vzroki so (Oštir, 2006):

- optika snemalnega sistema,
- gibanje snemalnega sistema (detektorji, optika),
- gibanje in nestabilnost platforme,
- višina, hitrost in usmerjenost (naklon) platforme,
- oblika reliefa,
- ukrivljenost in vrtenje Zemlje.

Pri letalskem snemanju najbolj vplivajo spremembe hitrosti, višine in naklona v času snemanja, medtem ko so pri satelitskem snemanju skoraj zanemarljivi. Tirnice satelitov so namreč stabilne, posebej v primerjavi z razdaljo med njimi in Zemljo. Na napake vpliva oblika površja (relief), ki povzroča paralakso in vrtenje Zemlje pod snemalnim sistemom. Zaradi tega je vsaka vrstica podobe premaknjena in podoba je zato nekoliko nagnjena (Oštir, 2006). Napake se lahko v večji meri odstrani oziroma zadovoljivo zmanjša, odpravljanje napak poteka s postopki modeliranja na podlagi podatkov in parametrov, ki jih zagotavljajo sprejemne postaje.

Geometrijske napake odpravljamo s transformacijo. Pri srednjeločljivostnih podobah lahko uporabimo preprosto transformacijo. Transformacija je lahko poljubna, najpogosteje vključuje premik, zasuk in merilo. Zadovoljive rezultate dobimo že s polinomskimi transformacijami nižjih redov (Oštir, 2006). Pri preprostih transformacijah kot je polinomska, potrebujemo za transformacijo določeno število oslonilnih točk. Za visokoločljivostne podobe pa uporabljamo zahtevnejše transformacije, kot je na primer triangulacija. Pri razgibanem reliefu je priporočljivo uporabiti postopek ortorektifikacije za zmanjšanje geometričnih napak.

#### 4.1.1 Ortorektifikacija

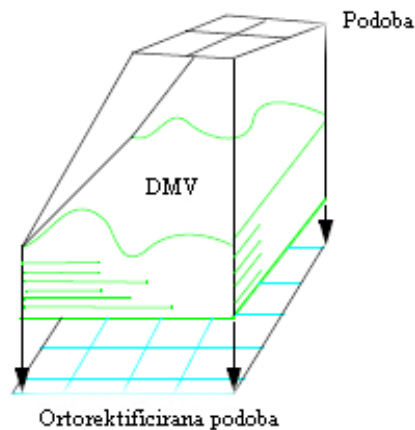
Z ortorektifikacijo pretvorimo posneto podobo v ortogonalno projekcijo. Ortorektificirana podoba predstavlja realno podobo površja Zemlje. Za ortorektifikacijo posnetkov potrebujemo digitalni model višin (DMV) in rezultate triangulacije ali pa racionalne polinomske koeficiente (rational polynomial coefficients, RPC). Ti koeficienti so podani v metapodatkih posnetka in vsebujejo podatke o notranji in zunanji orientaciji podobe. Nekateri ponudniki satelitskih posnetkov ne podajajo RPC v metapodatkih, na primer EROS-A, EROS-B (Erdas Field Guide, 2008).

Ortorektifikacija je postopek odstranitve geometričnih napak posnetka. S postopkom ortirektifikacije zmanjšamo naslednje geometrične napake (Erdas Field Guide, 2008):

- orientacijo senzorja,
- sistematčne napake senzorja,
- premik reliefa

- in ukrivljenost Zemlje.

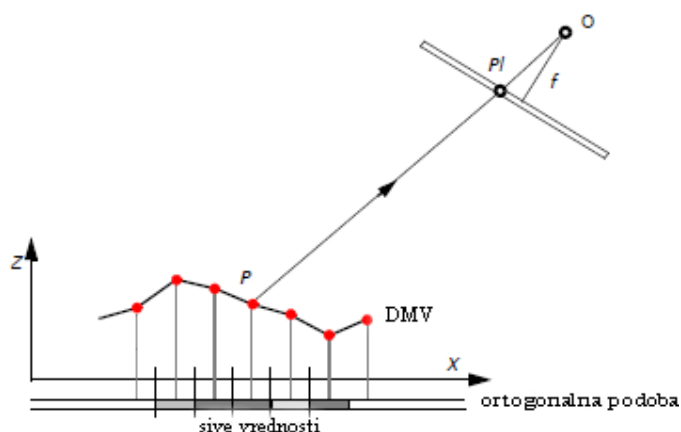
S triangulacijo bloka dobimo parametre orientacije sensorja. Z izravnavo triangulacije po metodi najmanjših kvadratov, zmanjšamo napake, ki so povezane z nestabilnostjo sensorja. Vpliv ukrivljenosti Zemlje se odpravi v triangulaciji, premik reliefa pa zmanjšamo z digitalnim modelom višin. S postopkom ortorektifikacije ustvarimo ortorektificirano podobo z uporabo digitalnega modela višin in rezultatov triangulacije. Vsak piksel ortorektificirane podobe je geometrijsko zanesljiv, torej morajo meritve na podobi ustrezati meritvam na zemeljski površini. Slika 9 prikazuje ortorektificirano podobo, vsaka točka na podobi je prikazana, kot da jo gledamo pravokotno na podobo (Erdas Field Guide, 2008).



**Slika 9: Ortorektificirana podoba (Erdas Field Guide, 2008)**

Presek premice z digitalnim modelom višin določi koordinate točk na površju Zemlje (koordinate X, Y, Z), hkrati tej informaciji pripišemo še barvo iz podobe. To naredimo za vsak slikovni element in rezultate zapisujemo v novo digitalno podobo. S postopkom prevzorčenja izračunamo nove vrednosti pikselov z upoštevanjem starih vrednosti. Vrednosti matrike nove podobe dobimo tako, da na izvorni podobi poiščemo njegov položaj in izračunamo intenziteto. Slika 10 prikazuje iskanje sivih vrednosti. Središča novih pikselov ne ustrezajo središčem izvornih pikselov, zato uporabljamo različne metode prevzorčenja, od katerih so najpogostejše (Oštir, 2006):

- metoda najbližjega sosedu,
- bilinearna interpolacija
- in kubična konvolucija.



Slika 10: Iskanje sivih vrednosti (Erdas Field Guide, 2008)

P... točka na površini Zemlje

$P_i$ ... točka na posnetku

O ... perspektivni center

X, Z ... terenske koordinate

f ... goriščna razdalja

Z metodo najbližjih sosedov določimo izhodno vrednost piksla z najbližjega vhodnega piksla. Bilinearna interpolacija upošteva uteženo povprečje štirih najbližjih sosedov, prvotne vrednosti pikslov s povprečenjem spremenimo in nova podoba ima drugačne vrednosti. Bilinearna interpolacija je prostorsko natančnejša od metode najbližjih sosedov, tematsko pa je manj natančna. Zato včasih izvedemo klasifikacijo pred prevzorčenjem podobe, medtem ko je metoda najbližjih sosedov primerna za prevzorčenje pred klasifikacijo. Pri bilinearni interpolaciji so tudi v prvotni podobi vrednosti pikslov povprečja znotraj ločljivostnih celic, ki zajame okolico opazovanega območja, zato ne naredimo velike napake. Pri metodi najbližjega sosedu so pretvorjene podobe videti nazobčane in zato niso najprimernejše za vizualno interpretacijo (CCRS, 2004).

#### 4.1.2 Ortorektifikacija podob SPOT

Posnetki SPOT so bili ortorektificirani z uporabo metapodatkov posnetka in digitalnega modela reliefa Slovenije, z ločljivostjo 12.5 m. Metapodatki vsebujejo parametre za izračun racionalnih polinomskih koeficientov (RCP). Z uporabo 15 enakomerno porazdeljenih

oslonilnih točk so izboljšali natančnost ortorektifikacije. Pri prevzorčenju je bila uporabljena bilinearna interpolacija (Pehani, 2008).

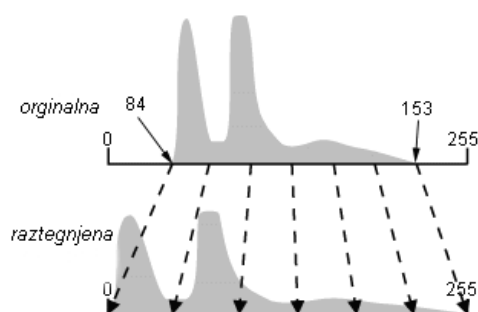
## 4.2 Izboljšanje podob

Z vizualno analizo in interpretacijo lahko hitro pridobimo osnovne informacije o zemeljskem površju. Senzorji na satelitih morajo poznati zelo širok razpon energij, saj imajo gozdovi, puščava, ledeniki, voda in podobno, zelo različne spektralne odzive, zato je nemogoče najti samo eno radiometrično korekcijo. Digitalne podobe omogočajo spreminjanje videza, zato lahko ustvarjamo prikaze, ki so prilagojeni določenemu namenu in posameznemu interpretatorju. Podatki v surovih podobah praviloma zasedejo le majhen del celotnega razpona vrednosti. Z izboljšanjem kontrasta spreminjamo prvotne vrednosti z uporabo širšega dela razpoložljivih vrednosti, s tem spremenimo razliko med predmeti in njihovim ozadjem (Oštir, 2006; CCRS, 2004).

Naslednja funkcija digitalne obdelave je prostorsko filtriranje, s katerim lahko izboljšamo videz podob. Filtri na podobi izberejo in poudarijo ploskve s hitrim ali počasnim spreminjanjem vrednosti. Filtriranje upošteva prostorske razsežnosti podatkov in različna merila na podobah. S filtriranjem lahko odstranimo šum na satelitskih posnetkih ali pa poudarimo mejo med homogenimi območij in tako poudarimo njihovo prepoznavnost. Pri filtriranju opazujemo spremembe v intenziteti, opravka imamo s prostorsko frekvenco, ki je določena s številom sprememb na enoti razdalje v izbrani smeri. Pri visoki frekvenci se hitro spreminjajo toni, medtem ko se pri nizki frekvenci počasi spreminjajo. Podrobnosti z visoko frekvenco dopolnjujejo podrobnosti z nizko frekvenco. Matematični postopek Fourierjave analize razdeli podatke na različne frekvence, s postopkom posnetek razdelimo na posamezne komponente in odstranimo ali zanemarimo posamezne skupine. Pri tem uporabljamo algoritme, ki jih imenujemo filtri. Visokoprepustni filtri prepuščajo visoke frekvence ter tako poudarijo podrobnosti. Nizkoprepustni filtri prepustijo nizke frekvence in podobo zgladijo (Oštir, 2006; CCRS, 2004).

#### 4.2.1 Izboljšanje kontrasta

Z izboljšanjem kontrasta povečamo nasprotje med zaznanimi objekti. Histogram je grafični prikaz svetlih vrednosti (0-255 v primeru osem bitnih podatkov) podobe, ki so prikazane vzdolž abscisne osi na histogramu in je pomemben za razumevanje kontrasta podobe. Frekvenca pojavljanja vsake od teh vrednosti je prikazana na ordinatni osi. S spreminjanjem razpona vrednosti lahko izboljšamo kontrast podobe, obstaja kar nekaj tehnik in metod za izboljšanje kontrasta, na primer linearni razteg kontrasta, uravnoteženje histograma in Gaussov razteg histograma (Oštir, 2006; CCRS, 2004).



Slika 11: Izboljšanje kontrasta (CCRS, 2004)

#### Linearni razteg histograma

Linearni razteg histograma je najpreprostejša tehnika izboljšanja podobe. V histogramu podobe poiščemo najmanjšo in največjo vrednost svetlosti ter nato histogram raztegnemo s transformacijo, ki zapolni celotno območje radiometrične vrednosti. Pri osembitnih podobah je to od 0 do 255 (Oštir, 2006).

Novo vrednost izračunamo z enačbo (Oštir, 2006):

$$I_{\text{razteg}} = R_{\text{maks}} \frac{I - I_{\text{min}}}{I_{\text{maks}} - I_{\text{min}}}, \quad (4.1)$$

kjer so:

$I$  ... prvotna vrednost piksla

$I_{\text{min}}$  ... minimalna vrednost svetlosti

$I_{maks}$  ... maksimalna vrednost svetlosti

$R_{maks}$  ... največja radiometrična vrednost

Po raztegu histograma ostanejo nekatere vrednosti nezasedene. Linearni razteg histograma upošteva samo najmanjšo in največjo vrednost na podobi, zato je boljše uporabiti linearni razteg z nasičenjem, kjer odrežemo želene minimalne in maksimalne vrednosti histograma. Odrezali naj bi simetrično minimalne in maksimalne vrednosti, in sicer od 1% do 10% (Oštir, 2006).

Linearni razteg z nasičenjem izračunamo (Oštir, 2006):

$$I_{razteg\_nas} = \begin{cases} 0 & : I \leq I_{nas\_min} \\ R_{maks} \frac{I - I_{nas\_min}}{I_{nas\_maks} - I_{nas\_min}} & : I_{nas\_min} < I < I_{s\_maks}, \\ R_{maks} & : I \geq I_{s\_maks}, \end{cases} \quad (4.2)$$

kjer so:

$I_{nas\_min}$  ... minimalna vrednost nasičene svetlosti

$I_{nas\_maks}$  ... maksimalna vrednost nasičene svetlosti

$R_{maks}$  ... največja radiometrična vrednost

Histogram je velikokrat primerno izboljšati samo v omejenem delu. Z linearnim raztegom histograma izboljšamo kontrast in ohranimo razmerje med vrednostmi, s tem si izboljšamo jasnost podobe in jo lažje interpretiramo.

#### 4.2.2 Izboljšanje podob SPOT

Pri podobah SPOT je bil izboljššan kontrast pankromatskega in večspektralnega posnetka. Pri pankromatskem so povečali kontrast in hkrati zmanjšali svetlost, kar je omogočilo dobro vizualno ločitev med pozidanimi in drugimi zemljišči. Pri večspektralnem posnetku so vzeli kombinacijo kanalov 4, 1 in 3, ker so bila pozidana in poplavljen območja jasno ločena od ostalih. Poplavljen območja so na teh kombinacijah kanalov v temnejši vijolični barvi,

medtem ko so pozidana območja v svetlejši vijolični barvi. Z metodo linearnega raztega histograma z nasičenjem so z oženjem izhodnih barvnih variacij dobili le poplavljen območja. Potem so prekrili posnetka, na katerih so izstopala poplavljen območja. Ta izstopajo kot vijolična barva na neenakomernem sivem ozadju. Problem metode so urbani elementi, njive in oblaki (Pehani in sod., 2008).

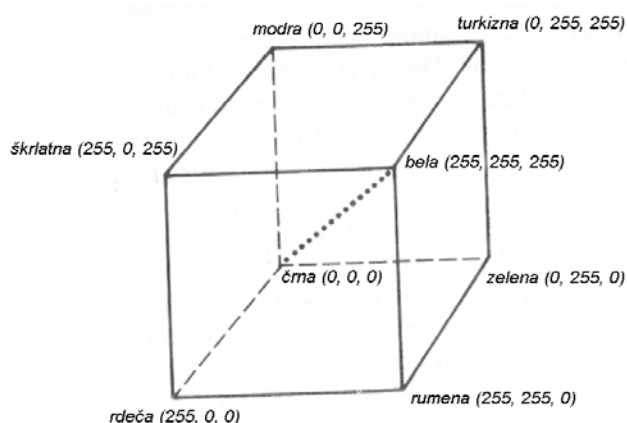
### 4.3 Transformacija podob

Pri transformaciji iz obstoječih podatkov ustvarimo nove podobe. Iz prvotnih podob ustvarimo podobe, na katerih poudarimo določene informacije. Transformacijo podob lahko izvedemo s preprostimi aritmetičnimi operacijami, z vegetacijskim indeksom, z analizo osnovnih komponent, s Kauth-Thomasovo transformacijo, z barvnimi transformacijami in s frekvenčnimi transformacijami (Oštir, 2006). V nadaljevanju sledi opis barvne transformacije RGB (rdeča, zelena, modra) v HSI (barva, nasičenost, intenziteta). Barvna modela RGB in HSI sta najpomembnejša načina predstavljanja barv v računalniški grafiki.

#### Barvni model RGB

Poljubno barvo pridobivamo z dodajanjem osnovnih barv: rdeča, zelena, modra. Slika 12 prikazuje kocko, kjer je izhodišče kocke črna barva. Osnovne barve predstavljajo druge osi. Maksimalne vrednosti rdeče, zelene in modre barve predstavljajo belo barvo. Pri najpogostejših uporabljenih osembitnih podobah je razpon vrednosti med 0 in 255. Barvni televizorji in na njih temelječi računalniški ekrani imajo RGB barvni model (Mather, 1999).

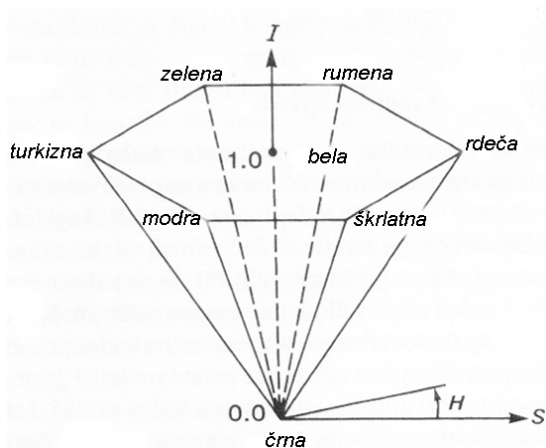




Slika 12: RGB model (Mather, 1999)

### Barvni model HSI

Model HSI, barva, nasičenost in intenziteta (hue, saturation, intensity), je človeški predstavi bližje kot model RGB. Barvi ustreza valovna dolžina svetlobe, ki jo vidimo, intenziteta predstavlja svetlost barve, nasičenost pa določa stopnjo čistosti barve (100 odstotno je nasičena čista barva). Slika 13 prikazuje model HSI, ki ga predstavlja dvojni stožec. Osnovne barve so postavljene v oglišče šestkotnika. Barvi ustreza kot na vrhni ploskvi, razpon vrednosti med  $0^\circ$  in  $360^\circ$  (rdeča  $0^\circ$ , zelena  $120^\circ$ , modra  $240^\circ$ ). Intenziteta je podana z osjo, ki je pravokotna na barvo, nasičenost pa predstavlja oddaljenost od intenzitetne osi. Intenziteta in nasičenost imata vrednosti od 0 do 1. Najbolj nasičene in intenzivne barve ležijo na stranicah barvnega dvojnega stožca. Črne in sive barve ležijo v koordinatnem izhodišču in vzdolž intenzitete, nimajo barve, njihova nasičenost pa je enaka 0 (Mather, 1999).



Slika 13: HSI barvni model (Mather, 1999)

### 4.3.1 Transformacija HSI in RGB

Transformacija je zelo uporabna pri operacijah izboljšanja podob. V barvnem prostoru HSI lahko opravljamo določene operacije, na primer razteg histograma na komponenti intenzitete. Po transformaciji prostora HSI v RGB dobimo povečan kontrast v vseh kanalih. Transformacija je tudi uporabna v primeru združevanja večspektralnih in pankromatskih podob. Sodobni senzorji zajemajo večspektralne podobe z manjšo ločljivostjo kot pankromatske, zato pretvorimo večspektralne podobe v HSI barvni prostor. Intenziteto zamenjamo s pankromatsko podobo in opravimo obratno transformacijo. Transformirana podoba ima dobre spektralne lastnosti in visoko prostorsko ločljivost. Transformacija je zelo uporabna tudi v primeru združevanja radarskih in optičnih satelitskih podob (zamenjamo intenziteto in barvo z radarsko podobo) ter pri združevanju podob različnih senzorjev (na primer večspektralne podobe Landsat združimo s SPOT pankromatskimi podobami) (Erdas Field Guide, 2008; Oštir, 2006).

#### Transformacija HSI (Erdas Field Guide, 2008; Oštir, 2006)

Med prostorom RGB in HSI ustvarimo iz kartezičnega koordinatnega sistema s pravokotnimi barvami prostor, ki ga določa dvojni stožec. Transformacija poteka v več korakih.

Najprej vrednosti za rdečo (r), zeleno (g) in modro (b) pretvorimo na razpon med 0 in 1:

$$R = \frac{M - r}{M - m}, \quad (4.3)$$

$$G = \frac{M - g}{M - m}, \quad (4.4)$$

$$B = \frac{M - b}{M - m}. \quad (4.5)$$

R, G, B so vrednosti v obsegu od 0 do 1. M je največja in m najmanjša vrednost za omenjene barve. Intenziteto izračunamo z enačbo:

$$I = \frac{M + m}{2} . \quad (4.6)$$

Nasičenost izračunamo:

$$S = \begin{cases} 0 & : M = m \\ \frac{M - m}{M + m} & : I \leq 0,5 \\ \frac{M - m}{2 - M - m} & : I > 0,5 \end{cases} . \quad (4.7)$$

Barva obsega vrednosti od  $0^\circ$  do  $360^\circ$ , izračunamo jo:

$$H = \begin{cases} 0 & : M = m \\ 60(2 + b + g) : R = M \\ 60(4 + r - b) : G = M \\ 60(6 + g - r) : B = M \end{cases} . \quad (4.8)$$

### Transformacija RGB (Erdas Field Guide, 2008)

Najprej izračunamo  $M$  največjo in  $m$  najmanjšo vrednost za omenjene barve, z naslednjimi enačbami:

$$M = \begin{cases} I(1 + S) & : I \leq 0,5 \\ I + S - I(S) & : I > 0,5 \end{cases} , \quad (4.9)$$

$$m = 2 \cdot 1 - M . \quad (4.10)$$

Nato sledi izračun  $R$ ,  $G$  in  $B$  v razponu vrednosti med 0 in 1:

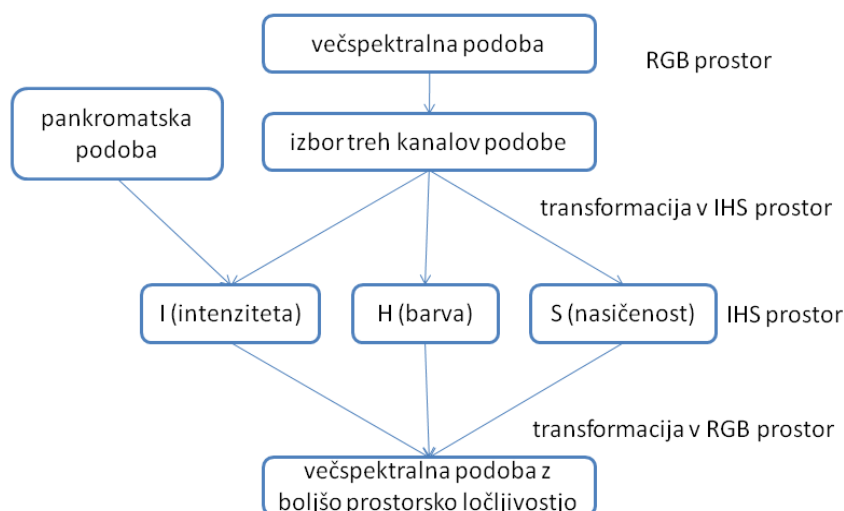
$$R = \begin{cases} m + (M - m) \cdot \left(\frac{H}{60}\right) & : H < 60 \\ M & : 60 \leq H < 180 \\ R = m + (M - m) \cdot \left(\frac{240 - H}{60}\right) & : 180 \leq H < 240 \\ m & : 240 \leq H < 360 \end{cases} , \quad (4.11)$$

$$G = \begin{cases} m & : H < 120 \\ m + (M - m) \cdot \left(\frac{H - 120}{60}\right) & : 120 \leq H < 180 \\ M & : 180 \leq H < 300 \\ m + (M - m) \cdot \left(\frac{360 - H}{60}\right) & : 300 \leq H < 360 \end{cases} \quad (4.12)$$

$$B = \begin{cases} M & : H < 60 \\ m + (M - m) \cdot \left(\frac{120 - H}{60}\right) & : 60 \leq H < 120 \\ m & : 120 \leq H < 240 \\ m + (M - m) \cdot \left(\frac{H - 240}{60}\right) & : 240 \leq H < 300 \\ M & : 300 \leq H < 360 \end{cases} \quad (4.13)$$

### Ostrenje barvnega posnetka s pankromatskim

Z ostrenjem barvnega posnetka s pankromatskim združimo večspektralno podobo s srednjo prostorsko ločljivostjo s pankromatsko podobo z visoko prostorsko ločljivostjo. Podobi morata predstavljati isto območje in imeti isti koordinatni sistem. Podobo preoblikujemo v HSI prostor, kjer zamenjamo intenziteto s pankromatsko podobo, nato jo transformiramo nazaj v RGB prostor. Rezultat transformacije je večspektralna podoba z visoko prostorsko ločljivostjo. Transformacijo lahko izvedemo v več iteracijah (Erdas Field Guide, 2008). Slika 14 prikazuje diagram poteka ostrenja barvnega posnetka s pankromatskim.



Slika 14: Shema poteka ostrenja barvnega posnetka s pankromatskim (Švab, 2003)

#### 4.3.1.1 Izostritev posnetkov SPOT

Podobi SPOT sta bili izostreni z modificirano HSI metodo, ki je nadgradnja HSI metode in omogoča iterativno izvajanje osnovne HSI spojitve ter tako odpravlja omejitve na tri kanale. Potrebni sta bili dve iteraciji, prva je združila prve tri in druga zadnje tri kanale. Sledilo je prevzorčenje z bilinearno interpolacijo (Pehani, 2008).

#### 4.3.2 Normiran diferencialni vegetacijski indeks NDVI

NDVI (normalized difference vegetation index) je eden najbolj razširjenih indeksov za opazovanje vegetacije. Razvit je bil za opazovanje vegetacije na večjih območjih, predvsem s podatki senzorja AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), ki se nahajajo na satelitih skupine NOAA. Zdrava vegetacija močno odbija svetlobo v bližnjem infrardečem delu elektromagnetnega spektra in močno absorbira rdečo svetlobo, medtem ko imajo druge površine (na primer voda, gola prst) skoraj enako odbojnost v omenjenih kanalih. Indeks predstavlja razmerje med razliko infrardečega in rdečega kanala in njuno vsoto:

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}. \quad (4.14)$$

Indeks zavzame vrednosti med -1 in +1, višja vrednost pomeni bolj intenzivno vegetacijo. Zelena vegetacija ima zato višjo vrednost kot gola tla, ki imajo vrednost okoli 0. Oblaki,

vodne površine in sneg odbijajo več energije vidnega dela spektra kot infrardečega, zato imajo negativne vrednosti (Oštir, 2006; Erdas Field Guide, 2008).

#### 4.4 **Klasifikacija in analiza podob**

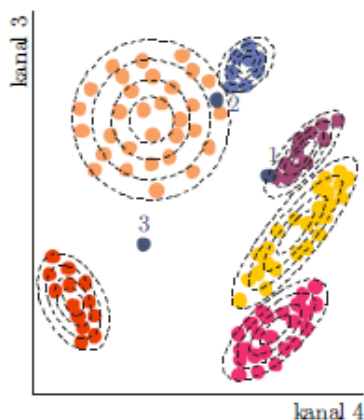
Klasifikacija podob je pomemben postopek pri obdelavi daljinsko zaznanih podob. Iz rastrskih podob dobimo kvantitativni sloj, ki ga lahko uporabimo v analizah s sistemi GIS. Pri klasifikaciji daljinsko zaznanih podob gre za prepoznavanje predmetov na zemeljski površini. Pri vizualni in digitalni obdelavi piksle na podobah razdelimo v razrede ali skupine, pri vizualni interpretaciji operater določa razrede zaključenih skupin pikslov, medtem ko digitalna klasifikacija določi razrede z upoštevanjem spektralnih informacij. Digitalno klasifikacijo imenujemo tudi spektralno prepoznavanje vzorcev. Klasifikacija posnetkov omogoča tako imenovani spektralni podpis ali spektralni odziv, to je značilen način oboja elektromagnetnega valovanja v odvisnosti od valovne dolžine. Pri klasifikaciji imamo na voljo množico diskretnih vrednosti, ki predstavljajo odboje v različnih kanalih uporabljenega senzorja, torej nimamo na razpolago celotnega spektralnega podpisa. S pravilno izbiro kombinacije kanalov lahko uspešno opravimo želeno klasifikacijo, saj različni kanali senzorjev podajajo posamezne značilnosti predmeta. Pred samim postopkom klasifikacije je zelo pomembna tudi predobdelava posnetkov (Oštir, 2006).

Ločimo informacijske in spektralne razrede. Pri slednjih so to skupine podobnih pikslov glede na njihove sive vrednosti v posameznih kanalih. Pri informacijskih razredih govorimo o kategorijah, ki jih na podobah prepoznavamo, na primer vrste poljščin, vrste gozdov in podobno. Namen klasifikacije je iskanje povezave med informacijskimi in spektralnimi razredi. En spektralni razred običajno ne moremo povezati z enim informacijskim razredom, obstajajo namreč spektralni razredi, ki ne ustrezajo nobenemu informacijskemu razredu. Druga pogosta možnost pa je, da širokemu informacijskemu razredu pripada večje število spektralnih razredov (Oštir, 2006). Primer so poplavljen območja, kjer lahko ločimo spektralne razrede po rabi tal ter tudi po osvetljenosti.

Glede na metodo dela ločimo nadzorovano in nenadzorovano klasifikacijo, glavna razlika med metodama je v načinu ustvarjanja spektralnih podpisov. Pri nadzorovani klasifikaciji najprej določimo manjša območja in jim določimo tip rabe tal, nato računalniški program iz njih izračuna spektralne podpise. Nenadzorovana klasifikacija je avtomatizirana, z upoštevanjem številčnih vrednosti podatkov računalniški program določi spektralne razrede, ki jim kasneje priredimo informacijske razrede. Računalniški program določi spektralne razrede z matematičnim združenjem v n-razsežnem spektralnem prostoru. Pri nenadzorovani klasifikaciji je zelo pogosto uporabljen matematični algoritem ISODATA (iterative self-organizing data analysis technique), ki se uporablja v večini sistemov za obdelavo podob. Nenadzorovana klasifikacija je uporabna le takrat, kadar je mogoče posamezne razrede ustrezno razlagati (Oštir, 2006; Erdas Field Guide, 2008).

#### 4.4.1 Nadzorovana klasifikacija

Pri nadzorovani klasifikaciji najprej označimo posamezne spektralne vzorce, nato računalniški program na podlagi teh vzorcev naredi klasifikacijo. Najprej določimo informacijske razrede, iz katerih program za obdelavo posnetkov določi ustrezne spektralne razrede, ki so podani s spektralnimi podpisi. Določanje vzorcev poteka interaktivno, saj kakovost informacijskih razredov sproti preverjamo in jih po potrebi izboljšamo, dopolnjujemo, premikamo ali zamenjujemo. Za vsak razred je potrebno izbrati homogene in dovolj velike učne vzorce, ki jih običajno določamo glede na poznavanje površja, pa tudi s pomočjo primerjave topografskih in različnih tematskih kart. Pri klasifikaciji vsak piksel na podobi primerjamo s poznanimi podpisi v vseh kanalih, pri tem uporabljamo več različnih primerjalnih oziroma klasifikacijskih algoritmov: metoda najmanjše razdalje, paralelepipedno metodo, metoda največje verjetnosti. Pri metodi največje verjetnosti upoštevamo pri razvrščanju pikselov tako povprečje razredov kot tudi variance in korelacije med njimi. Pikseli so v spektralnem prostoru razporejeni normalno. V spektralnem prostoru se ustvarijo ploskve enake verjetnosti. Klasifikacija je bolj točna od metode najmanjših kvadratov in paralelepipedne metode ter je računalniško mnogo bolj zahtevna. Posamezen vzorec opisujejo spektralni podpisi, ki so značilni za izbran vzorec. Vsak spektralni podpis uporabimo kot pravilo za razvrščanje pikselov podobe v razred (Oštir, 2006; Erdas Field Guide, 2008). Slika 15 prikazuje metodo največje verjetnosti.



Slika 15: Metoda največje verjetnosti (Oštir, 2006)

#### 4.4.1.1 Ovrednotenje klasifikacije

Po končani klasifikaciji nas zanima tudi natančnost klasifikacije. Pri ovrednotenju porazdelimo po celotnem posnetku večje število testnih pikselov, ki jim določimo vrsto rabe tal s terenskim ogledom ali pa z opazovanjem podob manjšega merila. Vrednosti v znanih področjih primerjamo z rezultati klasifikacije in izračunamo odstotek prekrivanja. Največkrat ugotovimo napačno klasificirane razrede z analizo kakovosti razredov. Najpogostejši prikaz natančnosti klasifikacije je klasifikacijska matrika napak, ki poda kakovost postopka klasifikacije, primerja rezultate klasifikacije z referenčnimi podatki in za vsak razred podaja število pravilno in napačno klasificiranih pikselov. Matrika napak nam omogoča izračun več statističnih pokazateljev natančnosti in odkrivanje razredov, kjer je mešanje pikselov najbolj težavno (Oštir, 2006; Janža, 2006).

Pri analizi natančnosti ločimo (Oštir, 2006; Janža, 2006):

- Izdelovalčevo natančnost: Namenjena je analitiku, ki je izdelal klasifikacijo in jo izračunamo kot delež pravilno klasificiranih referenčnih točk.
- Uporabnikovo natančnost: Služi kot vodnik za zanesljivost rezultata kot sredstvo za napovedovanje. Podana je kot delež pravilno klasificiranih točk glede na celotno število točk v posamezni kategoriji.
- Skupna natančnost: Podaja odstotek vseh pravilno klasificiranih celic.



S kappa statistiko merimo preučevano in naključno klasifikacijo. Zavzame vrednost od 0 in 1, vrednost 0 pomeni, da z uporabljenimi klasifikacijami nismo dosegli boljših rezultatov, kot bi jih z naključno, medtem ko vrednost 1 pomeni, da je klasifikacija brez napake. Na primer vrednost 0,5 pomeni, da je uporabljena klasifikacija za 50 % boljša od naključne kot (Janža, 2006).

Kappa statistika je definirana kot (Janža, 2006):

$$\kappa = \frac{\text{klasifikac.nat.} - \text{naklj.nat.}}{1 - \text{naklj.nat.}}, \quad (4.15)$$

izračunamo jo z izrazom:

$$\kappa = \frac{N \sum_{n=1}^r x_{nn} - \sum_{n=1}^r (x_{n+} \cdot x_{+n})}{N^2 - \sum_{n=1}^r (x_{n+} \cdot x_{+n})}, \quad (4.16)$$

kjer so:

$r$  ... število vrstic v klasifikacijski matriki napak

$x_{nn}$  ... število pravilno klasificiranih celic (diagonalne vrednosti)

$x_{n+}$  ... vsota vrednosti n-te vrstice

$x_{+n}$  ... vsota vrednosti n-tega stolpca

$N$  ... število vseh celic v matriki

#### 4.4.1.2 Filtriranje rezultatov klasifikacije

Kriterij uvrstitve piksla v določen razred je praviloma opravljen na vsakem pikslu posamezno. Če se pojavijo posamezni piksli določenega razreda znotraj drugega bolj homogenega razreda, uporabimo konvolucijsko filtriranje rezultatov klasifikacije, ki je najpogostejši način izvedbe filtriranja v prostorski domeni. Pri tem najprej definiramo matriko z utežnimi faktorji, večinoma je sestavljena iz lihega števila celic (na primer  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ ,  $7 \times 7$ ). Nato premikamo matriko z utežnimi faktorji po celem območju podobe, od piksla do piksla vzdolž stolpcev in vrstic ter izračune ponovimo za vse piksle podobe. Rezultati se zapišejo v centralni piksel izhodne podobe, ki jo ustvarimo s filtriranjem (Janža, 2006; Oštir, 2006).

Postopek konvolucijskega filtra lahko zapišemo kot (Oštir, 2006):

$$IF_{i,j} = \sum_{k=-a}^a \sum_{l=-b}^b F_{k,l} I_{i+k,j+l}, \quad (4.17)$$

kjer je:

I ... intenziteta vhodne podobe

IF ... intenziteta izhodne podobe

F ... filtrirna matrika

i,j ... predstavljata slikovne koordinate

k,l ... sta položaja znotraj filtra

a in b ... določata velikost filtra

Rezultat konvolucije je odvisen od velikosti matrike. Izbira filtra je poljubna in odvisna od objektov, ki jih želimo poudariti ali zmanjšati (Janža, 2006). Kadar želimo pri klasifikaciji posamezne piksele določenega razreda uvrstiti v sosednji homogen razred, lahko uporabimo filter mediana. Mediana je v statistiki določena kot vrednost, ki v porazdelitvi loči zgornjo in spodnjo polovico. Mediano poiščemo tako, da skupino uredimo od najmanjše do največje in izberemo srednjo vrednost. Mediana na podobi odstrani posamezne ekstremne piksele ter hkrati dobro ohrani robove, filter pa je računsko zahteven, saj mora najprej razvrstiti in nato poiskati njihovo sredino (Oštir, 2006).

## 4.5 Vizualna interpretacija podob

Pri vizualni interpretaciji podob daljinskega zaznavanja prepoznavamo različne predmete, ki so lahko umetni ali naravni ter so točkovni, linijski ali ploskovni. Vizualna interpretacija daljinsko zaznanih podob je bolj zapletena kot vsakodnevno opazovanje okolice, saj podobe opazujemo v drugačni perspektivi. Pri opazovanju dvorazsežnih podob izgubimo občutek globine, ker je naše oko občutljivo samo na svetlobo vidnega dela spektra. Opazovanje odboja v valovnih dolžinah zunaj tega dela je za človeka težko in pogosto nerazumljivo, vendar se zaradi izredne sposobnosti možganov, vizualne interpretacije podob hitro naučimo in jo izvajamo zelo učinkovito. Prepoznavanje predmetov je pomembno za interpretacijo in pridobivanje novih informacij. Z osnovnimi elementi vizualne interpretacije opazujemo in

primerjamo predmete in okolico. Osnovne elemente opazujemo v vsakdanjem življenju, zavedno ali nezavedno (Oštir, 2006; CCRS, 2004).

Pri nadzorovani klasifikaciji sem določila spektralne vzorce z vizualno interpretacijo. Osnovni elementi vizualne interpretacije so (Oštir, 2006; CCRS, 2004; Campbell, 1999):

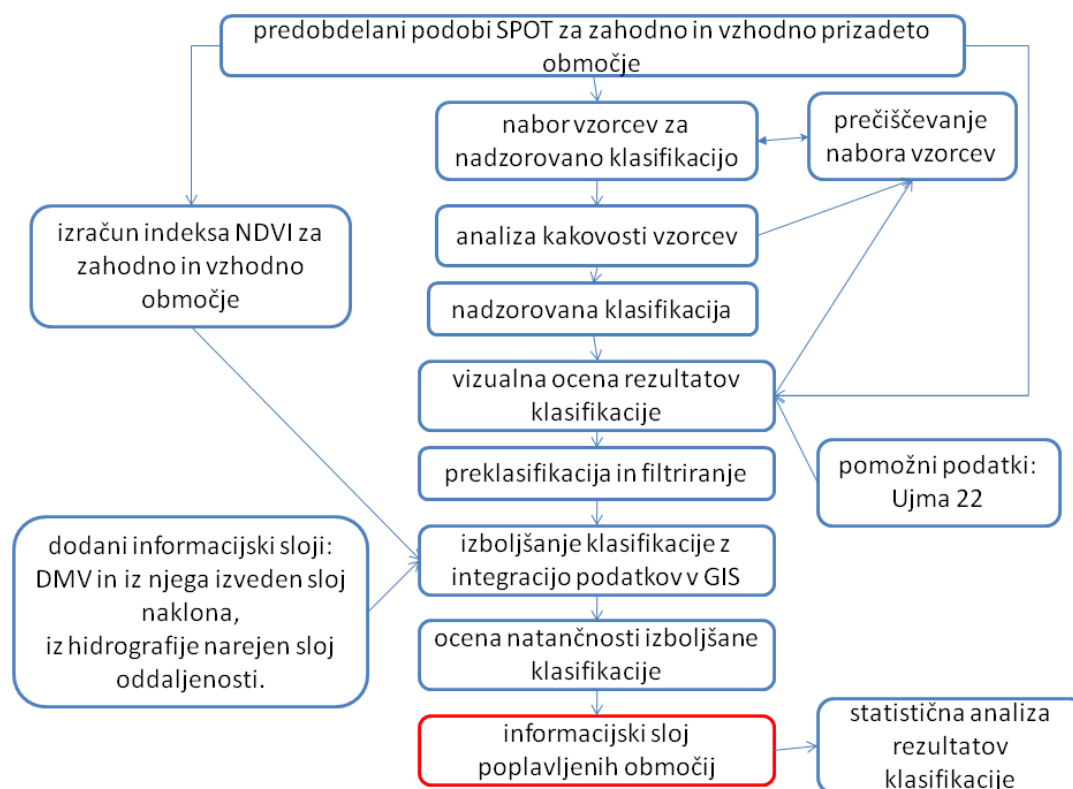
- Ton: Nanaša se na barvo predmetov na podobi in je glavni element za razločevanje med različnimi predmeti in pojavi. Svetli toni pomenijo močan odboj ali lastno sevanje, temni pa šibak odboj ali absorpcijo. Spreminjanje tona omogoča opazovanje oblike, teksture in vzorce predmetov.
- Tekstura: Opazujemo značilno razporeditev in frekvenčno spreminjanje tona na podobah. Pri grobih teksturah se sive vrednosti zelo malo spreminjajo in se menjajo na majhnih razdaljah (z veliko frekvenco), mehke teksture so praviloma pri enakomernih in gladkih površinah. Tekstura je pomemben element pri ločevanju predmetov na radarskih podobah.
- Sence: So zelo pomembne pri interpretaciji objektov, podajajo nam podatke o višini predmetov. Pri predmetih z enakim tlorisom lahko na osnovi senc določimo višino in s tem obliko. Zaradi sence lahko imamo tudi probleme pri prepoznavanju predmetov. Pri radarskih posnetkih uporabljamo sence pri poudarjanju in določevanju topografije.
- Vzorec: Prostorska razporeditev predmetov ustvarja določene vzorce. Ponavljanje določenih tonov in tekstur ustvari značilne vzorce.
- Povezava: Pri povezavi opazujemo predmet in pojave ali predmete v njegovi bližnji okolici.
- Oblika: Opisuje oris posameznih predmetov. Robovi kmetijskih in urbanih površin predstavljajo ostre oblike, robovi gozdov so nepravilnih oblik.

- Velikost: Pomembna je absolutna in relativna velikost. Absolutna velikost omogoči določitev razsežnosti predmetov, pri relativni pa je pomembna velikost predmeta glede na druge predmete.



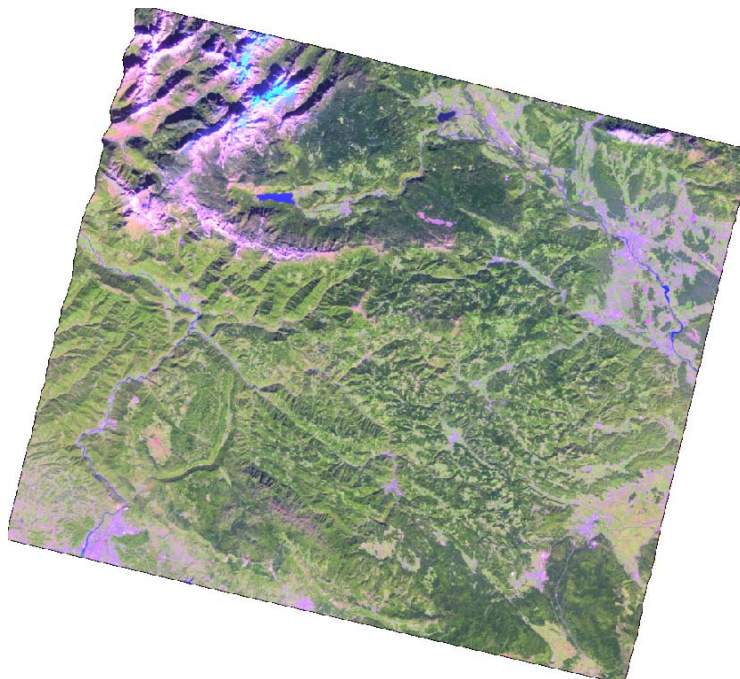
## 5 POSTOPEK OBDELAVE PODOB SPOT IN REZULTATI

V diplomski nalogi sem pri obdelavi uporabila podobi SPOT za območje zahodne in vzhodne Slovenije, ki so jih pridobili po katastrofalni poplavi leta 2007, na ZRC SAZU, v aktivaciji programa Vesolje in velike nesreče (Space and Major Disasters). Podobi SPOT so na ZRC SAZU geometrično popravili, izostrili večspektralni posnetek s pankromatskim ter izboljšali posnetek s povečanjem kontrasta in raztegom histograma. Iz predhodno obdelanih podob sem nato izračunala normirani diferencialni vegetacijski indeks (NDVI) in naredila nadzorovano klasifikacijo poplavljenih območij. NDVI mi je bil v pomoč pri izboljšanju nadzorovane klasifikacije. Pri izboljšanju klasifikacije sem uporabila tudi vektorski informacijski sloj hidrografije, digitalni model višin in iz njega izračunane naklone. Celotna obdelava posnetkov SPOT je narejena v programu ERDAS IMAGINE 9.1. Podobi sta v D48 koordinatnem sistemu (projekcija Gauss-Krueger, elipsoid Bessel). Slika 16 prikazuje celoten postopek obdelave podob SPOT.

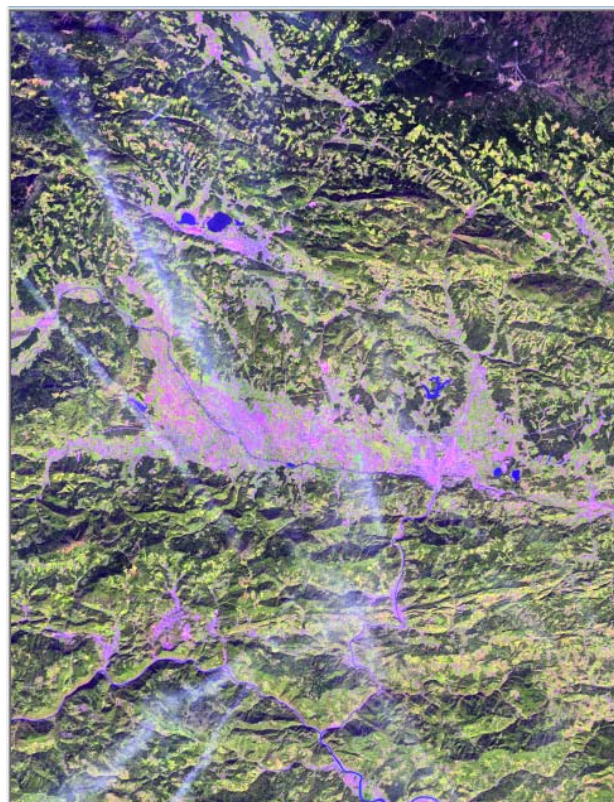


Slika 16: Shema poteka pridobitve sloja poplavljenih območij

Sliki 17 in 18 prikazujeta predobdelani podobi SPOT, ki sem jih uporabila za naknadno obdelavo, klasifikacijo poplavljenih območij.



**Slika 17: Izostren večspektralni posnetek SPOT zahodnega prizadetega območja, kanali 413**



**Slika 18: Izostren večspektralni posnetek SPOT vzhodnega prizadetega območja, kanali 413**

## 5.1 Postopek izračuna normiranega diferencialnega vegetacijskega indeksa (NDVI)

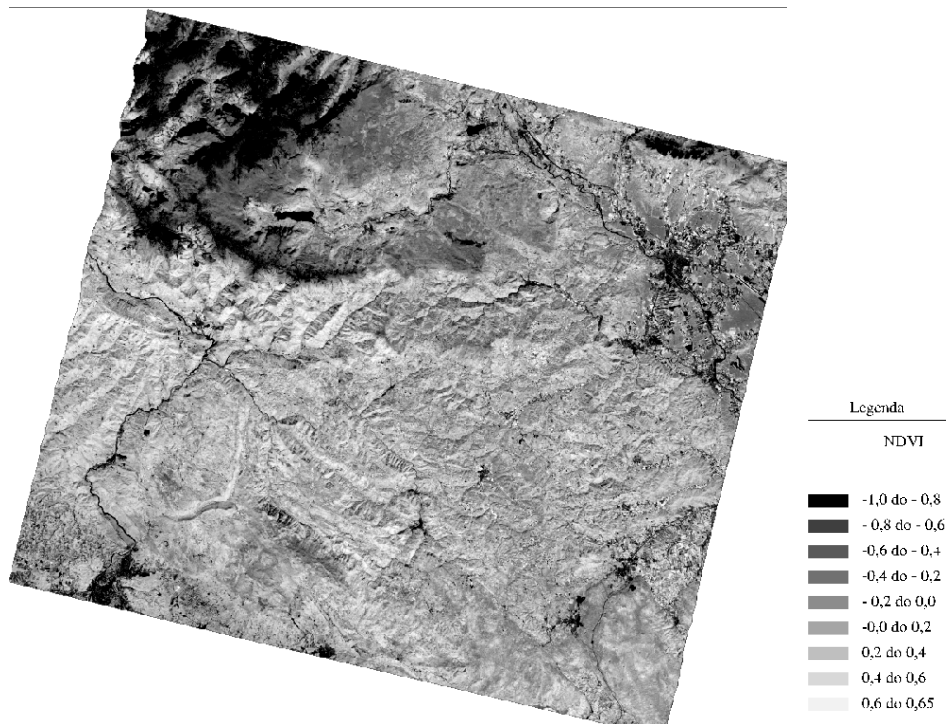
Izračun NDVI je v programu ERDAS IMAGINE 9.1 samodejen. V spektralnih spremembah sem izbrala indeks NDVI, senzor SPOT ter določila pot do vhodne datoteke in ime izhodne datoteke. Vsak senzor ima drugačne kombinacije kanalov, pri SPOT podobi kanal 2 pokriva spektralni pas rdeče, kanal 3 pa bližnje infrardeče barve.

Indeks sem izračunala iz predhodno obdelanih podob SPOT, za vzhodno in zahodno prizadeto območje. Rezultat postopka sta dve podobi, ki vsebujeta vrednosti med -1 in +1. Višja vrednost indeksa pomeni bolj intenzivno vegetacijo. Gola tla imajo vrednost okoli 0, oblaki, vodne površine in sneg pa odbijajo več energije vidnega dela spektra kot infrardečega, zato imajo negativne vrednosti.

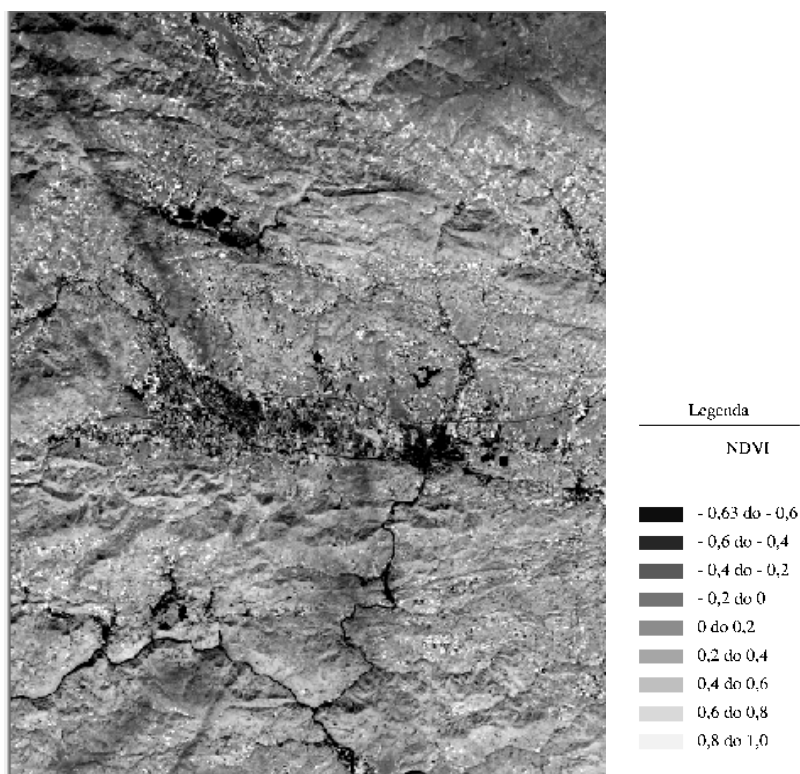
Sliki 19 in 20 prikazujeta vrednosti NDVI za zahodno in vzhodno prizadeto območje. V temnih tonih so prikazana območja s poškodovano vegetacijo ali brez nje, v svetlih tonih pa območja z bujno vegetacijo. Temni toni imajo negativno vrednost indeksa. S primerjavo podobe SPOT in podobe z izračunanim NDVI, sem ugotovila, da je pri poplavljenih, urbaniziranih, oranih kmetijskih površinah, sencah, na območjih prikritih s snegom (hribovita območja), NDVI na podobah negativen. Na podobi SPOT zahodnega prizadetega območja je velik del Julijskih Alp. V času snemanja je na tem območju padlo nekaj snežnih padavin, kar se zelo dobro vidi iz podobe z izračunanim NDVI, to območje ima NDVI pod -0,20.

NDVI na zahodni podobi zavzame vrednosti od -1,00 do 0,65, na vzhodni podobi pa vrednosti od -0,63 do 0,99. Vzhodna podoba, ki je bila posneta 12 dni po poplavi, ima višje vrednosti NDVI. Poplavljenih območij iz izračunanega indeksa ne moremo določiti, nam pa bo v pomoč pri izboljšanju klasifikacije.





Slika 19: NDVI za zahodno območje



Slika 20: NDVI za vzhodno območje

## 5.2 Klasifikacija poplavljenih območij

Za ustvarjanje spektralnih vzorcev uporabimo svoje poznavanje zemeljskega površja.

Postopek klasifikacije satelitskih podob razdelimo na naslednje korake (Oštir, 2006):

- izbira primernih posnetkov,
- predobdelava, če je potrebna,
- ustvarjanje in urejanje vzorcev,
- razvrščanje v razrede,
- ovrednotenje rezultatov.

Iz predobdelanih podob SPOT sem s klasifikacijo določila poplavljena območja. Uporabila sem nadzorovano klasifikacijo s parametrično metodo največje verjetnosti. Nadzorovana klasifikacija je razvrščanje pikslov v določeno število razredov na podlagi določenega spektralnega zapisa, ki ga določi analitik. Algoritem največje verjetnosti temelji na največji verjetnosti, da piksel pripada določenemu razredu. Osnovna enačba predpostavlja, da je verjetnost pojavljanja enaka za vsak razred (Erdas Field Guide, 2008).

Ustvarjanje in urejanje vzorcev je najpomembnejši korak pri nadzorovani klasifikaciji. Operater v ustrezni programski opremi označi območja, ki jih določi na podlagi poznavanja površja in s primerjavo topografskih in drugih kart. Program nato izračuna spektralni podpis izbranih območij. Informacijskim razredom pripada večje število spektralnih razredov. Vzorci morajo biti dovolj veliki, homogeni in reprezentativni. Izbira vzorcev je iterativni postopek. Po izvedeni klasifikaciji dopolnjujemo posamezne vzorce in nato zopet izvedemo klasifikacijo (Jemec in sod., 2008).

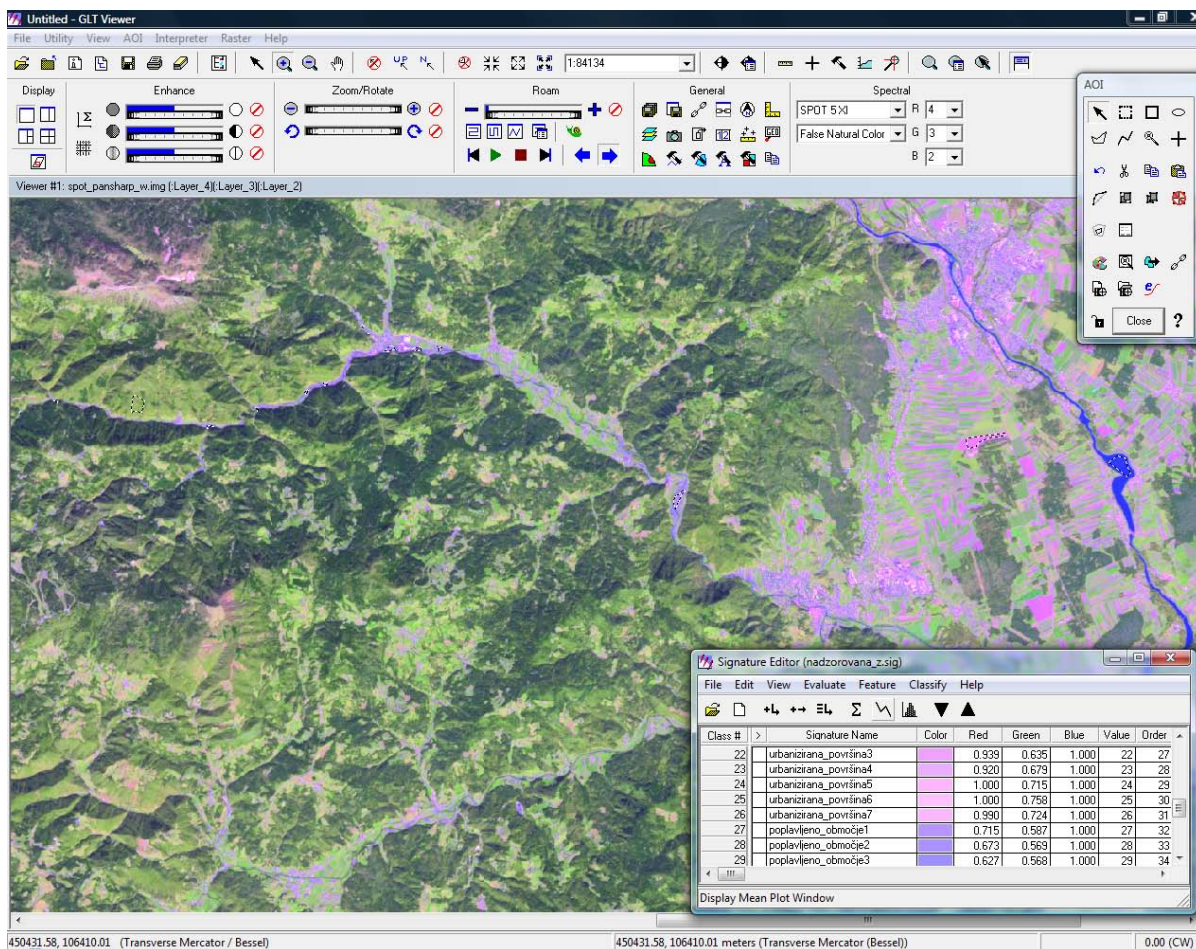
Iz predhodno obdelanih podob SPOT sem naredila klasifikacijo poplavljenih območij za zahodno in vzhodno prizadeto območje. Za zahodno območje sta bili podobi posneti tri dni po poplavi in iz njih lahko kar dobro določim poplavljena območja, za vzhodno območje pa 12 dni po poplavi, zato je iz teh dveh podob zelo težko določiti poplavljena območja.

### 5.2.1 Zahodno prizadeto območje

Na podlagi vizualne interpretacije podobe sem se odločila, da bom naredila vzorce za naslednje kategorije:

- gozd,
- kmetijska raba,
- pozidana in sorodna zemljišča,
- voda,
- odprto,
- poplavljen območja,
- sneg.

Gozdna območja so dobro razvidna iz podobe, problem pa je v odtenkih vijolične barve. Vzorce poplavljenih območij sem določila z vizualno interpretacijo, pri določevanju le teh sem si pomagala s pomožnimi podatki: revijo Ujma in s portalom GIS ujme, kjer so označene poplavne linije rek in potokov. Iz določenih vzorcev program izračuna spektralni podpis, katerim sem nato določila ime, barvo in vrednost podpisa. Ime in barva podpisa določata tudi barvo in ime razreda, vrednost podpisa pa določa vrednost izhodnega razreda. Pred prvo iteracijo sem vzorce poplavljenih območij določila v dolini Selške Sore, ker so tam dobro vidna poplavljen območja. Vzorce urbaniziranih območij sem določila v mestih in naseljih, kjer ni bilo prizadetih območij. Iz podobe želim s klasifikacijo določiti poplavljen območja, zato je poudarek predvsem na določitvi teh območij. Slika 21 prikazuje vzorce in vrednosti spektralnih podpisov pred prvo iteracijo.



Slika 21: Določevanje vzorcev s programom ERDAS IMAGINE 9.1

Po definiranju vzorcev sledi analiza kakovosti vzorcev, ki sem jo naredila (Erdas Field Guide, 2008; Kokalj in sod., 2006):

- z matriko napak vzorcev,
- z grafično predstavitvijo spektralnih odbojev vzorcev,
- z ločljivostjo vzorcev,
- s testno klasifikacijo manjših območij.

Matrika napak vzorcev prikaže zastopanje vzorcev v posameznem razredu in pove kako zanesljivo so določeni posamezni razredi. Grafična predstavitev spektralnih odbojev vzorcev prikazuje povprečne vrednosti pikslov v vseh kanalih, ki jih imam na voljo. Z ločljivostjo vzorcev preverimo podobnost posameznih kategorij ter izberemo najboljše kombinacije

kanalov za klasifikacijo (Erdas Field Guide, 2008; Oštir, 2006). V programu sem izračunala ločljivost s transformirano divergenco (TD). Formula za izračun transformirane divergence (TD) je naslednja (Erdas Field Guide, 2008):

$$D_{ij} = \frac{1}{2} \text{tr}((C_i - C_j)(C_i^{-1} - C_j^{-1})) + \frac{1}{2} \text{tr}((C_i^{-1} - C_j^{-1})(\mu_i - \mu_j)(\mu_i - \mu_j)^T) , \quad (5.1)$$

$$TD_{ij} = 2000(1 - \exp(\frac{-D_{ij}}{8}))$$

kjer je:

$i$  in  $j$  ... razreda oz. kanala, ki jih primerjamo

$C_i$  ... kovariančna matrika razreda oz. kanala  $i$

$C_j$  ... kovariančna matrika razreda oz. kanala  $j$

$\mu_i$  ... vektor srednje vrednosti razreda oz. kanala  $i$

$\mu_j$  ... vektor srednje vrednosti razreda oz. kanala  $j$

$\text{tr}$  ... sled matrike

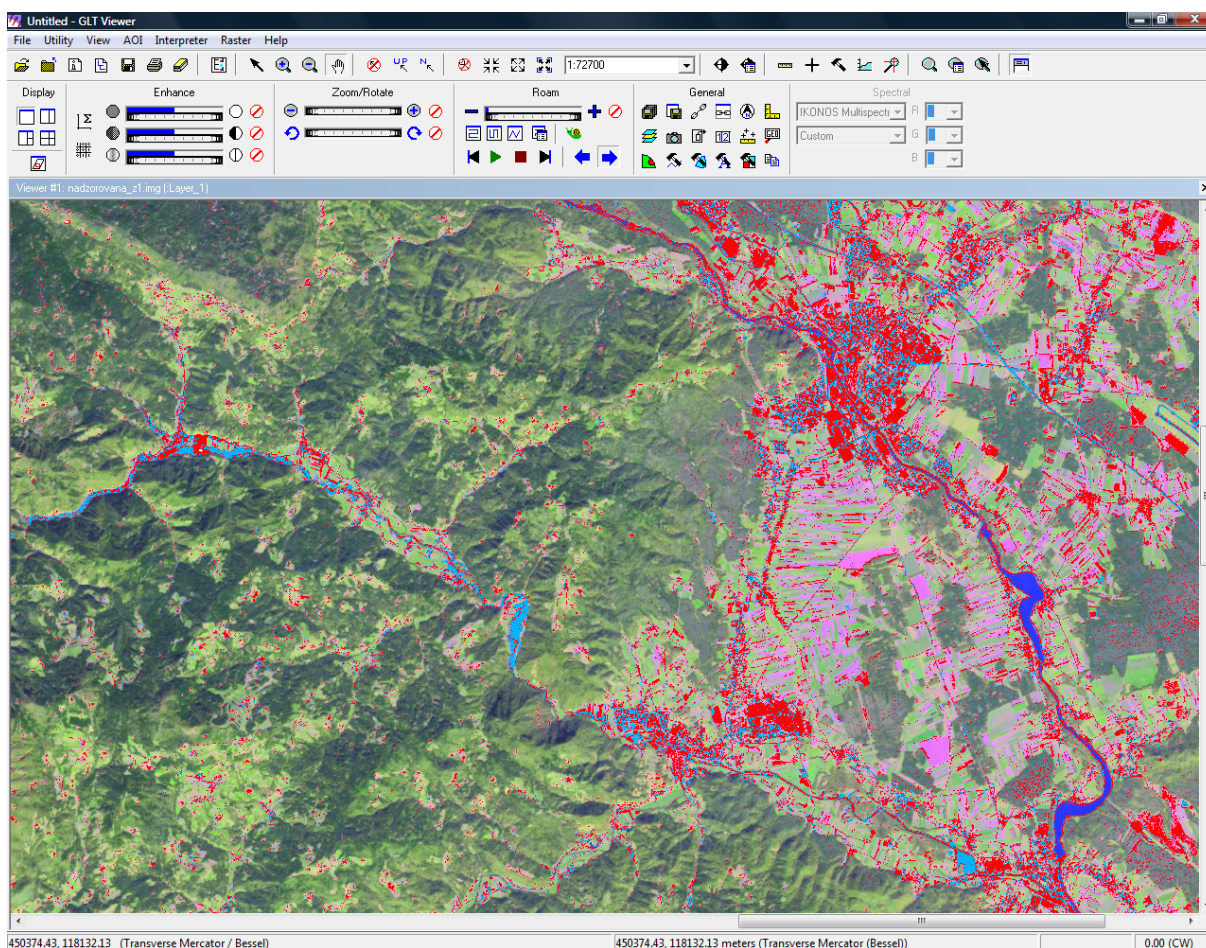
Rezultati transponirane divergence so vrednosti od 0 do 2000. Kadar je vrednost nad 1900, so kategorije ločljive oziroma kombinacija uporabljenih kanalov je dobra. Vrednosti med 1700 in 1900 pomenijo, da je izbira kombinacije kanalov oziroma ločljivosti razredov zadovoljiva, pod 1700 pa je slaba (Erdas Field Guide, 2008).

Pred prvo iteracijo sem analizirala vzorce z ločljivostjo. Najboljši rezultat sem dobila pri kombinaciji kanalov 1, 3 in 4: vrednost TD je 1998 in 2000. Pri kombinaciji vseh kanalov so rezultati slabši: TD je 1997 in 1945.

Z grafično predstavitvijo spektralnih odbojev sem pred vsako iteracijo analizirala vzorce in slabo določene popravila. Podroben opis analize kakovosti vzorcev sledi pri končno uporabljenih vzorcih.

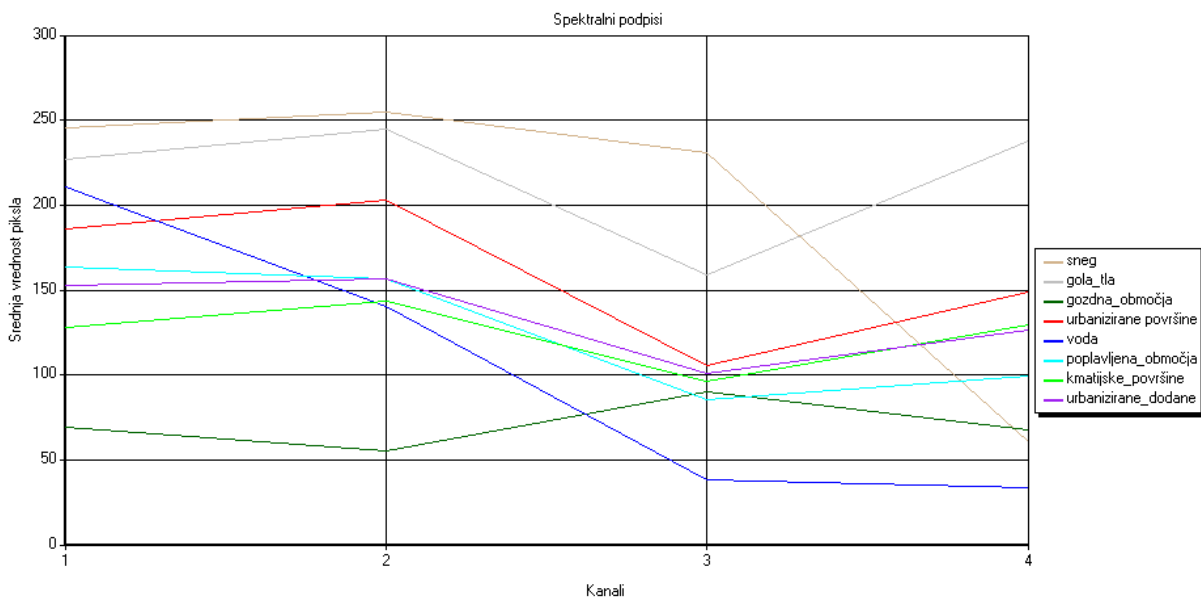
Z urejenimi vzorci sem naredila parametrično nadzorovano klasifikacijo z algoritmom največje verjetnosti. Slika 22 prikazuje rezultat klasifikacije po prvi iteraciji, v svetlo modri barvi so prikazana poplavljenjena območja, v rdeči barvi urbanizirane površine, podlaga je

predobdelana podoba SPOT. Ostalih klasificiranih kategorij nisem prikazala, ker potem ni dobro vidno katera poplavljenega območja moram bolj določiti. Iz rezultatov klasifikacije je razvidno, da je potrebno urbanizirana območja bolj določiti.



**Slika 22: Rezultat prve iteracije za območje Železnikov, Škofje Loke in Kranja, podlaga podoba SPOT**

Po prvi iteraciji sem naredila dodatne vzorce poplavljenih območij. Dodala sem vzorce ob rekah Bohinjska Bistrica, Bača, Idrijca, Kneža. Sledilo je več iteracij, pri katerih sem slabo določene vzorce izbrisala in dodala nove. Po nekaj iteracijah sem ugotovila, da je še vedno največja težava pri dejanskih in klasificiranih urbaniziranih površinah. Nekatere urbanizirane površine imajo namreč zelo podoben spektralni podpis kot poplavljenega območja. Naredila sem dodaten vzorec za urbanizirane površine, po iteraciji z dodatnim vzorcem sem ugotovila da so rezultati slabši. Pri spektralnih podpisih se zelo dobro vidi, da ima dodaten vzorec zelo podoben spektralni podpis kot poplavljenega območja in kmetijske površine (slika 23).

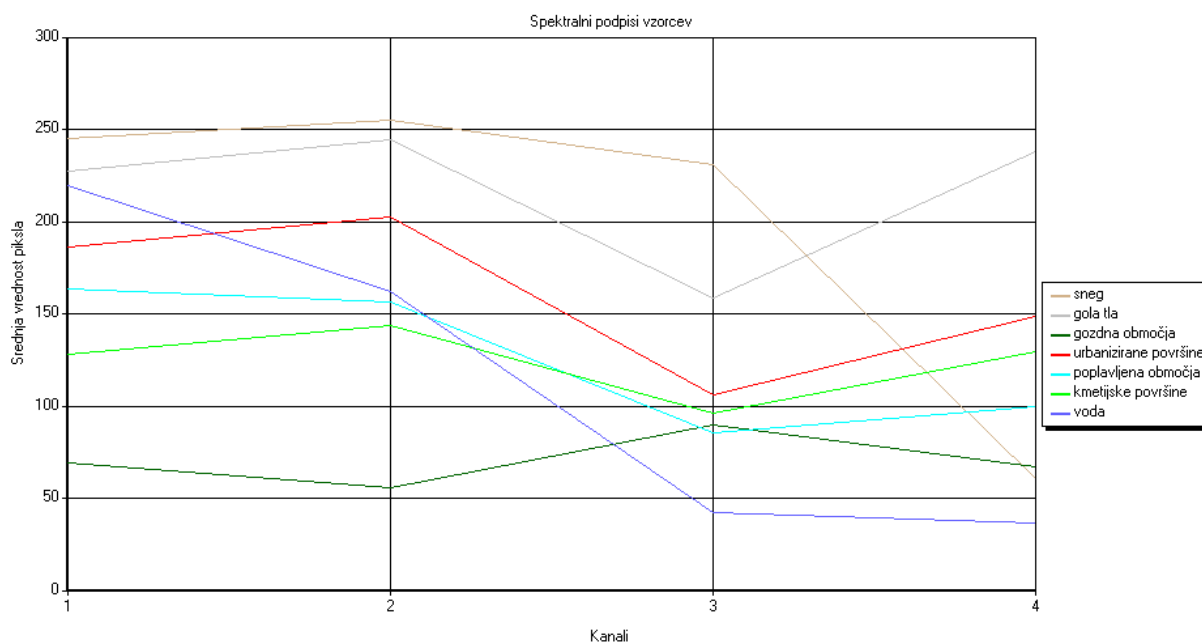


Slika 23: Spektralni podpisi vzorcev z dodanim vzorcem

Naredila sem več iteracij, najboljši rezultat klasifikacije pa sem dobila po šesti. Po tej iteraciji sem naredila analizo kakovosti vzorcev z ločljivostjo vzorcev, z grafično predstavitevjo spektralnih odbojev vzorcev in z matriko napak.

Pri ločljivosti vzorcev so rezultati podobni kot pri prvi analizi, najboljši rezultat TD je za kombinacijo kanalov 1, 3 in 4. Vrednost TD je pri kombinaciji vzorca golih tla in vode 1998, ostale kombinacije vzorcev imajo vrednost 2000. V prilogi A1 je rezultat izračunanih vrednosti ločljivosti.

Slika 24 prikazuje grafično predstavitev spektralnih podpisov vzorcev. V prilogi A2 je poročilo statističnih parametrov in kovariančnih matrik spektralnih podpisov.



**Slika 24: Spektralni podpisi vzorcev**

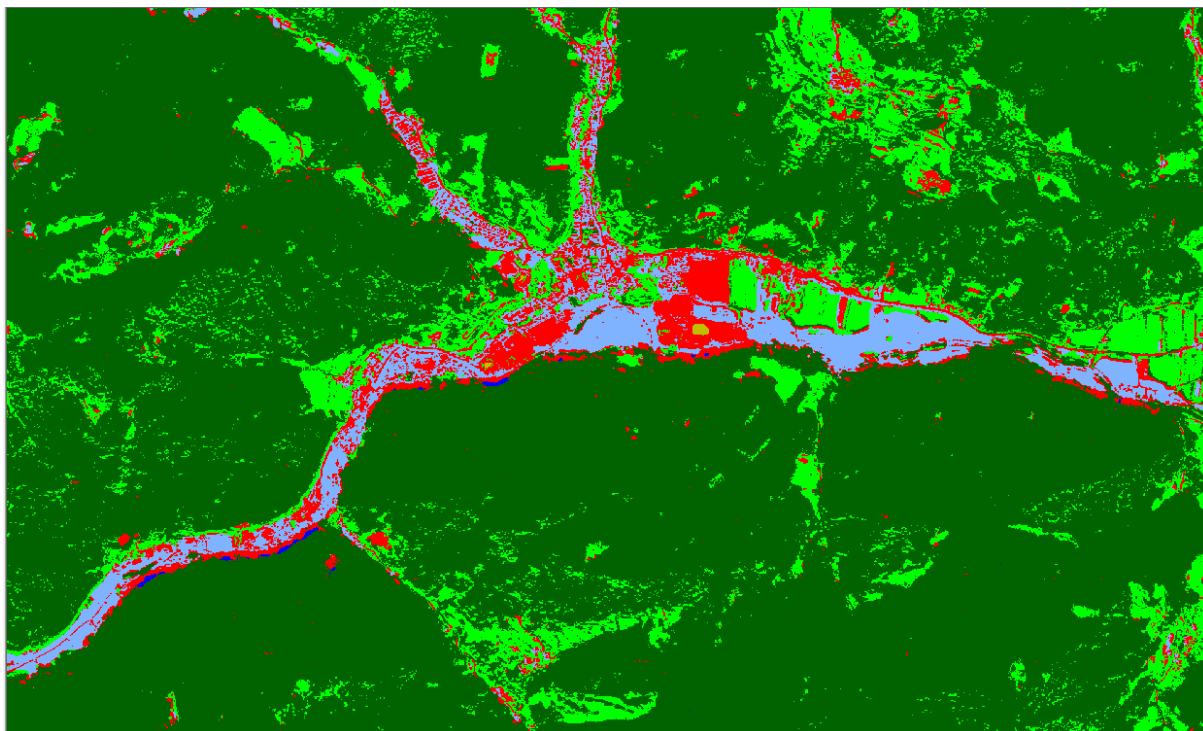
Preglednica 7 prikazuje matriko napak vzorcev, ki prikaže, kako so določeni vzorci za posamezno kategorijo. Iz preglednice je razvidno, da je vzorec za urbanizirana območja najslabše določen oziroma se najbolj prepleta z vzorci ostalih razredov. 6,2 % vzorca za urbanizirane površine ima podoben spektralni podpis kot vzorec za kmetijske površine, 2,1 % vzorca za poplavljeni območja ima podoben spektralni podpis kot urbanizirane površine. V prilogi A3 je matrika napak rezultatov, v pikslih in odstotkih.



**Preglednica 7: Matrika napak vzorcev**

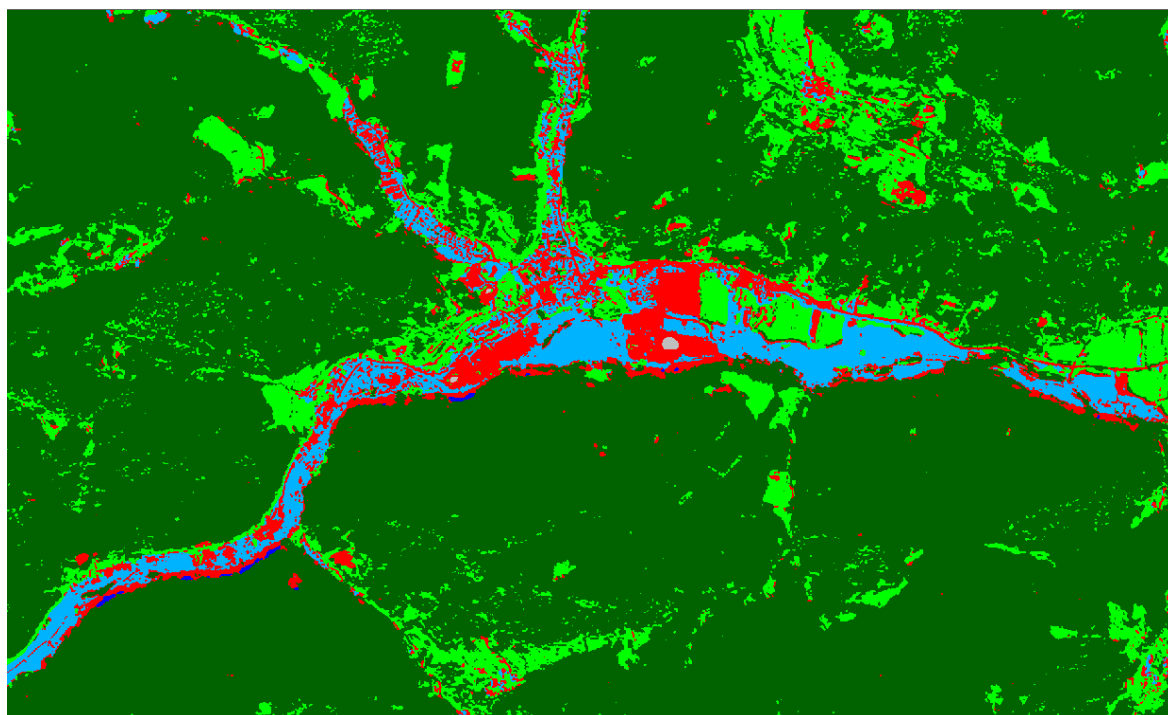
razred	delež v posameznem razredu v odstotkih						
	gola tla	sneg	gozdna območja	urbanizirane površine	voda	poplavljen območja	kmetijska območja
gola tla	95,8	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0
sneg	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
gozdna območja	0,0	0,0	99,3	0,0	0,0	0,0	0,1
urbanizirane površine	3,1	0,0	0,0	90,5	0,0	2,1	4,4
voda	0,0	0,0	0,0	0,1	100,0	0,0	0,0
poplavljen območja	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	97,9	0,1
kmetijska območja	1,0	0,0	0,7	6,2	0,0	0,0	95,4

Rezultat klasifikacije je informacijski sloj poplavljenih območij. Slika 25 prikazuje rezultat klasifikacije območja Železnikov po šesti iteraciji, v svetlo modri barvi je prikazana kategorija poplavljenih območij. Poplavljen območja ob Selški Sori so dobro določena, pri urbaniziranih površinah pa je težje določiti poplavljen območja.



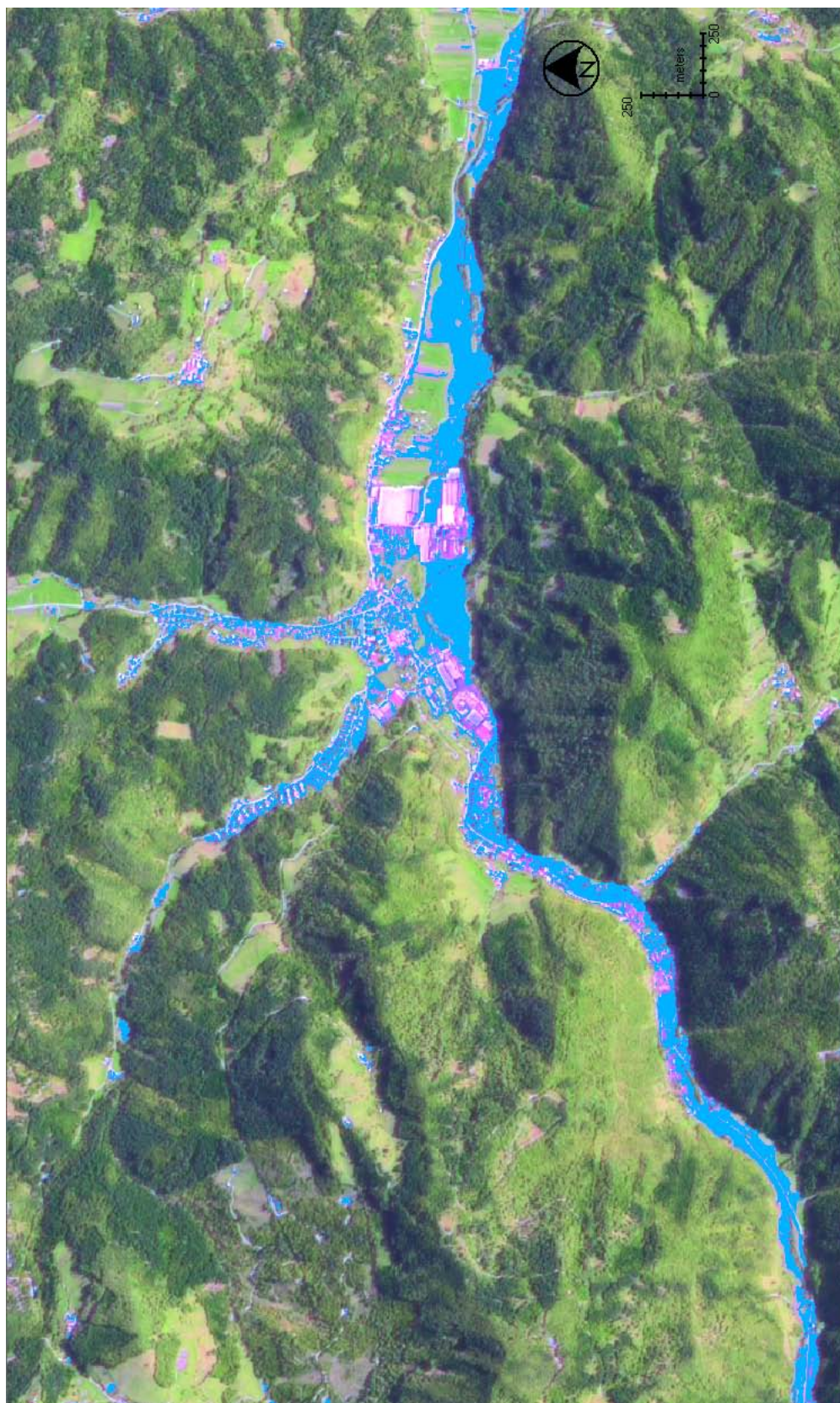
**Slika 25: Klasificirana podoba SPOT za območje Železnikov**

Na klasificirani podobi se pojavijo posamezni piksli določene kategorije znotraj nekega drugega homogenega razreda, zato sledi filtriranje s filtrom mediana, ki podobo zgladi, pri čemer ohrani robove in ne ustvari novih vrednosti. Po filtriranju podobe se poveča površina poplavljenih območji iz 3804 ha na 3898 ha. Slika 26 prikazuje filtrirano klasificirano podobo SPOT, v svetlo modri barvi so prikazana poplavljena območja.

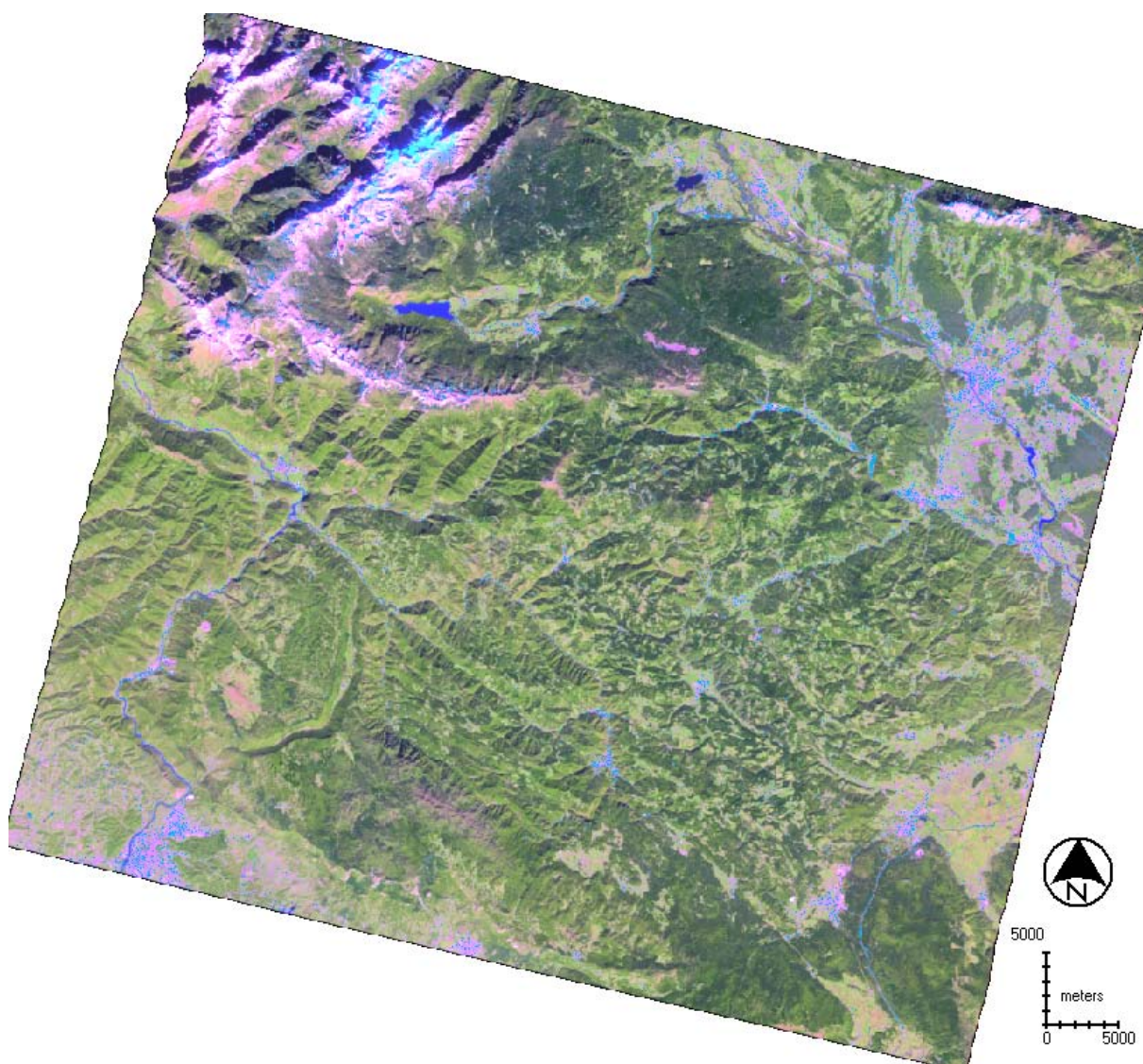


**Slika 26: Filtrirana klasificirana podoba SPOT za območje Železnikov**

Pri klasifikaciji je poudarek na poplavljenih območjih, zato sem naredila reklasifikacijo. Iz obstoječih razredov sem naredila naslednja dva razreda: poplavljena območja in druga območja. Rezultat je reklasificirana podoba, slika 27 prikazuje reklasificirano podobo SPOT za območje Železnikov, slika 28 za celotno zahodno območje. V svetlo modri barvi so označena poplavljena območja, podlaga je podoba SPOT.



**Slika 27: Reklasificirana podoba SPOT poplavljenih območij za območje Železnikov, podlaga podoba SPOT**



**Slika 28: Reklasificirana podoba SPOT poplavljenih območij celotnega zahodnega območja, podlaga podoba SPOT**

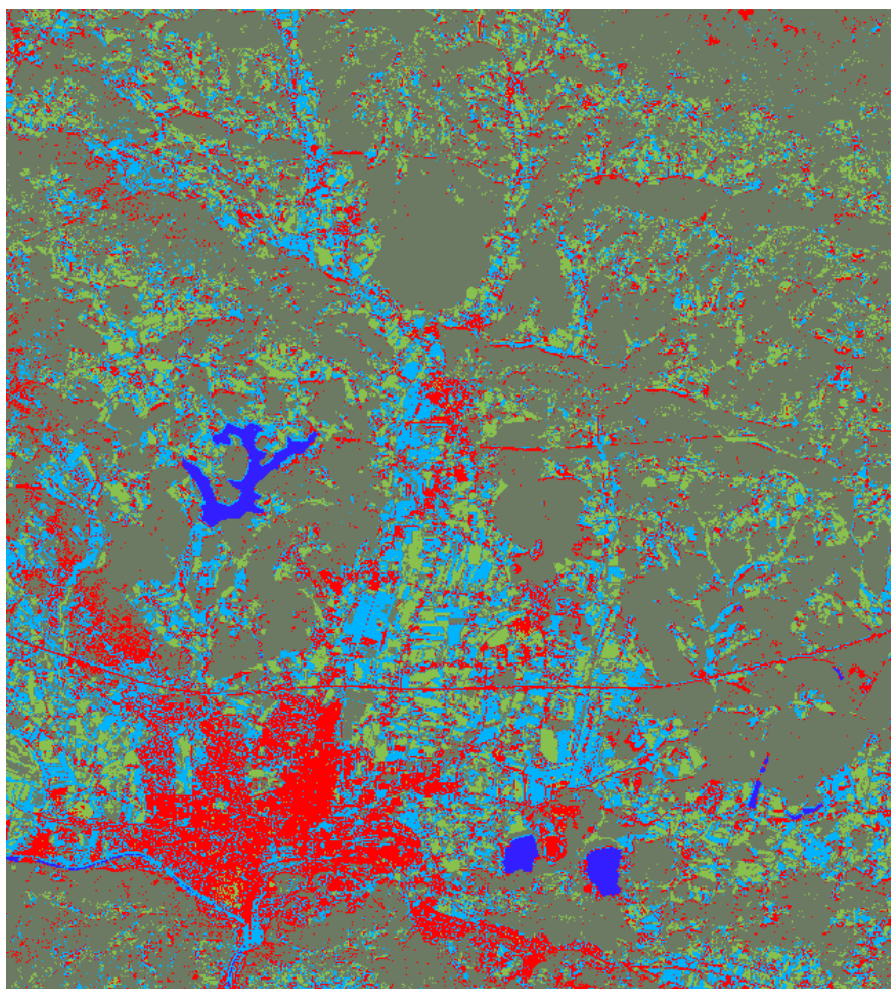
Z vizualno interpretacijo klasificirane podobe SPOT s podlago podobe SPOT sem ocenila, da je problem pri določevanju poplavljenih območij pri urbaniziranih, kmetijskih površinah (orana polja), pri snegu in golih tleh. V nadaljevanju sledi izboljšanje klasifikacije z integracijo podatkov v GIS, in sicer z upoštevanjem informacijskega sloja hidrografije, z digitalnim modelom višin, z naklonom in z indeksom NDVI (Kokalj, 2006; Jemec, 2008; Pehani in sod., 2007).

### 5.2.2 Vzhodno prizadeto območje

Postopek klasifikacije je podoben kot pri zahodnem območju. Za vzhodno območje sem naredila vzorce za naslednje kategorije:

- gozd,
- kmetijska raba,
- pozidana in sorodna zemljišča,
- voda,
- poplavljen območja.

Že s samo vizualno interpretacijo lahko trdim, da je veliko težje določiti poplavljen območja. Posledice neurja ni mogoče več jasno prepoznati iz posnetkov, ker je sistem SPOT vzhodno prizadeto območje posnel 12 dni po neurju. Pri določevanju vzorcev za poplavljen območja sem si pomagala s portalom GIS ujme in z revijo Ujma 22. Pred klasifikacijo sem analizirala vzorce z grafično predstavitvijo spektralnih odbojev vzorcev, kategorija poplavljenih območij ima zelo podoben spektralni odboj kot kmetijske in urbanizirane površine, zato ni mogoče določiti poplavljenih površin. Slika 29 prikazuje rezultat klasifikacije, v svetlo modri barvi so prikazana klasificirana poplavljen območja. Iz slike je razvidno, da s klasifikacijo ne dobim zadovoljive rezultate, klasifikacije pa tudi ne morem izboljšati z dodatnimi informacijskimi sloji, zato sem pri tem koraku končala z obdelavo vzhodne podobe SPOT.



**Slika 29: Klasificirana podoba SPOT za območje Celja in Vojnika**

### **5.3 Izboljšanje klasifikacije z integracijo podatkov v GIS**

Povezovanje informacij je pogosto orodje pri interpretaciji in analizi podatkov. Združevanje različnih vrst podatkov in virov, ki so v skupnem koordinatnem sistemu, omogoča analize in interpretacije podob. Z uporabo in analizo različnih podatkov lahko pridobimo mnogo boljše in bolj natančne informacije kot z enim samim virom (Oštir, 2006).

S klasifikacijo obdelanih satelitskih podob sem pridobila podatke o poplavljenih območjih, ki sem jih nato izboljšala s prostorskimi analizami s programom ERDAS IMAGINE 9.1. Pri tem sem uporabila naslednje podatkovne sloje: reklasificirano podobo SPOT, NDVI, hidrografijo,

digitalni model višin in iz njega izračunane naklone. Rezultat prostorske analize je rastrski informacijski sloj poplavljenih območij.

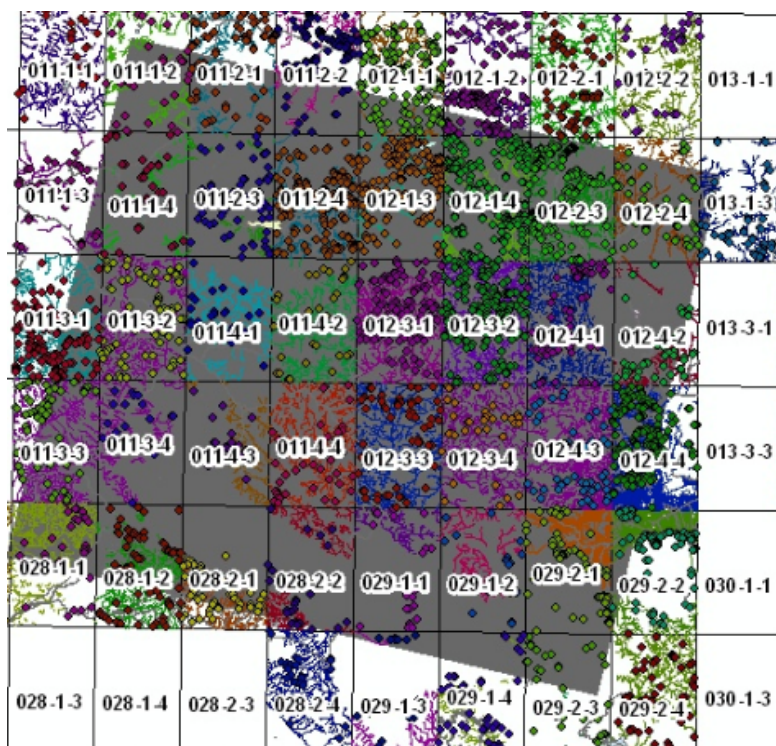
### 5.3.1 Pridobljeni podatki

V programu ERDAS IMAGINE 9.1 je lahko podatkovna baza sestavljena iz rastrskega in vektorskega podatkovnega modela. V rastrskem podatkovnem modelu je poudarek na vsebini in sestavi območij. V programu se srečujemo z zveznim in tematskim rastrskim slojem. Zvezni sloj je kvantitativen in vsebuje veliko informacij, ki tvorijo temelj podatkovne baze, v GIS podatkovnih bazah se uporabljajo v kombinaciji s tematskimi podatki. Satelitski in letalski posnetki so učinkoviti tudi pri posodabljanju zastarelih vektorskih podatkov. Zvezni sloj je na primer satelitski posnetek, letalski posnetek, rastrski digitalni model reliefa. Tematski podatki vsebujejo določene podatke, shranjene kot rastrske podatke in vsebujejo diskretne razrede, ki so sestavljeni iz pik, katere predstavljajo določeno značilnost oziroma vsebino. Tematski sloj lahko ustvarimo iz daljinsko zaznanih podatkov, pri čem zelo pogosto uporabimo klasifikacijo. Tematski sloj je na primer raba zemljišč, hidrografija, naklon, vegetacija (Erdas Field Guide, 2008).

#### 5.3.1.1 Informacijski sloj hidrografije

Pri vektorskem sloju hidrografije sem uporabila linijski sloj, ki ima naslednje attribute: id (enolični identifikator odseka vodotoka), vod\_mid (enolični identifikator vodotoka), vrsta (opis tipa vodotoka), ime\_vod (zemljepisno ime vodotoka), vir (opis vira) ter datum (datum zajema podatkov). Viri pridobljenega linijskega sloja hidrografije so naslednji: DTK5, TOPO25, vektorizacija DTK25 in DTK50. Slika 30 prikazuje uporabljeni sloj hidrografije za.





Slika 30: Uporabljeni podatki hidrografije

Iz informacijskega sloja hidrografije sem naredila s predelavo izvornih podatkov nov podatkovni sloj, ki prikazuje oddaljenost od rek in vodotokov. Iz pridobljenih podatkov sem najprej izločila vodotoke brez imena, nato sem z analitično operacijo "Search" izračunala oddaljenost od posameznih vodotokov. Vhodna datoteka je vektorski sloj hidrografije, izhodna pa je rastrski sloj oddaljenosti, pri tem sem določila velikost piksla izhodne datoteke 2 m in maksimalno razdaljo od vodotoka 200 m. Velikost piksla izhodne datoteke sem določila na podlagi reklasificirane podobe SPOT, ki ima velikost piksla 2,5 m. Z vizualno interpretacijo predobdelane podobe SPOT in iz vektorskega sloja hidrografije sem določila maksimalno oddaljeno poplavljenno območje, nato sem izmerila oddaljenost vodotoka od maksimalno oddaljenega poplavljenega območja, ki je 200 m.

### 5.3.1.2 Digitalni model višin

DMR (digitalni model reliefa) je digitalni opis oblikovanosti zemeljskega površja, poleg višinskih točk vsebuje značilne črte in točke reliefa ter druge elemente, ki ga opisujejo

(naklone, plastnice, padnice, itd.). DMV je največkrat zapisan kot dvorazsežna celična mreža z višinami kot atributi, pri definiciji je poudarek predvsem na točkovnih zapisih podatkov, definiranih kot del DMR. DMV je le eden izmed izvedenih slojev DMR, podobno kot sloj naklonov površja. Strokovnjaki in uporabniki uporabljajo za DMV in DMR izraz DMR, ker pa definicija DMR vsebuje definicijo DMV, je raba izraza DMR kljub manjši nekorektnosti največkrat upravičena (Podobnikar, 2002).

Iz digitalnega modela reliefa lahko z ustreznim programskim orodjem izračunamo naklone, ga senčimo, uporabljamo za hidrološke analize, modele erozij, za simulacije vremena, opazovanje posegov v prostor (kamnolomi, odlagališča odpadkov, itd.). Na Inštitutu za antropološke in prostorske študije Znanstvenoraziskovalnega centra SAZU je bil v letih od 2003 do 2005 izdelan digitalni model reliefa Slovenije, ločljivosti 12,5 m. Viri za izdelavo novega DMR Slovenije so bili vsi trirazsežni podatki o površju ter tudi dvorazsežni podatki, ki dodatno opisujejo obliko zemeljskega površja, vključenih je bilo več kot 25 različnih virov: DMR 100 (območje Avstrije), DMR 25 (od leta 2000 dalje), TOPO 25 (relief, hidrografija, ceste, železnice), DTK 5 (relief, hidrografija, ceste, zemljišča v posebni rabi, vegetacija), vektorizirane plastnice Triglavskega narodnega parka, DMR 10 mesta Ljubljane, DMR 10 slovenske obale, SRTM 90, GTOPO 30, geodetske točke, zemljiškokatastrske točke, točke državne meje, poligoni in linije katastra stavb, evidenca rabe zemljišč, raba tal, pokrovnost tal CLC 2000 ter drugi viri. Iz seznama podatkov lahko sklepamo, da je DMR narejen iz nehomogene zbirke podatkov. Iz DMR Slovenije so na koncu izdelali digitalni model višin z ločljivostjo 12,5 m, 25 m in 100 m (Podobnikar, 2006).

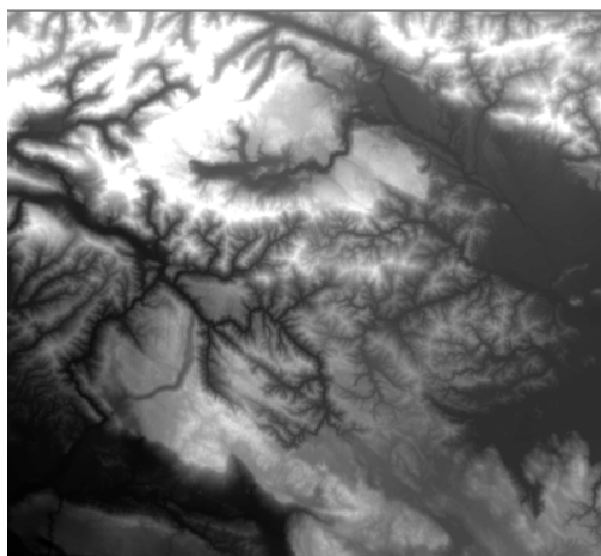
Tehnologija zajema podatkov o reliefu se izboljšuje in hkrati postaja cenejša. S tehnologijo laserskega skeniranja, lidar, ki omogoča natančnost zajema podatkov nekaj 10 cm, lahko pričakujemo bolj natančne in podrobne podatke o reliefu (Podobnikar, 2006).

DMV lahko uporabljamo na različnih področjih, nekaj primerov uporab DMV (Erdas Field Guide, 2008):

- ortorektifikacija podob (z dobrim modelom višin zmanjšamo napake, ki nastanejo pri snemanju razgibanega reliefa),

- modeliranje tekočih in stoječih voda, ocenjevanje sprememb rečnih korit (primerjava modelov višin iz različnih obdobj), določevanje velikosti in oblik porečji, jezer, rek,
- simulacija poplav (zahteva natančnosti 10 cm, Avstrijci delajo lidar za ravninska območja),
- modeliranje osončenosti, določevanje vidnosti, naklona,
- načrtovanje mobilne telefonije,
- preučevanje in modeliranje sprememb površja (potresi, plazovi, erozije ...),
- modeliranje temperaturnih obratov, temperature nad površjem,
- perspektivni pogledi, animacije,
- uporaba v aplikacijah GIS (katastrofe, zdravje, energija, podnebje, voda, ekosistemi, okoljevarstvo, kmetijstvo).

Značilnost DMV 12,5 je, da se njegove lastnosti spreminjajo glede na kakovost uporabljenih virov na določenem območju. Ocenjena natančnost modela je 3,2 m za območje celotne Slovenije: 1,1 m za ravnine, 2,3 m za gričevje, 3,8 m za hribovje in 7,0 m za gorovja (Podobnikar, 2006). Slika 31 prikazuje DMV 12,5 za zahodno prizadeto območje.



Slika 31: DMV 12,5 za zahodno območje (ZRC SAZU)

Z analitično operacijo sosedstva sem iz DMV-ja naredila informacijski sloj naklona, ki predstavlja strmino ali gradient enote obravnavanega terena in se najpogosteje podaja v stopinjah ali procentih. V rastrski gridni predstavitvi terena se naklon in usmerjenost določata

s pomočjo devetceličnega filtra (celice  $3 \times 3$ ), ki služi za sistematično prekrivanje ustreznih delov DMV. S tem filtrom se določi najbolj prilagajajoča se ravnina za vsako celico v sredini filtra. Usmerjenost je dejansko vektor normale terena ter je projiciran horizontalno na ravnino. Naklon terena je na posamezni točki terena določen s tangentno ravnino na teren, ki jo definirata gradient in usmerjenost. Gradient je naklonski kot normalnega vektorja, ki kaže smer padnice (Šumrada, 2005). V programskem oknu "slope" določimo vhodno datoteko, enote (procenti ali stopinje) ter izhodno datoteko. Postopek izračuna naklona v programu ERDAS IMAGINE 9.1 je naslednji (Erdas Field Guide, 2008):

$$\begin{aligned} \Delta x_1 &= c - a, \Delta y_1 = a - g, \\ \Delta x_2 &= f - d, \Delta y_2 = b - h, \end{aligned} \quad (5.2)$$

$$\begin{aligned} \Delta x_3 &= i - g, \Delta y_3 = c - i, \\ \Delta x &= \frac{(\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3)}{3 \cdot x_s}, \Delta y = \frac{(\Delta y_1 + \Delta y_2 + \Delta y_3)}{3 \cdot y_s}, \end{aligned} \quad (5.3)$$

$$s = \frac{\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}}{2}, \quad (5.4)$$

$$s(\%) = \begin{cases} s \cdot 100 & : s \leq 1 \\ 200 - \frac{100}{s} & : s > 1 \end{cases}, \quad (5.5)$$

$$s(^{\circ}) = \tan^{-1}(s) \cdot \frac{180}{\pi}, \quad (5.6)$$

kjer je:

a, b, c, d, e, f, g, h, i ...višinska vrednost piksla (slika 32 prikazuje  $3 \times 3$  filter za izračun naklona)

$x_s, y_s$  ... velikost piksla v smeri x in y

a	b	c
d	e	f
g	h	i

Slika 32: Filter  $3 \times 3$  za izračun naklona

### 5.3.2 Prostorske analize

Velik del GIS analiz se nanaša na združevanje posameznih tem v en sloj podatkov. Prostorske analize so temeljne in najbolj pomembne operacije v sistemih GIS. Opredelimo jih kot postopke, s pomočjo katerih obdelujemo prostorske podatke in ustvarjamo nove podatke oziroma posredne informacije. V prostorskih analizah iščemo predvsem vsebinske in pomenske povezave ali pa poizkušamo ugotoviti različne strukturne in vzorčne povezave med prostorskimi podatki na obravnavanem področju. Pridobljene informacije o prostoru omogočajo podrobnejše in celovitejše razumevanje značilnosti in odnosov na določenem področju obravnave. To vse nudi ustrezno podlago za bolj popolne in zanesljivejše prostorske odločitve (Šumrada, 2005).

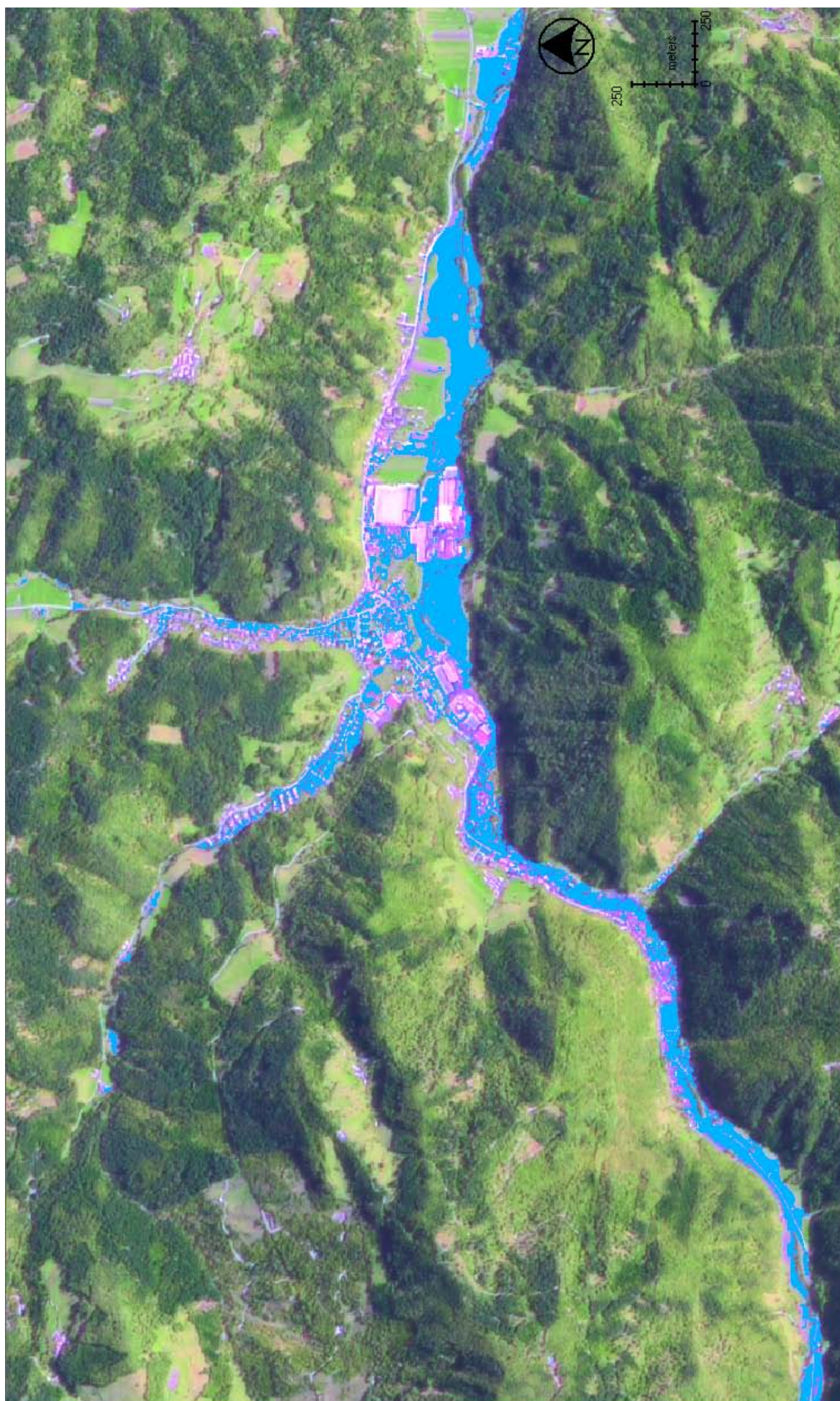
Pri prostorski analizi sem reklasificirano podobo SPOT združila z ostalimi sloji podatkov s pomočjo programskega okna "Spatial Modeler". V tem programskem oknu sem določila vhodne informacijske sloje (oddaljenost, naklon, DMV, NDVI in rezultate nadzorovane klasifikacije), kriterije (spodnja preglednica) in izhodni podatkovni sloj. V prilogi A4 je shema modela, ki sem ga uporabila v programu pri izboljšanju klasifikacije.

Preglednica 8 prikazuje definirane kriterije pri prostorski analizi. Pri reklasificirani podobi SPOT sem uvrstila poplavljen območja v razred 1. Pri oddaljenosti sem uvrstila območja, ki so oddaljena od rek in vodotokov manj kot 200 m, v razred 1. Poplavljen območja, ki se pojavijo na območju golih tal in snega sem izločila z DMV. Predpostavila sem, da imajo poplavljen območja nadmorsko višino pod 1000 m. Iz NDVI zahodne podobe SPOT in vizualne interpretacije predobdelane podobe SPOT sem določila približno zgornjo vrednost NDVI poplavljenih območij, izbrala sem vrednost 0. Z indeksom NDVI sem izločila poplavljen območja, ki imajo NDVI nad 0. Z informacijskim slojem naklona sem upoštevala poplavljen območja, ki imajo naklon manjši od  $6^\circ$ , s tem kriterijem sem predpostavila, da imajo poplavljen območja nizek naklon.

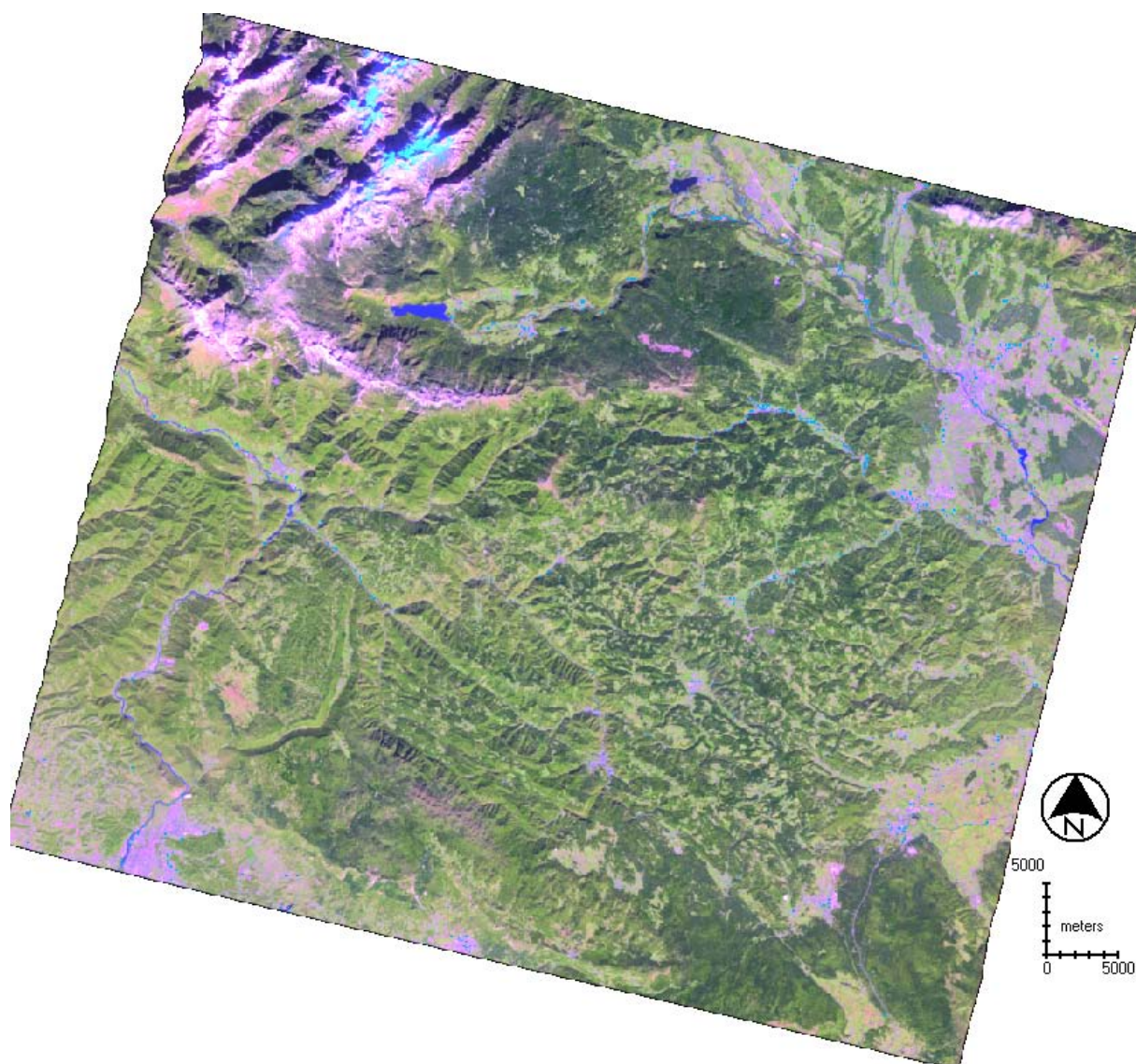
**Preglednica 8: Definirani kriteriji pri prostorski analizi**

podatkovni sloj	hidrografija (oddaljenost)	klasifikacija	DMV	indeks NDVI	naklon
poplavljen območja	= 1	= 1	< 1000 m	< 0	< 6°

Sliki 33 in 34 prikazujeta rezultat analize: poplavljen območja so v svetlo modri barvi, podlaga pa je predobdelana satelitska podoba SPOT. V prilogi B1 je pregledna karta poplavljenih zahodnih območij in v prilogi B2 karta poplavljenega območja ob Selški Sori.



Slika 33: Informacijski sloj poplavljenih območij, območje Železnikov, podlaga podoba SPOT



Slika 34: Informacijski sloj poplavljenih območij, podlaga podoba SPOT

#### 5.4 Ocena natančnosti modelirane poklasifikacije

Pri oceni natančnosti nimam na razpolago referenčnih podatkov, zato sem izboljšano klasifikacijo ocenila z vizualno interpretacijo s pomočjo programa ERDAS IMAGINE 9.1, z modulom programa "ACCURACY ASSESSMENT". Izbrala sem 400 vzorčnih točk, ki sem jih z vizualno interpretacijo podobe SPOT uvrstila v razred poplavljenih ali drugih območij. Prizadeta območja ob Selški Sori so po vizualni interpretaciji boljše določena glede na celotno območje, zato sem posebej naredila tudi oceno natančnosti samo tega območja. Za to območje



sem izbrala 100 vzorčnih točk. Slika 35 prikazuje izbrano območje in koordinate robov v D48 koordinatnem sistemu. V prilogi A5 je seznam uporabljenih referenčnih točk.



**Slika 35: Izbrano območje ob Selški Sori v D48 koordinatnem sistemu**

Preglednici 9 in 10 podajata oceno natančnosti klasifikacije. Izdelovalčeva natančnost je namenjena analitiku, ki je izdelal klasifikacijo, uporabnikova natančnost pa je namenjena uporabniku. Za celotno območje je pravilno klasificiranih 100 % poplavljenih območij in 94 % drugih območij, dejanskemu stanju pa ustreza 74 % poplavljenih in 100 % drugih območij. Skupna natančnost je 94 %. Za območje ob Selški Sori je pravilno klasificiranih 94 % poplavljenih in 94 % drugih območij, dejanskemu stanju pa ustreza 94 % poplavljenih in 94 % drugih območij. Skupna natančnost je 94 %. Skupna natančnost za celotno območje je boljša od natančnosti izbranega območja. Preglednici 11 in 12 prikazujeta matriko napak.

**Preglednica 9: Ocena natančnosti celotnega zahodnega območja**

razred	točke			natančnost v %	
	referenčne	klasificirane	pravilno klasificirane	izdelovalec	uporabnik
poplavljen območja	64	87	64	100	74
druga območja	336	313	313	93	100
skupaj	400	400	377		

**Preglednica 10: Ocena natančnosti območja ob Selški Sori**

razred	točke			natančnost v %	
	referenčne	klasificirane	pravilno klasificirane	izdelovalec	uporabnik
poplavljen območja	49	49	46	94	94
druga območja	51	51	48	94	94
skupaj	100	100	94		

**Preglednica 11: Matrika napak celotnega zahodnega območja**

razred	poplavljen območja	druga območja	skupaj klasificirane točke
poplavljen območja	64	23	87
druga območja	0	313	313
skupaj	64	336	400

**Preglednica 12: Matrika napak območja ob Selški Sori**

razred	poplavljen območja	druga območja	skupaj klasificirane točke
poplavljen območja	46	3	49
druga območja	3	48	51
skupaj	49	51	100

Pri oceni natančnosti sledi še izračun statistike kappa. Pri celotnem območju sem izračunala statistiko kappa 0,8, kar pomeni, da je uporabljena klasifikacija za 80 % boljša od naključne, pri območju ob Soriški Sori pa je 0,9. V prilogi A6 je poročilo o oceni natančnosti.

Natančnost celotne klasifikacije, ocenjena z vizualno interpretacijo na podlagi 400 in 100 vzorčnih točk, v obeh primerih presega 94 %, kar je zelo dober rezultat. Splošno velja, da je ocena natančnosti klasifikacije nad 90 % dobra, nad 80 % pa zadovoljiva (Oštir, 2006).

## 5.5 Analiza rezultatov klasifikacije

Nadzorovano klasifikacijo sem uspešno izboljšala z upoštevanjem dodatnih slojev: digitalnega modela višin in iz njega izračunanih naklonov, normiranega diferencialnega vegetacijskega indeksa (NDVI) in iz hidrografije izvedenega sloja oddaljenosti. Preglednica 13 prikazuje vpliv dodatnih slojev na klasifikacijo. Z NDVI nisem veliko izboljšala klasifikacije, z digitalnim modelom višin sem izločila veliko napačno klasificiranih poplavljenih območij, ki so se pojavila na območju golih tal in snega. Z oddaljenostjo sem izločila največ napačno klasificiranih poplavljenih območij na urbaniziranih območjih, z naklonom sem izločila predvsem napačno klasificirana poplavljen območja na območju kmetijskih površin (orane njive). Z upoštevanjem dodatnih slojev sem iz 3898 ha dobila 853 ha poplavljenih območij. Na podlagi vizualne interpretacije in pomožnih informacij o poplavi sem ocenila, da je še vedno problem pri urbaniziranih območjih, saj z dodatnimi sloji ne moremo dobro izločiti napačno klasificiranih območij.

**Preglednica 13: Izboljšanje klasifikacije z dodatnimi sloji**

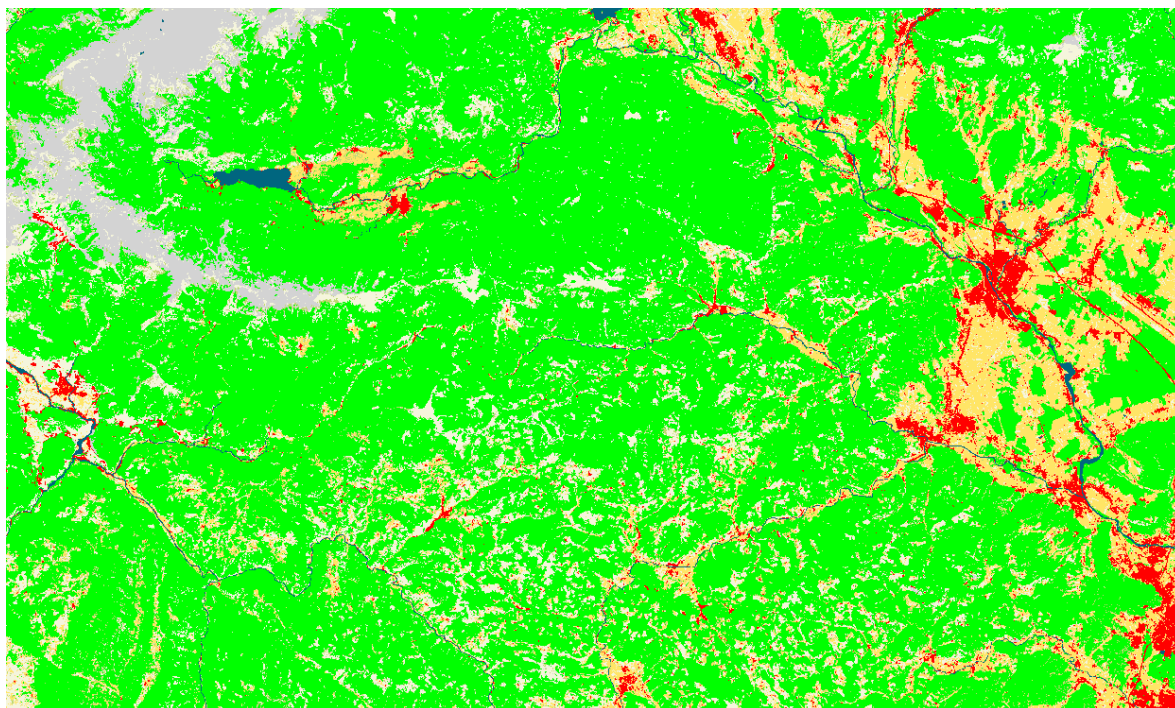
razred	reklasificirana podoba	NDVI (< 0)	DMV (< 1000 m)	oddaljenost (< 200 m)	naklon (< 6°)
poplavljen območja	3898 ha	3880 ha	2848 ha	1304 ha	853 ha

Pomemben je tudi podatek o rabi tal poplavljenih območij, v naslednjem poglavju sledi statistična analiza poplavljen rabe tal.

## 6 ANALIZA RABE TAL

Poplava je prizadela različne rabe tal. Za oceno škode je zelo pomemben podatek o vplivu poplave na posamezne kategorije rabe tal. V nadaljevanju sledi analiza poplavljenе rabe tal klasificirane satelitske podobe, pridobljenih terenskih podatkov ter primerjava teh dveh analiz.

Raba tal je poleg digitalnega modela reliefa najpomembnejši podatek o okolju. Pri analizi rabe tal sem uporabila sloj pokrovnosti tal, ki so ga s klasično nadzorovano klasifikacijo satelitskih posnetkov Landsat izdelali na Inštitutu za antropološke in prostorske študije Znanstveno raziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti za potrebe načrtovanja omrežja telefonije. Sloj pokrovnosti tal vsebuje naslednje kategorije pokrovnosti: gozd, grmičevje, ekstenzivna travniška raba, intenzivna travniška raba, pozidana in sorodna zemljišča, voda ter odprto (Kokalj in sod., 2006). Spodnja slika prikazuje sloj pokrovnosti tal, ki sem ga uporabila pri analizi rabe tal.



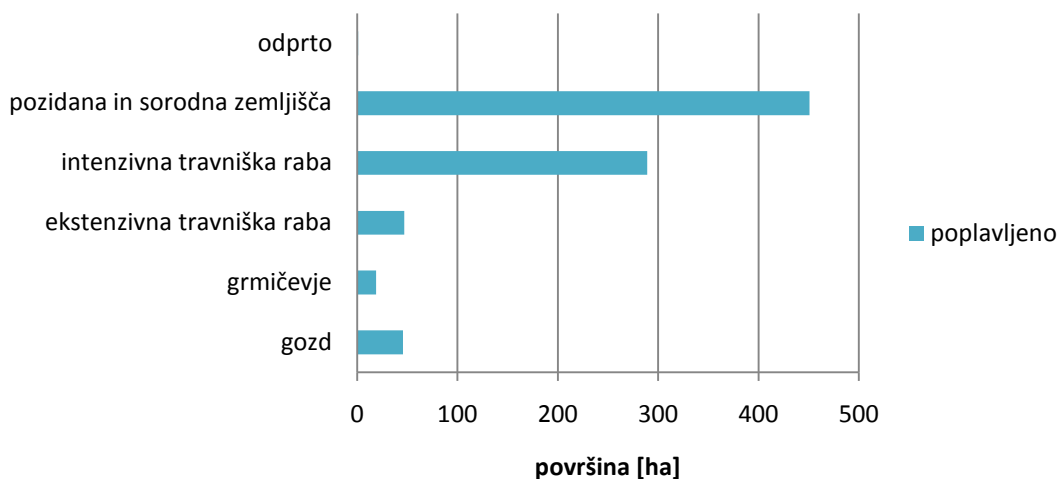
Slika 36: Pokrovnost tal za zahodno območje

## 6.1 Satelitski podatki

Pri analizi sem uporabila informacijski sloj poplavljenih območij in pokrovnosti tal. Analizo sem naredila s programom ERDAS IMAGINE 9.1, s programskim oknom "Spatial modeler", kjer sem določila presek poplavljenih območij z rabo tal. Preglednica 14 in slika 37 prikazujeta poplavljeno rabo tal.

**Preglednica 14: Poplavljena površina posamezne kategorije rabe tal**

kategorija rabe tal	poplavljena površina [ha]
gozd	46
grmičevje	19
ekstenzivna travniška raba	47
intenzivna travniška raba	289
pozidana in sorodna zemljišča	451
odprto	1
skupaj	853



**Slika 37: Poplavljena površina posamezne kategorije rabe tal**

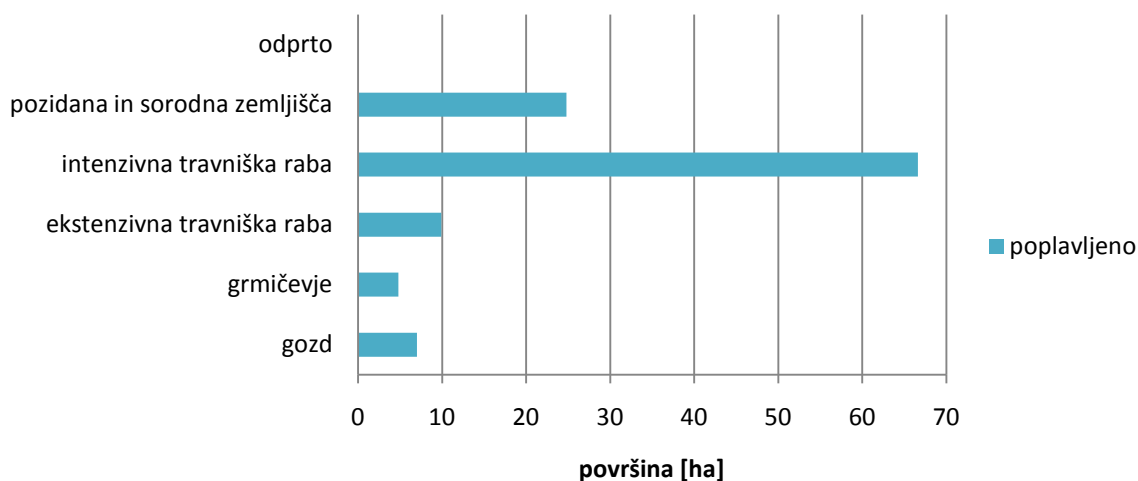
Poplava s površino 853 ha je uničila 46 ha gozda, 19 ha grmičevja, 47 ha ekstenzivne travniške rabe, 289 ha intenzivne travniške rabe, 451 ha pozidanih in sorodnih zemljišč ter 1

ha odprtega. Podatek o poplavljenih pozidanih in sorodnih zemljiščih je zaradi podobnosti in prepletanja spektralnih podpisov urbaniziranih in poplavljenih površin netočen.

Ker sem lahko poplavljenega območja ob Selški Sori bolje določila sledi analiza rabe tal za to območje, postopek je podoben kot za celotno območje podobe. Izbrano območje ob Selški Sori je isto kot pri oceni natančnosti klasifikacije. Preglednica 15 in slika 38 prikazujeta poplavljenega rabo tal.

**Preglednica 15: Poplavljenega površina posamezne kategorije rabe tal območja ob Selški Sori**

kategorija rabe tal	poplavljenega površina [ha]
gozd	7
grmičevje	5
ekstenzivna travniška raba	10
intenzivna travniška raba	67
pozidana in sorodna zemljišča	25
odprto	0
skupaj	114



**Slika 38: Poplavljenega površina posamezne kategorije rabe tal za območje ob Selški Sori**

## 6.2 Terenski podatki

Podatki so pridobljeni na podlagi ogledov strokovnjakov, pričevanja očitvidcev in zabeležbe ter geodetske izmere posameznih točk maksimalnih gladin (Inštitut za vode Republike Slovenije, 2007). Natančnost pridobljenih terenskih podatkov je uporabna za karto merila 1:5000. Podatki niso popolni, ker ne zajamejo vseh poplavljenih območij, na posameznih območjih je nakazana le smer poplavljanja, ne pa celotno poplavljeno območje. Naredila sem analizo rabe tal za zahodno območje in za območje ob Selški Sori, ker so podatki za to območje bolj popolni. Preglednica prikazuje površino poplavljenih rabe tal za celotno zahodno območje in za območje ob Selški Sori.

**Preglednica 16: Poplavljen površina posamezne kategorije rabe tal za zahodno območje in območje ob Selški Sori**

kategorija rabe tal	zahodno območje		območje ob Selški Sori	
	površina [ha]	%	površina [ha]	%
gozd	146	35	82	35
grmičevje	17	4	8	3
ekstenzivna travniška raba	36	9	22	9
intenzivna travniška raba	156	37	90	38
pozidana in sorodna zemljišča	65	15	34	15
odprto	1	0	0	0
skupaj	421	100	236	100

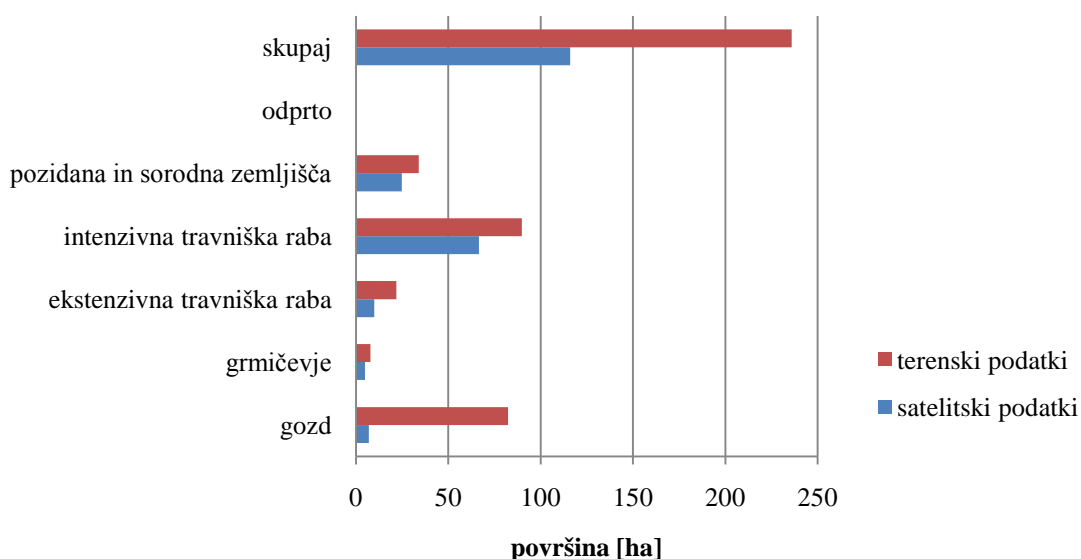
## 6.3 Primerjava terenskih in satelitskih podatkov

Terenske in satelitske podatke sem primerjala samo za območje ob Selški Sori, ker so terenski podatki za celotno zahodno območje nepopolni. Iz preglednice 17 in slike 39 je razvidno, da je iz terenskih podatkov površina poplavljenih območij dvakrat večja kot iz klasificirane podobe SPOT. Iz satelitskih podatkov določena poplavljen raba tal ima površino 114 ha, od tega 7 ha gozda, 5 ha grmičevja, 10 ha ekstenzivne travniške rabe, 67 ha intenzivne travniške

rabe, 25 ha pozidanega in sorodnega zemljišča. Poplavljena raba tal iz terenskih podatkov pa ima površino 236 ha, od tega je 82 ha gozda, 8 ha grmičevja, 22 ha ekstenzivne travniške rabe, 90 ha intenzivne travniške rabe, 34 pozidanega in sorodnega zemljišča. Največja razlika je pri gozdu, ker iz podob SPOT ne moremo določiti poplavljenega območja skozi krošnje.

**Preglednica 17: Poplavljene kategorije rabe tal iz satelitskih in terenskih podatkov za območje ob Selški Sori**

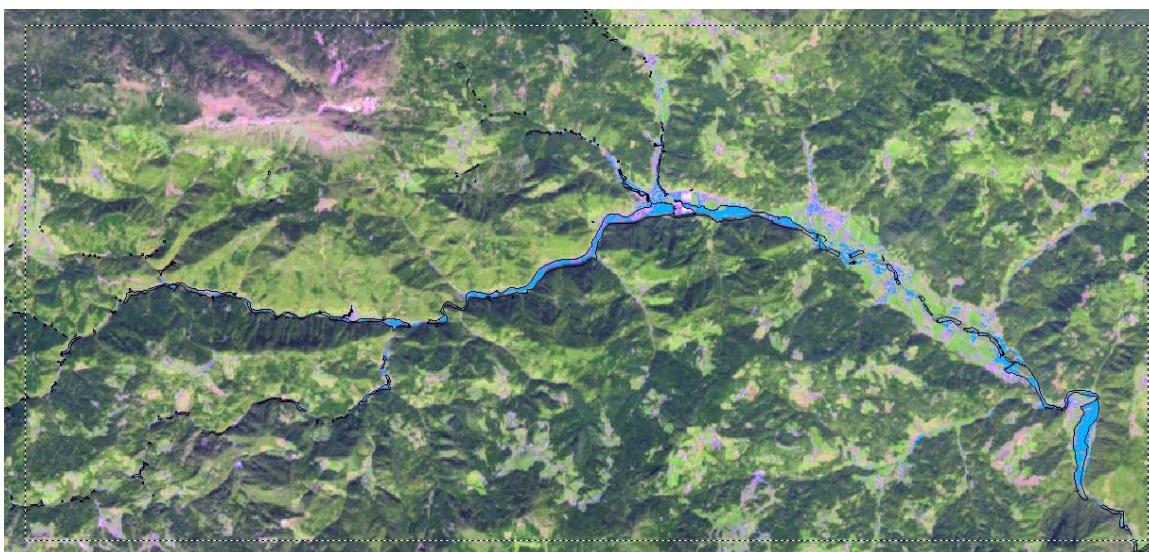
kategorija rabe tal	satelitski podatki		terenski podatki	
	površina [ha]	%	površina [ha]	%
gozd	7	6	82	35
grmičevje	5	4	8	3
ekstenzivna travniška raba	10	9	22	9
intenzivna travniška raba	67	59	90	38
pozidana in sorodna zemljišča	25	22	34	15
odprto	0	0	0	0
skupaj	114	100	236	100



**Slika 39: Primerjava poplavljene rabe tal iz satelitskih in terenskih podatkov**



Slika 40 prikazuje vektorski sloj terenskih podatkov, rastrski sloj klasificirane podobe SPOT (svetlo modra barva) in podlago podobe SPOT. Iz slike je razvidno, da se poplavljeni območja pridobljena iz satelitskih podatkov prekrivajo s terenskimi, nekatera območja pa se ne ujemajo. Podatki, ki so bili pridobljeni na terenu, niso popolni, poplavne linije se velikokrat le približne (pričevanje očitvecev, sledi). Največja razlika je pri poplavljenih gozdnih površinah, ker z optičnimi satelitskimi podobami ne moremo natančno določiti poplavljenih območij, saj nam to onemogočajo krošnje dreves.



**Slika 40: Terenski in klasificirani satelitski podatki območja ob Selški Sori, podlaga podoba SPOT**

## 7 SKLEP

V diplomski nalogi sem potrdila uporabnost satelitskega daljinskega zaznavanja za opazovanje naravnih nesreč. Satelitski posnetki zajamemo veliko območje na zemeljski površini v skoraj realnem času. Satelitsko daljinsko zaznavanje je velikokrat edina razpoložljiva tehnologija pri opazovanju nesreče. Z optičnimi in radarskimi satelitskimi sistemi lahko ocenimo tveganje in ga zmanjšamo ter ocenimo škodo nastalo pri naravnih nesrečah. Če imamo posnetke pred, med in po nesreči lahko natančneje ocenimo obsežnost nesreče. Veliko pa je odvisno od samih posnetkov, ki morajo imeti dobro prostorsko ločljivost ter primerne vremenske razmere v času snemanja.

Program Vesolje in velike nesreče (Space and Major Disasters), ki so ga ustanovile vesoljske agencije za učinkovito uporabo satelitske tehnologije v primeru naravnih in drugih nesreč, se je pri opazovanju poplav v Sloveniji izkazal za zelo koristnega in uspešnega. Program je bil aktiviran 19.09.2007, prva dva tedna po aktivaciji programa so potekale intenzivne aktivnosti in komunikacija med pooblaščenim uporabnikom (ZRC SAZU) in vodjo projekta (Tobias Schneiderhan iz DLR). Tri dni po poplavi so potekala prva snemanja prizadetih območij. Posnetih in posredovanih je bilo 25 satelitskih posnetkov iz šestnajstih snemanj s satelitskimi sistemi SPOT, Envisat, Radarsat, IRS in Formosat. Od vseh teh posnetkov so se izkazali za najbolj ustrezne posnetki SPOT, ki imajo visoko prostorsko ločljivost, dobro geometrijo snemanja, odlične radiometrične lastnosti in primerno spektralno ločljivost. Bili so zajeti tri dni po neurju za zahodno območje in 12 dni po neurju za vzhodno območje (Pehani in sod, 2008). Posnetek SPOT za vzhodno območje je bil posnet prepozno, saj ni več mogoče interpretirati sledi poplave.

Postopek obdelave je odvisen od pridobljenih posnetkov. S primerno obdelavo pridobimo iz posnetkov uporabne podatke. Posnetke SPOT so na ZRC SAZU-ju predobdelali: ortorektificirali, izostrili in izboljšali kontrast. Z uporabo digitalnega modela višin ter podatkov o položaju satelita v trenutku snemanja so z ortorektifikacijo zmanjšali geometrične napake, posebno premaknjenost reliefa. Pri izostritvi posnetka so spojili večspektralni posnetek s pankromatskim posnetkom visoke prostorske ločljivosti. Pri izboljšanju kontrasta

so vizualno kombinirali barvno spremenjeni pankromatski in večspektralni posnetek (Pehani in sod, 2008).

Iz predobdelanih podob SPOT sem nato izračunala normiran diferencialni vegetacijski indeks in z nadzorovano klasifikacijo določila poplavljenega območja. Natančnost klasifikacije sem izboljšala z dodatnimi sloji: z normiranim diferencialnim vegetacijskim indeksom, iz hidrografije izvedenim slojem oddaljenosti, z digitalnim modelom višin in iz njega izvedenim slojem naklonov. Z integracijo podatkov v GIS sem pridobila bolj natančen sloj poplavljenih območij.

Normiran diferencialni vegetacijski indeks je pri poplavljenih območjih manjši od 0, pri ostalih območjih pa je pogosto večji od 0. Indeks je precej odvisen od rabe tal poplavljenega območja, sedimentov poplavljene vode, atmosferskih pogojev, oblačnosti in kota snemanja satelita. Iz izračunanega indeksa ne morem določiti poplavljenih območij, pomagal pa mi je pri izboljšanju klasifikacije. Na podobah SPOT je NDVI negativen pri poplavljenih, urbaniziranih, oranih kmetijskih površinah, sencah, na območjih prikritih s snegom (hribovita območja). NDVI na zahodni podobi zavzame vrednosti od -1 do 0,65, na vzhodni podobi pa vrednosti od -0,63 do 0,99. Vzhodna podoba ima višje vrednosti NDVI, posneta je bila 12 dni po poplavi, zato so poplavljenega območja težje določljiva.

Z nadzorovano klasifikacijo podob SPOT za zahodno in vzhodno območje sem dobila kvantitativni sloj poplavljenih območij. Pri klasifikaciji je zelo pomembna dobra izbira vzorcev, ki morajo biti reprezentativni in homogeni. Klasifikacija zahodne podobe SPOT je zadovoljiva. Klasificirano podobo sem sfiltrirala s filtrom mediana, ki podobo zgladi, pri čemer ohrani robove in ne ustvari novih vrednosti. Po filtriranju podobe se poveča površina poplavljenih območij iz 3804 ha na 3898 ha. Z dodatnimi sloji sem nato izločila napačno klasificirana območja, ki imajo podoben spektralni odboj kot poplavljenega območja. Klasifikacija vzhodne podobe SPOT ni bila uspešna, na podobi ima kategorija poplavljenih območij zelo podoben spektralni odboj kot kmetijske in urbanizirane površine. Ker je bila vzhodna podoba posneta 12 dni po poplavi, na podobi ni več možno dovolj dobro določiti poplavljenih območij.

Pri klasificirani zahodni podobi SPOT imajo sneg, gola tla, urbanizirane in nekatere kmetijske površine (orana polja) podoben spektralni odboj kot poplavljen območja. Z integracijo podatkov v GIS pridobimo bolj natančne informacije kot z enim samim slojem. Sneg in gola tla sem uspešno izločila z digitalnim modelom višin. Nekaj urbaniziranih in kmetijskih površin sem izločila iz hidrografije izvedenega sloja oddaljenosti, nekaj pa iz digitalnega modela višin izvedenega sloja naklona. Z normiranim diferencialnim vegetacijskim indeksom sem izločila zelo malo poplavljenih površin, z upoštevanjem dodatnih slojev sem iz 3898 ha potencialno poplavljenih območij dobila 853 ha. Rezultat postopka je informacijski sloj poplavljenih območij. Na podlagi vizualne interpretacije in pomožnih informacij o poplavi sem ocenila, da je še vedno problem pri urbaniziranih območjih, saj je v sloju poplavljenih območij kar nekaj urbaniziranih območij, ki niso bila poplavljena. Natančnost celotnega postopka klasifikacije, ocenjena s primerjavo vizualne interpretacije, na podlagi 400 vzorčnih točk, je 94 %. Ocena natančnosti je subjektivna, ker je ocena natančnosti klasifikacije narejena z vizualno interpretacijo, za objektivno oceno bi morala uporabiti referenčne podatke, ki pa jih ni. Kakovost izdelanega sloja celotnega zahodnega območja je dobra, zlasti za študije na državni ali regionalni ravni z izločitvijo urbaniziranih območij. Kakovost izdelanega sloja poplavljenih območij ob Selški Sori, pa je zelo dobra za študije na regionalni ravni.

Za oceno škode je zelo pomemben podatek o vplivu poplave na posamezne kategorije rabe tal, ki jih je zajelo neurje. Poplava s površino 853 ha je uničila 46 ha gozda, 19 ha grmičevja, 47 ha ekstenzivne travniške rabe, 289 ha intenzivne travniške rabe, 1 ha odprtega. Podatek o poplavljenih pozidanih in sorodnih zemljiščih ni natančen. Poplavljen območja ob Selški Sori so bolj določljiva kot za celotno območje. V primerjavi s terenskimi podatki je poplavljen raba tal za območje ob Selški Sori manjša iz satelitskih podatkov kot iz terenskih. Največja je razlika pri poplavljeni rabi tal gozda, ker z optičnimi satelitskimi podobami ne moremo določiti poplavljen območja skozi krošnje, zato lahko sklepamo, da je površina poplavljenih območij za celotno podobo večja.

Z daljinskim zaznavanjem lahko spremljamo poplave in ocenjujemo njihov obseg. Natančnost določenih poškodovanih površin je odvisna od pridobljenih satelitskih podob, postopka obdelave podob in drugih razpoložljivih pomožnih podatkov. Podatke daljinskega zaznavanja

vključimo v geografski informacijski sistem, saj združeni podatki omogočajo oceno škode ter določitev poplavno ogroženih območij. Te podatke potrebujejo urbanisti, civilna zaščita, zavarovalnice (za oceno odškodnin pri poplavah).

## **VIRI**

### **Uporabljeni viri**

Bouillon, A., Bernard, M., Gigord, P., Orsoni, A., Rudowski, V., Baudoin, A. 2006. SPOT 5 HGR geometric performances: Using block adjustment as a key issue to improve quality of DEM generation. *ISPRS Journal of Photogrammetry of Remote Sensing* 60: 134-146.

Brovelli, M.A., Crespi, M., Fratarcangeli, F., Giannone, F., Realini, E. 2008. Accuracy assessment of high resolution satellite imagery orientation by leave one out method. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 63: 427-440.

Buehler, Y., Kellenberger, T. 2007. Development Of Processing Chains For Rapid Mapping With Satellite Data. V: Li, J., Zlatanova, S., Fabbri, A. (ur.) *Geomatics Solutions for Disaster Management*. Springer Berlin Heidelberg. Springer: 49 – 60.

Campbell, J. B. 1996. *Introduction to Remote Sensing*. 2.izdaja. New York, The Guilford Press: 622 str.

Canada Centre for Remote Sensing (CCRS). 2004.

[http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals\\_e.pdf](http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf) (25.07.2008).

Dagras, CH., Duran, M., Zarrouati, O. 1995. The SPOT-5 Mission. *Acta Astronautica* 35, 9-11: 651-660.

Elbe Flood. 2008.

[http://www.zki.caf.dlr.de/applications/2006/germany/elbe\\_flood\\_2006\\_en.html](http://www.zki.caf.dlr.de/applications/2006/germany/elbe_flood_2006_en.html) (1.10.2008).

ERDAS Field Guide. 2008. Norcross, ERDAS: 776 str.

<http://www.erdas.com/LinkClick.aspx?fileticket=VVgG6WLXyE8%3d&tabid=84&mid=401> (29.10.2008).

Inštitut za vode Republike Slovenije, 2007. Priprava karte poplavnih linij, erozije in poškodb ob neurju 18. septembra 2007. Ljubljana.

International Charter. 2008a.

[http://www.disasterscharter.org/about\\_e.html](http://www.disasterscharter.org/about_e.html) (24.07.2008).

International Charter. 2008b.

[http://www.disasterscharter.org/disasters\\_e.html?yr=2007](http://www.disasterscharter.org/disasters_e.html?yr=2007) (13.10.2008).

International Charter. 2008c.

[http://www.disasterscharter.org/activate\\_e.html](http://www.disasterscharter.org/activate_e.html) (13.10.2008).

International Charter. 2008d.

[http://www.disasterscharter.org/new/video\\_e.html](http://www.disasterscharter.org/new/video_e.html) (13.10.2008).

Janža, M. 2006. Modeliranje napajanja regionalnega vodonosnika z uporabo metod daljinskega zaznavanja. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije: 133 str.

Jemec, M., Mikoš, M. 2008. Pobočni masni premiki na satelitskih posnetkih SPOT: Primer območja Železnikov po vodni ujmi septembra 2007. *Geologija* 51, 2: 235 – 243.

<http://www.geologija-revija.si/dokument.aspx?id=1038> (26.12.2008).

Kokalj, Ž., Oštir, K. 2006. Ugotavljanje pokrovnosti Slovenije iz satelitskih posnetkov Landsat. *Geografski vestnik* 78, 2: 85 – 95.

<http://iaps.zrc-sazu.si/Files/File/Publikacije/gv78-2-kokaljostir.pdf> (12.01.2009).

Marsetič, A. 2005. Izdelava digitalnega modela višin in ortopodob iz satelitskih posnetkov SPOT. Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo, Geodetska smer: 70 str.

Mather, P. M. 1999. *Computer Processing of Remotely Sensed Images: An Introduction*. 2.izdaja. Chichester, John Wiley and Sons: 292 str.

Naravne nesreče. 2008.

[http://giam.zrc-sazu.si/naravne\\_nesrece.htm](http://giam.zrc-sazu.si/naravne_nesrece.htm) (1.10.2008).

Neurje. 2008.

[http://iaps.zrc-sazu.si/Files/Image/Raziskave/neurje2007/sekcije\\_kart\\_www.gif](http://iaps.zrc-sazu.si/Files/Image/Raziskave/neurje2007/sekcije_kart_www.gif) (7.10.2008).

Oštir, K. 2006. Daljinsko zaznavanje. Ljubljana, Založba ZRC: 250 str.

Pehani, P., Kokalj, Ž., Marsetič, A., Oštir, K. 2008. Uporaba satelitskih posnetkov za analizo poplav septembra 2007. V: Perko, D., Zorn, M., Razpotnik, N., Čeh, M., Hladnik, D., Krevs, M., Podobnikar, T., Repe, B., Šumrada, R. (ur.). Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007-2008: 117-128.

Podobnikar, T. 2002. Model zemeljskega površja – DMR ali DMV? Geodetski vestnik 46, 4: 347-356.

Podobnikar, T., Mlinar, J. 2006. Izdelava in vzdrževanje digitalnega modela reliefa Slovenije z integracijo obstoječih virov. Geodetski vestnik 50, 3: 472-480.

Portal GIS\_UJME. 2008.

[http://gis3.sos112.si/portal-gis\\_ujme/](http://gis3.sos112.si/portal-gis_ujme/) (10.12.2008).

Sanyal, J., Lu, X. X. 2004. Application of Remote Sensing in Flood Management with Special Reference to Monsoon Asia: Review. Natural Hazards. Netherlands, Springer: 283-301.

Spot Image. 2006.

[http://www.spotimage.fr/automne\\_modules\\_files/standard/public/p172\\_9d709b1bd850b040110d9d66db425dd2SPOT\\_E.pdf](http://www.spotimage.fr/automne_modules_files/standard/public/p172_9d709b1bd850b040110d9d66db425dd2SPOT_E.pdf) (24.07.2008).

Spot Image. 2008.

<http://www.spotimage.fr/web/en/342-drs-network.php> (10.12.2008).



---

Šumrada, R. 2005. Strukture podatkov in prostorske analize. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 330 str.

Švab, A. 2003. Združevanje pankromatskih in multispektralnih satelitskih posnetkov. Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo, Geodetska smer: 65 str.

Tehncial information SPOT. 2008a.

[http://www.spotimage.fr/automne\\_modules\\_files/standard/public/p234\\_0916b39e58c710b3bb5788fdcc025f80niveau\\_anglais\\_2008.pdf](http://www.spotimage.fr/automne_modules_files/standard/public/p234_0916b39e58c710b3bb5788fdcc025f80niveau_anglais_2008.pdf) (24.07.2008).

Tehncial information SPOT. 2008b.

[http://www.spotimage.fr/automne\\_modules\\_files/standard/public/p235\\_e66fdc8d9baeb629a19beb53be67339ddimap\\_E.pdf](http://www.spotimage.fr/automne_modules_files/standard/public/p235_e66fdc8d9baeb629a19beb53be67339ddimap_E.pdf) (24.07.2008).

Veljanovski, T. 2007. Zaznavanje sprememb na površju s podatki daljinskega zaznavanja. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo, Podiplomski študij geodezije: 192 str.

## **Ostali viri**

Barett, E. C., Curtis, L. F. 1999. Introduction to Environmental Remote Sensing. 4.izdaja. Cheltenham, Stanley Thornes: 457 str.

Kobold, M. 2008. Katastrofalne poplave in visoke vode 18. septembra 2007. Ujma 22: 65-75.  
<http://www.sos112.si/slo/tdocs/ujma/2008/065.pdf> (10.12.2008).

Komac, M. 2005. Napoved verjetnosti pojavljanja plazov z analizo satelitskih in drugih prostorskih podatkov. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije: 232 str.

Li, J., Li, Y., and Chapman, M. A. 2005. Geo-information for Disaster. V: Oosterom, P., Zlatanova, S., Fendel, E. M. (ur.). Geo-information for Disaster. Toronto, Springer: str. 1055-1070.

Oštir, K., Veljanovski, T., Podobnikar, T., Stančič, Z. 2002. Uporaba daljinskega zaznavanja pri opazovanju plazov v Logu pod Mangartom. V: Podobnikar, T., Perko, D., Krevs, M., Stančič, Z. in Hladnik, D. (ur.). Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2001-2002: str. 197–209.

Stancalie, G., Catana, S., Irimescu, A., Savin., E., Diamandi, A., Hofnar, A., Oancea, S. 2006. Contribution of earth observation data supplied by the new satellite sensors to flood management. Transboundary floods: Reducing Risks Through Management: 287-304.

Schowengerdt, R. A. 1997. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. 2.izdaja. San Diego, Academic Press: 522 str.

Šumrada, R. 2005. Tehnologija GIS. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 330 str.







## Priloga A2: Statistične vrednosti in kovariančne matrike spektralnih podpisov

### Signature Listing

Signature file: nadzorovana\_z6.sig  
 Source image file: spot\_zahod.img  
 Number of signatures: 7  
 Number of layers: 4

Signature: sneg

Number of pixels: 22242

#### Statistics

Layer	Mimimum	Maximum	Mean	Sigma
1	167.000	255.000	245.388	27.429
2	241.000	255.000	254.788	1.265
3	142.000	255.000	230.532	21.236
4	32.000	104.000	60.605	14.007

#### Covariance

Layer	1	2	3	4
1	752.339	-1.955	-234.429	-36.775
2	-1.955	1.601	1.461	-1.449
3	-234.429	1.461	450.988	-27.401
4	-36.775	-1.449	-27.401	196.199

Signature: gola\_tla

Number of pixels: 44491

#### Statistics

Layer	Mimimum	Maximum	Mean	Sigma
1	109.000	255.000	226.982	35.038
2	132.000	255.000	244.666	16.687
3	10.000	220.000	158.532	31.376
4	137.000	255.000	238.133	22.034

#### Covariance

Layer	1	2	3	4
1	1227.675	510.363	821.777	620.539
2	510.363	278.461	365.815	312.248
3	821.777	365.815	984.472	516.057
4	620.539	312.248	516.057	485.484

Signature: gozdna\_območja

Number of pixels: 62932

#### Statistics

Layer	Mimimum	Maximum	Mean	Sigma
1	34.000	121.000	69.289	12.037
2	30.000	104.000	55.519	8.918
3	35.000	149.000	89.850	27.272
4	21.000	131.000	67.307	24.647

#### Covariance

Layer	1	2	3	4
1	144.897	51.287	-33.548	-32.344
2	51.287	79.530	166.047	161.574
3	-33.548	166.047	743.747	652.614
4	-32.344	161.574	652.614	607.458

Signature: urbanizirane\_površine

Number of pixels: 27203

#### Statistics

Layer	Mimimum	Maximum	Mean	Sigma
1	72.000	254.000	185.873	37.571
2	93.000	255.000	202.677	31.882
3	7.000	235.000	105.888	32.262
4	11.000	245.000	148.698	29.148

Covariance				
Layer	1	2	3	4
1	1411.544	1094.340	720.715	654.468
2	1094.340	1016.457	539.680	599.362
3	720.715	539.680	1040.866	833.501
4	654.468	599.362	833.501	849.616

Signature: poplavljen\_območja  
 Number of pixels: 19548

Statistics				
Layer	Mimimum	Maximum	Mean	Sigma
1	114.000	205.000	163.192	10.087
2	97.000	199.000	156.512	12.383
3	56.000	131.000	85.156	7.502
4	60.000	145.000	99.393	8.869

Covariance				
Layer	1	2	3	4
1	101.755	111.715	-39.243	-22.498
2	111.715	153.350	-34.727	-18.571
3	-39.243	-34.727	56.279	48.106
4	-22.498	-18.571	48.106	78.658

Signature: kmetijske\_površine  
 Number of pixels: 39414

Statistics				
Layer	Mimimum	Maximum	Mean	Sigma
1	65.000	157.000	127.943	23.836
2	45.000	189.000	143.411	47.044
3	75.000	149.000	96.279	22.669
4	70.000	162.000	129.541	24.253

Covariance				
Layer	1	2	3	4
1	568.153	1102.074	-517.397	554.466
2	1102.074	2213.102	-1036.034	1102.647
3	-517.397	-1036.034	513.875	-504.204
4	554.466	1102.647	-504.204	588.203

Signature: voda  
 Number of pixels: 17644

Statistics				
Layer	Mimimum	Maximum	Mean	Sigma
1	170.000	255.000	219.589	21.627
2	68.000	236.000	162.378	47.067
3	27.000	74.000	42.205	8.493
4	21.000	66.000	36.877	7.475

Covariance				
Layer	1	2	3	4
1	467.733	968.328	139.638	111.285
2	968.328	2215.279	296.186	227.752
3	139.638	296.186	72.131	60.152
4	111.285	227.752	60.152	55.879

### Priloga A3: Matrika napak vzorcev v piksljih in odstotkih

ERROR MATRIX

Classified Data	Reference Data			
	sneg	gola_tla	gozdna_obm	urbanizira
sneg	22205	0	0	0
gola_tla	0	42641	0	439
gozdna_obm	0	0	62498	0
urbanizira	0	1388	0	24602
voda	0	0	0	14
kmetijske_	0	461	428	1687
poplavljen	0	0	0	459
Column Total	22205	44490	62926	27201

Classified Data	Reference Data			Row Total
	voda	kmetijske_	poplavljen	
sneg	0	0	0	22205
gola_tla	0	0	0	43080
gozdna_obm	0	40	0	62538
urbanizira	4	1732	404	28130
voda	17646	0	0	17660
kmetijske_	0	37613	2	40191
poplavljen	0	37	19142	19638
Column Total	17650	39422	19548	233442

----- End of Error Matrix -----

ERROR MATRIX

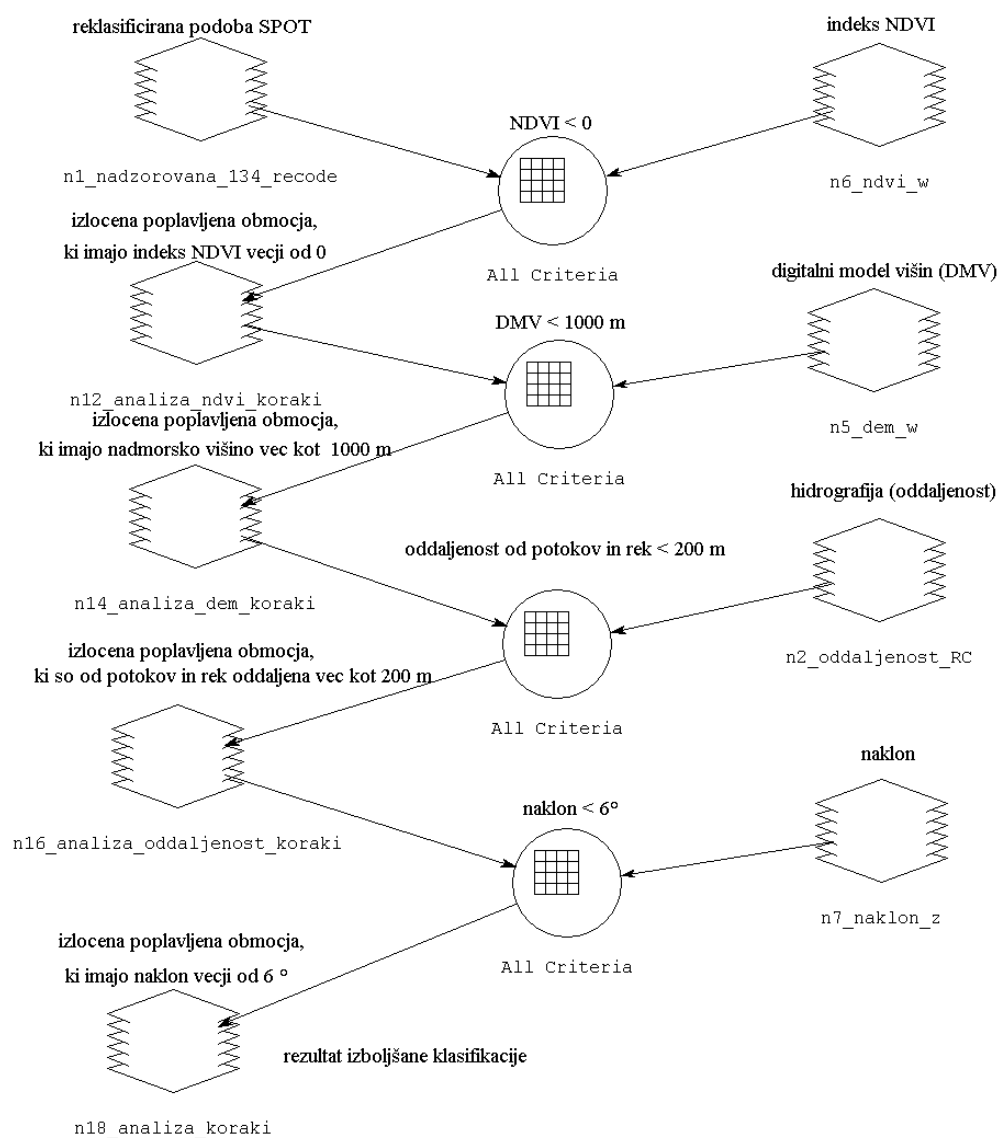
Classified Data	Reference Data			
	sneg	gola_tla	gozdna_obm	urbanizira
sneg	100.00	0.00	0.00	0.00
gola_tla	0.00	95.84	0.00	1.61
gozdna_obm	0.00	0.00	99.32	0.00
urbanizira	0.00	3.12	0.00	90.45
voda	0.00	0.00	0.00	0.05
kmetijske_	0.00	1.04	0.68	6.20
poplavljen	0.00	0.00	0.00	1.69
Column Total	22205	44490	62926	27201

Classified Data	Reference Data			Row Total
	voda	kmetijske_	poplavljen	
sneg	0.00	0.00	0.00	22205
gola_tla	0.00	0.00	0.00	43080
gozdna_obm	0.00	0.10	0.00	62538
urbanizira	0.02	4.39	2.07	28130
voda	99.98	0.00	0.00	17660
kmetijske_	0.00	95.41	0.01	40191
poplavljen	0.00	0.09	97.92	19638
Column Total	17650	39422	19548	233442

----- End of Error Matrix -----



#### A4: Shema modela pri izboljšanju klasifikacije



**A5: Seznam in vrednost uporabljenih klasificiranih in referenčnih točk**

Ime točke	Y [m]	X [m]	razred klasificirana	razred referenčna
ID#1	433295.5	124844	2	2
ID#2	443423.5	130628	2	2
ID#3	412893.5	104228	2	2
ID#4	434863.5	124904	2	2
ID#5	429091.5	107912	2	2
ID#6	400403.5	87104	2	2
ID#7	397865.5	113684	2	2
ID#8	405919.5	120864	2	2
ID#9	446475.5	116216	2	2
ID#10	420999.5	124432	2	2
ID#11	401919.5	91574	2	2
ID#12	397213.5	103932	2	2
ID#13	434563.5	100048	2	2
ID#14	402087.5	134638	2	2
ID#15	402039.5	121808	2	2
ID#16	413975.5	86672	2	2
ID#17	402733.5	142360	2	2
ID#18	400185.5	145304	2	2
ID#19	397799.5	108650	2	2
ID#20	426497.5	112476	2	2
ID#21	400385.5	90282	2	2
ID#22	419085.5	87272	2	2
ID#23	402009.5	126532	2	2
ID#24	414235.5	91724	2	2
ID#25	437689.5	130942	2	2
ID#26	397209.5	127418	2	2
ID#27	420183.5	122846	2	2
ID#28	437281.5	127998	2	2
ID#29	428525.5	84542	2	2
ID#30	419959.5	92396	2	2
ID#31	400639.5	130498	2	2
ID#32	420739.5	95198	2	2
ID#33	412909.5	120862	2	2
ID#34	413945.5	143322	2	2
ID#35	429123.5	94656	2	2
ID#36	434337.5	127514	2	2
ID#37	408731.5	102084	2	2
ID#38	443909.5	86288	2	2
ID#39	434779.5	135208	2	2
ID#40	432921.5	124034	2	2
ID#41	441983.5	137254	2	2
ID#42	442775.5	89790	2	2
ID#43	397963.5	137448	2	2
ID#44	427569.5	135444	2	2
ID#45	438169.5	101302	2	2
ID#46	445955.5	134210	2	2
ID#47	396495.5	124894	2	2
ID#48	439447.5	82894	2	2
ID#49	419681.5	101608	2	2
ID#50	444687.5	105568	2	2
ID#51	446171.5	131406	2	2
ID#52	415101.5	111754	2	2
ID#53	398457.5	112402	2	2
ID#54	391295.5	91776	2	2
ID#55	423653.5	104758	2	2
ID#56	410839.5	119358	2	2
ID#57	410393.5	93276	2	2
ID#58	436973.5	109924	2	2
ID#59	400363.5	114132	2	2
ID#60	434385.5	104712	2	2
ID#61	400619.5	141858	2	2
ID#62	413547.5	92960	2	2
ID#63	422439.5	138328	2	2
ID#64	398321.5	94924	2	2
ID#65	408885.5	142058	2	2

Vodišek, D. 2009. Opazovanje poplav s podatki daljinskega zaznavanja.  
Diplomska naloga – UNI. Ljubljana, UL, FGG, Odd. za geodezijo, Geodetska smer.

---

Ime	Y [m]	X [m]	razred klasificirana	razred referenčna
točke				
ID#66	443833.5	124596	2	2
ID#67	419093.5	137348	2	2
ID#68	402689.5	91502	2	2
ID#69	447967.5	95778	2	2
ID#70	428379.5	127558	2	2
ID#71	399879.5	122574	2	2
ID#72	409713.5	100402	2	2
ID#73	399961.5	90342	2	2
ID#74	432809.5	132148	2	2
ID#75	436955.5	124266	2	2
ID#76	399781.5	114432	2	2
ID#77	446799.5	127096	2	2
ID#78	402025.5	127370	2	2
ID#79	448053.5	111730	2	2
ID#80	403539.5	105608	2	2
ID#81	414891.5	114052	2	2
ID#82	419155.5	134704	2	2
ID#83	394587.5	91648	2	2
ID#84	401705.5	130638	2	2
ID#85	446459.5	131646	2	2
ID#86	430977.5	124852	2	2
ID#87	421833.5	135680	2	2
ID#88	397391.5	135596	2	2
ID#89	432485.5	83166	2	2
ID#90	440337.5	92130	2	2
ID#91	400729.5	98868	2	2
ID#92	396539.5	120536	2	2
ID#93	427869.5	97584	2	2
ID#94	419125.5	108260	2	2
ID#95	416589.5	126652	2	2
ID#96	426707.5	129504	2	2
ID#97	445083.5	86038	2	2
ID#98	410617.5	87256	2	2
ID#99	430955.5	105028	2	2
ID#100	416427.5	97400	2	2
ID#101	438761.5	112090	2	2
ID#102	417351.5	125782	2	2
ID#103	401195.5	146706	2	2
ID#104	412363.5	98038	2	2
ID#105	431009.5	103282	2	2
ID#106	446627.5	90086	2	2
ID#107	427909.5	109790	2	2
ID#108	426659.5	109726	2	2
ID#109	401997.5	117916	2	2
ID#110	418955.5	104414	2	2
ID#111	401557.5	107326	2	2
ID#112	423317.5	90032	2	2
ID#113	445053.5	94926	2	2
ID#114	418383.5	113010	2	2
ID#115	438125.5	104840	2	2
ID#116	433661.5	123458	2	2
ID#117	399489.5	110218	2	2
ID#118	394957.5	94092	2	2
ID#119	407915.5	130544	2	2
ID#120	409465.5	99968	2	2
ID#121	421273.5	90600	2	2
ID#122	437807.5	90244	2	2
ID#123	429381.5	121220	2	2
ID#124	421003.5	117614	2	2
ID#125	410063.5	86934	2	2
ID#126	397459.5	113286	2	2
ID#127	388727.5	109942	2	2
ID#128	437697.5	130034	2	2
ID#129	421945.5	112682	2	2
ID#130	447139.5	120426	2	2
ID#131	416673.5	120790	2	2
ID#132	444159.5	110922	2	2
ID#133	408935.5	96222	2	2
ID#134	430561.5	103012	2	2
ID#135	410569.5	88462	2	2

Ime točke	Y [m]	X [m]	razred klasificirana	razred referenčna
ID#136	396507.5	142650	2	2
ID#137	430135.5	119028	2	2
ID#138	412635.5	120342	2	2
ID#139	402735.5	97216	2	2
ID#140	417851.5	83438	2	2
ID#141	391469.5	101820	2	2
ID#142	438455.5	102536	2	2
ID#143	393441.5	94740	2	2
ID#144	443885.5	133682	2	2
ID#145	401531.5	128560	2	2
ID#146	420045.5	111470	2	2
ID#147	434107.5	115684	2	2
ID#148	430939.5	90930	2	2
ID#149	407515.5	135230	2	2
ID#150	442587.5	129670	2	2
ID#151	445139.5	135554	2	2
ID#152	410183.5	124212	2	2
ID#153	427663.5	102754	2	2
ID#154	406951.5	144484	2	2
ID#155	392969.5	126708	2	2
ID#156	419779.5	89430	2	2
ID#157	403141.5	97190	2	2
ID#158	440025.5	98070	2	2
ID#159	448001.5	93392	2	2
ID#160	410941.5	101474	2	2
ID#161	440533.5	131992	2	2
ID#162	396531.5	104246	2	2
ID#163	412981.5	112390	2	2
ID#164	414195.5	114062	2	2
ID#165	406107.5	95956	2	2
ID#166	398367.5	98712	2	2
ID#167	431141.5	110228	2	2
ID#168	445195.5	89824	2	2
ID#169	427541.5	128872	2	2
ID#170	411515.5	121292	2	2
ID#171	399321.5	138682	2	2
ID#172	445035.5	102602	2	2
ID#173	435481.5	124688	2	2
ID#174	432087.5	91856	2	2
ID#175	431341.5	93524	2	2
ID#176	431993.5	99768	2	2
ID#177	433953.5	132320	2	2
ID#178	395445.5	104572	2	2
ID#179	430439.5	129000	2	2
ID#180	398057.5	122848	2	2
ID#181	434799.5	138518	2	2
ID#182	400701.5	138430	2	2
ID#183	432937.5	100132	2	2
ID#184	395139.5	91494	2	2
ID#185	434981.5	121500	2	2
ID#186	445141.5	98406	2	2
ID#187	426061.5	90510	2	2
ID#188	396615.5	113332	2	2
ID#189	417547.5	108142	2	2
ID#190	421737.5	83532	2	2
ID#191	420861.5	141078	2	2
ID#192	393919.5	90698	2	2
ID#193	397707.5	115902	2	2
ID#194	399857.5	134904	2	2
ID#195	400045.5	138678	2	2
ID#196	420803.5	97610	2	2
ID#197	440075.5	94896	2	2
ID#198	427043.5	122866	2	2
ID#199	398767.5	92154	2	2
ID#200	429133.5	115764	2	2
ID#201	442201.5	121370	2	2
ID#202	445081.5	86594	2	2
ID#203	402305.5	128520	2	2
ID#204	405841.5	101540	2	2
ID#205	413159.5	139388	2	2

Vodišek, D. 2009. Opazovanje poplav s podatki daljinskega zaznavanja.  
Diplomska naloga – UNI. Ljubljana, UL, FGG, Odd. za geodezijo, Geodetska smer.

---

Ime	Y [m]	X [m]	razred klasificirana	razred referenčna
točke				
ID#206	417513.5	140706	2	2
ID#207	400841.5	96592	2	2
ID#208	447151.5	116260	2	2
ID#209	403151.5	111906	2	2
ID#210	444653.5	135850	2	2
ID#211	405077.5	122636	2	2
ID#212	426939.5	103440	2	2
ID#213	423721.5	97464	2	2
ID#214	396151.5	120420	2	2
ID#215	399373.5	95910	2	2
ID#216	447319.5	133806	2	2
ID#217	410267.5	99998	2	2
ID#218	422425.5	121822	2	2
ID#219	426359.5	92824	2	2
ID#220	386233.5	96596	2	2
ID#221	415557.5	97046	2	2
ID#222	409391.5	95976	2	2
ID#223	400439.5	139880	2	2
ID#224	418601.5	121440	2	2
ID#225	423347.5	103848	2	2
ID#226	425405.5	135708	2	2
ID#227	443747.5	85922	2	2
ID#228	426225.5	129292	2	2
ID#229	404137.5	121448	2	2
ID#230	396957.5	130972	2	2
ID#231	399225.5	93616	2	2
ID#232	390013.5	97498	2	2
ID#233	385941.5	100514	2	2
ID#234	431279.5	120582	2	2
ID#235	399299.5	121770	2	2
ID#236	401163.5	94998	2	2
ID#237	429371.5	139062	2	2
ID#238	396747.5	123648	2	2
ID#239	384849.5	91948	2	2
ID#240	420047.5	90202	2	2
ID#241	447421.5	88850	2	2
ID#242	435431.5	101214	2	2
ID#243	398241.5	105504	2	2
ID#244	406137.5	91670	2	2
ID#245	415703.5	109152	2	2
ID#246	400017.5	147412	2	2
ID#247	421007.5	86962	2	2
ID#248	409535.5	123470	2	2
ID#249	437255.5	126018	2	2
ID#250	435299.5	132762	2	2
ID#251	420997.5	96776	2	2
ID#252	403231.5	129154	2	2
ID#253	399319.5	116306	2	2
ID#254	411509.5	139630	2	2
ID#255	404183.5	100746	2	2
ID#256	422981.5	138976	2	2
ID#257	389295.5	97554	2	2
ID#258	410791.5	98460	2	2
ID#259	431975.5	132358	2	2
ID#260	418405.5	125698	2	2
ID#261	394907.5	120866	2	2
ID#262	412863.5	106140	2	2
ID#263	385951.5	90950	2	2
ID#264	447223.5	129310	2	2
ID#265	431911.5	85868	2	2
ID#266	395249.5	91570	2	2
ID#267	402315.5	90584	2	2
ID#268	395095.5	111866	2	2
ID#269	427317.5	91074	2	2
ID#270	403531.5	128776	2	2
ID#271	430447.5	87070	2	2
ID#272	411883.5	134414	2	2
ID#273	409713.5	104826	2	2
ID#274	431745.5	125898	2	2
ID#275	407321.5	128590	2	2

Ime točke	Y [m]	X [m]	razred klasificirana	razred referenčna
ID#276	414733.5	118560	2	2
ID#277	404301.5	134444	2	2
ID#278	404777.5	117062	2	2
ID#279	413771.5	90336	2	2
ID#280	444159.5	83058	2	2
ID#281	409431.5	132120	2	2
ID#282	412517.5	125782	2	2
ID#283	417181.5	94518	2	2
ID#284	428573.5	118550	2	2
ID#285	410663.5	140342	2	2
ID#286	393533.5	88938	2	2
ID#287	400235.5	96612	2	2
ID#288	434417.5	115828	2	2
ID#289	415963.5	91692	2	2
ID#290	429361.5	103528	2	2
ID#291	440031.5	110628	2	2
ID#292	396279.5	104572	2	2
ID#293	404313.5	112976	2	2
ID#294	434973.5	116792	2	2
ID#295	409631.5	140878	2	2
ID#296	399833.5	108262	2	2
ID#297	445215.5	84228	2	2
ID#298	416661.5	128628	2	2
ID#299	414049.5	101380	2	2
ID#300	387093.5	104638	2	2
ID#301	431705.5	109688	2	2
ID#302	399861.5	125548	2	2
ID#303	405839.5	115808	2	2
ID#304	395801.5	122190	2	2
ID#305	395729.5	136952	2	2
ID#306	422821.5	114266	2	2
ID#307	410417.5	98516	2	2
ID#308	401749.5	110880	2	2
ID#309	403887.5	111290	2	2
ID#310	385045.5	94668	2	2
ID#311	408747.5	100062	2	2
ID#312	398361.5	118908	1	1
ID#313	433501.5	118832	1	1
ID#314	428007.5	131030	1	1
ID#315	417981.5	127978	1	2
ID#316	432713.5	136614	1	2
ID#317	432485.5	118370	1	1
ID#318	439369.5	135624	1	2
ID#319	441233.5	118526	1	1
ID#320	434903.5	135056	1	1
ID#321	425433.5	127278	1	1
ID#322	444831.5	114644	1	1
ID#323	395153.5	87660	1	2
ID#324	432635.5	133638	1	1
ID#325	443659.5	115296	1	1
ID#326	434311.5	119246	1	1
ID#327	385123.5	92224	1	1
ID#328	434069.5	118988	1	1
ID#329	429839.5	134648	1	1
ID#330	393177.5	101976	1	2
ID#331	403495.5	116040	1	2
ID#332	446137.5	91140	1	1
ID#333	445919.5	114046	1	1
ID#334	442219.5	117532	1	1
ID#335	443127.5	116998	1	1
ID#336	447463.5	123958	1	2
ID#337	425099.5	96428	1	1
ID#338	432785.5	136416	1	2
ID#339	439473.5	119500	1	1
ID#340	446519.5	114052	1	1
ID#341	438227.5	133276	1	2
ID#342	435211.5	119396	1	1
ID#343	394709.5	105332	1	1
ID#344	429849.5	137716	1	2
ID#345	444135.5	114850	1	1

Vodišek, D. 2009. Opazovanje poplav s podatki daljinskega zaznavanja.  
Diplomska naloga – UNI. Ljubljana, UL, FGG, Odd. za geodezijo, Geodetska smer.

---

Ime	Y [m]	X [m]	razred klasificirana	razred referenčna
točke				
ID#346	441087.5	118230	1	1
ID#347	421003.5	119272	1	1
ID#348	402983.5	115526	1	1
ID#349	396223.5	91026	1	2
ID#350	415633.5	114330	1	1
ID#351	394627.5	89542	1	2
ID#352	424721.5	101292	1	1
ID#353	439381.5	109532	1	1
ID#354	435959.5	133192	1	1
ID#355	430693.5	102452	1	2
ID#356	438341.5	120136	1	1
ID#357	436255.5	120346	1	1
ID#358	447267.5	102864	1	1
ID#359	431241.5	101382	1	1
ID#360	425511.5	94874	1	1
ID#361	419485.5	126018	1	1
ID#362	438873.5	120246	1	1
ID#363	436117.5	120280	1	1
ID#364	417351.5	128566	1	1
ID#365	438493.5	85282	1	2
ID#366	428207.5	132834	1	1
ID#367	430331.5	134586	1	1
ID#368	415361.5	107432	1	1
ID#369	434209.5	133496	1	1
ID#370	433381.5	133576	1	1
ID#371	414217.5	105788	1	1
ID#372	431783.5	101418	1	2
ID#373	433595.5	133804	1	1
ID#374	437405.5	120190	1	1
ID#375	437489.5	108780	1	1
ID#376	431227.5	100338	1	1
ID#377	446535.5	92036	1	2
ID#378	400699.5	88036	1	2
ID#379	431971.5	133926	1	1
ID#380	433473.5	107186	1	1
ID#381	434385.5	106954	1	1
ID#382	431381.5	134092	1	1
ID#383	425075.5	95900	1	1
ID#384	438975.5	119704	1	1
ID#385	440219.5	118900	1	2
ID#386	443457.5	116582	1	1
ID#387	447567.5	123764	1	2
ID#388	445027.5	93918	1	2
ID#389	445071.5	91226	1	2
ID#390	432063.5	101700	1	1
ID#391	400273.5	117192	1	1
ID#392	435497.5	120090	1	1
ID#393	416883.5	115342	1	1
ID#394	443299.5	115740	1	1
ID#395	400431.5	115838	1	2
ID#396	432919.5	133632	1	1
ID#397	434921.5	134844	1	1
ID#398	392447.5	102004	1	2
ID#399	394299.5	101242	2	2
ID#400	431905.5	135642	2	2

## A6: Poročilo o oceni natančnosti izboljšane klasifikacije

### CLASSIFICATION ACCURACY ASSESSMENT REPORT

Image File : sloj\_poplavljenih\_območji.img  
 Date : Thu Feb 26 09:29:59 2009

### ERROR MATRIX

Classified Data	Reference Data			
	Background	Class 1	Class 2	Class 3
Background	0	0	0	0
Class 1	0	64	23	0
Class 2	0	0	313	0
Class 3	0	0	0	0
Column Total	0	64	336	0

----- End of Error Matrix -----

### ACCURACY TOTALS

Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
Class 0	0	0	0	---	---
Class 1	64	87	64	100.00%	73.56%
Class 2	336	313	313	93.15%	100.00%
Totals	400	400	377		

Overall Classification Accuracy = 94.25%

----- End of Accuracy Totals -----

### KAPPA (K^) STATISTICS

Overall Kappa Statistics = 0.8133

Conditional Kappa for each Category.

Class Name	Kappa
Class 0	0.0000
Class 1	0.6853
Class 2	1.0000

----- End of Kappa Statistics -----



### **PRILOGA B1: Pregledna karta poplavljenih območij zahodne Slovenije**

Pregledna karta prikazuje poplavljen območja zahodne Slovenije ob katastrofalni poplavi 18.09.2007 in je v približnem merilu 1:200 000 ter v koordinatnem sistemu D48. Poplavljen območja so bila pridobljena iz satelitske podobe SPOT, posnete tri dni po poplavi, s postopkom predobdelave, klasifikacije in poklasifikacijskega modeliranja podobe.

### **PRILOGA B2: Pregledna karta poplavljenih območij ob Selški Sori**

Pregledna karta prikazuje poplavljen območja ob Selški Sori ob katastrofalni poplavi 18.09.2007 in je v približnem merilu 1:60 000 ter v koordinatnem sistemu D48. Postopek določitve poplavljenih območij je isti kot v prilogi B1.