

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ

Драгутин Протић

**КВАНТИТАТИВНО КАРТОГРАФСКО  
МОДЕЛИРАЊЕ ЗЕМЉИШНОГ  
ПОКРИВАЧА**

докторска дисертација

Београд, 2013

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Dragutin Protić

**QUANTITATIVE CARTOGRAPHIC LAND  
COVER MODELING**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2013

**Ментор:**

В. проф. др Иван Несторов, дипл. инж. геод., Грађевински факултет, Београд

**Чланови комисије:**

Проф. др Драгица Живковић, дипл. географ, Географски факултет, Београд

В. проф. др Бранислав Бајат, дипл. инж. геод., Грађевински факултет, Београд

**Датум одбране:**

# Квантитативно картографско моделирање земљишног покривача

## Резиме

Изазови повезани са стањем животне средине и климатским променама значајно повећавају потребу различитих дисциплина за адекватним подацима и информацијама које имају просторну и временску димензију. Ове потребе се могу задовољити искључиво кроз програме оперативног мониторинга земљишта који укључују картирање земљишног покривача. Оперативни систем за мониторинг земљишта захтева интегрисано коришћење прикупљених података, њихову ефикасну и континуирану трансформацију у корисне стандардизоване и правремене информације, њихову асимилацију у моделе и њихово коришћење у проценама, креирању политике и системима за подршку одлучивању. Тренутно доминантна парадигма картирања земљишног покривача се заснива на системима квалитативне класификације при чему се простор дели у ентитете који се придружују класама из претходно установљеног система класификације. Основни проблем традиционалних методологија картирања земљишног покривача лежи у чињеници да су изведене информације, као производ класификације, подложне концептуализацији како креатора тако и корисника при чему се често ове концептуализације не поклапају. Хармонизације и стандардизације картирања земљишног покривача као покушаји да се дође до јединствене концептуалне равни не могу суштински да премосте овај проблем. Решење се може тражити у квантитативном моделирању земљишног покривача.

Предмет истраживања ове дисертације представљају концепт, захтеви и могућности квантитативног картографског моделирања земљишног покривача у условима изражене потребе за одговарајућим, квалитетним и ажурним информацијама о животној средини и природним ресурсима. Како оптички сателитски сензори представљају основни извор података за генерисање информација о земљишном покривачу, истраживање је фокусирано на квалитет података сателитског осматрања Земље као и квалитет метода моделирања квантитативних параметара које служе за описивање карактеристика појава земљишног покривача.

Као средства квантитативног описивања основних категорија земљишног покривача: вегетације, воде, земљишта и вештачких површина, анализирани су у пракси најчешће коришћени спектрални индекси и биофизички параметри. Спектрални индекси су погодни у квантитативном моделирању јер су директна функција сателитских података, али како они не представљају апсолутне биофизичке карактеристике појава, њихова интерпретација је често проблематична, посебно при описивању вегетације као најкомплексније категорије. Са друге стране, моделирање биофизичких параметара представља изазов. Једноставни емпиријски модели оцене биофизичких параметара из спектралних индекса оптерећени су значајном несигурношћу због чега нису погодни за оперативну употребу. Детерминистички (физички) модели оцене биофизичких параметара представљају добру теоријску основу за оперативно картирање, али је потребно познавање њихове несигурности. Посебан фокус је стављен на експериментално испитивање несигурности физички моделираних биофизичких параметара за описивање вегетације као најкомплексније категорије земљишног покривача и то у зависности од различитих извора несигурности.



Разматран је и концепт оперативног квантитативног мониторинга земљишног покривача и то из аспекта спектралне и просторне хетерогености сателитских података. Предложен је систем организације података и информација увођењем мултиразмерног хијерархијског референтног грида чија је структура прилагођена водећим оперативним оптичким мултиспектралним сателитским сензорима. Овакав систем обезбеђује максимално искоришћавање расположивих података и могућност спровођења објектно оријентисане анализе.

**Кључне речи:** картирање земљишног покривача, оперативни мониторинг земљишта, биофизички параметри, спектрални индекси, хијерархијски референтни грид, несигурност квантитативних модела

**Научна област:** Геодезија

**Ужа научна област:** Геодетска картографија

**УДК број:** 528.94:502 (043.3)

# **Quantitative cartographic land cover modeling**

## **Abstract**

Challenges related to environment and climate changes significantly increase demands of various disciplines for appropriate data and information that are spatial in nature. These needs can be fulfilled only through the programmes of operational land monitoring that include land cover mapping. An operational system for land monitoring requires integrated use of observations, their efficient and continual transformation into useful, standardized and timely information, their assimilation into models and their application in assessments, policy and decision making. The current dominant paradigm of land cover mapping is based on qualitative classification systems that separate the space into entities to which classes are then assigned. The major problem of the traditional land cover mapping methodologies lies in the fact that the extracted information, being products of classification, are subject to conceptualization of both the producers and the users. However, they do not often match. Initiatives for harmonization and standardization of land cover mapping are attempts to reach a common conceptual platform. Nevertheless, these solutions cannot essentially overcome the problem. The premise of this research is that the solution could be found in quantitative land cover modeling.

The objective of the research is concept, requirements and possibilities of quantitative cartographic land cover modeling under conditions of increased demand for appropriate, quality and up-to-date information on the environment and natural resources. Since the optical satellite sensors are the primary data source for generating the land cover information, the research was focused on quality of both the Earth observation data and the methods of quantitative parameters modeling that serve for the description of land features' characteristics.

The most often used spectral indices and biophysical parameters that are considered instruments for quantitative description of basic land cover categories (vegetation, water, land and artificial surfaces) are analyzed. Spectral indices are suitable for quantitative modeling because they are direct function of satellite data. However, as they do not represent absolute biophysical characteristics of features, their interpretation is often problematic, especially in the case of describing vegetation as the most complex category. On the other hand, modeling of biophysical parameters is a challenge. Simple empirical models of biophysical parameters' estimation from spectral indices are connected with significant uncertainty which makes them inappropriate for operational use. Deterministic (physical) models of biophysical parameters' estimation are good theoretical basis for the operational mapping, but knowledge of the uncertainty is necessary. Special attention was paid to experimental assessment of uncertainty of physically modeled biophysical parameters of vegetation in terms of various uncertainty sources.

The concept of operational quantitative land cover monitoring is also analyzed from the aspect of spectral and spatial heterogeneity of the Earth observation data. A system of organizing data and information by use of multiscale hierarchical reference grid is introduced with the grid structure adjusted to the major operational optical multispectral satellite sensors. Such a system enables the optimal use of available data and the possibility to apply object oriented analysis.

**Key words:** land cover mapping, operational land monitoring, biophysical parameters, spectral indices, hierarchical reference grid, quantitative models' uncertainty

**Scientific area:** Geodesy

**Scientific sub-area:** Geodetic cartography

**UDC number:** 528.94:502 (043.3)

## САДРЖАЈ

<b>1</b>	<b>УВОД.....</b>	<b>4</b>
1.1	КОНТЕКСТ ИСТРАЖИВАЊА .....	4
1.2	ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА .....	6
1.3	ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ И ТРЕНУТНИ СТАТУС ИСТРАЖИВАЊА.....	7
<b>2</b>	<b>ПОРЕКЛО И ЗНАЧЕЊА КАРАТА О ЗЕМЉИШНОМ ПОКРИВАЧУ ...</b>	<b>11</b>
2.1	ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ ЗЕМЉИШНОГ ПОКРИВАЧА.....	11
2.2	КАРТЕ ЗЕМЉИШНОГ ПОКРИВАЧА - ПОДАЦИ ИЛИ ИНФОРМАЦИЈЕ ?.....	14
2.3	ОНТОЛОШКИ УТИЦАЈИ НА ИЗВОЂЕЊЕ ИНФОРМАЦИЈА О ЗЕМЉИШНОМ ПОКРИВАЧУ .....	15
2.4	ПОСТОЈЕЋЕ МЕТОДОЛОГИЈЕ КАРТИРАЊА ЗЕМЉИШНОГ ПОКРИВАЧА .....	19
2.4.1	NLCD методологија.....	19
2.4.2	CORINE методологија.....	22
2.5	ПРОБЛЕМИ ТРАДИЦИОНАЛНИХ МЕТОДОЛОГИЈА КАРТИРАЊА ЗЕМЉИШНОГ ПОКРИВАЧА .....	26
2.6	АЛТЕРНАТИВНИ МОДЕЛИ КАО ПОКУШАЈИ ПРЕВАЗИЛАЖЕЊА НЕДОСТАКА ТРАДИЦИОНАЛНИХ .....	32
2.7	ЕТИЧКА ПИТАЊА КАРТИРАЊА ЗЕМЉИШНОГ ПОКРИВАЧА .....	36
2.7.1	Адекватност информација о земљишном покривачу .....	36
2.7.2	Доступност извора података о земљишном покривачу .....	38
<b>3</b>	<b>ПРИРОДА ПОДАТАКА САТЕЛИТСКОГ ПОСМАТРАЊА ЗЕМЉЕ.....</b>	<b>41</b>
3.1	ЗРАЧЕЊЕ КОЈЕ ДОЛАЗИ ДО СЕНЗОРА .....	41
3.2	ФОРМИРАЊЕ ПОДАТАКА НА СЕНЗОРУ.....	46
3.3	ФИЗИЧКИ МОДЕЛ ЗРАЧЕЊА ВОДЕ.....	50
<b>4</b>	<b>КВАЛИТЕТ ПОДАТАКА САТЕЛИТСКОГ ПОСМАТРАЊА ЗЕМЉЕ ..</b>	<b>52</b>
4.1	РАДИОМЕТРИЈСКА НОРМАЛИЗАЦИЈА ПОДАТАКА .....	52
4.1.1	Атмосферска калибрација.....	54
4.1.2	Утицај атмосферске корекције на несигурност података - експеримент .....	59
4.1.3	Топографска нормализација – корекција осветљености .....	65
4.1.4	Утицаји топографске корекције на несигурност података даљинске детекције - експеримент .....	71
4.2	ГЕОМЕТРИЈСКА КОРЕКЦИЈА .....	75
4.2.1	Значај геометријске корекције сателитских снимака за картирање земљишног покривача .....	75
4.2.2	Узроци геометријских дисторзија и методе корекције .....	75
4.2.3	Утицаји компонената модела на тачност геометријске корекције.....	77
4.2.4	Подпикселско картирање детаља за потребе одређивања контролних тачака .....	79
4.2.5	Испитивање тачности геометријске корекције Landsat 7 ETM+ снимка - експеримент .....	84
4.3	УТИЦАЈ МЕТОДА ИНТЕРПОЛАЦИЈЕ НА НЕСИГУРНОСТ ПОДАТАКА ДАЉИНСКЕ ДЕТЕКЦИЈЕ .....	87

4.3.1	Испитивање утицаја четири најчешће коришћених метода интерполације на несигурност сигнала - експеримент .....	90
4.4	ОЦЕНА НЕСИГУРНОСТИ ПОДАТАКА САТЕЛИТСКОГ ОСМАТРАЊА .....	94
4.4.1	Метода оцене тачности коришћењем псеудо-инваријантних објеката .....	95
4.4.1.1	Селекција PIF тачака.....	95
4.4.1.2	Одређивање референтних вредности релфексије у PIF тачкама .....	96
4.4.1.3	Испитивање нормализације снимка-тестирање регресионе праве .....	98
4.4.1.4	Мере оцене тачности снимка .....	100
4.4.2	Експериментални пример .....	101
<b>5</b>	<b>КВАНТИТАТИВНО ОПИСИВАЊЕ ЗЕМЉИШНОГ ПОКРИВАЧА ....</b>	<b>104</b>
5.1	КВАНТИТАТИВНО ОПИСИВАЊЕ ВЕГЕТАЦИЈЕ .....	105
5.1.1	Биофизички параметри вегетације.....	105
5.1.2	Везе између оптичких и биофизичких-биохемијских карактеристика вегетације ...	107
5.1.3	Вегетациони индекси .....	117
5.1.3.1	Вегетациони индекси базирани на нагибу .....	118
5.1.3.2	„Линија земљишта“.....	119
5.1.3.3	Вегетациони индекси базирани на растојању.....	120
5.1.4	Оцена биофизичких параметара вегетације коришћењем вегетационих индекса....	123
5.1.5	Физичко моделирање биофизичких параметара.....	133
5.1.6	Анализа несигурност побољшаног PROSAIL модела.....	140
5.1.6.1	Разлике биофизичких параметара добијених из PROSAIL модела у зависности од предефинисаног доминантног типа пејзажа .....	141
5.1.6.2	Разлике биофизичких параметара добијених из PROSAIL модела у зависности од спектралних особина земљишта .....	143
5.1.6.3	Разлике биофизичких параметара добијених из PROSAIL модела у зависности од сателитске сцене.....	144
5.1.6.4	Разлике биофизичких параметара добијених из PROSAIL модела у зависности од сателитског сензора .....	146
5.2	КВАНТИТАТИВНО ОПИСИВАЊЕ ГОЛОГ ЗЕМЉИШТА И ВЕШТАЧКИХ ПОВРШИНА.....	148
5.2.1	Параметри земљишта .....	148
5.2.2	Параметри описивања вештачких површина.....	152
5.3	КВАНТИТАТИВНО ОПИСИВАЊЕ ВОДЕ .....	156
5.3.1	Физички модели.....	156
5.3.2	Емпиријски модели - водени индекси .....	161
<b>6</b>	<b>КОНЦЕПТ ОПЕРАТИВНОГ КВАНТИТАТИВНОГ МОНИТОРИНГА ЗЕМЉИШНОГ ПОКРИВАЧА .....</b>	<b>163</b>
6.1	ОЧЕКИВАЊА ОД ОПЕРАТИВНОГ МОНИТОРИНГА ЗЕМЉИШТА.....	163
6.2	ХЕТЕРОГЕНОСТ ПОДАТАКА САТЕЛИТСКОГ ОСМАТРАЊА ЗЕМЉЕ.....	165
6.2.1	Разлике у спектралној резолуцији.....	167
6.2.2	Разлике у просторној резолуцији и теорија спектралног мешања .....	169
6.2.2.1	Утицај просторне резолуције података даљинске детекције на оцену биофизичких параметара.....	171
6.3	ОРГАНИЗАЦИЈА ПОДАТАКА –УСПОСТАВЉАЊЕ РЕФЕРЕНТНОГ ГРИДА ЗА МОНИТОРИНГ ЗЕМЉИШТА.....	174
6.3.1	Питање картографске пројекције .....	176
6.3.2	Структура грида.....	180
6.4	ОБЈЕКТНО ОРЈЕНТИСАНА АНАЛИЗА ПОДАТАКА .....	182
<b>7</b>	<b>ЗАКЉУЧАК.....</b>	<b>186</b>

<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>191</b>
<b>ПРИЛОЗИ .....</b>	<b>212</b>
П 1 ПРАКТИЧНА АПСОЛУТНА КАЛИБРАЦИЈА LANDSAT 7 СНИМАКА КОРИШЋЕНИХ У ЕКСПЕРИМЕНТИМА .....	213
П 1.1 Формуле за рачунање рефлексије на врху атмосфере .....	213
П 1.2 Коefицијенти калибрације за снимке коришћене у експериментима .....	215
П 2 ИЗВЕШТАЈ „ПРЕЦИЗНЕ“ ГЕОМЕТРИЈСКЕ КОРЕКЦИЈЕ LANDSAT 7 186-29 СЦЕНЕ .....	217
П 3 ИЗВЕШТАЈ ГЕОМЕТРИЈСКЕ КОРЕКЦИЈЕ LANDSAT 7 186-29 СЦЕНЕ ИЗ IMAGE2000 ПРОИЗВОДА .....	219
П 4 ПОДАЦИ ЛИНЕАРНЕ РЕГРЕСИЈЕ P1F ТАЧАКА .....	222
П 4.1 Локација P1F тачака .....	222
П 4.2 Резултати читавања рефлексије на LANDSAT 7 ETM+ снимцима 187-030 и 187-029 у заједничким P1F тачкама на експерименталном подручју .....	222
П 4.3 Линеарна регресија P1F тачака у 3 каналу .....	224
П 4.4 Линеарна регресија P1F тачака у 4 каналу .....	225
П 5 УПОРЕЂИВАЊЕ БИОФИЗИШКИХ ПАРАМЕТАРА ДОБИЈЕНИХ ЗА ОПШТИ ТИП ПЕЈЗАЖА У PROSAIL МОДЕЛУ И ЗА СПЕЦИФИЧНЕ ТИПОВЕ ПЕЈЗАЖА .....	228
П 5.1 Упоредјивање за случај специфичног пољопривредног типа пејзажа .....	228
П 5.2 Упоредјивање за случај специфичног шумско-природног типа пејзажа .....	229
П 6 УПОРЕЂИВАЊЕ БИОФИЗИШКИХ ПАРАМЕТАРА ДОБИЈЕНИХ У PROSAIL МОДЕЛУ СА И БЕЗ КОРИШЋЕЊА СПЕКТРАЛНИХ ОСОБИНА ЗЕМЉИШТА .....	232
П 6.1 Упоредјивање chl карата .....	232
П 6.2 Упоредјивање csh карата .....	233
П 6.3 Упоредјивање fAPAR карата .....	234
П 6.4 Упоредјивање glcv карата .....	235
П 6.5 Упоредјивање LAI карата .....	236
П 6.6 Упоредјивање scv карата .....	237
П 7 УПОРЕЂИВАЊЕ БИОФИЗИШКИХ ПАРАМЕТАРА ДОБИЈЕНИХ У PROSAIL МОДЕЛУ ИЗ РАЗЛИЧИТИХ САТЕЛИТСКИХ СЦЕНА .....	239
П 8 УПОРЕЂИВАЊЕ БИОФИЗИШКИХ ПАРАМЕТАРА ДОБИЈЕНИХ У PROSAIL МОДЕЛУ ИЗ ПОДАТАКА СА РАЗЛИЧИТИХ СЕНЗОРА .....	250
<b>ИНДЕКС .....</b>	<b>257</b>
СЛИКЕ .....	257
ТАБЕЛЕ .....	263

# 1 УВОД

## 1.1 КОНТЕКСТ ИСТРАЖИВАЊА

Изазови повезани са стањем животне средине значајно су повећали свест о потреби за релевантним и ажурним просторним подацима и информацијама. У складу са том чињеницом, сведоци смо бројних напора који се улажу и иницијатива према успостављању оперативног мониторинга земљишта на различитим политичким нивоима и у различитим географским областима насупрот бројним *ad hoc* решењима (EP, 2010; Liu et al, 1999; Loboda et al, 2009; Skole et al., 1997; Defries and Townshend, 1999). Мониторинг земљишта је нарочито значајан на нивоу пејзажа (Brandt et al., 2002). Основни разлози који стоје иза пројеката и иницијатива оперативног мониторинга земљишта се могу сумирати у следећем:

- потреба за мониторингом и заштитом биодиверзитета и екосистема;
- правилно управљање ресурсима и политиком везаном за животну средину;
- и
- стварање услова за одржив социјални и економски развој.

Термин „мониторинг земљишта“ се уобичајено схвата и користи у смислу перцепције композиције земљишног покривача у низу временских периода и стога прикупљањем информација о стању и променама (Hellowell, 1991). Према Herold et al. (2006а), оперативни систем за опсервацију земљишта захтева интегрисано коришћење опсервација, њихову трансформацију у корисне и флексибилне производе, њихову асимилацију у моделе, ефективни дизајн модела и њихово коришћење у проценама, креирању политике и системима за подршку одлучивању.

У свету већ постоје програми оперативног картирања земљишног покривача, са стриктно дефинисаним производима и процесима доласка до информација и стабилним и упоредивим ажурирањима у току времена. Наравно,

методологије могу бити подложне променама током времена због технолошког напретка. Примери таквих активности на различитим нивоима су: на регионалном нивоу C-CAP картирање земљишног покривача обале Сједињених Америчких Држава (Dobson et al., 1995); на националном нивоу LGN база података у Холандији (Wit, 2003) или NLCD карта земљишног покривача Сједињених Америчких Држава (Fry et al., 2011); на супранационалном нивоу CORINE картирање земљишног покривача Европске Агенције за Животну Средину (ЕЕА) (ЕЕА, 2007).

Земљишни покривач је релативно стабилан дискурс са у великој мери „хармонизованим“ разумевањем значења овог термина. У литератури се могу срести бројне дефиниције као на пример:

- „вегетационе и вештачке конструкције које покривају површину земље“ (Burley, 1961);
- „тродимензионални највиши видљиви ниво пејзажне сфере..., опис објеката земљине површине“ (Feranec and Otahel, 2001);
- „тип појаве присутне на површини земље“ (Lillesand and Kiefer, 1979), итд.

Ово, међутим није случај са концептима картографског моделирања земљишног покривача. Доминантна парадигма картирања земљишног покривача се заснива на системима квалитативно успостављених класа земљишног покривача које служе као описна средства и које су организоване у системе - номенклатуре. Производња, интерпретација и перцепција оваквих информација базирају се на унапред дефинисаним квалитативним критеријумима. Са друге стране, може се рећи да концепти квантитативног моделирања земљишног покривача представљају опцију у настајању захваљујући изразитим потенцијалима које нуде. Квантитативно моделирање подразумева додељивање бројне вредности унапред дефинисаног параметра одређеној локацији на површини Земље, при чему квантитативни параметри који служе као средства моделирања представљају одређене карактеристике појава земљишног покривача.

Служећи као примарни извор података у добијању информација о земљишном покривачу, технологија интерпретације података добијених из даљинске детекције се налази у фокусу научних истраживања које имају за циљ



дефинисање робусних методологија за картирање земљишног покривача. Да поменемо неке: визуелна интерпретација је метод коју изводи експерт користећи визуелне и контекстуалне карактеристике појава земљишног покривача да би их идентификовао; пикселски базирана аутоматска класификација је генерално заснована на мултиспектралним класификаторима који сваком пикселу приписују приписују класу земљишног покривача према спектралним особинама тог пиксела; објектно орјентисане методе класификације користе још и просторне елементе као што су текстура, образац, облик и величина објеката, као и њихове односе са суседним, под и над објектима.

Последњих година, у свету су се појавиле иницијативе за стандардизовано и систематско описивање земљишног покривача квантитативним параметрима: Geoland 2 Biophysical parameters (geoland2, 2010a), GMES High Resolution Layers (GMES, 2010), NLCD 2006 Percent of Imperviousness (Fry et al., 2011), истраживани су неки аспекти квантификације земљишног покривача на основу сателитских података (Prenzel, 2004), али дубље научне анализе ових концепата нису публиковане.

## **1.2 ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА**

Предмет истраживања ове дисертације представљају концепт, захтеви и могућности квантитативног картографског моделирања земљишног покривача у условима изражене потребе за одговарајућим, квалитетним и ажурним информацијама о животној средини и природним ресурсима. Истраживање је спроведено у контексту потребе за таквим картографским моделирањем које би обезбедило оперативни, дакле стабилан и континуиран мониторинг земљишног покривача. Како оптички сателитски сензори представљају основни извор података за генерисање информација о земљишном покривачу, истраживање је фокусирано на квалитет података сателитског осматрања Земље као и квалитет метода моделирања квантитативних параметара које служе за описивање карактеристика појава земљишног покривача.

Основни циљеви истраживања су одређивање предности концепта квантитативног моделирања у односу на тренутно доминантну квалитативну

парадигму картографског моделирања, дефинисање захтева оваквог моделирања и процена могућности потенцијалних резултата као и развој концепта оперативног система квантитативног мониторинга.

Основна питања за истраживање су:

- Које су предности концепта квантитативног картографског моделирања земљишног покривача у односу на квалитативно моделирање?
- Какав је утицај геометријских, спектралних и темпоралних карактеристика података даљинске детекције на квантитативно моделирање земљишног покривача?
- Који квантитативни параметри и на који начин могу да одговоре на захтеве квантитативног моделирања?
- Како треба да изгледа систем оперативног квантитативног картографског моделирања земљишног покривача?

### **1.3 ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ И ТРЕНУТНИ СТАТУС ИСТРАЖИВАЊА**

Рад на овој дисертацији заснован је на следећим полазним хипотезама:

- Квантитативним моделирањем земљишног покривача из података са сателитских сензора могу се добити веће количине корисних информација него што то корисницима пружају традиционални картографски производи базирани на системима квалитативних класификација и то на економичнији и ефикаснији начин;
- Мултиспектрални подаци са оптичких сателитских сензора представљају адекватни основни извор података за квантитативно моделирање земљишног покривача;
- За потребе оперативног мониторинга земљишног покривача, неопходна је нормализација података сателитског снимања у просторном и временском

смислу. Оцена квалитета нормализације је стога важан елемент процеса картографског моделирања;

- Описивање карактеристика биофизичких појава на Земљи помоћу квантитативних биофизичких параметара је адекватан начин моделирања земљишног покривача;
- Вредности биофизичких параметара могуће је оценити из података даљинске детекције физичким и/или емпиријским моделима . За адекватно коришћење ових информација неопходно је познавати узроке и величине несигурности оцена биофизичких параметара.

Када се говори о тренутном статусу истраживања у области картирања земљишног покривача, ту можемо разликовати две основне групе истраживања: концептуална и техничка. Концептуална истраживања се баве питањима концепта картографских информација о земљишном покривачу, њиховој интерпретацији и перцепцији како од стране произвођача информација, тако и од стране корисника. Веома су важне и анализе начина коришћења различитих картографских модела, као и последица њиховог коришћења. Са друге стране, техничка истраживања фокусирана су на проналажење метода генерисања жељених информација о земљишном покривачу из изворних података, пре свега података оптичких сателитских сензора, као и на анализу квалитета генерисаних информација.

Основна питања концептуалних истраживања:

- Семантички и онтолошки аспекти картирања земљишног покривача (Comber et al., 2005; Comber and Fisher, 2005; Smith and Mark, 2001; Villa et al., 2008; Lawler et al., 2004);
- Стандардизација и хармонизација информација о земљишном покривачу (Anderson et al., 1976; Ahlquist, 2008; Herold et al., 2006b, Comber et al., 2007);
- Принципи оперативног мониторинга земљишног покривача (Defries and Townshend, 1999; Wulder et al., 2003; Liu et al, 1999; Loboda et al, 2009; Skole et al., 1997).

Питања техничких истраживања везаних за квалитет података даљинске детекције:

- Атмосферска корекција података сателитског осматрања (Chavez, 1989; Chavez, 1996; Ouaidrari and Vermote, 1999; Song et al., 2001; Wu et al., 2004);
- Топографска корекција података сателитског осматрања (Ekstrand, 1996; Riano et al., 2003; Bishop and Colby, 2002; Richter et al., 2009; Kobayashi and Sanga-Ngoie, 2009; Reese and Olsson, 2011);
- Геометријска корекција података сателитског осматрања (Toutin, 2002; Toutin, 2004; Sertel et al., 2007; Giannone, 2006);
- Квалитет сензора погодних за картирање земљишног покривача (Chander et al., 2009; Roy et al, 2010; Masek et al., 2001; Masek et al., 2006; Wulder et al., 2008; Ganguly et al., 2010; Verbyla and Boles, 2000 ).

Питања техничких истраживања везаних за квантитативне параметре за описивање земљишног покривача:

- Развој и употреба емпиријских спектралних индекса (Jackson and Huete, 1991; Kandwal et al, 2009; Chehbouni et al., 1994; Gilabert et al., 2002; Baret et al., 1993; Gao et al., 2000; Muramatsu et al., 2007; Hui et al., 2008; Ji et al., 2009; Newnham et al., 2011);
- Физичко моделирање биофизичких параметара (Verhoef, 1984; Asner et al., 1998; Qi et al., 1994; Jacquemoud et al., 2009; Richter et al., 2012; Darvishzadeh et al., 2008b; Bicheron and Leroy, 1999);
- Емпријско моделирање биофизичких параметара (Turner et al., 1999; Chaurasia et al., 2006; Wylie et al., 2002; Haboudane et al., 2004; Gao et al., 2000; Colombo et al., 2003; Soudani et al., 2006).

Такође, постоји доста примера у литератури где су приказани разни концепти квантитативног моделирања земљишног покривача коришћени за специфичне

апликације (Clapham, 2005; Lizarazo, 2010; Tang et al., 2012; Garrigues et al., 2008  
итд.)

## **2 ПОРЕКЛО И ЗНАЧЕЊА КАРАТА О ЗЕМЉИШНОМ ПОКРИВАЧУ**

### **2.1 ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ ЗЕМЉИШНОГ ПОКРИВАЧА**

Иако се термин земљишни покривач често користи у многим дисциплинама, стандардизоване границе теоријске основе никада нису јасно дефинисане. У већини текстова који се баве моделирањем земљишног покривача може се приметити хроничан недостатак експлицитног дефинисања предмета овог моделирања, а читалац о њему стиче свест кроз имплицитне парадигме методологија самих модела.

Најтемељнију и најсвеобухватнију теоријску основу земљишног покривача до које је било могуће доћи у литератури дали су Feranec и Otahel (2001). Они пак, у описивању земљишног покривача полазе од појма "пејзаж" који разне научне дисциплине, посебно оне које се баве истраживањима везаним за планету Земљу и њену површину, користе у својим интересовањима: „Географија и пејзажна екологија дефинишу пејзаж као део земљине површи који садржи објекте које човек перципира. Оваква интерпретација одређује величину комплексности пејзажа која додатно имплицира два једнако релевантна значења: материјалну суштину територије и њен спољашњи изглед. Другим речима, можемо разликовати материјалну основу пејзажа и његову слику која је уједно и физиогномско јединство.

Истраживања која се баве пејзажом неминовно укључују и познавање његових индивидуалних компоненти (елемената). Синтетичко схватање садржаја пејзажа и његова интерпретација је заправо конструкција која произилази из схватања интеракција између његових елемената и њиховог синергичког ефекта. Једино овакав системски приступ доводи до исправног и егзактног сазнавања и разумевања садржаја пејзажа. У прилог томе говори и знање о сложености пејзажа као просторног и материјалног ентитета. Пејзаж је у овом смислу један просторни систем са одређеним положајем у оквиру георељефа који је формиран од интерагујућих елемената: вода ваздух, земљиште, вегетација, подлога,

животињски свет и структуре створене или измењене деловањем човека. Просторно знање о тим индивидуалним елементима, као што су положај и морфометричке особине које се могу мерити и визуелно верификовати, посебно у склопу знања о физиогноматским и морфолошким особинама пејзажа је од највећег значаја за разумевање садржаја пејзажа који се, овако интерпретиран, приближава објективној реалности.

Материјално-енергетски садржај пејзажа се материјализује у индивидуалним сегментима (објектима, структурама) пејзажа које имају своје физиогноматске манифестације. Људи користе физиогноматске особине у перципирању и идентификацији тих објеката. Визуелни аспект пејзажа као објективне реалности се сматра манифестацијом његове материјалне суштине. Перцепција пејзажа је такође повезана и са знањем о његовом садржају или другим речима, визуелна перцепција пејзажа се заснива на знању о пејзажу.

Термин земљишни покривач везан је за биофизичке објекте у постојећем пејзажу. Земљишни покривач представља материјализовани приказ природног просторног (морфолошког и биоенергетског) садржаја и од стране човека култивисане или створене пејзажне објекте. Испољавање земљишног покривача се разликује изгледом и морфоструктуралним карактеристикама па се он може посматрати као опис објеката на земљиној површини.

Земљишни покривач се такође дефинише и као тродимензионални слој пејзажа, највиши «видљиви» слој пејзажне сфере. При томе се пејзаж сматра делом пејзажне сфере која се састоји од интерагујућих елемената литосфере (њеног горњег дела), хидросфере, педосфере, георелефа, биосфере, друштвено-економске сфере и атмосфере. Доњи део пејзажне сфере је на дубини 4-5 километара у литосфери, а њена горња граница се налази на средњој висини од 10-12 километара у атмосфери. Земљишни покривач заузима горњи, «покривни» слој чврсте и течне компоненте пејзажне сфере.

Идентификација земљишног покривача је повезана са знањем о квалитету или биофизичком стању његовог садржаја и визуелним карактеристикама пејзажа. Индивидуални типови земљишног покривача као просторне јединице могу имати једну или више функција. За потребе пројеката картирања земљишног покривача ове функције се посматрају са становишта људског живота и активности,

реализације друштвених намера и интереса које на крају воде ка задовољењу својих потреба у пејзажу. Интерпретација пејзажа као скупа типова земљишног покривача је примарни аспект сазнања о његовој комплексности.

Ипак, темељно разумевање пејзажа поред идентификације земљишног покривача захтева и идентификацију његових функција или начина коришћења. Овде се уводи појам 'коришћења земљишта' кога сликовито описује формула:

Коришћење земљишта = земљишни покривач + његово коришћење

У регионалним димензијама морфоструктуралне и физиогноматске карактеристике земљишног покривача, посебно у урбанизованим и интензивно пољопривредно експлоатисаним подручјима, кореспондирају са њиховим основним функционалним особинама и указују на просторну организацију културног пејзажа. У интерактивном процесу, активност на релацији човек – природа пројектује себе у простор природе и, као резултат, друштвене активности или функције се «материјализују» кроз објекте култивисаног пејзажа.“

Lillesand и Kiefer (1979) дају једноставну дефиницију земљишног покривача у тврдњи да се овај појам односи на врсту појаве која је присутна на земљиној површини.

Verheye (2007), у опису земљишног покривача полази од појма земљишта коју дефинише као слободну земљану површину на којој се развија природна вегетација. Оно обухвата атрибуте природних ресурса које се појављују на површини Земље, али укључује и широк спектар услова животне средине и процеса који су директно или индиректно везани за те атрибуте. Земљишни покривач дефинише биофизичко стање површине и слоја непосредно испод површине Земље, обухватајући материјал земљишта, вегетацију и воду.

Међутим, може се приметити да су перцепције земљишног покривача различите код различитих дисциплина и да те перцепције управљају проценом и анализом података (Comber et al., 2005). Ови аутори дају примере из литературе по којима нпр. еколози обично дефинишу земљишни покривач у смислу присуства и количине одређених биљних врста, а геолози интерпретирају земљишни покривач као индикацију за тип земљишта које се налази испод. Неки



сматрају да ако се говори о земљишном покривачу у строгом смислу, термин треба да буде ограничен искључиво на вегетацију и појаве које је човек изградио (Di Gregorio, 2005).

За потребе овог истраживања биће коришћена FAO LCCS (Food and Agriculture Organization, Land Cover Classification System) дефиниција земљишног покривача (Di Gregorio, 2005):

„Земљишни покривач је посматрани (био)физички покривач на површини Земље“.

## **2.2 КАРТЕ ЗЕМЉИШНОГ ПОКРИВАЧА - ПОДАЦИ ИЛИ ИНФОРМАЦИЈЕ ?**

Основно питање које се поставља у анализи карата земљишног покривача које се тренутно могу наћи у употреби је да ли оне приказују податке или информације о земљишном покривачу. Да би тражили одговор на ово питање потребно је дефинисати ова два појма и утврдити разлике међу њима.

"Подаци" се могу дефинисати као резултат мерења неког договореног феномена, на пример густине вегетације, дубине и квалитета воде или спектралног одговора појава. Иако су при томе предубеђење посматрача и систем вредности уграђени у одабир шта ће се мерити и како, постоји некаква заједничка концепција таква да, ако више посматрача у исто време на истој локацији врши мерење по договореној процедури, постоји разумна шанса да ће мерења бити иста. Потенцијалне разлике у вредностима тада потичу од тачности или прецизности мерења феномена (Comber et al., 2005).

Насупрот томе, просторна информација укључује категоризацију, класификацију, трансформацију или некакву другу обраду података тако да се изведе нека врста интерпретације (Comber and Fisher, 2005). На тај начин се подацима додаје одређена вредност.

Карте земљишног покривача углавном настају коришћењем података са сателита за праћење Земље. Ови подаци у идеалном смислу представљају мерења количине зрачења које се одбило од појава на површини Земље и стигло до сателита. Ови подаци, међутим, сами по себи не представљају корисно знање,

међутим њиховом интерпретацијом могу се добити смислена знања о нпр. типу, квалитету и количини појава које нас интересују. Може се закључити да, када се говори о картама или картографским моделима земљишног покривача подразумева се да је реч о производњи и визуелизацији гео-просторних информација на основу (пре свега, али не искључиво) података даљинске детекције. Јасно је да су задаци картографског моделирања земљишног покривача да дефинише „дизајн“ информације која се жели приказати, одреди податаке из корих се ова информација треба генерисати и начин на који ће се то урадити.

### **2.3 ОНТОЛОШКИ УТИЦАЈИ НА ИЗВОЂЕЊЕ ИНФОРМАЦИЈА О ЗЕМЉИШНОМ ПОКРИВАЧУ**

Основно полазиште код картирања земљишног покривача, као у осталом и било које друге појаве, је дефинисање онтологије земљишног покривача. Онтологија одређује (описује) како је нека идеја концептуализована, односно она је спецификација одређене концептуализације (Gruber, 1993). У овом случају она описује шта земљишни покривач значи у ширем смислу укључујући епистемологију прикупљања података, пре-процесуирања и обраде, као и онтолошке аспекте одређивања које ће појаве бити укључене у коју класу (Comber et al., 2005). Када се производи информација о земљишном покривачу, разлике у начину на који су појаве земљишног покривача концептуализоване имају непосредну импликацију. Сам процес просторног моделирања неке препознате реалности то јест генерисања географске информације од података мерења (прецизних, поузданих и тачних) те реалности или њених карактеристика састоји се од (Comber et al., 2005):

- концептуализације шта желимо да знамо о тој реалности;
- одређивања начина на који ћемо поделити концептуални простор да би се концепт поделио у категорије;
- одлуке како карактеристике препознате реалности могу да буду повезане са том концептуализацијом и категоријама и;
- експлицитног дефинисања ових односа у форми процедура и протокола.

Све традиционалне методологије картирања земљишног покривача базиране су на концепту "класификације". Може се рећи да је класификација тренутна "парадигма" за информације о земљишном покривачу (Villa et al, 2008). У теорији науке о информацијама, термин "класификација" се користи за описивање три концепта: система класа установљеног према претходно одређеном скупу принципа ради организовања скупа ентитета; групе класа у класификационом систему; и процеса придруживања ентитета класама у класификационом систему (Elin, 2004).

Класификација као процес укључује систематско придруживање сваког ентитета једној и само једној класи у оквиру система узајамно ексклузивних и међусобно непреклапајућих класа. Овај процес се одвија по утврђеним скупом принципа који управљају структуром класа и њиховим односима. Он је, такође, систематски јер налаже доследну примену тих принципа у оквиру одређеног установљавања стварности. Шема је сама по себи вештачка јер представља алат за успостављање осмишљене организације и произвољна јер критеријуми који се користе приликом дефинисања класа у оквиру шеме рефлектују само једно виђење области која се класификује, искључујући сва друга виђења (Elin, 2004).

За ову анализу, есенцијално је да се одреде корени модела земљиног покривача заснованих на класификацији. Према Vjelland (2004) и Ahlquist (2008) који је дао интерпретацију у случају просторних информација, индивидуални доживљаји појава у стварном свету, емпиријски и субјективни, су ментално организовани кроз конструисане менталне категорије или концепте. То значи да су ментални концепти индивидуални-разликују се од човека до човека. Да би се омогућила комуникација између индивидуа и размена доживљаја и знања, потребно је превазићи нестабилност и субјективност менталних концепата успостављањем заједничког „језика“. Овај заједнички „језик“ се постиже успостављањем договорене класификације. Дакле, систем класа земљишног покривача се успоставља да служи као језик који може да артикулише неко знање о земљишном покривачу.

Класификације земљишног покривача се базирају на следећим принципима (Villa et al, 2008):

- дефинисана је "*a priori*" номенклатура са коначним бројем класа земљишног покривача пре почетка израде базе;
- у већини номенклатура класе су организоване "хијерархијски" тј., класа вишег нивоа је подељена у више класа нижег нивоа итд.;
- у опису номенклатуре, свака класа има своју дефиницију - кратак текст који фиксира "правила" која одређују означавање одређене области одређеном класом;
- дефиниције класа се често везују за неке "параметре": физичке променљиве које могу да имају различите вредности, нпр. густина дрвећа. Већина класа садржи "граничне вредности" за различите параметре да би одредило припадање полигона одређеној класи (нпр. минимум 50% покривено вегетацијом).

Иако су шеме класификација земљишног покривача у одређеној мери условљене техничким аспектима картирања тј. карактеристикама рефлексије електромагнетног зрачења појава које сачињавају земљишни покривач - подразумевајући да се картирање врши из података даљинске детекције - њихова спецификација је пре свега производ комбинације циљева политике на регионалном, националном или међународном новоу и индивидуалних и институционалних циљева оних који су задужени за креирање изведених карата земљишног покривача за потребе информисања доносилаца одлука (Comber et al., 2005). Ови аутори наводе низ примера различитих концептуализација земљишног покривача. Harvey and Chrisman (1998) су описали како су различите агенције за заштиту животне средине конструисале појам влажног земљишта у складу са циљевима своје политике. Hoeschele (2000) пише о озбиљном концептуалном конфликту у перцепцији земљишног покривача код фармера и шумарских ауторитета у области Атапади у Индији. Comber et al (2002) приказују је политика утицала на промену онтологије и картирању земљишног покривача у Великој Британији између 1990. и 2000. године. Bowker and Star (1996) указују на зависност наизглед објективних техника мерења природе од бирократских и институционалних система категоризације. Такође, детаљна анализа мониторинга земљишног покривача у европским земљама и Европској Унији као целини,

изведена у оквиру HELM<sup>1</sup> пројекта, показала је велику разноликост концепата модела земљишног покривача, али и институција надлежних за обезбеђивање оваквих информација, између земаља и у оквиру самих земаља (HELM, 2012).

Очито је да су критеријуми и границе које служе као оперативни алат сваке класификације настају договором и дефинисањем од стране неке социјалне групе (нпр. научне заједнице, државне институције, међународних организација..), чинећи саму класификацију социјалним конструктом (Comber and Fisher, 2005). Smith и Varzi (2000) ове демаркације које су резултат спознаје људских бића и дугују своје постојање људским одлукама називају *fiat* границама за разлику од *bona fide* граница које су онтолошки независне од људских декрета. Међутим, како се границе разликују од једне социјалне групе до друге или од једне културе до друге, оваква непоклапање често могу узроковати конфликте.

Концептуализација класификационог система земљишног покривача је такође зависна од размере, технологије, времена и финансијских средстава који стоји на располагању за производњу информација. Размера је још раније препозната као круцијални концепт у описивању хијерархијске структуре света (Wu and Li, 2009). Системи категоријских променљивих си значајно различити на микро, макро и нивоу размере који одговара пејзажу, као што су различите и дисциплине које су укључене, мере и методи посматрања и анализа. Време такође утиче на онтологију класификације. Друштвене групе се мењају током времена, дисциплине и технологије се развијају и такве промене неизбежно мењају концептуализације, у мањој или већој мери. На пример, Андерсонова класификација за америчко национално картирање земљишног покривача NLCD је модификована када су подаци са LANDSAT сателита постали доступни<sup>2</sup>. Распожива финансијска средства померају модел од „потребног“ ка концептуално најсличнијем „могућем“. CORINE модел и методологија картирања су тако резултат детаљне студије о цени и користима (ЕС, 1993).

Са друге стране, на сличан начин технологија „подешава“ концептуализацију информација о земљишном покривачу ка технолошки „могућем“. При изради карте земљишног покривача, подаци са сателитских сензора и технички методи њихове анализе и интерпретације се бирају према

---

<sup>1</sup> [www.fp7helm.eu](http://www.fp7helm.eu)

<sup>2</sup> <http://landcover.usgs.gov/classes.php#similar>

њиховим карактеристикама тако да се они прилагоде концептуализацији информација о земљишном покривачу аутора карте. „Иделни“ сценарио би значило да је концепт произведене информације потпуно исти као жељени концепт, али резултат избора технологије је, у највећем броју случајева ако не увек, „оптималан“. Другим речима, производи се онтолошки отклон, нпр. мање детаљна номенклатура класа, и на тај начин се заправо аутори информација, и консеквентно корисници, прилагођавају расположивој технологији.

## **2.4 ПОСТОЈЕЋЕ МЕТОДОЛОГИЈЕ КАРТИРАЊА ЗЕМЉИШНОГ ПОКРИВАЧА**

Постојећи доминантни технички и онтолошки оквири у којима се крећу методологије картирања земљишног покривача могу се сагледати кроз преглед CORINE и NLCD методологија. Ова два велика програма картирања земљишног покривача значајна су пре свега због њихових великих просторних захвата (наиме, они картографски моделирају земљишни покривач европског континента и Сједињених Америчких Држава, респективно) као и због великог броја корисника и апликација. Без амбиције да се улази у техничке и организационе детаље пројеката, описи који следе биће фокусирани искључиво на концепте коришћених методологија.

### **2.4.1 NLCD методологија**

*National Land Cover Database* (NLCD) је решење америчке федералне владе за обезбеђивање „конзистентних, релевантних информација о земљишном покривачу на националном нивоу који треба да обезбеде податке за широк спектар географских анализа и апликација“ (Homer et al, 2004). Методологија је развијена на неколико основних принципа:

- развити картографски производ о земљишном покривачу довољно флексибилан да задовољи потребе већег броја корисника;
- обезбедити корисницима већи приступ међупроизводима и изведеним производима као и омогућити локалне апликације;

- развити методе које су, што је више могуће, објективне, конзистентне и поновљиве, и као резултат тога, стандардизовани производ информација о земљишном покривачу који се може брзо ажурирати;
- ограничити се на оне методе које су интуитивне, једноставне, ефикасне и преносиве на друге кориснике;
- омогућити да израда друге генерације карте земљишног покривача задржи разуман степен упоредивости са претходном генерацијом NLCD.

Homer et al (2004) даље описују основу NLCD као „приступ заснован на базама података, дефинисаним као вишеструким међусобно повезаним лејерима података који су корисни како индивидуално тако и као синергичке групе“.

NLCD база података састоји се од:

- нормализованих *Tasseled Cap* (TC) трансформација Landsat снимача у три временска периода (рана, максимална и касна сезона раста биљака) и термални канал калибрисан на температуру;
- помоћни лејери података укључујући 30 метарски Дигитални Модел Висина<sup>3</sup> (DEM) и из њега изведене нагибе, положај...;
- проценат непропусности и проценат покривености крошњи дрвећа по пикселу;
- 29 класа земљишног покривача добијених из сателитских снимача, помоћних података и њихових извода;
- класификациона правила, степен поверења класификације и метаподаци који описују класификацију.

За саму класификацију изабран је метод „стабло одлука“ као метод који оптимално аутоматски класификује већи број лејера података у једном кораку, са могућношћу да се документује та веза у основи правила. Картира се 29 дефинисаних класа:

- Водене површине;
- Вечни лед/снег;

---

<sup>3</sup> Digital Elevation Model (eng.)

- Изграђено, отворени простор (непропусна површина мања од 20%);
- Изграђено, низак интензитет (непропусна површина 20-49%);
- Изграђено, средњи интензитет (непропусна површина 50-79%);
- Изграђено, висок интензитет (непропусна површина 80-100%);
- Голо земљиште;
- Шљунак, песак;
- Листопадне шуме;
- Четинарске шуме;
- Мешовите шуме;
- Неразвијена, закржљала вегетација;
- Шибље, жбуње;
- Траве (без екстензивног људског утицаја);
- Трска;
- Лишајеви;
- Тресетиште;
- Култивисани засади (једногодишњи и вишегодишњи);
- Шумска влажна земљишта;
  - Мочварне шуме;
  - Мочварно жбуње;
  - Шумска влажна земљишта естуарија;
  - Жбунаста влажна земљишта естуарија;
- Влажна земљишта са зељастом воденом вегетацијом;
  - Мочварна влажна земљишта са зељастом воденом вегетацијом (стална);
  - Влажна земљишта са зељастом воденом вегетацијом естуарија;
  - Мочварно водено корито (салинитет испод 0.5%);
  - Водено корито естуарија (салинитет изнад 0.5%).

Стабло одлука, као надзирани метод класификације, захтева велику количину добро балансираних (просторно и по категоријама) референтних података да би се адекватно извео.

Ради обезбеђивања довољно садржајне документације и да би се омогућило даље коришћење базе података о земљишном покривачу, генерисана



су два додатна растерска лејера и један текстуални документ као повратна информација корисницима о квалитету података и начину класификације. Први лејер представља поверење у класификацију по пикселу базирано на тренинг подацима. Други лејер је карта чворова класификационог стабла одлука и омогућује корисницима да виде који излазни пиксели су представљени којим чворовима у стаблу одлука. Текстуални документ је додатак претходном лејеру и садржи логичке исказе за сваки чвор који документују класификационе параметре за сваки улазни лејер који је коришћен у стаблу одлука. Тематска тачност карата оцењена је методом унакрсне валидације и резултати за класе земљишног покривача се крећу између 70 и 80 %.

#### **2.4.2 CORINE методологија**

CORINE програм је покренут 1985. године од стране Европске Комисије. Мотив за ову иницијативу била је свест о томе да „за правилно управљање животном средином и природним ресурсима, доносиоци одлука морају бити упознати са системом постојећег знања као и информацијама (које су комплетне и ажурне) о променама везаним за одређене појаве у биосфери“ (Heuman et al, 1994).

Три циља CORINE програма Европске Комисије су:

- да обједини информације о стању животне средине у односу на одређене теме које имају приоритет за све земље чланице Европске Заједнице;
- да координише компилацију података и организацију информација између земаља чланица или на мађународном нивоу;
- да осигура да информације буду конзистентне и подаци упоредиви.

Стандардна CORINE методологија картирања земљишног покривача базира се на рачунарски подржаној визуелној интерпретацији сателитских снимака са употребом помоћних података (топографских карата, аерофото снимака, тематских карата...) и теренских провера (Perdigao and Annoni, 1997). Методологија је базирана на анализи препознавања карактеристика објеката- боје, структуре, текстуре, обрасца и веза са другим објектима - којима су објекти од

интереса представљени на снимку (Lillesand and Kiefer, 1979). Резултат картирања је непрекидни векторски сет података са полигонском топологијом.

Као основи извор података за картирање коришћени су орторектификовани LANDSAT TM/ETM+ снимци у националном координатном систему. Снимци су углавном из референтне године картирања са толерисаним одступањем од +/- једне године.

Основни елементи пројекта су (Heumann et al., 1994):

- размера картирања (1:100.000);
- минимална јединица картирања (25 ha) и минимална ширина линеарних елемената (100 метара);
- номенклатура земљишног покривача.

Размера картирања од 1:100.000 је изабрана имајући на уму пан-европско покривање базе података као и чињеницу да је то основна размера топографског картирања у већини европских земаља као и погодности за различите пројекте везане за животну средину. Ова размера такође обезбеђује ажурирање релативно лако и на регуларној основи.

Јединица картирања одговара површини „хомогеног“ земљишног покривача или скупу малих „хомогених“ површина које представљају неку сложенију структуру земљишног покривача (Perdigao and Annoni, 1997). Јединица картирања треба да буде добро распознатљива у односу на околне јединице и довољно стабилна у времену. Минимална јединица картирања од 25 ha је одговарајућа за размеру 1:100.000. Такође, минимална ширина линеарног елемента од 100 m одговара 1 mm у размери картирања.

CORINE номенклатура, објашњена у CORINE Land Cover Technical Guide (ЕС, 1993) и Addendum (Bossard et al., 2000), је физичка и физиогномска номенклатура земљишног покривача релевантна за животну средину и заштиту природе и пејзажа. У њој се разликују класе земљишног покривача груписане хијерархијски у 3 нивоа. Класе на првом нивоу су: вештачке површине, пољопривредне површине, шуме и полу-природне површине, влажна земљишта и водене површине. На другом нивоу постоји 15, а на трећем и најдетаљнијем нивоу- 44 класе земљишног покривача. Свака класа је такође представљена

помоћу троцифреног кода, где свака цифра означава место класе на одговарајућем нивоу.

Номенклатура је снажно повезана са процесом визуелне интерпретације снимака, размером картирања и минималном јединицом картирања.

## 1. Вештачке површине

111-Целовита градска подручја

112-Нецеловита градска подручја

121- Индустијске или комерцијалне јединице

122- Путна и железничка мрежа и припадајуће земљиште

123- Лучке површине

124- Аеродроми

131- Места експлоатације минералних сировина

132- Одлагалишта отпада

133- Градилишта

141- Урбане зелене површине

142- Спортски и рекреативни објекти

## 2. Пољопривредна подручја

211-Ненаводњавано обрадиво земљиште

212- Стално наводњавано земљиште

213- Пиринчана поља

221- Виногради

222- Воћњаци и плантаже зрнастог воћа

223- Маслињаци

231- Пашњаци

241- Заједно једногодишњи и трајни усеви

242-Комплекс култивисаних парцела

243-Претежно пољопривредно земљиште са већим подручјим природне вегетације

244-Агро-шумска подручја

### 3. Шуме и полу-природна подручја

311- Листопадне шуме

312- Четинарске шуме

313- Мешовите шуме

321- Природни травњаци

322- Мочваре и вресетишта

323-Склерофилна вегетација

324- Прелазно подручје шуме, жбуње и макија

331- Плаже, дине и пешчаре

332- Огољене стене

333- Ретка вегетација

334- Спаљене површине

335- Глечери и вечни снег

### 4. Влажна подручја

411- Копнена влажна подручја

412- Мочварно тресетиште

421- Слане мочваре

422- Солане

423- Подручја плимског утицаја

### 5. Водене површине

511-Водотоци

512-Водене површине

521-Обалске лагуне

522- Ушћа река

523-Мора и океани

Визуелна интерпретација представља метод идентификације и процене објеката који се налазе на сателитским снимцима (Bossard et al, 2000). Заснива се на анализи односа „објекат пејзажа-његова манифестација на сателитском снимку“ који претпоставља одлично познавање објеката пејзажа и њихових способности да емитују и рефлектују електромагнетно зрачење. Међутим, постоји одређени број класа земљишног покривача где је неопходна дедуктивна анализа (Bossard et al, 2000), посебно када се ради о класама које описују коришћење земљишта. То значи да интерпретатор, током процеса идентификације класе земљишног покривача, мора узети у обзир контекст у којем су објекти смештени као и додатне информације које су доступне (фотографије, карте...). На пример, комплекс дрвећа у оквиру насељеног места ће се картирати као 141 (урбане зелене површине) или случају нехомогених класа (као што су 211, 242, 243...) гомилање примитивних објеката ће се вршити на основу специфичног обрасца.

## **2.5 ПРОБЛЕМИ ТРАДИЦИОНАЛНИХ МЕТОДОЛОГИЈА КАРТИРАЊА ЗЕМЉИШНОГ ПОКРИВАЧА**

Основни проблем традиционалних методологија картирања земљишног покривача лежи у чињеници да су информације које се на овај начин презентирају, у овом случају производ класификације, подложне концептуализацији како креатора тако и корисника. Већина корисника, наиме, третира информације о земљишном покривачу као податке, не схватајући у потпуности њихово значење тј. семантику (Comber et al., 2005). У претходном тексту већ су показани примери како концептуализација утиче на формирање информација о земљишном покривачу. Последица је да је географска информација за разлику од географског податка неизбежно непоуздана - не постоји истина (Comber et al., 2005). Може се, дакле, закључити да информација одговара кориснику ако се његова концептуализација поклапа са концептуализацијом произвођача информације, а то најчешће није случај. То даље имплицира закључак да је један картографски модел земљишног покривача од користи само једном одређеном кругу корисника. Homer et al. (2004) препознају овај проблем и напомињу да је при креирању NLCD методологије постојала свест

о томе да су „историјски, карте о земљишном покривачу биле развијане према специфичним потребама пројеката, са методима и резултатима који нису, у општем случају, били дизајнирани за екстраполацију у другим областима или за прелазак на друге шеме земљишног покривача“, да су „такви приступи често имали као резултат базе података и методе који су развијали категорије који је било тешко упоређивати, просторно и временски, и које су имале ограничену флексибилност за друге кориснике“ и напослетку да су „потенцијално корисни“ међупроизводи обраде података даљинске детекције, наиме „сликовне трансформације, додатне информације и класификациона правила“ били „одбацивани након генерисања финалног производа“ иако представљају „потенцијал за флексибилну апликацију, ако су постављени у организовану релацијску базу података“. Полазећи, дакле, од ових теза, креатори креатори NLCD виде означавају своју методологију као „искорак из традиционалне класификације података даљинске детекције земљишног покривача у специјализованим категоријама које одговарају само специфичним захтевима“ (Homer et al, 2004).

Бројне друштвене групе су заинтересоване за знање о земљишном покривачу. Међу њима могу постојати значајне разлике у смислу: а) поља интересовања (нпр. шумарство, просторно планирање, биологија...), б) просторног домена (нпр. локалне, националне, континенталне, глобалне...) или в) политичког и друштвеног утицаја (нпр. органи државне управе, НВО, академија...) и консеквентно различити концепти земљишног покривача. Неке од друштвених група производе своје сопствене карте земљишног покривача прилагођене својој онтологији док друге користе постојеће производе следећи компромис између немогућности да произведу сопствене информације о земљишном покривачу и потребе за таквом врстом информација. Као резултат, често се дешава да постоје разноврсни картографски производи информација о земљишном покривачу који покривају неку географску територију. Варијације између различитих картирања земљишног покривача су проблематичне јер производе недостатак (или у најмању руку смањење) интероперабилности (Herold et al., 2006a; Herold and Schumilius, 2004), или другим речима, једна информација о земљишном покривачу је корисна само друштвеној групи која је производи.

Као потенцијална решења овог проблема, покрећу се иницијативе за хармонизацију (“*bottom up*” приступ) и стандардизацију (“*top down*” приступ) производа картирања земљишног покривача. Док хармонизација подразумева добровољне модификације концептуализација земљишног покривача од стране самих произвођача информација у циљу постизања семантичке интероперабилности, стандардизација је ригидан чин наметања јединствене концептуализације одређеном броју произвођача (и наравно корисника) информација. Међутим, независно од приступа, обе врсте иницијатива имају за циљ постизање јединственог „језика“ класификације земљишног покривача, заједничке концептуалне платформе.

Последњих година, улажу се напори за стандардизацију у класификацији земљишног покривача. Herold et al (2006b), предлажу да се класификациони систем Организације за храну и пољопривреду (FAO) Уједињених Нација (LCCS) (Di Gregorio, 2005) усвоји као стандард. Иако ова иницијатива није усамљена, што уосталом доказује постојање наднационалних програма картирања земљишног покривача као што су CORINE LC, LCCS, GLC2000 (Heyman et al., 1994; Ahlqvist, 2008; Bartholome and Belward, 2005) који истовремено прелазе и границе појединачних дисциплина, аргументи које дају у великој мери артикулишу опште примедбе. Ту се пре свега истиче да варијације у методологијама картирања земљишног покривача (у смислу номенклатуре, концепата, семантике итд.) могу бити веома проблематичне за кориснике. Свака заинтересована дисциплина производи своју карту земљишног покривача што доводи до картирања исте географске области више пута, али у различитим размерама, за различите потребе, са различитим типовима информација и тачношћу. Номенклатуре су специфичне за сваку дисциплину и концентрисане на детаљност за одређену примену, али дајући мало информација корисних за неку другу. Све ово доводи до тога да је размена информација о земљишном покривачу између дисциплина, организација и земаља компликована (Herold et al., 2006a). Anderson et al. (1976) подвлаче да је скорашњи развој у обради података и технологији даљинске детекције као прихваћеног основног извора података за класификацију земљишног покривача додатно појачава значај стандардизације у инвентарисању земљишног покривача.

Стандардизација номенклатуре класификације земљишног покривача није, међутим, решење овог проблема. Напротив, унификација номенклатуре се не одвија, нити се може одвијати, у хармонији са унификацијом индивидуалних концептуализација. Концептуална шема може бити на крају јединствена, али ће корисници и даље имати индивидуалне потребе. Истина, стандардизација је теоретски корисна јер обезбеђује општи заједнички језик, омогућавајући странама да размеђују податке без проблема у споразумевању. Међутим, настали као компромис између заинтересованих страна, стандарди не представљају дубину знања. Они су даље проблематични и због њихове научне основе која негира социјално конструисану природу у већини географских информација, укључујући и информације о земљишном покривачу (Comber et al., 2005, Comber et al., 2007). Напокон, постоје добри разлози за коришћење различитих класификација у различитим контекстима који настају из научних, техничких, организационих, институционалних и политичких утицаја, другим речима различита решења за неконзистентне семантике и концептуализације (Comber et al., 2007). Различите потребе захтевају различите категоризације земљине површине и базе података са различитом просторном и темпоралном резолуцијом (Hall et al, 1992).

Међутим, проблем је у томе што је свака класификација земљишног покривача у суштини производ стандардизације на одређеном нивоу. Ahlquist (2008) утврђује да је циљ процеса класификације структурисање специфичног домена знања да би се успоставила конзистенција и стабилност у комуникацији између појединаца од којих сваки поседује сопствену концептуализацију света па према томе и субјективан поглед на њега. Међутим, иако се ова субјективност смањује кроз процес класификације, она се поново појављује у интерпретацији класа од стране корисника.

За класификацију као основу методологија картирања земљишног покривача поред проблема онтологије постоје и проблеми везани за технику класификације. Класификација неминовно повлачи за собом утврђивање минималне јединице картирања. Код растерских података, минималну јединицу картирања представља пиксел као најмањи просторни елемент-носилац податка/информације дигиталне карте. Код векторских, то је минимална



површина која је дозвољена за појединачни полигон. У оба случаја, пиксел или полигон је означен једном класом из утврђене номенклатуре, без обзира што може садржати типове земљишног покривача који би припадали другим класама. Овакав систем повлачи две последице (Villa et al., 2008):

- потреба за „флексибилним“ дефиницијама класа која омогућују да се полигони означе „доминантном“ класом од свих присутних у полигону;
- потреба за мешовитим класама када не постоји јасна доминација (на пример више од 75%) једне класе.

Villa et al. (2008) су систематизовали недостатке и ограничења концепта класификације:

- умножавање класа са „праговима“ због разлика у вредностима одређеног параметра, нпр. Резиденцијално густо урбано ткиво и Резиденцијално средње густо урбано ткиво;
- умножавање „мешовитих“ класа због потребе да се полигон који садржи више различитих типова земљишног покривачазначи једном класом;
- експлозија класа због вишеструког укрштања неколико класификационих критеријума;
- мешовите класе обезбеђују мало информација корисницима;
- мешовите класе чине базу података некохерентном хијерархијском принципу пошто су оне класе које садрже друге класе из истог хијерархијског нивоа;
- мешовите класе могу лако водити до погрешних закључака код корисника;
- комплексност дефиниција класа отежава производњу, контролу квалитета, ажурирање и коришћење базе података;
- комплексне дефиниције у којима се неколико класификационих правила (интервали вредности параметара) примењују симултано, повећавају ризик од некохерентности: дефиниције које се преклапају (неки полигони могу бити означени са више од једне класе) или недефинисаност (неки полигони се не могу означити ни једном класом);
- губитак важних информација (које су доступне). Информације које се налазе у бази су много мањег обима од оних који се могу доћи;

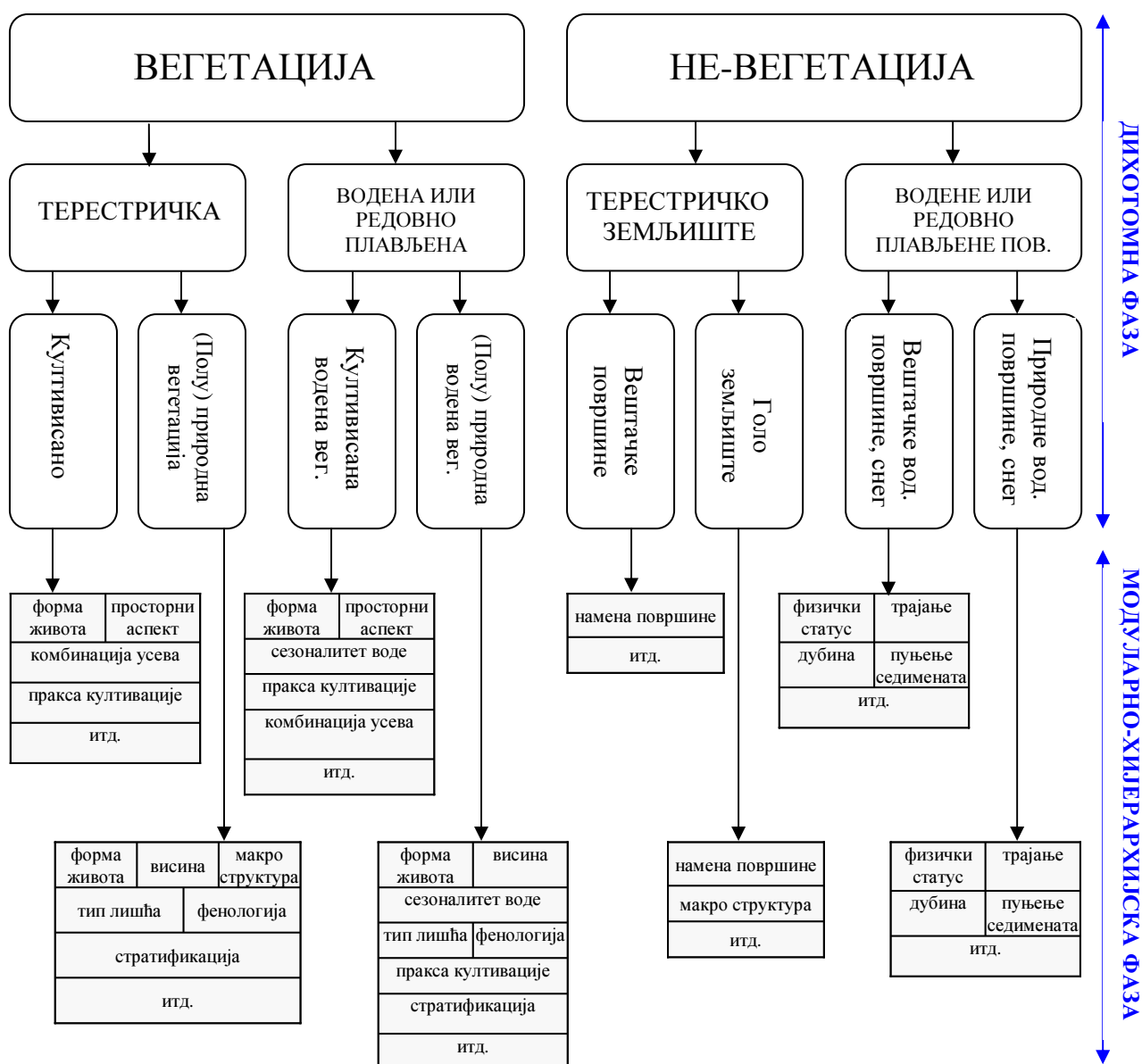
- важне просторне варијације у вредностима одређених параметара се не појављују у бази ако не прелазе „прагове“;
- када постоји више типова земљишног покривача у једном полигону (због ограничења величине минималне јединице картирања), морамо означити тај полигон једном класом. Ово често производи погрешне информације у бази, а такође и у статистици која се из ње изводи;
- није могуће вршити рачунања променљивих и индикатора изведених из вредности параметара базе података као што су густина изграђености, % дрвећа у шуми итд. При томе ти параметри представљају неопходне улазне податке у разним моделима процеса (нпр. моделима климатских промена).

Посебно је потребно истаћи проблеме везане за детектовање темпоралних промена земљишног покривача. Код промена, генерално се могу разликовати појмови конверзије земљишног покривача- комплетна смена једног типа покривача другим, и модификације земљишног покривача- финије промене које утичу на карактер земљишног покривача, али му не мењају општу класификацију (Turner et al., 1993). Модификације земљишног покривача као резултат могу имати деградиране екосистеме, и генерално су много више заступљене у односу на конверзије земљишног покривача. У принципу, мониторинг конверзије земљишног покривача (нпр. експанзија пољопривредног земљишта и смањивање површина под шумом) може се извршити простим упоређивањем карата земљишног покривача (на пример које су изведене класификацијом података даљинске детекције или теренским радовима). Ипак, упоређивање класификација земљишног покривача за различите датуме не омогућава детекцију финих промена у оквиру самих класа земљишног покривача. Чак иако су се променили неки од атрибута једне класе, интензитет тих промена неће увек бити довољно велики да оправда промену из једне категорије земљишног покривача у другу, сем уколико примењена класификација вегетације не препознаје веома велики број уско дефинисаних категорија. Дакле, мониторинг промена земљишног покривача даљинском детекцијом захтева мерења скупа индикатора биофизичких атрибута земљине површине, сезонско понашање тих атрибута и њихов просторни образац у крупној размери. (Lambin, 2000).

## 2.6 АЛТЕРНАТИВНИ МОДЕЛИ КАО ПОКУШАЈИ ПРЕВАЗИЛАЖЕЊА НЕДОСТАКА ТРАДИЦИОНАЛНИХ

Многи препознати недостатци традиционалних картографских модела земљишног покривача резултовали су покушајима на различитим нивоима да се пронађу такви системи мониторинга земљишног покривача који ће моћи да превазиђу уочене проблеме. Два модела треба поменути: LCCS (Land Cover Classification System) који је развио FAO и SIOSE Националног Географског Института (IGN) Шпаније.

FAO LCCS је заснован на идеји да се креира флексибилан, стандардизовани, конзистентни *a priori* систем класификације, при чему се флексибилност односи на потенцијал система да опише довољно велики број класа за моделирање реалног света истовремено одржавајући јасне дефиниције граница између класа (Di Gregorio, 2005). Основни принцип овог приступа је да се класа дефинише комбинацијом скупа независних дијагностичких атрибута-класификатора уместо именом и описом класе као што је то случај код традиционалних система класификације. Број класификатора који се употребљава је повезан са детаљношћу која се жели постићи. Нове детаљније класе се добијају увођењем нових класификатора.



Слика 2-1 FAO LCCS класификациони систем

Класификациони систем се состоји из две фазе: Дихотомне фазе и Модуларно-Хијерархијске фазе (Слика 2-1). У дихотомној фази користе се три класификатора: присуство вегетације, физичка, хемијска и биолошка својства земљишта и вештачка природа покривача и овде настаје осам основних типова класа. У модуларно-хијерархијској фази, класе се дефинишу комбинацијом скупа предефинисаних класификатора земљишног покривача при чему су ови скупови

класификатора различити (специфични) за сваки од осам основних типова земљишног покривача.

За потребе SIOSE пројекта картирања земљишног покривача развијен је параметарски Објектно Оријентисани Модел Података<sup>4</sup> (OODM) (Villa et al., 2008).

Основни принципи овог модела података су:

- географски простор се дели на скуп затворених полигона при чему сваки од њих садржи површину што је могуће више „хомогену“;
- „земљишни покривачи“ су тематске категорије. „Елементи земљишног покривача“ су објекти који сачињавају „земљишне покриваче“;
- сваки „земљишни покривач“ и „елемент земљишног покривача“ има своје атрибуте;
- „хомогени“ полигони (у размери базе података) имају један „земљишни покривач“. Када су „хомогене“ површине мање од Најмање Јединице Картирања<sup>5</sup> (MMU) оне се додају нехомогеном полигону за који се похрањује и податак о проценту сваке од „хомогених“ површина унутар њега;
- за сваки „земљишни покривач“ у оквиру једног полигона у базу података се похрањују средње вредности атрибута, „елементи земљишног покривача“ присутни у том „земљишном покривачу“ и проценат површине које заузимају и просечне вредности атрибута за сваки елемент;
- све информације о сваком полигону се чувају у алфанумеричкој релационој бази података<sup>6</sup> (RDB) дизајнираној да материјализује што је могуће тачније OODM и допусти неограничене будуће екстензије модела (у смислу додавања нових класа, параметара итд..).

Идеја заговорника овог модела је да се коришћењем параметарског објектно оријентисаног моделирања превазиђе узрок „већине проблема база података о земљишном покривачу“ кога они дефинишу као „покушај да се бескрајна разноврсност пејзажа `класификује` кроз ограничени број `затворених` класа“ (Villa et al., 2008)

---

<sup>4</sup> Parametric Object Oriented Data Model (eng.)

<sup>5</sup> Minimum Mapping Unit

<sup>6</sup> Relational Database

Ова два концепта моделирања земљишног покривача, иако решавају одређене проблеме традиционалних модела класификације, не представљају заиста оптимална решења. FAO LCCS је увођењем класификатора, од којих је добар део квантитативних, успео да отклони недореченост уобичајених дефиниција класа и да омогући моделирање комплексности реалног света потенцијално великим бројем класа. Са друге стране, инсистирањем на ригидним и јасним границама класа дефинисаним помоћу граничних вредности класификатора, овај систем заправо задржава наметање једног одређеног концептуалног модела класа, иако потенцијално значајно детаљнијег (Ahlquist, 2008; Villa et al., 2008). Међутим, и могућности детаљности су ограничене хијерархијским устројством класификације. Даље, овај модел не решава суштински проблем губитака информација које се утапају у критеријуме класификатора, а такође и промене земљишног покривача које се догађају у оквиру граничних вредности класификатора није могуће регистровати што суштински ограничава и компромитује мониторинг земљишног покривача.

SIOSE модел, са друге стране, задржава богатство информација и података (пре свега квантитативних) о земљишном покривачу кроз вредности атрибута, али те атрибуте везује за одређене „хомогене“ површине. „Хомогеност“ је, међутим, у просторном смислу променљива категорија што захтева поново наметање критеријума и граничних вредности тих критеријума. Пошто „хомогеност“ зависи и од размере, то додатно компликује систем јер се критеријуми морају одређивати за сваку размеру посебно. Поред овог онтолошког проблема, постоје и практична ограничења за оперативну употребу оваквог модела. Наиме, партиција земљине површине на велики број полигона у некој размери релевантној за моделирање пејзажа и прикупљање детаљних података и информација је процес који захтева велике материјалне и људске ресурсе као и дуже време израде. Све то значајно отежава добијање правовремених информација о земљишном покривачу као динамичној географској категорији.

## 2.7 ЕТИЧКА ПИТАЊА КАРТИРАЊА ЗЕМЉИШНОГ ПОКРИВАЧА

Картирање земљишног покривача може покренути одређена етичка питања које је неопходно идентификовати. У исто време, етички оквир у коме се одвија прикупљање података и генерисање информација о земљишном покривачу у великој мери утиче на технички дизајн и онтологију ових информација. Истраживање етичког оквира би требало базирати на два питања: питање адекватности информација о земљишном покривачу и питање доступности извора података.

### 2.7.1 Адекватност информација о земљишном покривачу

Пре свега, карте земљишног покривача, ма какве концептуалне основе, представљају просторне информације о животној средини. Основни етички оквир који се односи на животну средину обликован је у оквиру Конвенције о приступу информацијама, учешћу јавности у одлучивању и приступу правди у питањима везаним за животну средину (Архуска Конвенција) коју су ратификовале европске земље, између осталих и Република Србија. Конвенција успоставља три основна принципа:

- право грађана да приступају информацијама. Било које информације о животној средини које поседују државне институције морају бити доступне на захтев грађана, сем уколико се не налазе на коначној листи изузетака (извор UNECE<sup>7</sup>). Ово проистиче из основног људског права на здраву животну средину;
- право грађана да учествују у одлукама везаним за животну средину. Конвенција одређује минимум захтева за учешће јавности у различитим категоријама одлучивања (извор UNECE);
- право приступа правним инструментима када су претходна два права ускраћена.

---

<sup>7</sup> <http://www.unece.org/>

Овде се јасно може закључити да је други принцип заправо условљен првим - грађани (односно било ко заинтересован) формирају свој став и утичу на одлуке везане за животну средину на основу увида у релевантне информације. Дакле, став о одлукама и правац деловања зависе од расположивих информација, односно од њиховог квалитета у смислу концепта, тачности, прецизности, ажурности итд. Како су просторне информације о земљишном покривачу препознате као есенцијалне за оцену стања и мониторинг животне средине, овај етички контекст даје додатну тежину њиховој онтологији и методама њиховог креирања. Може се поставити и конкретно питање:

- Да ли је одређена информација о земљишном покривачу одговарајућа да би се донела одлука у складу са правом грађана на здраву животну средину?

Овде можемо дати као пример два различита хипотетичка сценарија. За оба је значајно да доносилац одлуке треба да закључи да ли деловање одређеног субјекта има утицаја на животну средину увидом у информацију о промени земљишног покривача. У оба сценарија је узето да у реалности постоји значајна промена земљишног покривача.

Сценарио 1: Информација је приказана кроз векторске полигоне промене класа земљишног покривача. Међутим, промена класа је мања од минималне јединице картирања или су саме класе које су се промениле генералисане у оквиру комплексне класе која се сама није променила (CLC 243 остаје иста класа и поред евентуалног нестанка дела природне вегетације). Резултат је информација која не показује промену земљишног покривача.

Сценарио 2: Информација је приказана преко ћелија грида које носе податак/информацију о земљишном покривачу (нпр. класу, биофизички параметар, вегетациони индекс...). Због неодговарајуће просторне резолуције грида (просторна резолуција ћелија грида је исувише ниска у поређењу са размером промене земљишног покривача), информација о промени је „сакривена“ у просечној (генералисаној) информацији ћелије грида.



У ова два примера, показано је како и техничка и онтолошка решења могу произвести погрешну информацију, и поред тога то се њена техничка тачност не доводи у питање. Због тога, један од основних задатака приликом дизајнирања оперативног картирања земљишног покривача треба да буде минимализовање ове појаве.

Европска Унија и њене чланице су примениле ова начела у свом законодавству. INSPIRE директива (Directive 2007/2/EC) има за циљ успостављање инфраструктуре просторних информација у Европској Унији за подршку политикама и активностима које могу имати утицај на животну средину. Директива регулише право слободног приступа информацијама, али успоставља и захтеве за интероперабилности и хармонизације података. Подаци о земљишном покривачу сврстани су у другу групу приоритетних тема (Annex II).

Овде су кључне речи операбилност и хармонизација. У случају информација о земљишном покривачу то конкретно значи успостављање јединствене концептуалне платформе, или, ако је то већ тешко изводљиво, стварање својеврсног онтолошког речника који би једне информације претварао у друге (у том смислу треба видети на пример EAGLE иницијативу<sup>8</sup>).

### **2.7.2 Доступност извора података о земљишном покривачу**

Производи даљинске детекције су примаран и неопходан извор података за генерисање информација о земљишном покривачу. Из тог разлога се у етичком смислу питање приступања овим подацима може изједначити са питањем приступања подацима о животној средини. Тренутна слика могућности приступању података даљинске детекције, али и потенцијална слика коју можемо очекивати у будућности добија се одговором на следећа питања:

- Ко је власник сателитских сензора?
- Ко одређује права над подацима, ценовник, и политику дистрибуције података?
- Какве су тренутно ове политике?
- Који интереси утичу на обликовање ових политика?

---

<sup>8</sup> <http://sia.eionet.europa.eu/EAGLE>

Већ годинама се одвија еволуција инфраструктура даљинске детекције, како из владиног у комерцијални сектор тако и из домаћег у међународни (Slonecker et al., 1998). Међутим, владе у својој ингеренцији и даље имају моћ да креирају легалне оквире за приступање, коришћење и дисеминацију података даљинске детекције. Основни фундаментални принципи договорени на глобалном нивоу артикулисани су у резолуцији Генералне Скупштине Уједињених Нација A/RES/41/65 (Принципи који се односе на даљинску детекцију Земље из свемира):

„...“

#### Принцип 2

Активности даљинске детекције ће се одвијати у корист и у интересу свих земаља, без обзира на степен њиховог економског, социјалног или научног и технолошког развоја, и са посебним узимањем у обзир потреба земаља у развоју.

#### Принцип 10

Даљинска детекција ће промовисати заштиту природне животне средине Земље. У том циљу, државе које учествују у активностима даљинске детекције које су идентификовале информације у њиховом поседу које се могу користити да се спречи било која појава штетна за животну средину Земље ће проследити те информације државама на које се оне односе.

#### Принцип 12

Чим се произведу основни подаци и обрађени подаци који се тичу одређене територије, држава чија је та територија ће имати приступ тим подацима на бази не-дискриминације и по разумној цени. Држава која се снима ће такође имати приступ расположивим анализираним информацијама које се тичу територије под њеном јурисдикцијом који су у поседу било које државе која учествује у активностима даљинске детекције на истој основи и под истим условима, са посебним обзиром према потребама и интересима земаља у развоју.

.....“

Са друге стране, сва национална законодавства садрже следеће опште фундаменталне принципе: доступност података за научне, социјалне и економске користи и ограничавање приступа неким подацима из разлога националне безбедности (Gabrynowicz, 2007). Разлика је у примени конкретних параметара: ограничења доступности резолуција, одређивања држава којима се забрањује приступ подацима. Све је више примера где се, пре свега у случају података високе резолуције, одступа од принципа не-дискриминаторског приступа подацима који је један од основа резолуције Уједињених Нација (УН). На пример, у Канади према *Remote Sensing Space Systems Act 2005, OPERATION OF REMOTE SENSING SPACE SYSTEMS, Applications, Licences and Related Matters* „8.(7)..Министар може ограничити обезбеђивање производа даљинске детекције или класа таквих производа из система лиценцирања особама или групама ...под условима за које Министар сматра да су одговарајући“. У Индији, закон<sup>9</sup> обезбеђује влади право да наметне контролу над снимањем и дистрибуцијом података са IRS или било ког другог индијског сателита у одређеним случајевима, уводи рестрикцију приступу података резолуцији бољој од 2.5 m и успоставља процедуру дозволе приступа подацима резолуције боље од 5.8m. Слична је регулатива и у Сједињеним Америчким Државама<sup>10</sup> итд.

На овај начин, комерцијализација производа даљинске детекције одвија се укорак са процесом рестрикције приступа или потенцијалне рестрикције приступа. Овакво стање је посебно проблематично за земље које немају сопствене сателитске системе, а то је она дискриминација, или потенцијална дискриминација, која је санкционисана резолуцијом УН.

---

<sup>9</sup> ISRO:EOS:POLICY-01:2001 Indian Space Research Organisation Hq Bangalore-560 094 Remote Sensing Data Policy (RSDP) ([www.isro.org/Announcementopportunity/rdsp.pdf](http://www.isro.org/Announcementopportunity/rdsp.pdf))

<sup>10</sup> U.S. Commercial Remote Sensing Policy of 25 April 2003 (fact sheet)

### 3 ПРИРОДА ПОДАТАКА САТЕЛИТСКОГ ПОСМАТРАЊА ЗЕМЉЕ

Мултиспектрални подаци који се добијају са оптичких сателитских сензора основни су извор података за картографска моделирања земљишног покривача. У овом поглављу дат је приказ теоријских основа формирања сигнала на сензорима за осматрање Земље неопходних за каснија разматрања модела оцена квантитативних параметара којима се карактерише земљишни покривач. Већина приказаних физичких модела дата је према Schowengerdt (1997), а тамо где то није случај, биће посебно напоменуто.

#### 3.1 ЗРАЧЕЊЕ КОЈЕ ДОЛАЗИ ДО СЕНЗОРА

Извор енергије за даљинску детекцију у региону сунчевог зрачења (видљиво до краткоталасно инфра-црвено зрачење) је Сунце које се може сматрати скоро-апсолутним црним телом.

*Спектрални излаз зрачења*<sup>11</sup> ( $M_\lambda$ ), величина која се може дефинисати као количина енергије зрачења по јединици површине Сунца по јединици таласне дужине ( $\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$ ) може се описати Планковом једначином апсолутно црног тела:

$$M_\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5 [e^{C_2/(\lambda T)} - 1]} \quad 3-1$$

где су

$T$  – температура апсолутно црног тела у Келвинима (К),

$C_1$  –  $3.74151 \times 10^8 \text{ Wm}^{-2}\mu\text{m}^4$ ,

$C_2$  –  $1.43879 \times 10^4 \mu\text{mK}$ .

*Спектрална ирадијанса*<sup>12</sup> ( $E_\lambda^0$ ) на врху атмосфере<sup>13</sup> (ТОА) описује се једначином:

---

<sup>11</sup> Spectral radiant exitance (eng.)

<sup>12</sup> Spectral radiance (eng.)

<sup>13</sup> Top Of Atmosphere (eng.)

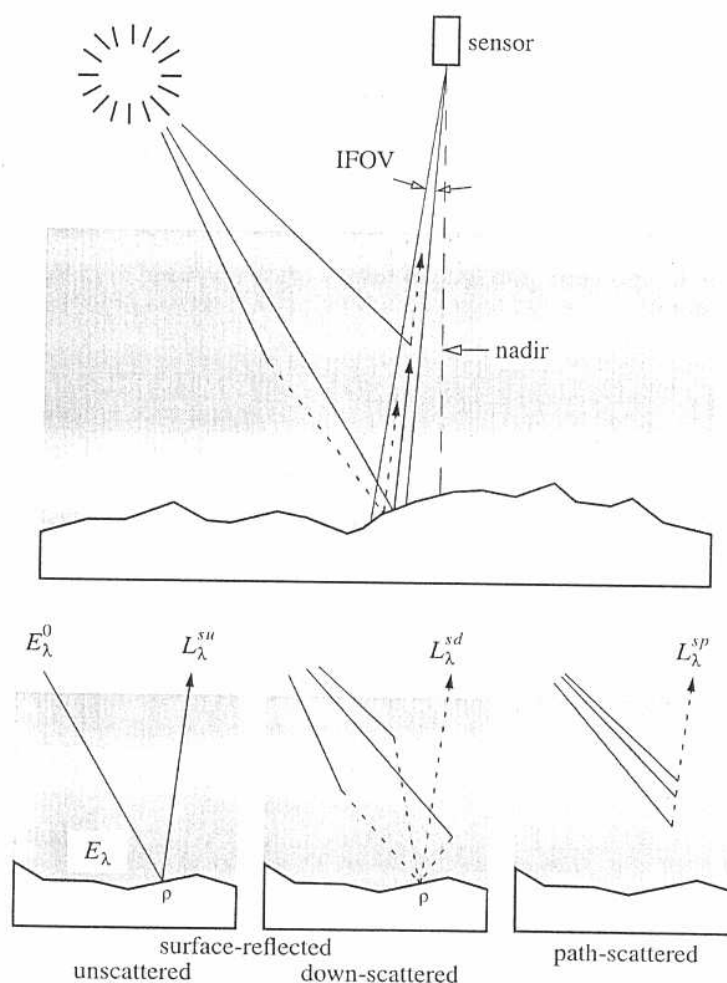
$$E_{\lambda}^0 = \frac{M_{\lambda}}{\pi} \times \frac{\text{површина соларног диска}}{\text{удаљеност до Земље}^2} \quad 3-2$$

Укупно зрачење у оквиру видљивог и инфра-црвеног дела електромагнетног спектра које долази до сензора на сателиту састоји се од три значајне компоненте:

- Нерасутог (у атмосфери) зрачења рефлектованог о Земљину површ,  $L_{\lambda}^{su}$  ;
- У атмосфери расутог зрачења ка Земљиној површини и затим рефлектованог од ње,  $L_{\lambda}^{sd}$  ;
- У атмосфери расутог зрачења у правцу сензора,  $L_{\lambda}^{sp}$  ;

и може се математички записати као:

$$L_{\lambda}^s = L_{\lambda}^{su} + L_{\lambda}^{sd} + L_{\lambda}^{sp} \quad 3-3$$



Слика 3-1. Компоненте зрачења код даљинске детекције соларне рефлексије (преузето из Schowengerdt (1997))

Ирадијанса која стиже до Земљине површине је зависна од релативног дела зрачења које стиже до Земљине површине математички дефинисаног као *пропустљивост на путу соларног зрачења*<sup>14</sup> ( $\tau_s(\lambda)$ ). Земљина атмосфера има велики утицај на сателитску даљинску детекцију у области видљивог и краткоталасног инфра-црвеног зрачења. У проласку кроз атмосферу део зрачења бива расуто или апсорбовано што значајно мења количину укупног зрачења које стиже до Земљине површине и затим одбијено, до сензора на сателиту. Пропустљивост атмосфере зависи од таласне дужине зрачења тако да ови атмосферски „прозори“ утичу на одређивање спектралних појасева погодних за коришћење у даљинској детекцији. Такође, ирадијанса на површ зависи и од

<sup>14</sup> Solar path transmittance (eng.)

упадног угла и максимална је ако је површ управна на упадни правац зрачења, односно опада ако се угао смањује.

Тако је израз за ирадијансу која стиже до Земљине површине:

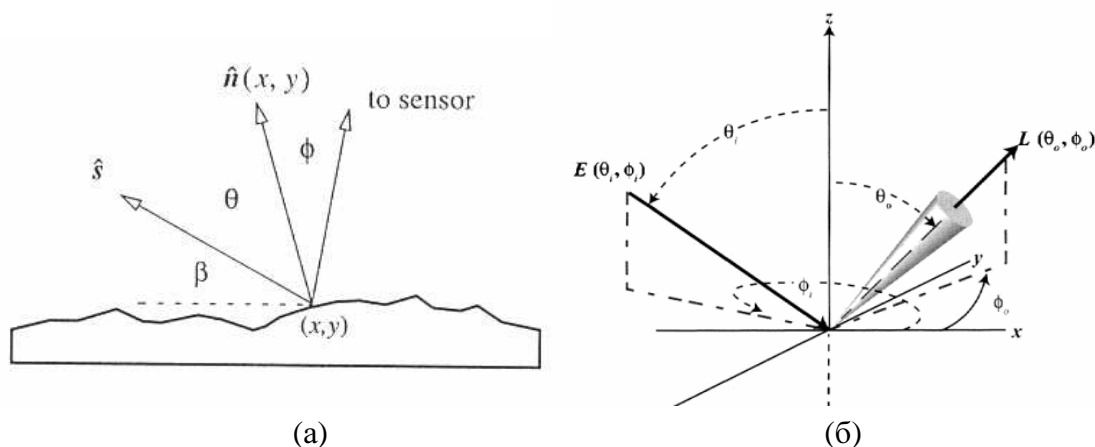
$$E_{\lambda}(x, y) = \tau_s(\lambda) \cdot E_{\lambda}^0 \cdot \cos[\theta(x, y)] \quad 3-4$$

где су:

$\tau_s(\lambda)$ - пропустљивост сунчевог зрачења таласне дужине  $\lambda$  (то је део сунчевог зрачења које стиже до земљине површине и по дефиницији има вредности између 0 и 1),

$E_{\lambda}^0$ - спектрална ирадијанса на врху атмосфере. Узима се да је константна у оквиру сателитске сцене,

$\theta(x, y)$ - упадни угао сунчевог зрачења. То је угао између правца упадног сунчевог зрачења и нормале на земљину површину у тој тачки (Слика 3-2(а)).



Слика 3-2. а) Геометрија директне соларне ирадијансе на земљину површ (прузето из Schowengerdt (1997)), б) Концепт бидирекционе рефлексије (прузето из Schott (2007))

Следећи пренос енергије се дешава приликом рефлексије зрачења на земљиној површини. Ирадијанса која стиже на површ коју сматрамо Ламбертовом конвертује се у зрачење које напушта површ:

$$L_{\lambda}(x, y) = \rho(x, y, \lambda) \cdot \frac{\tau_s(\lambda) \cdot E_{\lambda}^0}{\pi} \cdot \cos[\theta(x, y)] \quad 3-5$$

где је  $\rho$  *дифузна спектрална рефлексија*<sup>15</sup>.

Попут пропустљивости, рефлексија је по дефиницији безидмензионална величина која се креће у опсегу (0,1). Рефлексија је променљива у зависности од таласне дужине зрачења и просторне локације (зависи од положаја површи према упадном углу зрачења), али не зависи од правца посматрања за праву Ламбертову површ.

Ово је, међутим, поједностављени модел јер се у природи ретко могу наћи површине које се понашају као Ламбертове. У општем случају дакле рефлексија зависи како од правца упадног зрачења тако и од положаја посматрача Schott, 2007) и назива се *бидирекциона рефлексија*<sup>16</sup>:

$$r_{BRDF} = \frac{L(\theta_0, \phi_0)}{E(\theta_i, \phi_i)} [sr^{-1}] = \frac{L(\theta_0, \phi_0) \cdot \pi}{E(\theta_i, \phi_i)} \quad 3-6$$

где оријентациони углови  $\theta_0, \phi_0$  описију правац расутог зрачења, а  $\theta_i, \phi_i$  описују правац ирадијансе (Слика 3-2(б)). Познавање *функције распореда бидирекционе рефлексије*<sup>17</sup> (BRDF) подразумева да су познате вредности бидирекционе рефлексије за све комбинације упадног и рефлектованог зрачења. Ови модели захтевају познавање оптичких и структурних особина површи, било да су оне добијене мерењима или моделирањем. Оваква решења су исувише компликована и често тешко изводљива у практичним применама.

Да бисмо добили зрачење које, одбијено од Земљине површине, стиже до сензора на сателиту потребно је још у једначину урачунати и *пропустљивост на путу ка сензору*<sup>18</sup> ( $\tau_v(\lambda)$ ):

$$L_{\lambda}^{su} = \tau_v(\lambda) \cdot L_{\lambda} = \rho(x, y, \lambda) \cdot \frac{\tau_s(\lambda) \cdot \tau_v(\lambda) \cdot E_{\lambda}^0}{\pi} \cdot \cos[\theta(x, y)] \quad 3-7$$

Сензор такође види и зрачење које се расипа у атмосфери, долази до Земљине површине и рефлектује према сензору. Ова физичка појава је разлог зашто сенке на снимку нису потпуно тамне.

<sup>15</sup> Diffuse spectral reflectance (eng.)

<sup>16</sup> Bidirectional reflectance (eng.)

<sup>17</sup> Bidirectional Reflectance Distribution Function (eng.)

<sup>18</sup> View path transmittance (eng.)



Овакво зрачење сразмерно је дифузној рефлексији површи  $\rho$ , ирадијанси која потиче из овог извора  $E_{\lambda}^d$ . Уводи се и фактор  $F(x, y)$  који представља утицај топографије (за раван терен једнак је јединици) па формула има облик:

$$L_{\lambda}^{sd}(x, y) = F(x, y) \cdot \rho(x, y, \lambda) \cdot \frac{\tau_v(\lambda) \cdot E_{\lambda}^d}{\pi} \quad 3-8$$

У атмосфери расуто зрачење у правцу сензора -  $L_{\lambda}^{sp}$  потиче од комбинације расипања о молекуле и аеросоли, зависне од таласне дужине и распршивања о ситније честице које је мање или није уопште зависно од таласне дужине. Оно може да варира у оквиру једне сателитске сцене, на пример између руралних и урбаних области, а зависно је и од угла посматрања. За сензоре са релативно малом ширином захвата скенера (као што су LANDSAT TM и SPOT), распршено зрачење у правцу сензора може се сматрати константним у оквиру сцене.

Укупно сунчево зрачење које стиже до сензора је збир претходно описаних компоненти:

$$\begin{aligned} L_{\lambda}^s(x, y) &= L_{\lambda}^{su}(x, y) + L_{\lambda}^{sd}(x, y) + L_{\lambda}^{sp} \\ &= \rho(x, y, \lambda) \cdot \frac{\tau_v(\lambda)}{\pi} \cdot \{ \tau_v(\lambda) \cdot E_{\lambda}^0 \cdot \cos[\theta(x, y)] + F(x, y) \cdot E_{\lambda}^d \} + L_{\lambda}^{sp} \end{aligned} \quad 3-9$$

### 3.2 ФОРМИРАЊЕ ПОДАТАКА НА СЕНЗОРУ

Зрачење које је дошло до сензора уз помоћ оптике сензора се преноси на фокусну раван детектора где се формира слика. Спектрална ирадијанса на детектору који се налази на оптичкој оси је сразмерна зрачењу које стиже до сензора:

$$E_{\lambda}^i(x, y) = \frac{\pi \cdot \tau_0(\lambda)}{4N^2} \cdot L_{\lambda}^s(x, y) \quad 3-10$$

где је:

$N$  - оптички ( $f$ ) број који се дефинише као однос оптичке жишне даљине и пречника отвора бленде,

$\tau_0(\lambda)$ - пропустљивост оптике која је, ако се искључе сви филтери, врло висока (више од 90%).

Овде се уводе мултиспектрални филтери или елементи за дисперзију таласних дужина (нпр. призме) да би се енергија одвојила у различите спектралне канале. Сигнал у одређеном каналу који сензор у измери једној дискретној тачки  $(x, y)$  може да се запише као интеграл примљеног зрачења и касније конверзије у струју детектора по таласној дужини:

$$S_b(x, y) = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} R_b(\lambda) \cdot E_{\lambda}^i(x, y) \cdot d\lambda \quad (\text{Wm}^2) \quad 3-11$$

где је:

$R_b(\lambda)$ - *спектрална осетљивост* који се дефинише као производ пропустљивости спектралног филтера и спектралне осетљивости детектора,  
 $\lambda_{\min}$  и  $\lambda_{\max}$  - таласне дужине које дефинишу ширину спектралног канала  $b$ .

Из једначине 3-10 се види да је енергија која се мери у једном спектралном каналу интеграл ирадијансе помножене спектралном осетљивошћу по таласној дужини за таласне дужине тог спектралног канала. Очито је да спектрална осетљивост служи као мера тежине ирадијансе и представља меру способности сензора да разлучи детаље у спектралном сигналу. Број и ширина спектралних канала сензора одређује спектралну резолуцију.

Нова интеграција је потребна да би се добио сигнал који одговара одговарајућој просторној површини:

$$e_b(x, y) = \int_{\alpha_{\min}}^{\alpha_{\max}} \int_{\beta_{\min}}^{\beta_{\max}} S_b(\alpha, \beta) \cdot PSF_{net}(x - \alpha, y - \beta) \cdot d\alpha \cdot d\beta \quad 3-12$$

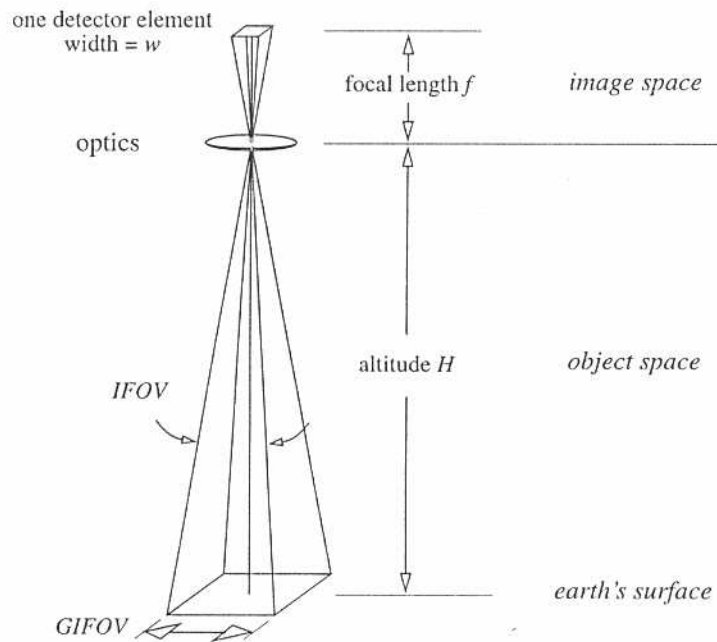
где су:

$PSF_{net}$  - *Point Spread Function* која је мера *просторне осетљивости* сензора. Наиме, сензор модификује спектралне особине сателитске сцене замагљивањем слике. Ова величина има три компоненте. Прво, оптика сензора замагљује слику

( $PSF_{opt}$ ). Слика коју је оптика детектора формирала може се померати за време интеграције за сваки пискел што узрокује нове нејасноће ( $PSF_{IM}$ ). Даље, детектор и електроника утичу на додатна замагљивања слике ( $PSF_{det}$  и  $PSF_{el}$ ).

$\alpha_{min}, \alpha_{max}$  и  $\beta_{min}, \beta_{max}$  - просторни опсег за  $PSF$  око тачке са координатама  $(x, y)$ ,

Ова интеграција одређује просторну резолуцију снимка. Уобичајена мера просторне резолуције је GIFOV и представља геометријску пројекцију ширине елемента детектора  $w$  на површини Земље (Слика 3-3).



Слика 3-3. Геометријски опис једног елемента детектора оптичког сензора (Прузето из Schowengerdt (1997))

IFOV (*Instantaneous Field of View*) - тренутни угао посматрања,

GIFOV (*Ground Projected Instantaneous Field of View*) - пројекција тренутног угла посматрања на Земљину површину

$H$  - висина сензора изнад Земљине површине,

$f$  - жижна даљина сочива детектора,

$w$  - ширина елемента детектора.

Да би се обезбедио довољан ниво сигнала за A/D конвертор, електронски сигнал  $e_b$  у каналу  $b$  се електронски појачава и филтрира помоћу

електронског  $PSF$ . Процењује се максимално зрачење у оквиру сцене и одговарајући излазни опсег детектора. Gain и offset вредности као параметри линеарне трансформације се одређују тако да из A/D конвертора произведу потпун опсег вредности *дигиталног броја*<sup>19</sup> (DN).

Појачани сигнал се дакле добија кроз:

$$a_b = gain_b \times e_b(x, y) + offset_b \quad 3-13$$

Појачани сигнал се помоћу оператора који претвара у најближу целобројну вредност преводи у DN вредности за пиксел  $p$  у каналу  $b$  :

$$DN_{pb} = \text{int}[a_b] = \text{int}[gain_b \times e_b(x, y) + offset_b] \quad 3-14$$

Број дискретних DN вредности, одређен бројем бита по пикселу, дефинише *радиометријску резолуцију* снимка.

Ако се једначина 3-13 развије користећи 3-10 и 3-11 и затим упрости може се написати:

$$DN_{pb} = \text{int}[K_b \cdot \iiint L_\lambda(x, y) \cdot d\lambda dx dy + offset_b] \quad 3-15$$

Спектрална осетљивост сензора  $R_b(\lambda)$  се може сматрати константном у оквиру једног спектралног канала, а слично, просторна осетљивост сензора  $PSF(x, y)$  се може сматрати константном у оквиру ефективне површине коју покрива један пиксел. Ове функције осетљивости су са другим константама које фигуришу у једначини извучене испред интеграла и комбиноване у једну константу  $K_b$ .

Интеграли у једначини 3-14 се односе на ефективни спектрални канал и ефективну површину која је покривена једним пикселом и постоји линеарна зависност DN вредности и зрачења које стиже до сензора.

---

<sup>19</sup> Digital Number (eng.)

### 3.3 ФИЗИЧКИ МОДЕЛ ЗРАЧЕЊА ВОДЕ

Вода као флуид, има знатно сложенију интеракцију са електромагнетним зрачењем. Упрошћени модел дали су Cambell and Wynne (2011). Иако се оригиналне једначине односе на флуks електромагнетног зрачења, да би се одржао континуитет са претходно приказаним моделима, овде ће бити приказане преко зрачења.

Нека је  $L_{\lambda w}$  укупно зрачење које напушта површину воде:

$$L_{\lambda w} = \frac{E_{\lambda}}{\pi} \cdot \rho_{\lambda} \quad 3-16$$

где су:  $E_{\lambda}$  - упадно зрачење које стиже до водене површине, и  $\rho_{\lambda}$  - укупна рефлексивност.

Укупно излазно зрачење  $L_{\lambda w}$  је резултат је деловања неколико компоненти:

- зрачења које се рефлектује од саме површине воде  $L_r$  ;
- зрачења које је резултат расипања/рефлексивности од материјала суседованог или раствореног у води  $L_p$  ;
- зрачења које је резултат расипања у води  $L_s$  ;
- зрачења рефлектованог од дна  $L_b$  .

$$L_{\lambda w} = L_r + L_p + L_s + L_b \quad 3-17$$

Зрачење које се рефлектује од водене површине има три компоненте: а) директну рефлексивност сунчеве светлости, б) рефлексивност индиректног зрачења расутог у атмосфери и в) сунчевог одсјаја које потиче од таласа.

Пролазећи кроз воду, дешава се слабљење зрачења јер је електромагнетна енергија апсорбована или расута од стране водене масе. За зрачење које улази под правим углом важи једначина:

$$L_d = L_i \cdot \exp^{-c(\lambda) \cdot D} \quad 3-18$$

$L_d$  - зрачење на дубини  $D$ ,  $L_i$  - зрачење које није рефлектовано од саме водене површине него је продрло у водену масу,  $D$  - дубина воде и  $c(\lambda)$  - укупан коефицијент слабљења.

Коефицијент слабљења представља збир коефицијента апсорпције  $a(\lambda)$  и коефицијента расипања  $b(\lambda)$ :

$$c(\lambda) = a(\lambda) + b(\lambda) \qquad 3-19$$

Расипање зрачења у води има две улоге: да допринесе зрачењу које напушта водену поврину ( $L_s$ ) и да одреди количину зрачења које стиже до дна.

У води, међутим, постоје материје које мењају спектралне карактеристике воде. То су суспендоване честице, растворене неорганске (DIM) и органске (DOM) материје и хлорофил, и сви ови састојци могу пропустити, рефлектовати, расипати и апсорбовати електромагнетну енергију.

У бистрим, релативно плитким водама, дно такође може да допринесе укупном зрачењу. Зрачење рефлектовано од дна  $L_b$  зависи од природе самог дна (земља, песак, водена вегетације итд.).

## 4 КВАЛИТЕТ ПОДАТАКА САТЕЛИТСКОГ ПОСМАТРАЊА ЗЕМЉЕ

### 4.1 РАДИОМЕТРИЈСКА НОРМАЛИЗАЦИЈА ПОДАТАКА

Основна претпоставка оперативног квантитативног мониторинга земљишног покривача коришћењем података даљинске детекције је да су подаци просторно и временски упоредиви, или другим речима, нормализовани. Нормализација података даљинске детекције своди се на радиометријску калибрацију чији је циљ добијање резултата мерења који зависе искључиво од појава од интереса, у овом случају земљишног покривача. Радиометријска калибрација представља калибрацију података даљинске детекције (које добијамо у форми DN вредности) у физичке јединице. Овај процес представља инверзију модела формирања сигнала на сензору.

Постоје неколико нивоа радиометријске калибрације. Први ниво представља конверзију DN вредности у зрачење на сензору и захтева познавање информација о калибрацији сензора. На другом, зрачење на сензору се трансформише у зрачење на површи Земље. Овај ниво је теже достићи јер захтева информације о атмосферским условима у време и на локацији снимања. Последњи ниво представља калибрацију на рефлексију са површи и постиже се корекцијом за низ утицаја као што су: нагиб терена, варијација дужине пута кроз атмосферу услед рељефа, соларна спектрална ирадијанса, пропустљивост на путу соларног зрачења и у атмосфери расуто зрачење ка земљиној површини и затим рефлектовано од ње.

Циљ калибрације сензора је да се DN вредности конвертују у зрачење на сензору. Коефицијенти трансформације  $cal\_gain$  и  $cal\_offset$  су изведени из једначине (3-12). Зрачење на сензору интегрисано за канал  $b$  се добија као:

$$L_b^s = cal\_gain_b \cdot DN_b + cal\_offset_b \quad 4-1$$

Зрачење на сензору се затим конвертује у површинску рефлексију. Moran et al. (1992) дали су општи модел који укључује корекције за соларне и атмосферске ефекте:

$$\rho_b(x, y) = \frac{\pi \cdot (L_b(x, y) - L_{haze})}{(\tau_{sb} \cdot (E_b^0 \cdot \cos[i(x, y)]) \cdot \tau_{vb} + E_{down})} \quad 4-2$$

Где су:

координате  $(x, y)$  односе на координате пискела и могу се заменити индексом  $p$ ,

$\rho_b(x, y)$  - спектрална рефлексија површине за канал  $b$ ,

$L_{haze}$  - атмосферско спектрално зрачење распршено у правцу сензора ( $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ ),

$\tau_{vb}$  - атмосферска пропустљивост на путу од површине Земље до сензора,

$E_b^0$  - екзоатмосферско соларно спектрално зрачење на површини управној на Сунчеве зраке ( $Wm^{-2}\mu m^{-1}$ ). Садржи растојање Земља-Сунце у астрономским јединицама (астрономске јединице су функција термина у години и узимају вредности од 0.983-1.017),

$i(x, y)$  - упадни угао директног соларног флуksа на површину Земље (угао између Сунчевог зрака и нормале на површину-у случају равне оvrшине, једнак је соларном зенитном углу),

$$\cos(i) = \cos(e) \cos(sz) + \sin(e) \sin(sz) \cos(\varphi_s - \varphi_n)$$

за  $e$  - нагиб површи,  $\varphi_s$  - азимут Сунца,  $\varphi_n$  - оријентација нагиба површине,

$(\varphi_s - \varphi_n)$  - „релативни азимут“,

$sz$  - зенитни угао Сунца у степенима,

$\tau_{sb}$  - атмосферска трансмисија на путу од Сунца до површине Земље,

$E_{down}$  - дифузно зрачење на површини због расипања соларног флуksа у атмосфери ( $Wm^{-2}\mu m^{-1}$ ).

За Landsat 7 ETM+ снимке, у пракси се за рачунање сектралне рефлексије у каналу  $b$  примењује упрошћена варијанта формуле 4-2<sup>20</sup>:

<sup>20</sup> <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov>



$$\rho_b = \frac{\pi \cdot L_b \cdot d^2}{ESUN_b \cdot \cos(sz)} \quad 4-3$$

где су:

$\rho_b$  - комбинована површинска и атмосферска спектрална рефлексија,

$L_b$  - спектрално зрачење које стиже до сензора,

$d$  - растојање Земља-Сунце у астрономским јединицама на дан снимања,

$ESUN_b$  - средње соларне егзоатмосферске ирадијансе.

#### 4.1.1 Атмосферска калибрација

Количина електромагнетне енергије коју региструју детектори на сателиту је под снажним утицајем атмосфере. Атмосферски утицаји зависе од таласне дужине, по природи су и адитивни и мултициплирајући и укључују расипање, апсорпцију и рефракцију зрачења (Chavez, 1996).

Међутим, најчешће непознавање независних атмосферских података онемогућава примену потпуног модела корекције. Довољно стабилно решење које се у пракси примењује је да се атмосферски параметри процене из самих снимака и затим пречисте додатним мерењима.

Уобичајено поједностављење процеса калибрације засновано је на претпоставци да је у-атмосфери расуто зрачење ка Земљиној површини и затим рефлектовано од ње  $E_\lambda^d$  једнако нули па се једначина 4-2 примењена на одређени спектрални канал  $b$  своди на облик (Schovengerdth, 1997):

$$L_b^s(x, y) \cong L_b^{su}(x, y) + L_{haze} \quad 4-4$$

Или, ако уведемо величину *зрачење које са површине Земље креће ка сателиту*

$$L_b(x, y):$$

$$L_b^s(x, y) \cong \tau_{vb} \cdot L_b(x, y) + L_{haze} \quad 4-5$$

где је  $\tau_{vb}$  пропустљивост атмосфере на путу ка сензору за канал  $b$ .

Из претходне једначине изводи се зрачење на површини Земље:

$$L_b(x, y) = \frac{L_b^s(x, y) - L_{haze}}{\tau_{vb}} \quad 4-6$$

За најједноставнију корекцију треба оценити у атмосфери расуто зрачење у правцу сензора ( $L_{haze}$ ). За прву апроксимацију може се усвојити да је пропустљивост атмосфере на путањи зрачења према сензору ( $\tau_{vb}$ ) потпуна (једнака јединици) или бар константна преко целе сателитске сцене јер је у атмосфери расуто зрачење у правцу сензора доминантни атмосферски ефекат за спектар видљивог зрачења.

Практично решење, погодно за оперативну примену јер не захтева поседовање *in situ* података, подразумева идентификацију „тамних објеката“ на снимку, процену нивоа сигнала на том објекту и одузимање те вредности од сваког пиксела на снимку. У литератури је овај метод познат као одузимање „тамног објекта“<sup>21</sup> (DOS) (Chavez, 1988). Објашњење оваквог поступка је да је једини могућ извор сигнала за тамне објекте у-атмосфери расуто зрачење у правцу сензора при услову да је рефлексија зрачења од тих објеката блиска нули. Ово је, међутим, и најслабија тачка приступа јер се значајне грешке могу добити ако се претпостави да „тамни објекат“ има нулту рефлексију, иако је стварна рефлексија свега 0.01 или 0.02 (Teillet and Fedosejvs, 1995). Такође, одузимање једне константне вредности од целог снимка претпоставља да је ефекат атмосферског расипања хомоген на целом простору који снимак покрива. Ово, међутим, оставља локалне грешке које настају због нехомогености атмосфере.

Утврђено је да су величине атмосферског расипања зависне од таласне дужине зрачења, али исто тако и спектрално корелисане. За практично моделирање везе између вредности  $L_{haze}$  у различитим спектралним каналима снимка, Chavez (1988) је извео следеће релативне моделе расипања у зависности од атмосферских услова:

---

<sup>21</sup> Dark Object Subtraction (eng.)

Атмосферски услови	Релативни модел распршавања
веома чисто	$\lambda^{-4.0}$
чисто	$\lambda^{-2.0}$
умерено	$\lambda^{-1.0}$
магловито	$\lambda^{-0.7}$
веома магловито	$\lambda^{-0.5}$

Из овога је јасно закључити да се утицај атмосферског растурања смањује са повећањем таласне дужине зрачења, дакле, највећи утицај је у видљивим каналима оптичког зрачења, посебно плавом каналу.

Вредности  $L_{haze}$  за остале канале се одређују формулом:

$$L_{hazei} = \frac{L_{haze5} \cdot (\lambda_i)^{-2}}{(\lambda_5)^{-2}} \quad 4-7$$

где су  $L_{hazei}$  - оцењено атмосферско спектрално зрачење расуто у правцу сензора за  $i$ -ти канал,  $L_{haze5}$  - оцењено атмосферско спектрално зрачење расуто у правцу сензора за 5-ти канал,  $\lambda_i$  - средња таласна дужина  $i$ -тог канала,  $\lambda_5$  - средња таласна дужина 5-тог канала.

У најједноставнијем општем моделу преласка са зрачења на сензору на рефлексију површине представљеном у једначини 4-2, обично се прихватају следеће претпоставке:

$$\tau_{sb} = 1.0 \text{ (игнорише се атмосферска пропустљивост Сунце-Земља),}$$

$$\tau_{vb} = 1.0 \text{ (игнорише се атмосферска пропустљивост Земља-сензор),}$$

$$E_{down} = 0.0 \text{ (игнорише се дифузно зрачење),}$$

$L_{haze}$  = вредност која се добија из снимка коришћењем критеријума „тамног-објекта“.

Главни недостатак оваквог приступа је што тачност која се постиже није прихватљива у случајевима када су вредности рефлексије веће од 15 процената (Chavez, 1996). Ниме, компоненте атмосферске трансмисије могу значајно да утичу на срачунате вредности рефлексије. Овде је главни проблем што се

вредности ових величина могу утврдити са великом тачношћу искључиво коришћењем *in situ* података, међутим овакви методи су неприхватљиви за оперативне апликације.

Moran et al. (1992) извели су једначине за рачунање  $\tau_{sb}$  и  $\tau_{vb}$  у функцији од *in situ* мерења оптичке дубине (*del*) и зенитног угла Сунца (*sz*) и зенитног угла сензора (*vz*):

$$\tau_{sb} = e^{(-del \cdot sec(sz))} \quad 4-8$$

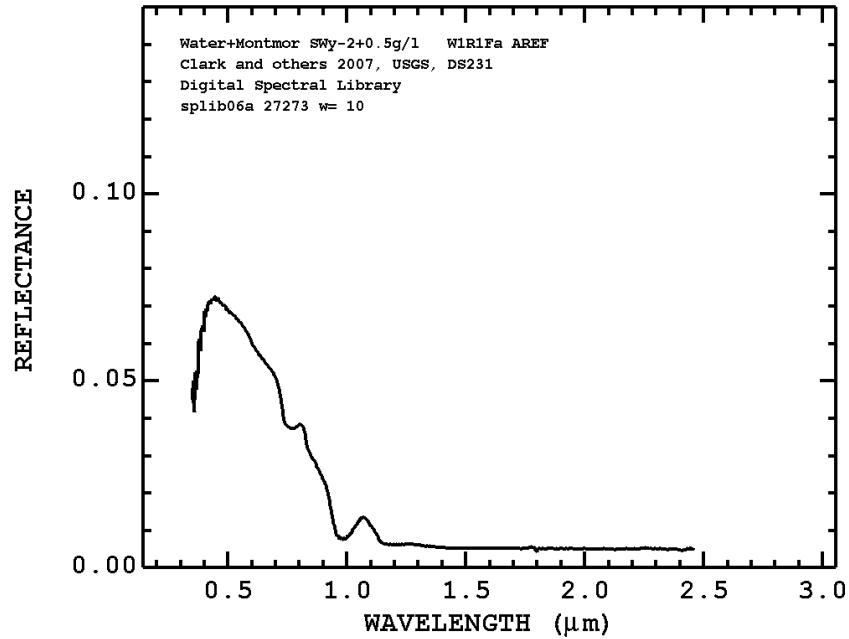
$$\tau_{vb} = e^{(-del \cdot sec(vz))} \quad 4-9$$

Коришћењем ових формула, на експерименталним подручјима и са *in-situ* мерењима оптичке дубине, добијене су вредности  $\tau_{sb}$  за Landsat ТМ канале (\*Chavez, 1996; \*\*Gilabert et al., 1994):

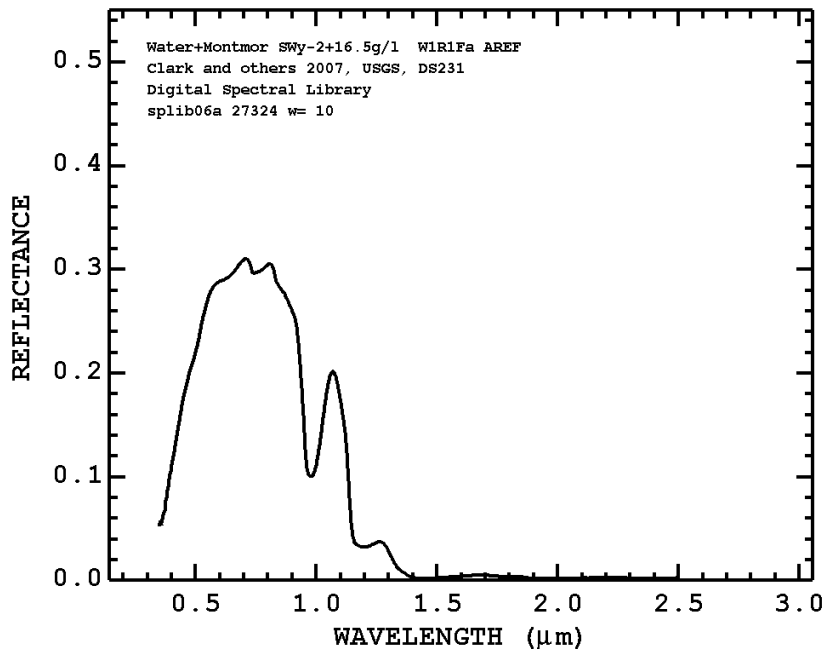
ТМ1	ТМ2	ТМ3	ТМ4	ТМ5	ТМ7
0.70*	0.78*	0.85*	0.91*	0.95**	0.97**

Највећи изазов атмосферске корекције је оцена величине  $L_{haze}$ . Као „тамни објекти“ на снимку могу да послуже појаве које теоријски имају нулту рефлексију у спектралном каналу који се коригује. Теоријски идеалне би биле површине под сенком, дакле површине до којих не стиже зрачење па целокупан сигнал потиче од  $L_{haze}$ . У практичним условима овакво решење је ретко изводљиво из више разлога: а) ретко постоји довољна сигурност да се ради о потпуној сенки, б) оваква места постоје само у крајевима са веома израженим рељефом. Алтернативно решење је коришћењем водених површина као „тамних објеката“. У овом случају проблем је што је вода добар представник „тамних објеката“ када је чиста и дубока, али у реалним околностима ово није чест случај. На Сликама 4-1 до 4-3 су приказани графици зависности рефлексије воде од таласне дужине за два случаја различите концентрације одређеног минерала и једним случајем присуства алги. Може се уочити значајна рефлексија у видљивом делу спектра која потиче од примеса, али у сва три случаја рефлексија у срење-инфрацрвеном делу спектра је нула, без обзира на примесе. То значи да је могуће оценити  $L_{haze}$  у

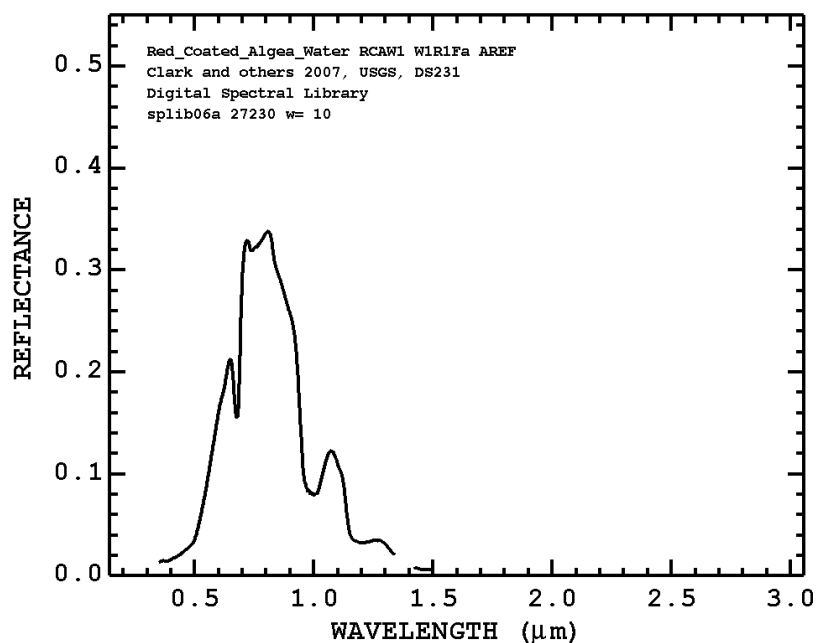
SWIR (средње-инфрацрвеном) делу спектра и применити формулу 4-7 да би се добиле вредности атмосферске корекције за остале канале.



Слика 4-1. Графикон зависности рефлексije воде са 0.5g/l минерала Монтморилонита од таласне дужине (преузето из USGS спектралне библиотеке 06, Clark et al., 2007)



Слика 4-2. Графикон зависности рефлексije воде са 16.5g/l минерала Монтморилонита од таласне дужине (преузето из USGS спектралне библиотеке 06, Clark et al., 2007)



Слика 4-3. Графикон зависности рефлексije воде са присуством алги од таласне дужине (преузето из USGS спектралне библиотеке 06, Clark et al., 2007)

#### 4.1.2 Утицај атмосферске корекције на несигурност података - експеримент

Анализа утицаја атмосферске корекције на несигурност података сателитског осматрања извршена је над реалним подацима. У експерименту су коришћени 3., 4. и 5. канал (RED<sup>22</sup>, NIR<sup>23</sup> и SWIR<sup>24</sup>) Landsat ETM+ снимака 187-30 и 187-29, оба начињена 20.08.2000. Претходно је извршена калибрација сензора и вредности у каналима су преведене у спектралну рефлексiju. Коефицијенти калибрације и превођења података у рефлексiju на врху атмосфере дати су у прилогу П 1.

У експерименту је предвиђено да се атмосферска калибрација је изврши методом „одузимања тамног објекта“ (DOS). На почетку је извршена статистичка анализа разлика атмосферски некоригованих канала (Табела 4-1).

<sup>22</sup> Red channel (eng.)

<sup>23</sup> Near-infrared channel (eng.)

<sup>24</sup> Short Wave Infra-Red channel (eng.)

Табела 4-1. Статистика разлике атмосферски некоригованих снимака Landsat ETM+ 187-30 и 187-29

	3. канал	4. канал	5. канал
ср. вредност разлике рефлексије	0.0099	0.0147	0.0128
дисперзија разлике рефлексије	0.0039	0.0074	0.0123
минимална вредности	-0.0940	-0.0691	-0.1025
максимална вредност	0.0662	0.0922	0.1007

Како су снимци направљени истог датума, очекиване вредности разлике рефлексије у свим пикселима су нула. Статистике разлика атмосферски некоригованих канала показују да постоји систематка помереност од очекиване вредности. Ако модел разлике атмосферски некоригованих података прикажемо као:

$$\Delta\rho = \rho_1 - \rho_2 = (\rho_{1AK} + \rho_{1haze}) - (\rho_{2AK} + \rho_{2haze}) = (\rho_{1AK} - \rho_{2AK}) + (\rho_{1haze} - \rho_{2haze}) \quad 4-10$$

где су:  $\rho_1, \rho_2$  -атмосферски некориговане рефлексије из снимака 1 и 2;  $\rho_{1AK}, \rho_{2AK}$  - атмосферски кориговане рефлексије из снимака 1 и 2;  $\rho_{1haze}, \rho_{2haze}$  - удео рефлексије који потиче из атмосферског утицаја за снимке 1 и 2, и пошто је очекивана вредност разлике  $\rho_{1AK} - \rho_{2AK}$  нула у случају када нема промене земљишног покривача, може се закључити да одступање вредности разлике атмосферски некоригованих вредности рефлексије потиче од разлике рефлексија атмосфере  $(\rho_{1haze} - \rho_{2haze})$ . Дакле, како би се извршила коректна атмосферска калибрација, потребно је да разлике рефлексија атмосфере у спектралним каналима буду:

$$\Delta\rho_{haze}^{3.kanal} = 0.0099,$$

$$\Delta\rho_{haze}^{4.kanal} = 0.0147,$$

$$\Delta\rho_{haze}^{5.kanal} = 0.0128.$$

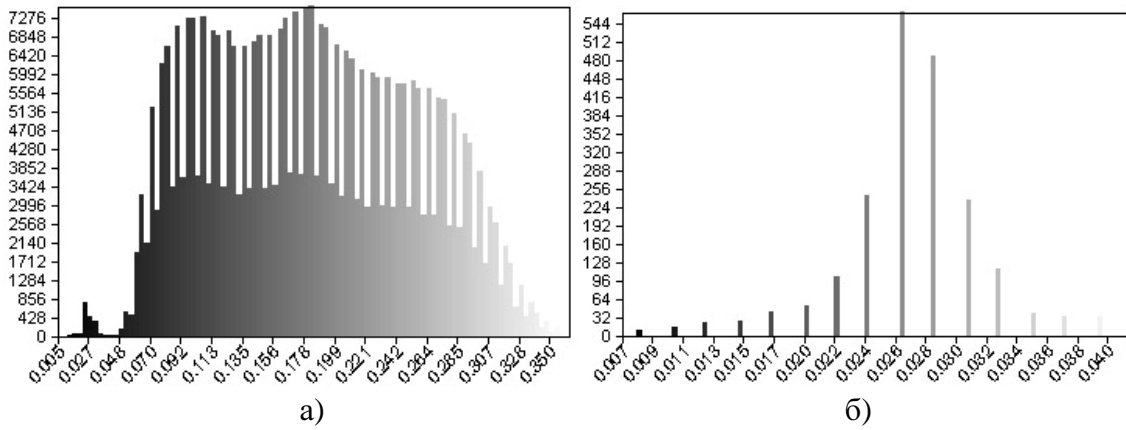
Основни проблем DOS методе је проналажење коректне вредности рефлексије (или зрачења) „тамног објекта“. Једна од могућности која се у пракси често среће је коришћење минималних вредности рефлексија у снимку. Из табеле

4-1, види се да у овом случају, само вредности минималних рефлексија у 4. каналу приближно задовољавају услов  $\Delta\rho_{haze}^{A.kanal} = 0.0147$ .

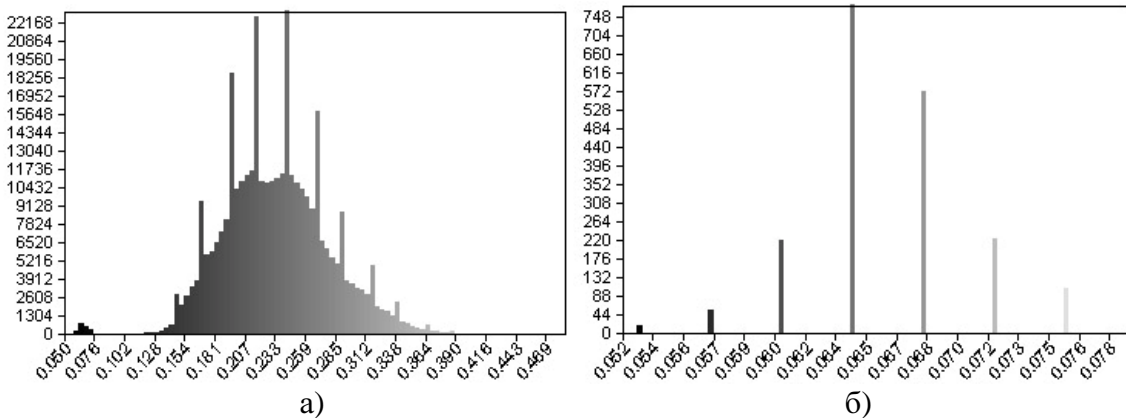
Табела 4-2. Вредности минималних рефлексија (рефлексија „тамног објекта“) коришћених за атмосферску корекцију

Снимак	3. канал	4. канал	5. канал
187-029	0.04	0.03	0.00
187-030	0.04	0.05	0.00

Због тога је потребно извршити анализу хистограма рефлексија по спектралним каналима за оба снимка. На сликама 4-4 до 4-6 приказани су хистограми на целом опсегу рефлексије и увећани приказ левог краја хистограма.

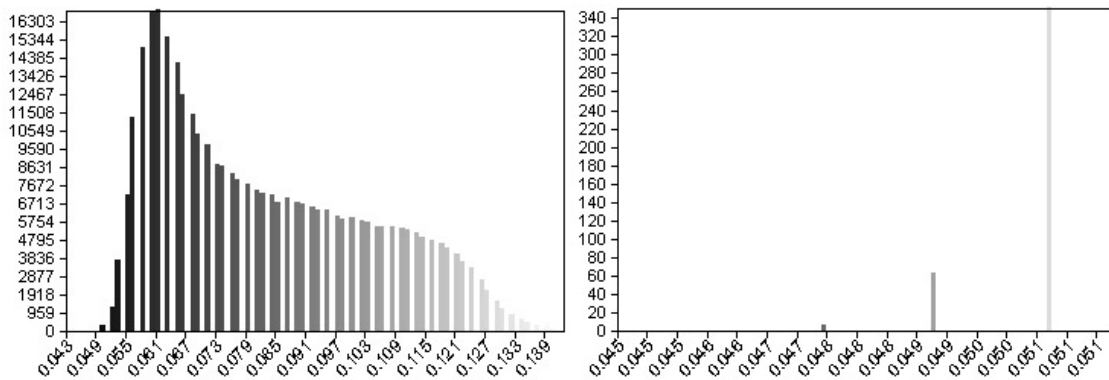


Слика 4-4. Хистограм рефлексије у 5. каналу снимка 187-30: а) на целом опсегу; б) увећани приказ левог краја хистограма

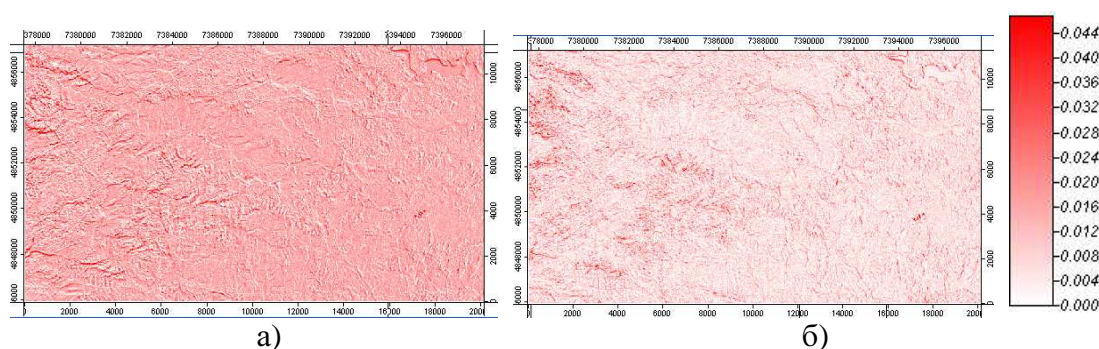


Слика 4-5. Хистограм рефлексије у 4. каналу снимка 187-30: а) на целом опсегу; б) увећани приказ левог краја хистограма



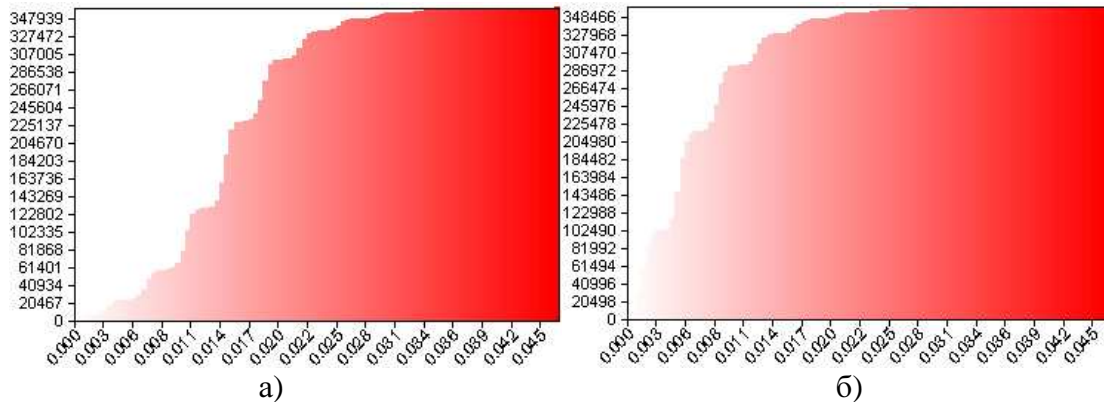


Слика 4-6. Хистограм рефлексије у 4. каналу снимка 187-30: а) на целом опсегу; б) увећани приказ левог краја хистограма



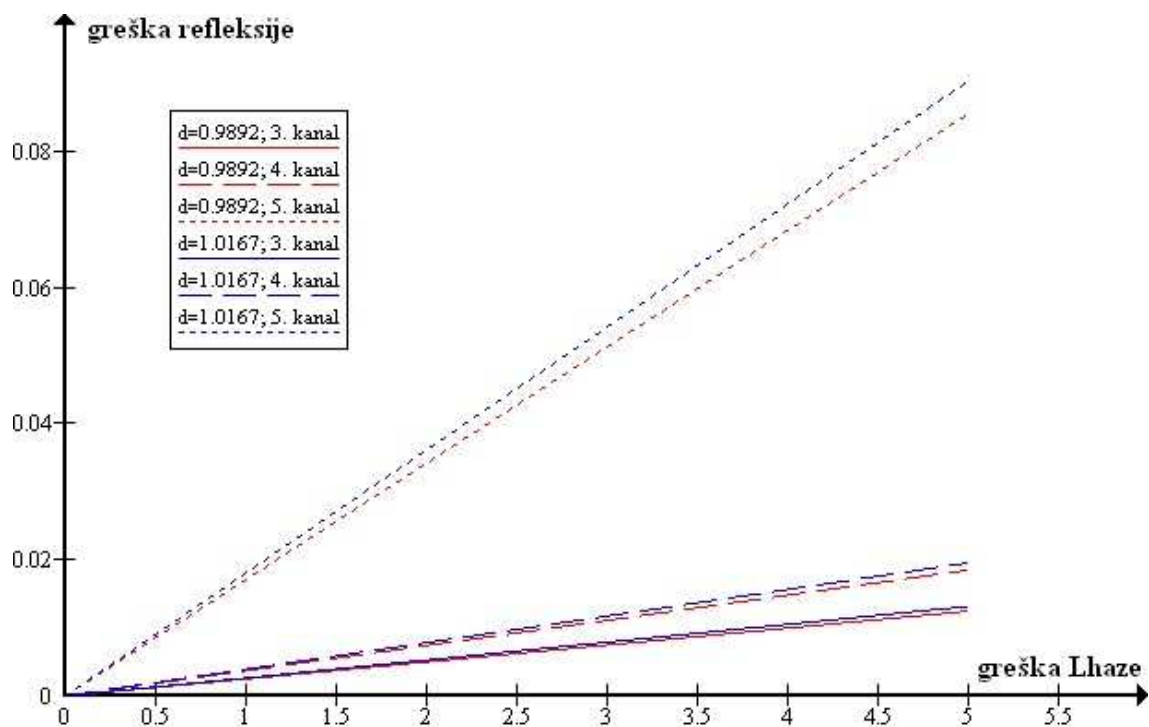
Слика 4-7. Апсолутне разлике спектралне рефлексије за Landsat ETM+ снимке 187-30 и 187-29 у 4 каналу у случају: а) када атмосферска корекција није примењена; б) када је примењена атмосферска корекција.

С обзиром да је вредност рефлексије „тамног објекта“ у 3. каналу иста у оба снимка, у овом случају атмосферска корекција неће имати утицаја на разлику спектралне рефлексије. У 4. каналу, постоји значајна разлика рефлексије „тамног објекта“, што као последицу има значајно различите вредности у апсолутним разликама рефлексије у случају када је извршена атмосферска корекција и када то није био случај. Овде треба напоменути да, како су снимци направљени истог датума, очекиване разлике рефлексије у свим пикселима су нула. Визуелном анализом карата апсолутних разлика рефлексије за ова два случаја (Слика 4-7) може се приметити значајно смањење разлика рефлексије после извршене атмосферске корекције. То се може уочити и на кумулативним хистограмима апсолутних разлика рефлексије, где засићење наступа на знатно нижим вредностима у случају примењене атмосферске корекције (Слика 4-8).

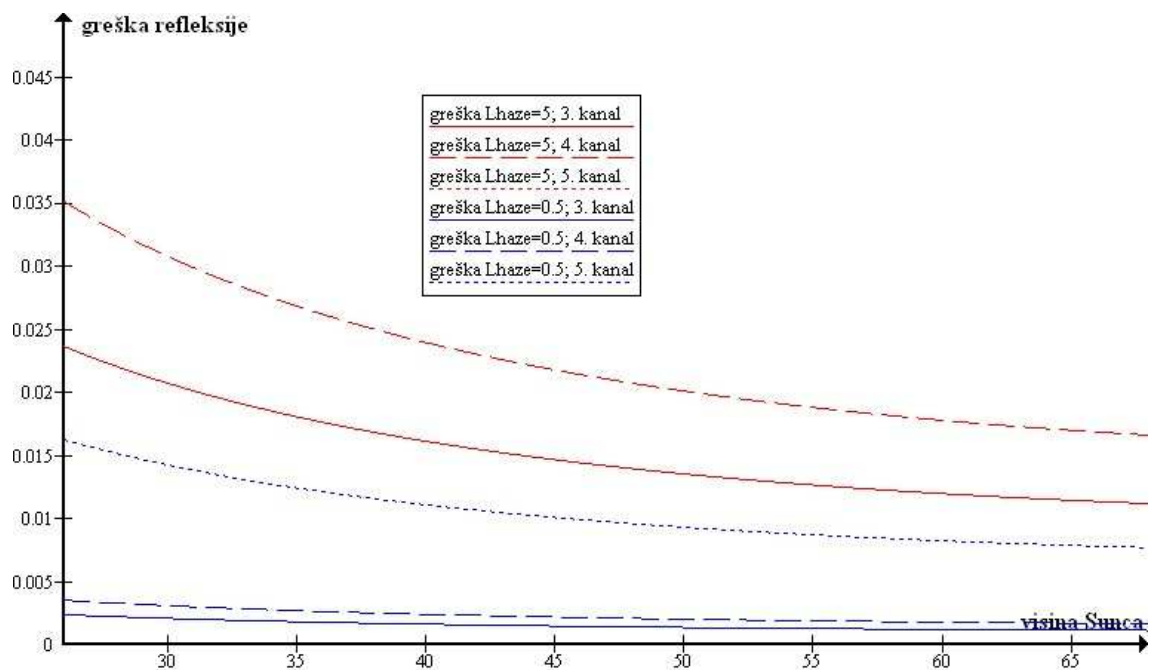


Слика 4-8. Кумулативни хистограми апсолутне разлике спектралне рефлексије за Landsat ETM+ снимке 187-30 и 187-29 у 4 каналу у случају: а) када атмосферска корекција није примењена; б) када је примењена атмосферска корекција.

Из формула 4-3 и 4-6 може се закључити да утицај оцене  $L_{haze}$  на несигурност података о спектралној рефлексији зависи од зенитног угла Сунца, растојања Земља-Сунце у тренутку снимања и спектралног канала на кога се рефлексија односи. На графицима зависности (Слике 4-9 и 4-10) може се видети да растојање Земља-Сунце не утиче значајно на грешку рефлексије, док веома мале висине Сунца могу значајније повећати утицај грешке оцене  $L_{haze}$ . У оба случаја, највеће грешке рефлексије се дешавају у 5. каналу и то је посебно изражено код великих вредности грешке  $L_{haze}$ . За мале вредности грешке  $L_{haze}$ , грешке рефлексије у 3. и 4. каналу готово да не зависе од висине Сунца.



Слика 4-9. График зависимости грешке оцене  $L_{haze}$  на грешку калибрације рефлексije у 3., 4. и 5. каналу Landsat 7 за екстремне вредности  $d$  (при фиксној вредности зенитног угла Сунца)



Слика 4-10. График зависимости грешке оцене  $L_{haze}$  на грешку калибрације рефлексije у 3., 4. и 5. каналу Landsat 7 за различите вредности висине Сунца (при фиксној вредности  $d$ )

### 4.1.3 Топографска нормализација – корекција осветљености

Топографски ефекат је одавно препознат као проблем у квантитативној анализи података даљинске детекције у областима са израженим рељефом (Teillet et al., 1982 и други). Утицај рељефа је резултат разлике у осветљењу због позиције Сунца и угла терена. Области са сличним земљишним покривачем али различитом осветљеношћу показиваће различите спектралне особине, што води до маскирања варијација од интереса.

У научној литератури могу се наћи бројне методе корекције за осветљеност услед утицаја топографије. Оне се могу груписати у две категорије: Ламбертове и не-Ламбертове, у зависности од претпоставке да ли се површина земљишног покривача понаша као Ламбертова или не.

Међу Ламбертовим методама највише се користи косинусна корекција (Teillet et al., 1982):

$$L_H = L_T \frac{\cos(sz)}{\cos(i)} \quad 4-11$$

Неке од често коришћених не-Ламбертових метода су (видети нпр. McDonald et al., 2000):

*Minnaert* корекција

$$L_H = L_T \left[ \frac{\cos(sz)}{\cos(i)} \right]^k, \quad k = r \cdot \cos(i) \quad 4-12$$

С- корекција

$$L_H = L_T \left[ \frac{\cos(sz) + c}{\cos(i) + c} \right] \quad 4-13$$

Напредна *Minnaert* корекција

$$L_H = L_T \left[ \frac{\cos(sz)}{\cos(i)} \right]^k \left[ \frac{\cos(w)}{\cos(v)} \right]^{1-k} \quad 4-14$$

Напредна C- корекција

$$L_H = L_T \left[ \frac{\cos(sz) + c}{\cos(i) + c} \right] \left[ \frac{\cos(w)}{\cos(v)} \right]^{1-k} \quad 4-15$$

Статистичко-емпиријски метод

$$L_H = L_T - \cos(i)m - b + \overline{L_T} \quad 4-16$$

Полу-емпиријска корекција

$$L_H = L_T \left[ \frac{\cos^k(sz) + c}{\cos^k(i) + c} \right] \quad 4-17$$

где су

$L_H$  - зрачење са хоризонталне површине,

$L_T$  - зрачење са нагнуте површине,

$\cos(sz)$  - косинус зенитног угла Сунца,

$k$  - *Minnaert* константа (описује у којој се мери површина понаша као Ламбертова),

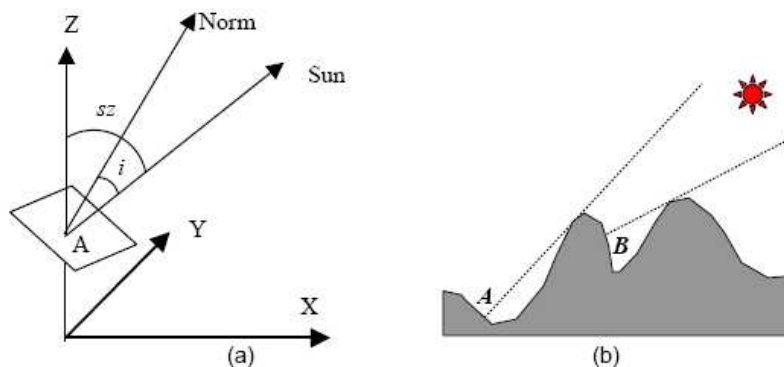
$\cos(i)$  - косинус упадног угла Сунчевог зрачења- угао између нормале на површину и правца сунчевог зрачења (видети 4-2),

$c$  - константа код C- корекције се рачуна као  $c = \frac{b}{m}$ ,

$b$  и  $m$  су параметри регресионе праве:  $L_T = m \cos(i) + b$ ,

$w$  - излазни угао,

$v$  - угао ротације координата.



Слика 4-11. Геометрија осветљености поврине Земље (слика преузета из Wu et al., 2004)

Једноставан приступ смањењу топографског ефекта је коришћење косинусног модела који претпоставља да површина равномерно у свим правцима одбија упадно соларно зрачење, односно да се понаша као Ламбертова површ. Међутим, косинусна корекција моделира само директно зрачење пиксела на земљи, а игнорише дифузно светло које може осветљавати и осенчене површине. Из овог следи да слабо осветљене површине терена примају непропорционално осветљење када је примењена косинусна корекција (Lu et al., 2008).

Разне студије су показале да су најефектније топографске корекције, односно корекције осветљености, *Minnaert* корекција и C- корекција (McDonald et al, 2000; Falkenstrom et al, 2002;) које претпостављају да су површи не-Ламбертове. Ове методе такође спадају у категорију фотометричко-емпиријских метода (Soenen et al., 2008), које се састоје од фотометријске функције модификоване емпиријским параметром. Teillet et al., (1982) је сугерисао да параметри  $s$  код C- корекције и  $k$  код *Minnaert* корекције могу да имитирају ефекат дифузног светла. Математички, ова два параметра имају сличне улоге пошто повећавају именилац и слабе претерану корекцију слабо осветљених области. Насупрот томе, косинусна корекција узима у обзир само директну компоненту соларног зрачења, међутим, када се примени на областима са стрмим тереном у условима слабе осветљености,  $\cos(i)$  тежи нули и разломак тежи веома великим вредностима. Ово изазива претерану топографску корекцију и превише осветљава пикселе.

*Minnaert* корекција и C- корекција дају сличне резултате, али треба напоменути да је употреба C- корекције једноставнија због лакшег одређивања коефицијената из података. Наиме, *Minnaert* константа  $k$  рачуна се као регресиони коефицијент линеаризоване једначине 4-12:

$$\ln(L_T) = \ln(L_H) + k \cdot \ln\left(\frac{\cos(i)}{\cos(sz)}\right) \quad 4-18$$

Lu et al. (2008) су показали да се параметар  $k$  нелинеарно мења у зависности од нагиба терена па се тако не може одредити јединствена вредност за цео снимак. Наиме, код свих спектралних канала вредности  $k$  се смањују рапидно

у опсегу нагиба терена 1°-15° да би затим постепено постале стабилне у опсегу 15°-35°, и на крају лагано опадају за нагибе веће од 35°.

Један од проблема ових метода топографске корекције је да њихова апликација зависи од земљишног покривача (Riano et al., 2003; McDonald et al., 2000; Lu et al., 2008; Kobayashi and Sanga-Ngoie, 2009; други), јер врсте земљишног покривача имају снажан утицај на анизотропну рефлексију (Bishop and Colby, 2002). Другим речима, параметри  $k$  и  $c$  зависе од врсте земљишног покривача па су просторно и временски променљиви. На пример, вредности параметра  $c$  код C- корекције за шумске области су углавном значајно различите од оних који се користе за пољопривредне области. Из 4-18 је јасно да за примену јединственог параметра  $k$ , морамо претпоставити да је  $L_H$  константно на целом снимку, односно да остоји само један тип земљишног покривача што није реално. Иако би, дакле, најједноставнија апроксимација подразумевала коришћење једног глобалног параметра за цео један снимак (спектрални канал), ово решење би у великој мери смањило тачност података.

Одређивање емпиријских параметара  $c$  и  $k$  су у функцији узорка из којих су одређени. За резултат емпиријског параметра, од кључне је важности метод узорковања и квантитет опажања. Упоредјујући више стратегија узорковања (случајни узорак, узорак стратификован према оријентацији терена-аспекту и узорак стратификован према  $\cos(i)$ ), Reese and Olsson (2011) закључују да је на резултат рачунања параметра  $c$  утицао узорак из кога је изведен и наводе да је узорак стратификован према  $\cos(i)$  дао најпрецизнији резултат  $c$ , како и најтачнију корекцију. Овде је такође битан и број опажања као и расподела опажања по стратумима. За број опажања  $n$  може се користити Thigpenova формула као што то предлажу Reese and Olsson (2011):

$$(n-1)^{0.5} = \frac{t_{\alpha/2} [(1-r^2)/r^2]^{0.5}}{\delta} \quad 4-19$$

где су:  $r$  - корелација између  $\cos(i)$  и спектралног канала,  $\delta$  - одређена прихватљива релативна грешка,  $t_{\alpha/2}$  - квантил распореда Студента за ниво значајности  $\alpha/2$ .

Минимални број опажања по стратуму  $n_h$  одређује Bankierova расподела:

$$n_h = n \cdot \frac{N_h^q \cdot CV_{hy}}{\sum_{h=1}^L N_h^q \cdot CV_{hy}} \quad 4-20$$

где су:  $h$  - редни број од укупно  $L$  стратума у узорку,  $N_h$  - величина популације у стратуму,  $CV_h$  - коефицијент варијације променљиве  $y$  (нпр. рефлексије) у стратуму (однос дисперзије и аритметичке средине),  $q$  - коефицијент (узима вредности од 0 до 1) којим се описује жељени потенцијал тог стратума.

Оваква методологија се може користити и за одређивање *Minnaert* константе.

Какав год да се метод топографске корекције користи, постоје случајеви лоших услова осветљености код веома израженог рељефа када је Сунце ниско у тренутку снимања. Пиксели који се налазе у сенци показују нулту вредност рефлексије, или ако то није случај онда регистрована рефлексија потиче од атмосферски расутог зрачења ( $L_{haze}$ ). Зато је потребно идентификовати пикселе под сенком за оне снимке начињене при малом висином Сунца и у областима израженог рељефа користеши линије догледања<sup>25</sup> (LOS) података. LOS подаци описују за сваки пиксел минималну висину Сунца потребну да он не буде у сенци при одређеном азимуту Сунца. Све идентификоване пикселе у сенци треба даље искључити из базе мониторинга земљишног покривача.

Очито је из изложеног да још један елемент утиче на квалитет корекције осветљености: подаци о висини терена. Тачност Дигиталног Модела Висина је кључна за адекватну корекцију, посебно тачност нагиба и оријентације. Просторна резолуција Дигиталног Модела Висина потребно је да буде најмање једнака просторној резолуцији снимка на којем се врши корекција (Wu et al., 2004).

Видимо, дакле, да не постоји универзална метода топографске корекције. Многобројна решења описана у литератури која дају добре резултате у одређеном скупу услова, али су тешко примењљива са таквим успехом у општем случају.

---

<sup>25</sup> Line Of Sight (eng.)



Ово је свакако ограничавајући фактор када је у питању оперативни и континуирани мониторинг земљишног покривача који захтева нормализацију података. Велики проблем представља и чињеница да не постоји јединствени стандардни метод оцене тачности топографске корекције. У пракси се примењују визуелна процена, упоређивање тачности класификације пре и после корекције, оцена варијације рефлексије унутар појединачних класа земљишног покривача (помоћу стандардне девијације нпр.),  $t$ -теста са нултом хипотезом да се средина коригованих вредности сигнала при различитим  $\cos(i)$  не разликују значајно (Riano et al, 2003; Reese и Olsson, 2011). Неки, међутим, одбацују ове методе као непоуздане (Bishop и Colby, 2002).

Из свега наведеног може се закључити:

- Косинусна корекција представља најједноставнији метод топографске нормализације, али нереално третира површину земљишног покривача као Ламбертову (изотропну) и производи изражено претерану корекцију при ниским вредностима  $\cos(i)$
- Постоји велики број метода топографске корекције у практичној употреби, али се најчешће користе фотометричко-емпиријске не-Ламбертове *Minnaert* и *C*- корекција
- Константа  $k$  код *Minnaert* корекције зависи од: спектралног канала, типа земљишног покривача и нагиба земљишта
- Константа  $c$  код *C*- корекције зависи од спектралног канала и типа земљишног покривача
- Приликом примене било које од метода постоји могућност претеране корекције (претеране осветљености) у случају када  $\cos(i) \rightarrow 0$ , односно када се упадни угао Сунчевог зрачење приближава  $90^\circ$ , посебне модификације су потребне да би се решио проблем
- Стратегија узорковања за емпиријски одређене константе  $c$  и  $k$  утиче на прецизност и тачност одређивања ових параметара, па тако и на тачност корекције
- Не постоји апсолутно поуздан начин оцене тачности топографске корекције

#### 4.1.4 Утицаји топографске корекције на несигурност података даљинске детекције - експеримент

Основно питање које се поставља је како примена различитих метода топографске корекције утиче на несигурност података сателитског осматрања Земље и од чега ови утицаји зависе. Да би се створила слика о овим зависностима, спроведени су експерименти у којима су: а) упоређиване вредности сигнала топографски коригованог и некоригованог (само атмосферски коригованог) снимка за различите методе топографске корекције; б) упоређиване вредности топографски коригованог сигнала са различитим положајем Сунца; в) упоређиване вредности сигнала топографски коригованог коришћењем различитих метода топографске корекције.

У експерименту су коришћени 4. канал (NIR) LANDSAT 7 снимака 187-30 и 187-29 из претходног експеримента. Оба снимка начињена су истог дана (20.8.2000.). Сцене су суседне у истом пролазу сателита па су подаци који припадају уздужном преклопу исти, али с обзиром да се као положај Сунца за сцену узима онај у тренутку скенирања центра сцене, онда се и подаци са преклопа третирају као да су прикупљени при различитим условима осветљености (подаци о положају Сунца дати су у табели 4-3). Због тога, при упоређивању сигнала из ове две сцене, разлике не потичу од промена земљишног покривача већ од различитих услова осветљености. За испитивање је изабрана регија са подужног преклопа са значајним варијацијама рељефа: висине се крећу у распону од 468-1489 метара, а нагиби од 0-74%.

Табела 4-3. Положаји Сунца за снимке коришће не у експерименту

Положај Сунца за снимак 187-30	Положај Сунца за снимак 187-29
Зенитни угао Сунца- $sz = 30^{\circ}.96$	Зенитни угао Сунца- $sz = 37^{\circ}.21$
Азимут Сунца- $\varphi_s = 133^{\circ}.98$	Азимут Сунца- $\varphi_s = 142^{\circ}.90$

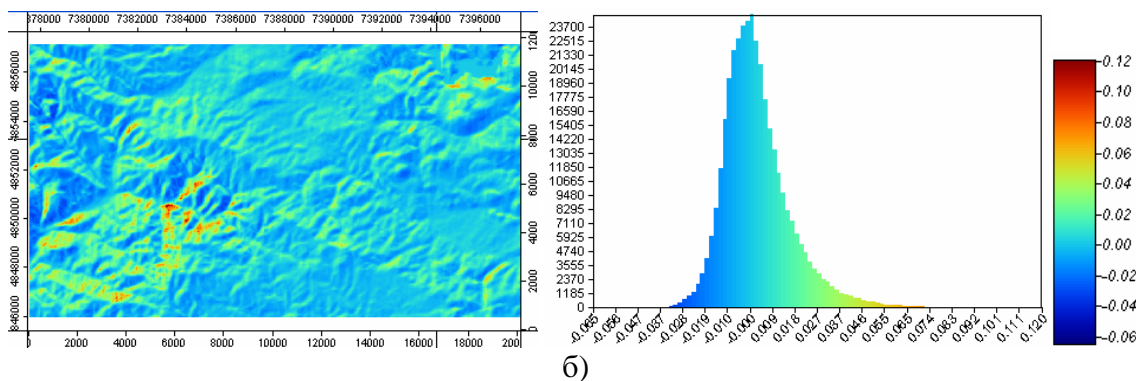
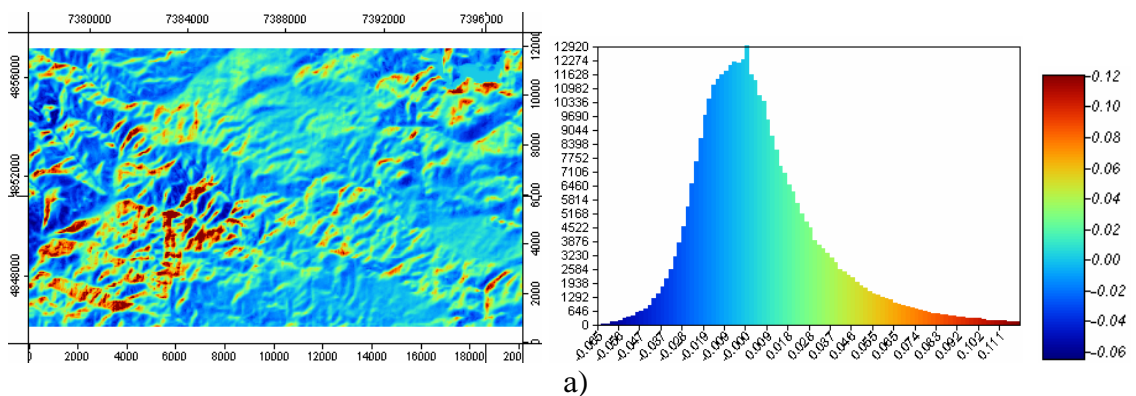
Над снмцима је извршена топографска корекција коришћењем три најчешће коришћене методе: косинусне, Minnaert и С-корекције. У случају Minnaert корекције, за вредност параметра  $k$  узето је 0.5 као просечна вредности и карактеристика површина које нису ни идеално Ламбертове ни потпуно анизотропне. Параметар  $c$  у случају С-корекције срачунат је из анализе тренда

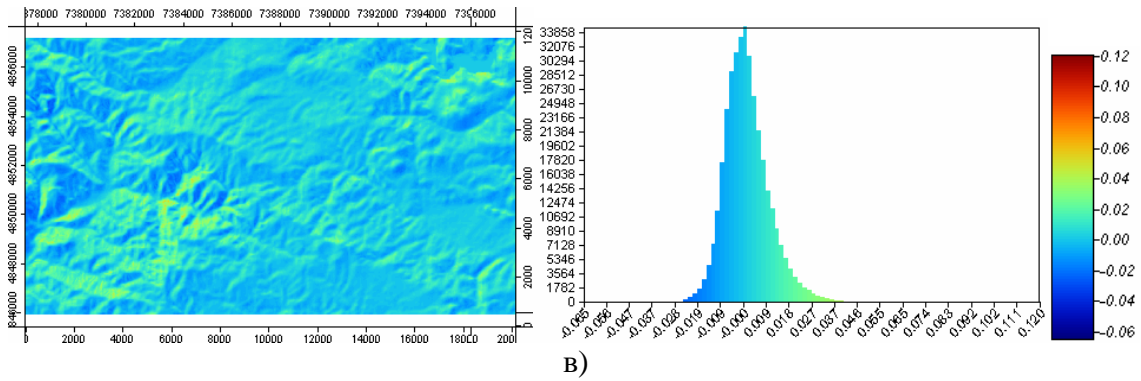
koja je sprovedena nad 1000 piksela snimka. Racuana su izvedena u programu SAGA.

Za sva tri metoda korekcije odredjene su razlike topografski korigovanog i nekorigovanog snimka 187-29 u svakom pikselu. Statistike razlika prikazane su u tabeli 4-4. Iz ovoga, ali i iz karata i histograma razlika, vidi se da ne postoji značajan sistematski uticaj, iako razlike mogu da dosežu značajne vrednosti, što je posebno slučaj pri primeni kosinusne projekcije (razlika ide do 0.34) gde može nastati preterana korekcija osvetljenosti.

Tabela 4-4. Statistike razlika korigovanih i nekorigovanih vrednosti signala za tri metode topografske korekcije: kosinune, Minnaert i C-korekcije.

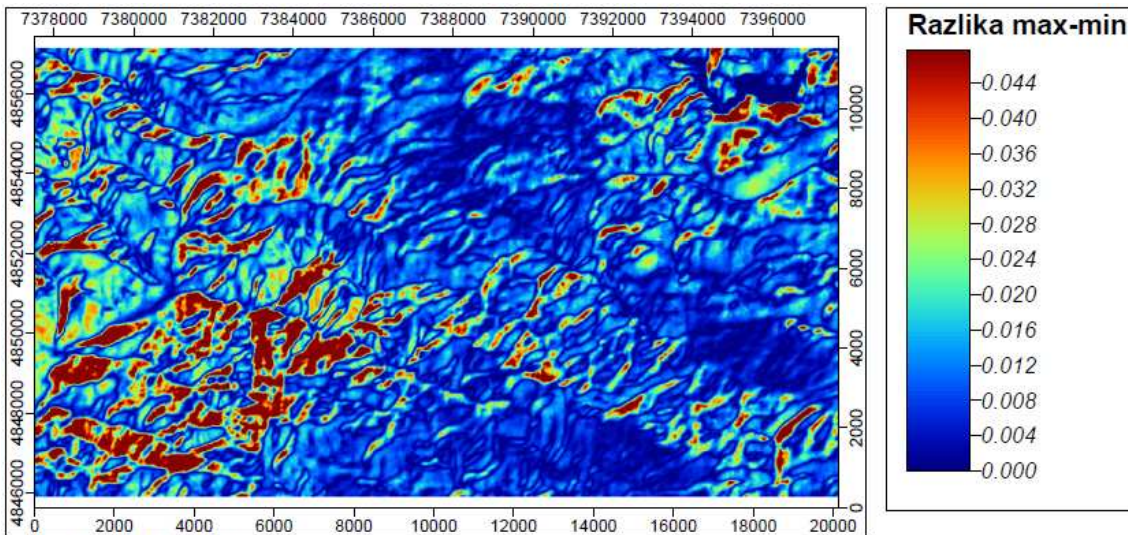
	За косинусну кор.	За Minnaert кор.	За C-кореkciju
Минимална вредност	-0.07	-0.04	-0.03
Максимална вредност	0.34	0.12	0.05
Аритм. средина	0.01	0.00	0.00
Ст. девијација	0.03	0.01	0.01



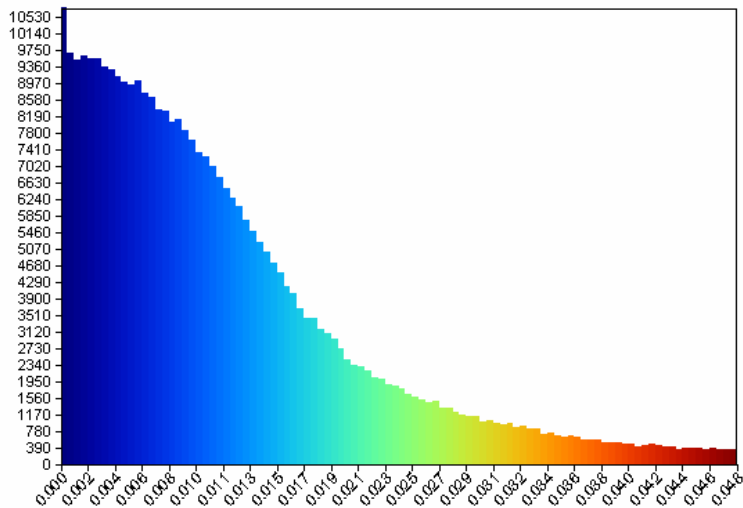


Слика 4-12. Карта и хистограм разлике топографски коригованог и некоригованог 4. канала снимка 187-29 у случајевима: а) косинусне корекције, б) *Minnaert* корекције, и в) С-корекције

Даље, за исти снимак (187-29), испитане су варијације топографски коригованог сигнала за три методе корекције за сваки пиксел. Излазни резултати статистике били су карта минималних вредности и карта максималних вредности сигнала из три метода корекције. Разлика минималних и максималних вредности сигнала у оквиру пиксела може послужити као мера несигурности података услед примене различитих метода топографске корекције. Резултати анализе показују да је у 53.9% опсег варијација рефлексије услед различитих метода корекције мањи од 0.01, док је у чак 98% пиксела варијација рефлексије мања од 0.04.

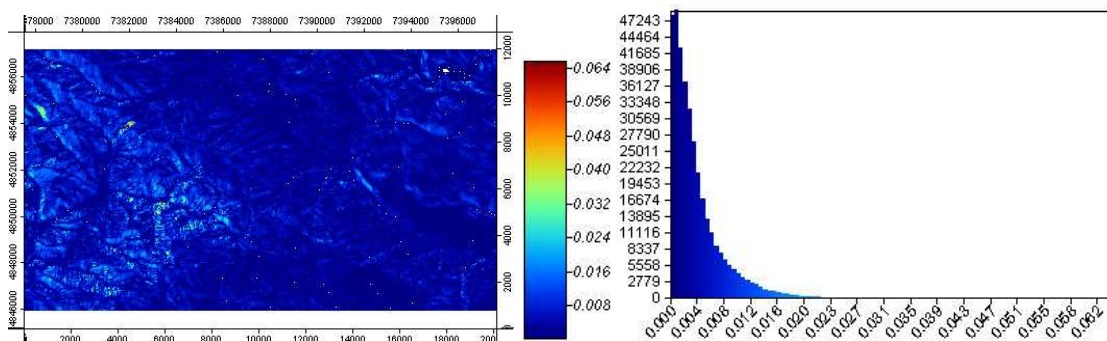


Слика 4-13. Карта разлике максималних и минималних вредности сигнала у пикселу добијених из три различите методе топографске корекције: косинусне, *Minnaert* и С-корекције.



Слика 4-14. Хистограм разлике максималних и минималних вредности сигнала у пикселу добијених из три различите методе топографске корекције: косинусне, *Minnaert* и С-корекције

Кад је реч о промени сигнала између снимака 187-29 и 187-30, при коришћењу косинусне методу корекције, разлика између промена код само атмосферски коригованих и топографски коригованих је мања од 0.01 у чак 92.5% пиксела. Из овога се може закључити да разлика у положају Сунца у тренутцима снимања, од  $|\Delta s_z| = 6^\circ.25$  и  $|\Delta \varphi_s| = 8^\circ.92$  није била довољно велика да би правила значајније разлике у осветљености. Експеримент са друге две методе корекције није рађен јер је очекивање да би ова разлика рефлексија била још мања.



Слика 4-15. Карта и хистограм апсолутних разлика промене само атмосферски коригованих и топографски коригованих сигнала у 4. каналу између снимака 187-29 и 187-30

## **4.2 ГЕОМЕТРИЈСКА КОРЕКЦИЈА**

### **4.2.1 Значај геометријске корекције сателитских снимака за картирање земљишног покривача**

Праћење стања земљишног покривача захтева коришћење комбинација снимака из различитих датума, сензора, платформи и резолуција. Потреба за прецизношћу, темпоралном резолуцијом и поновљивошћу у мерењима даљинске детекције ствара потребу за алгоритмима за геометријску обраду који су што је могуће тачнији, аутономнији и ефикаснији (Schowengerdt, 1997). При комбиновању података даљинске детекције са различитих сензора и/или из различитих датума, кључна претпоставка је да се снимци перфектно поклапају, односно да су ко-регистровани или ректификовани без грешака (Singh 1989, Coppin and Bauer 1996). Међутим, перфектна ко-регистрација/ректификација нису могуће јер увек постоје резидуалне грешке у моделима ректификације (Labovitz and Marvin, 1986) које даље негативно утичу на тачност њихове заједничке интерпретације. Тако су, на пример, Townshend et al. (1992), измерили грешку од 40% у симулираним Terra MODIS NDVI подацима са величином пиксела од 250 и 500 метара изазваном грешком регистрације снимака од једног пиксела. Они су такође препоручили тачност ко-регистрације већу од 0.2 пиксела да би се постигла тачност промене NDVI од 10%. Сличан закључак донели су и Dai and Khorram (1997) установивши да је за LANDSAT TM снимке потребна тачност ко-регистрације од 1/5 пиксела за постизање тачности детекције праве промене (сигнала) од 90%.

### **4.2.2 Узроци геометријских дисторзија и методе корекције**

Геометријске дисторзије присутне у сателитским снимцима последица су карактеристика скенера и њихове интеракције са орбиталном геометријом и објектима на Земљи. Извори дисторзија могу се груписати у две широке категорије: посматрач или систем за снимање (платформа, сензор и други мерни

инструменти као што је жирокоп) и посматрано (атмосфера и Земља) (Toutin, 2004).

Табела 4-5. Опис извора геометријских дисторзија (преузето из Toutin, 2004)

Категорија	Подкатегорија	Опис извора грешке
Систем за посматрање	Платформа	Варијације у померању
		Варијације положаја платформе
	Сензор	Варијације у механици сензора (стопа и брзина скенирања итд.)
		Угао скенирања
		Панорамски ефекат FOV
	Мерни инструменти	Временске варијације
Синхронизовање часовника		
Посматрано	Атмосфера	Рефракција и турбуленција
	Земља	Закривљеност, ротација, топографски ефекат
	Карта	Геоид -> елипсоид
		Елипсоид -> карта

Наведене геометријске дисторзије су предвидиве или систематске и генерално добро познате. Неке од њих, посебно оне везане за инструменте, се коригују на земаљским пријемним станицама или од стране произвођача снимака. Остале геометријске дисторзије захтевају моделе и математичке функције за спровођење геометријске корекције снимака.

Геометријска корекција, која подразумева промену положаја пиксела са њихове оригинлане локације у одређени референтни гريد, састоји се из три компоненте:

- одабира погодног математичког модела којим се опиштује дисторзија;
- трансформације координата;
- ресамплинга (интерполације).

Од математичких модела који се користе треба разликовати 2Д/3Д емпиријске моделе (као што су 2Д/3Д полиноми или 3Д рационалне функције) и строге 2Д/3Д физичке и детерминистичке моделе (Toutin, 2004).

У оба случаја кораци ректификације су исти:

- одређивање контролних тачака (GCP) са сликовним координатама и координатама у референтном 2Д/3Д координатном систему;

- рачунање непознатих параметара математичких функција које се користе у моделу геометријске корекције;
- орторектификација снимака коришћењем Дигиталног Модела Висина.

2Д/3Д емпиријски модели су склони многим проблемима, нпр. примењиви су на мале снимке, захтевају велики број GCP, корекцију врше локално у GCP, веома су осетљиви на грешке и не поседују робустност и конзистенцију у оперативном окружењу, а пре свега њихове математичке функције не описују физичку реаланост геометрије снимања – дакле немају никакво физичко значење (Toutin, 2004).

3Д параметарски ригорозни модели описују дисторзије платформе (положај, брзину и оријентацију), сензора (углове посматрања, ефекат панораме), Земље (елипсоид и рељеф) и картографске пројекције. Пошто су неке дисторзије корелисане, боље је да процес геометријске корекције отклони све дисторзије истовремено уместо једну-по-једну (Toutin, 1995), дакле теоријски је прецизније да се рачуна један „комбиновани“ параметар уместо свака индивидуална компонента „комбинованог“ параметра посебно (Toutin, 2002). Када је реч о броју контролних тачака код строгог модела, Toutin (1995) налази да се довољан број тачака 8-10 за једну сцену; слично налазе и Labovitz и Marvin (1986), 7-11 контролних тачака.

Из наведених разлога јасно је да за потребе оперативног мониторинга земљишног покривача треба користити детерминистичке физичке моделе, сем у случају када нису познати параметри система аквизиције сателитских података.

#### **4.2.3 Утицаји компонената модела на тачност геометријске корекције**

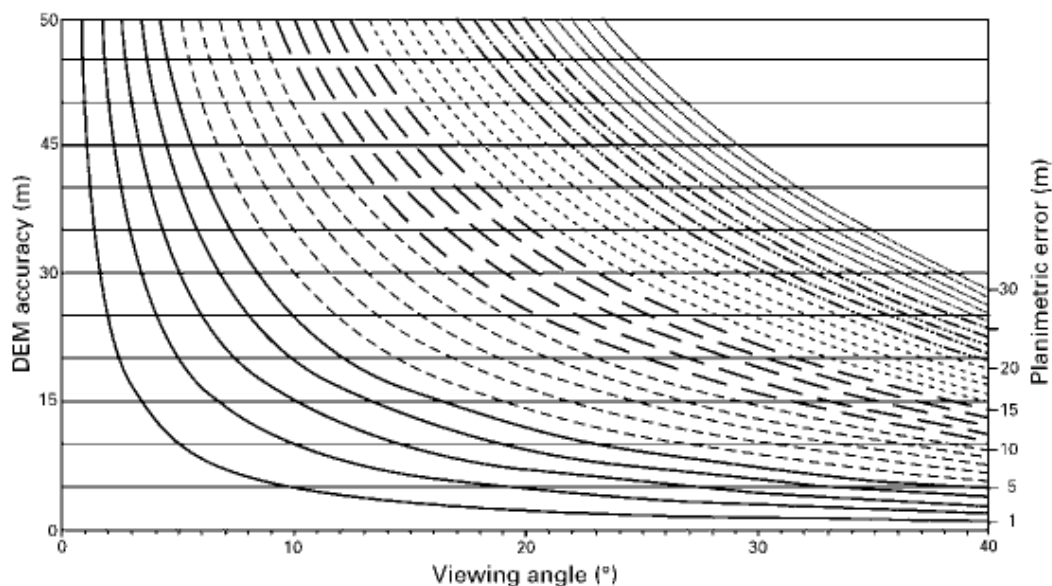
Улазни параметри у физички модел геометријске корекције су, као што се види из ранијег текста, параметри система аквизиције снимака, сликовне координате и координате у референтом координатном систему и дигитални елевациони модел. Параметри система аквизиције се у облику метаподатака добијају са снимцима и корисник не може да утиче на њихов квалитет. Остају дакле положајни подаци контролних тачака и висински модел који се користи при



орторектификацији чији утицај на крајњу геометријску тачност излазног производа можемо да анализирамо и консеквентно на њу утичемо.

Welch и Usery, (1984) закључују да грешке које остају у геодетски коригованом производу потичу од грешака у лоцирању контролних тачака на снимку, грешака у одређивању координата контролних тачака и грешке које потичу од утицаја рељефа. Toutin и Chenier (2004) испитивали су геометријску обраду QUICKBIRD снимка користећи физички модел CCRS 3D и показали да: 1) већи број контролних тачака је потребно користити како се њихова позициона тачност смањује да би се смањило ширање грешке при изравнању методом најмањих квадрата, 2) добијене су позиционе грешке од 1 до неколико пиксела без обзира на позициону тачност контролних тачака, 3) код коришћења *Differential GPS* (DGPS) методе за утврђивања положаја контролне тачке са тачношћу 0.2 m доминанта грешка модела потиче од поентирања контролне тачке на снимку. Идентично закључују и Labovitz and Marvin (1986) означавајући случајне и систематске грешке лоцирања контролних тачака на снимку и одређивања њихових координата као главни ефекат на геодетску (геометријску) ректификацију снимака.

Одређивање координата контролних тачака у референтном координатном систему више не представља технолошки изазов. Коришћењем прецизног диференцијалног GPS позиционирања могуће је постићи тачност бољу од 0.1 m (Blagojević, 2007). Такође, ортофото планови резолуција 0.4 m и боље чије су израде данас рутински оперативне (видети пројекат Израда дигиталног ортофотоа у Републици Србији) представљају оптималан референтни извор за одређивање положаја контролних тачака. Дакле, грешке координата контролних тачака одређених на овај начин могу се занемарити у моделу геометријске корекције, односно координате се могу сматрати као апсолутно тачне.



Слика 4-16. Веза између тачности Дигиталног Модела Висина (DEM), угла снимања и грешке позиционирања у метрима генерисане на орторектификованом снимку (преузето из Toutin, 2004)

#### 4.2.4 Подпикселско картирање детаља за потребе одређивања контролних тачака

Решење за подпикселско лоцирање контролне тачке, односно поентирање контролне тачке на снимку са довољном тачношћу, може да се нађе у методи подпикселског картирања детаља која је представљена у Protic et al. (2012). Наиме, оптимални детаљи на снимку за контролне тачке су углови на границама две површине са великим међусобним спектралним контрастом. Међутим, границе између различитих биофизичких појава (чије је установљавање производ генерализације) углавном пролазе кроз пикселе које имају мешовиту композицију (Cracknell 1998, Foody et al. 2005). Картирање граничне линије са подпикселском тачношћу може се постићи подпикселским картирањем при чему су подаци финије резолуције екстрахују из оригиналног снимка истовремено добијају просторне локације циљаних биофизичких појава у оквиру оригиналних пиксела (Atkinson, 2005; Martens et al, 2006.). Да би се ово извело, потребно је спровести *soft* класификацију са циљем да се добије проценат заступљености циљаних биофизичких појава у сваком оригиналном пикселу.

Основна претпоставка је да рефлексија мерена за једна пиксел представља линеарну комбинацију рефлескија појединачних појава које улазе у састав пиксела. Тачно познавање рефлескија појединачних појава је, дакле, веома важно за добијање тачних процената заступљености појава у пискелу (нпр. Tompkins et al, 1997; Bateson et al., 2000). Проблем је међутим што рефлексија варира кроз простор и време, чак и за уско дефинисане биофизичке појаве (Lobell and Asner, 2004). На пример, рефлексија вегетације зависи од оптичких карактеристика вегетационог ткива, структуре вегетације али и од екосистема (Asner, 1998). Због тога је дефинисање спектра појава у пикселу узимајући у обзир њихову спектралну варијабилност проблематичан задатак којим су се бавила разна истраживања (нпр. Bateson et al., 2000).

Метод се састоји из два сегмента: *soft* класификације и подпикселског картирања. Док је задатак *soft* класификације да да информацију о проценту појаве унутар мештвитог пиксела, подпикселско картирање треба да одреди локације фракција и повуче границу између њих. Као метод *soft* класификације, примењен је специјално дизајниран парцијални линеарни *unmixing* модел док је за извођење подпикселског картирања употребљен *pixel swapping* алгоритам.

Да би се извео потпуни линеарни *unmixing* метод, треба поћи од линеарног модела спектралног мешања (Nielsen, 1998):

$$\mathbf{r}(x, y) = \mathbf{M}\mathbf{a}(x, y) + \mathbf{n}(x, y) \quad 4-21$$

где су

$\mathbf{r}(x, y) = [r_1(x, y) \cdots r_l(x, y)]^T$  - измерени сигнал у сваком пикселу,

$(x, y)$  - координате пиксела,

$$\mathbf{M} = [\mathbf{m}_1 \cdots \mathbf{m}_p] = \begin{bmatrix} m_{11} & \cdots & m_{p1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{1l} & \cdots & m_{pl} \end{bmatrix} - \text{матрица } l\text{-димензионалног сигнала за}$$

$p$  појава које се налазе унутар пиксела,

$\mathbf{a}(x, y) = [\alpha_1(x, y) \cdots \alpha_p(x, y)]^T$  - матрица процената појава (фракција) унутар

пиксела са координатама  $(x, y)$ ,

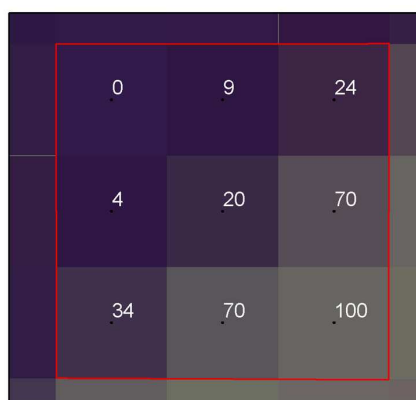
$$\mathbf{n}(x, y) = [n_1(x, y) \cdots n_l(x, y)]^T - \text{шум.}$$

Све појаве присутне на сателитском снимку и њихови спектри морају бити познати, а њихов број мора бити мањи или једнак броју спектралних канала снимка. Ово је у реалности често немогуће извести, а чак и мале спектралне варијације појава могу произвести значајне грешке у *soft* класификацији ако се користи глобална статистика за одређивања спектра појава (Muslim et al., 2006). Међутим, с обзиром да је овде циљ подпикселско картирање детаља који представља границу две релативно спектрално хомогене површине, уместо глобалне статистике за одређивање спектра појава примењена је локална статистика.

Груба граница између површина проналази се коришћењем *high-pass* филтера који детектују места где се спектралне особине значајно мењају (Слика 4-17)..



Слика 4-17. Грубе границе између релативно спектрално хомогених површина



Слика 4-18. Проценти покривености пиксела једном од појава срачунати у једној секцији (преузето из Protic et al., 2012)

Математички модели се даље примењују на секције снимка који се добијају тако што се кернел величине 3x3 пиксела креће по грубој граници. На тај начин кернел покрива истовремено пикселе које садрже „чист“ спектар једне и друге појаве као и пикселе који представљају њихову мешавину.  $l$ -димензиони сигнал свих 9 пиксела у 3x3 секцији се упоређују и два која су најудаљенија у  $l$ -димензионом простору могу се сматрати да садрже чист спектар појава, а сви остали да су њихове мешавине. У случају да је само једна гранична површина садржи „хомогену“ појаву, описан начин процене чистих спектра за локалну *soft* класификацију може се узети као довољно тачан са претпоставком да се нехомогена површина на тако локалном нивоу може апроксимирати једним спектром. Тако одређени „чисти“ спектри две површине затим улазе у математички модел да би се одредили проценти сваке од појава у мешовитим пикселима (Слика 4-18). Оваква рачунања се врше на свим секцијама. Пошто се секције преклапају како се кернел помера дуж грубе границе, захваћени пиксели ће имати два или више вредности процената заступљености појава у пикселу. За финалну вредност за дати пиксел се узима аритметичка средина.

Резултат *soft* класификације је проценат заступљености појаве у сваком пикселу. Следећи корак је одређивање локација подпикселских компонената у сваком пикселу. У том циљу примењен је *pixel-swapping* алгоритам (Atkinson, 2005; Muslim, 2006). Просторна резолуција оригиналних пиксела дели се на 16 (4x4) подпиксела. Алгоритам се базира на геостатистичкој методи за класификацију подпиксела. За сваки подпиксел се рачуна параметар припадности  $A_i$ . Ова променљива представља тежинску функцију процента заступљености појава („хомогене“ површине) у околним пикселима:

$$A_i = \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} z(u_j) \quad 4-22$$

где су:  $n$  број суседних пиксела,  $z(u_j)$  проценат заступљености појаве у  $j$ -том пикселу и  $\lambda_{ij}$  је тежина која зависи од удаљености и рачуна се као:

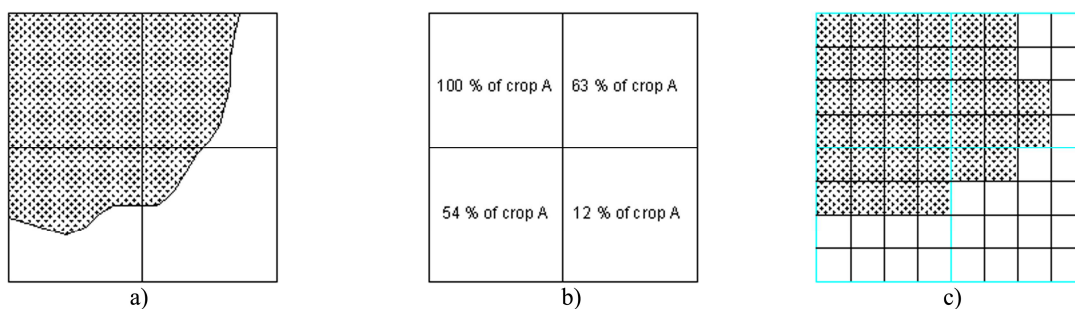
$$\lambda_{ij} = \exp\left(\frac{-h_{ij}}{a}\right) \quad 4-23$$

или у упрошћеном облику

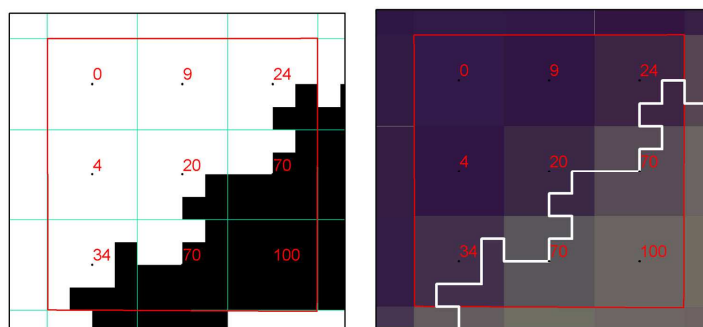
$$\lambda_{ij} = \frac{1}{h_{ij}} \quad 4-24$$

где су  $h_{ij}$  удаљеност између подпиксела  $i$  за кога се рачуна параметар припадности и суседни пиксел на локацији  $j$ ,  $a$  је нелинеарни параметар експоненцијалног модела.

У сваком оригиналном пикселу, дефинише се број подпиксела који припадају циљаној појави (површини)  $k$ , тако да се  $k$  подпиксела у оквиру оригиналног пиксела који имају навише вредности параметра припадности проглашавају да припадају тој појави (слике 4-19 и 4-20).



Слика 4-19. Илустрација *pixel-swapping* метода за груписање подпиксела који припадају циљаној појави: а) релано простирање појава преко 4 пиксела оригиналне величине, б) проценат циљане појаве у сваком оригиналном пикселу, с) груписање подпиксела који припадају циљаној појави (преузето из Protic et al., 2012)



Слика 4-20. а) Груписање подпиксела који припадају циљној појави у оквиру једне 3x3 секције – нумеричке вредности представљају проценат заступљености појаве у оригиналном пикселу, б) Гранична линија циљне појаве (преузето из Protic et al., 2012)

#### 4.2.5 Испитивање тачности геометријске корекције Landsat 7 ETM+ снимка - експеримент

Да би се стекла слика о геометријској тачности коју је могуће постићи за LANDSAT 7 ETM+ снимак извршена је геометријска корекција једне сцене максимално поштујући стандарде описане у претходном поглављу. Геометријска корекција, укључујући корекцију за утицај рељефа, је извршена је над LANDSAT сценом 186-29 из 28. 07. 2000. године која покрива део територије Србије. Орторектификација је спроведена у Државном Координатном Систему Србије коришћењем софтвера Orthoengine PCI Geomatica који користи ригорозни Тутинов модел (Toutin, 2002): једначине колинеаритета тачке на земљи се прво дефинишу у референтном систему инструмента, а затим конвертују у картографски систем пројекције коришћењем елементарних трансформација (ротације и translације) које су функције параметара који описују дисторзије. Модел интегрисхе следеће трансформације:

- ротацију од референтног система сензора ка референтном систему платформе;
- translацију према центру Земље;
- ротацију која узима у обзир временске варијације платформе;
- ротацију да би се z-оса поставила да пролази кроз центар слике на елипсоиду;
- translацију према центру слике;
- ротацију да би се поставила у-оса у равн меридијана;
- ротацију да равн x-центар слике-у тангира елипсоид;
- ротацију да би се поставила x-оса у правац скенирања;
- ротацију-translацију у картографску пројекцију.

Одређено је 22 контролне тачке равномерно распоређене на снимку. Избор детаља и поентирање контролних тачака на снимку са подпикселском прецизношћу извршено је уз помоћ метода описаног у претходном поглављу. Координате контролних тачака у Државном Координатном Систему Србије

одређене су из ортофото снимака резолуције 40 cm (извор геопортал геоСрбија<sup>26</sup>) и могу се сматрати апсолутно тачним. Распоред контролних тачака и извештај „прецизне“ орторектификације дати су у прилогу П 2.

Тачност коригованог снимка упоређена је са тачношћу исте орторектификоване LANDSAT сцене која је део скупа података IMAGE2000 генерисаног за потребе CORINE картирања земљишног покривача. Орторектификација је такође спроведена у софтверу Orthoengine PCI Geomatica коришћењем Тутиновог ригорозног модела (распоред контролних тачака и извештај орторектификације дати су у прилогу П 3), и као Дигитални Модел Висина је коришћен *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) производ резолуције 90 метара, али су координате контролних тачака читаване са топографских карата у размери 1:25000 (TK25), а поентирање на снимку је вршено са значајно мањом прецизношћу. Геометријска тачност за оба геометријски ректификована производа одређена је упоређивањем условно тачних координата 12 тачака равномерно распоређених на снимку са њиховим координатама на снимку. Референтне (условно тачне) координате контролних тачака читане су са ортофото снимка на геопорталу геоСрбија (Табела 4-6). Средња квадратна грешка<sup>27</sup> (RMSE) вредности по координатним осама као и вредности укупних RMSE дати су у Табели 4-7.

RMS<sup>28</sup> резидуали контролних тачака које су коришћене за успостављање модела, и који показују квалитет математичког модела, су знатно виши у случају LANDSAT-IMAGE2000 сцене (укупан RMS резидуал је 17.66 m (Прилог П 3), док је код „прецизне“ орторектификације вредност укупног RMS резидуала 6.14 m (Прилог П 2)), што значи да је примењени физички модел значајно осетљив на тачност координата контролних тачака као и на прецизност поентирања на сателитском снимку. Такође, оцена тачности је показала да је RMSE грешка IMAGE2000 производа од 23.6 m, иако се налази у оквиру дозвољених вредности до једног пиксела (<25 m), скоро 2.5 пута већа од грешке „прецизно“ орторектификованог снимка.

---

<sup>26</sup> [www.geosrbija.rs](http://www.geosrbija.rs)

<sup>27</sup> Root Mean Square Error (eng.)

<sup>28</sup> Root Mean Square (eng.)



Табела 4-6. Координате контролних тачака коришћених за оцену тачности

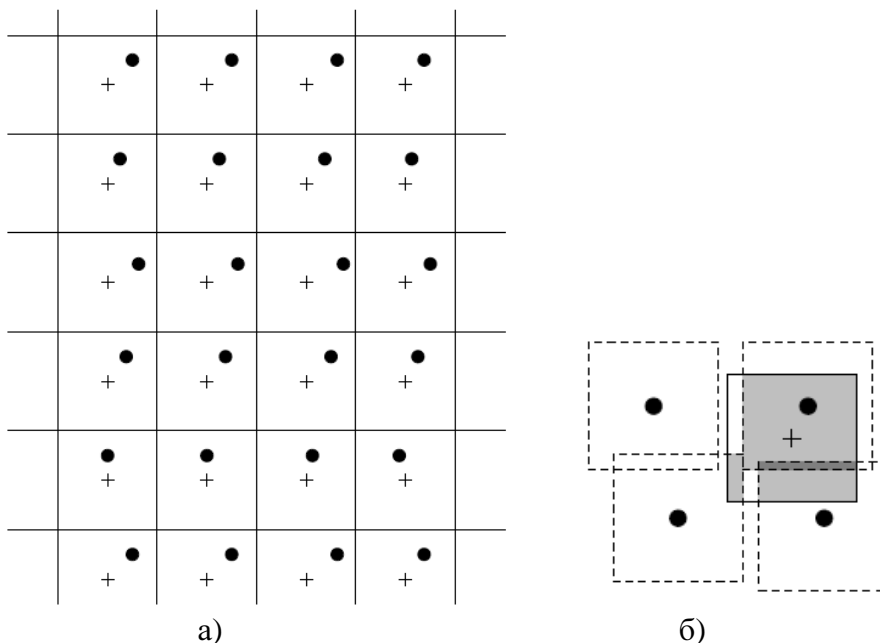
Бр. тачке	Координате тачака на ортофото аеро-снимку (геопортал геоСрбија)		Координате тачака на „прецизно“ орто-кориг. Landsat снимку		Координате тачака на орто-кориг. IMAGE2000 Landsat сн.	
	Y	X	Y	X	Y	X
1	7464384.00	4998048.00	7464387.56	4998033.52	7464405.97	4998040.72
2	7464788.00	4935765.00	7464780.52	4935765.77	7464785.99	4935746.62
3	7494068.00	4912880.00	7494074.48	4912885.67	7494086.11	4912865.84
4	7514347.00	4980922.00	7514353.43	4980913.04	7514368.53	4980899.14
5	7390395.00	4902296.00	7390389.75	4902296.71	7390396.60	4902296.58
6	7395721.00	4946298.00	7395719.13	4946300.64	7395731.72	4946300.64
7	7462698.00	4870277.00	7462708.48	4870283.75	7462728.44	4870280.12
8	7536011.00	4844272.00	7536006.24	4844274.03	7536017.22	4844230.52
9	7565592.00	4906789.00	7565595.54	4906802.29	7565603.97	4906775.44
10	7512200.00	4938704.00	7512196.06	4938708.60	7512208.86	4938683.31
11	7503110.00	5015506.00	7503111.16	5015496.80	7503124.62	5015491.80
12	7416406.00	5022126.00	7416408.63	5022114.78	7416408.87	5022140.16

Табела 4-7. RMSE вредности из контролних тачака за оцену тачности

Бр. тачке	„Прецизно“ орто-кориговани Landsat снимак			Орто-кориговани IMAGE2000 Landsat сн.		
	dY	dX	RMSE	dY	dX	RMSE
1	3.56	-14.48	14.91	21.97	-7.28	23.14
2	-7.48	0.77	7.52	-2.01	-18.38	18.49
3	6.48	5.67	8.61	18.11	-14.16	22.99
4	6.43	-8.96	11.02	21.53	-22.86	31.40
5	-5.25	0.71	5.30	1.60	0.58	1.70
6	-1.87	2.64	3.23	10.72	2.64	11.04
7	10.48	6.75	12.46	30.44	3.12	30.60
8	-4.76	2.03	5.17	6.22	-41.48	41.94
9	3.54	13.29	13.75	11.97	-13.56	18.08
10	-3.94	4.60	6.06	8.86	-20.69	22.51
11	1.16	-9.20	9.27	14.62	-14.20	20.38
12	2.63	-11.22	11.52	2.87	14.16	14.45
	<b>RMSEy</b>	<b>RMSEx</b>	<b>RMSE</b>	<b>RMSEy</b>	<b>RMSEx</b>	<b>RMSE</b>
	5.41	8.10	<b>9.75</b>	15.29	17.95	<b>23.58</b>

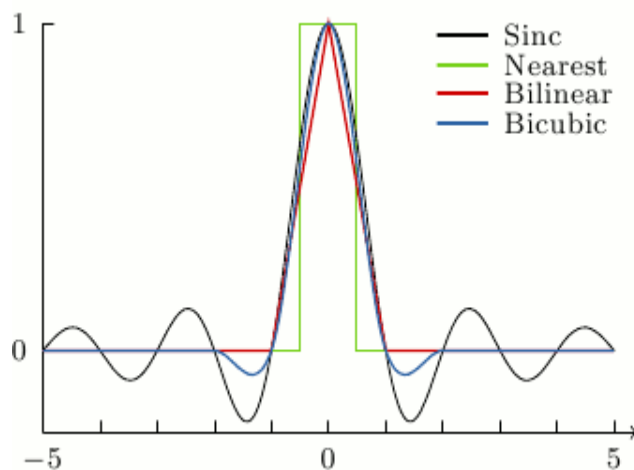
### 4.3 УТИЦАЈ МЕТОДА ИНТЕРПОЛАЦИЈЕ НА НЕСИГУРНОСТ ПОДАТАКА ДАЉИНСКЕ ДЕТЕКЦИЈЕ

Приликом геометријске корекције сирових снимака, долази до ресамплинг процеса. Ресамплинг представља технику генерисања слике на координатном систему узимајући улазну слику која се налази у другачијем координатном систему (Gurjarand и Padmanabhan, 2005). Том приликом, потребно је да се изврши интерполација између вредности оригиналних пиксела да би се добиле вредности на излазним локацијама. Интерполација реконструише сигнал у жељеним локацијама (пикселима) умеђући неку од функција интерполације између података оригиналног снимка. Концептуално, ресамплинг се може поделити на два процеса: интерполација дискретне слике на континуирану слику и затим узорковање континуиране слике на нову дискретну слику (Parker et al., 1983). Математички, то значи да се из дискретне (узорачке) функције  $f_s(x)$  познате у  $x_1, x_2, x_3, \dots$  добија непрекидна функција  $f(x)$  која одговара дискретној функцији, а затим се из непрекидне функције добијају вредности у тачкама новог грида.



Слика 4-21. Просторна интерполација: а) крстићи представљају центре пиксела излазног снимка, док су тачке центри пиксела оригиналног снимка препројектовани у координатни систем излазног снимка; б) вредност податка новог пиксела је тежинска средина вредности оригиналних пиксела према површини оригиналног пиксела у оквиру новог. (преузето из Galbraith et al., 2003)

Теоријски идеална функција за интерполацију слика је sinc ( $\sin(x)/x$ ) функција (Pratt, 1991; Gurjar и Padmanabhan, 2005) која, када се њоме конволуира дискретна узорачка функција  $f_s(x)$  у потпуности реконструише непрекидну функцију  $f(x)$  под условом да је задовољена Најквистова теорема, тј. да фреквенција узорковања мора бити два пута већа од фреквенције сигнала. Међутим, ова функција се не користи у пракси због тога то је потребно укључити велику околину пиксела да би се добио тачан резултат (Schowengerdt, 1997). Алгоритми који се најчшће користе у пракси су: *Nearest neighbor*, билинеарни алгоритам, кубна конволуција, sinc8 итд.



Слика 4-22. Упоредивање функција интерполације: *Nearest neighbor*, линеарне, кубне конволуције и sinc

### *Nearest neighbor* интерполација

Ово је најједноставнија интерполација при чему се сваком интерполованом излазном пикселу додељује вредност најближег пиксела у оригиналном снимку.

Кернел за интерполацију је дефинисан као

$$h(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq |x| < 0.5 \\ 0 & 0.5 \leq |x| \end{cases} \quad 4-25$$

Резултат *Nearest neighbor* алгоритма је да је нови снимак померен у односу на оригинални за разлику положаја локација координата. У случају да су локације координата излазног пиксела на пола пута између оригиналних пиксела, излазни снимак би био померен за пола пиксела. Ово померање значи да *Nearest neighbor*

алгоритам не може да се користи када је потребно сачувати подпикселске односе (Parker et al., 1983).

### Линеарна интерполација

Ова интерполација представља полином првог степена који провлаче праву линију кроз свака два суседна пиксела оригиналног снимка. У просторном домену, линеарна интерполација представља конволуцију улазног снимка помоћу кернела:

$$h(x) = \begin{cases} 1 - |x| & 0 \leq |x| < 1 \\ 0 & 1 \leq |x| \end{cases} \quad 4-26$$

### Cubic convolution

Ова функција интерполације представља полином трећег степена која добро апроксимира теоријски оптималну sinc функцију. Кернел се састоји од полинома који су дефинисани на подинтервалима (-2,-1), (-1,0), (0,1) и (1,2):

$$h(x) = \begin{cases} (a+2)|x|^3 - (a+3)|x|^2 + 1 & 0 \leq |x| < 1 \\ a|x|^3 - 5a|x|^2 + 8a|x| - 4a & 1 \leq |x| < 2 \\ 0 & 2 \leq |x| \end{cases} \quad 4-27$$

А интерполована вредност на позицији  $x$  која се налази између  $x_{i-1}$  и  $x_{i+1}$  је:

$$F(x) = f_S(x_{i-1})h(x-x_{i-1}) + f_S(x_i)h(x-x_i) + f_S(x_{i+1})h(x-x_{i+1}) + f_S(x_{i+2})h(x-x_{i+2}) \quad 4-28$$

Параметар  $a$  бира корисник, мада се показало да је вредност параметра од -0.5 оптимална, односно даје најбољу апроксимацију идеалном кернелу sinc (Schowengerdt, 1997).

### sinc4, sinc8, sinc16 интерполације

Ови кернели користе амортизовану sinc функцију ограничену на прозор од 4x4, 8x8 и 16x16 пиксела:

#### 4.3.1 Испитивање утицаја четири најчешће коришћених метода интерполације на несигурност сигнала - експеримент

У експерименту је изведен ресамлинг као последњи корак геометријске корекције над сировим мултиспектралним подацима сателитског снимка LANDSAT ETM+ 186-29 из 28. 07. 2000. године (који је коришћен у претходном експерименту) коришћењем четири метода интерполације: *Nearest neighbor*, *Cubic convolution*, *Bilinear* и *Sinc8*. Упоређени су резултати после ресамплинга добијени у каналима R, NIR и SWIR1. Ови канали су изабрани за анализу јер су међусобно најмање корелисани. Циљ експеримента је да се квантификује несигурност сигнала која се јавља као последица примене различитих метода интерполације приликом ресамплинга. Снимак обухвата велико подручје (180km x 180km), различите типове пејзажа са различитим типовима земљишног покривача па се може сматрати добрим репрезентативним подручјем за анализу.

За сваку комбинацију метода интерполације и за сваки од наведених канала срачунати су коефицијенти корелације. Резултати су приказани у табелама 4-8 до 4-10. Може се закључити да су у случају сва три канала највише корелисани подаци добијени методама *Cubic convolution* и *Sinc8*, а најмање корелисани подаци добијени методама *Nearest neighbor* и *Cubic convolution*. Другим речима, максималне разлике се очекују између података из *Nearest neighbor* и *Cubic convolution* интерполација.

Табела 4-8. R канал

	Nearest neighbor	Cubic convolution	Bilinear	Sinc8
Nearest neighbor	1.000000	0.995707*	0.996823	0.996388
Cubic convolution	0.995707	1.000000	0.998960	0.999775**
Bilinear	0.996823	0.998960	1.000000	0.999202
Sinc8	0.996388	0.999775	0.999202	1.000000

Табела 4-9. NIR канал

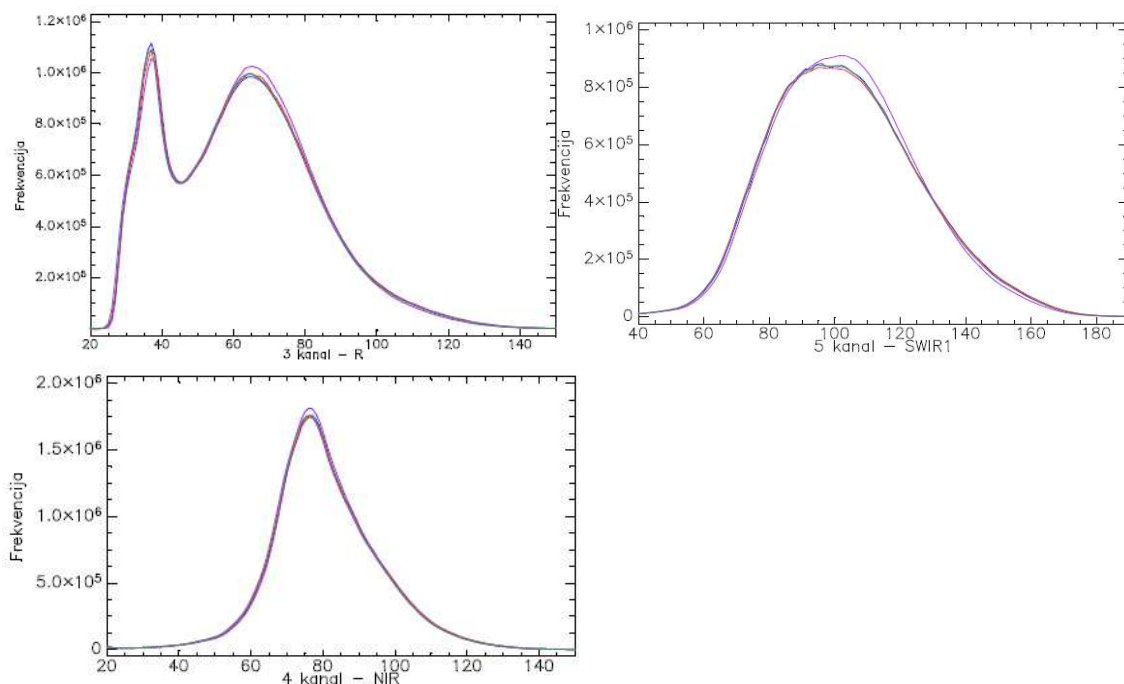
	Nearest neighbor	Cubic convolution	Bilinear	Sinc8
Nearest neighbor	1.000000	0.998234*	0.998643	0.998483
Cubic convolution	0.998234	1.000000	0.999602	0.999900**
Bilinear	0.998643	0.999602	1.000000	0.999690
Sinc8	0.998483	0.999900	0.999690	1.000000

Табела 4-10. SWIR1 канал

	Nearest neighbor	Cubic convolution	Bilinear	Sinc8
Nearest neighbor	1.000000	0.996722*	0.997523	0.997186
Cubic convolution	0.996722	1.000000	0.999206	0.999846**
Bilinear	0.997523	0.999206	1.000000	0.999373
Sinc8	0.997186	0.999846	0.999373	1.000000

\* минимална корелисаност

\*\* максимална корелисаност



Слика 4-23. Хистограми R, NIR и SWIR1 канала за 4 метода интерполације: *Nearest neighbor*- плава линија, *Cubic convolution* - црвена линија, *Bilinear* - љубичаста линија, *Sinc8*- плава зелена линија

Даље, у сваком пикселу снимка извучене су минималне и максималне вредности сигнала (DN), за сваки спектрални канал посебно као и њихове разлике. Разлике максималних и минималних вредности у појединачним пикселима представљају опсег вредности у којима се креће сигнал у појединачним пикселима у зависности од примењене интерполације, а такође и меру несигурности. Статистике разлика између минималних и максималних DN вредности на нивоу снимка за сва три канала дате су у табели 4-11. Хистограми разлика по спектралним каналима дати су на слици 4-23.

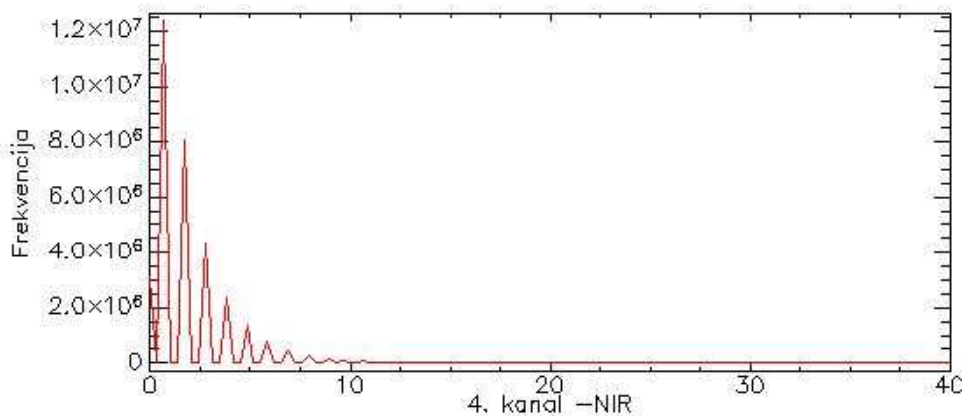
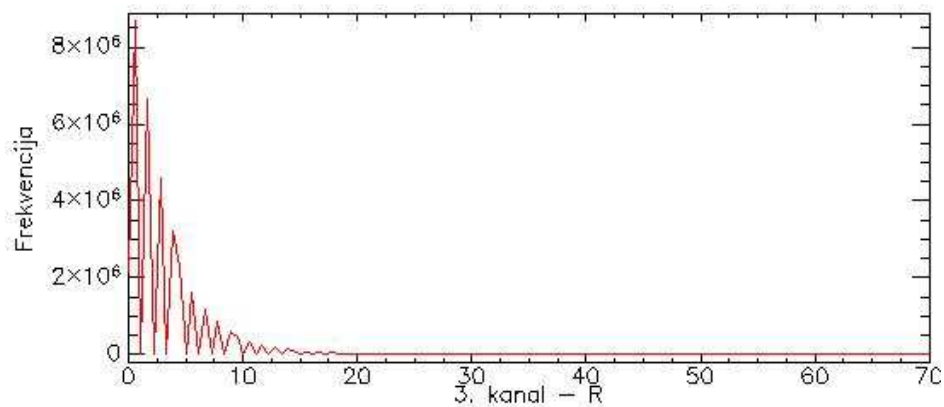
Такође су срачунате вредности стандардне девијације за DN вредности из различитих метода интерполације за сваки пиксел. Сумарне статистике на нивоу целог снимка приказане су у табели 4-12.

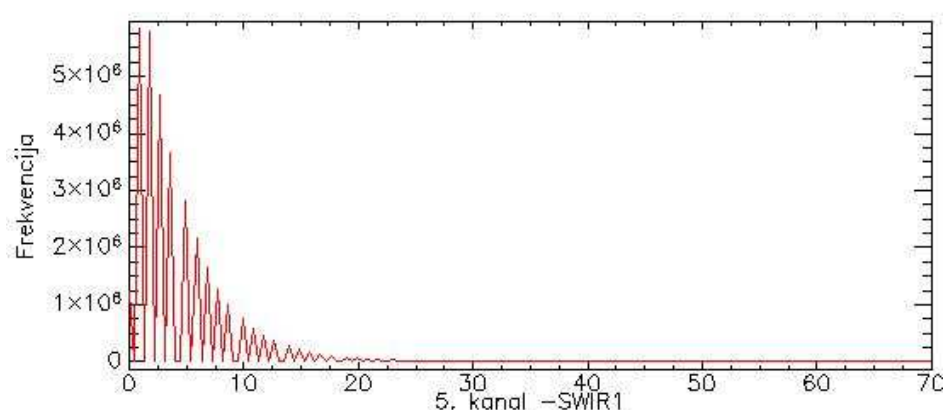
Табела 4-11. Статистика разлика МАКС-МИН (DN)

канал	Разлика МАКС-МИН (DN)			
	минимална вр.	максмална вр.	арит. средина	станд. девијација
R	0	142	<b>3.37</b>	3.21
NIR	0	88	<b>2.19</b>	2.02
SWIR1	0	115	<b>4.49</b>	4.01

Табела 4-12. Статистика стандардне девијације DN вредности из 4 метода интерполације

канал	Стандардна девијација DN вредности из 4 метода интерполације (DN)			
	минимална вр.	максмална вр.	арит. средина	станд. девијација
R	0	60.08	<b>1.34</b>	1.25
NIR	0	36.24	<b>0.89</b>	0.78
SWIR1	0	46.82	<b>1.78</b>	1.58





Слика 4-24. Хистограми разлике максималних и минималних интерполованих DN вредности за R, NIR и SWIR1

Вредности средњих разлика МАКС-МИН и стандардних девијација су безначајне јер представљају нулте вредности ТОА рефлексије. То значи да у већини пиксела није било од значаја примењени модел интерполације. Међутим, максималне вредности ових параметара представљају значајне вредности ТОА рефлексије (Табела 4-13), што значи да у одређеном броју пиксела примењени модели интерполације праве разлике сигнала које се не могу занемарити. Од интереса је да се открију законитости ове појаве.

Табела 4-13. Максималне вредности разлика МАКС-МИН и стандардних девијација изражене у ТОА рефлексијама

Канал	Разлика МАКС-МИН(max)	Стандардна девијација(max)
R	0.2007	0.0778
NIR	0.2894	0.1082
SWIR1	0.2246	0.0814

У 3. каналу (R), 99.08% пиксела има максималну разлику сигнала мању од 1% рефлексије, у 4. каналу (NIR) 98.46%, а у 5. каналу (SWIR1) је тај проценат 96.20%. Визуелном анализом утврђено је да се високе вредности разлика у 3. каналу појављују код објеката који имају високе вредности рефлексије. У 4. каналу, поред објеката са високом рефлексијом, велике значајне разлике (веће од 1% рефлексије) се јављају и на границама високих и ниских DN вредности (на пример, на границама воде и зелене вегетације). Идентична је ситуација у 5. каналу, са том разликом што су у 5. каналу високе DN вредности карактеристичне за голо земљиште, па се значајне разлике јављају на границама воде и голог тла.



Ове разлике зависе од типова земљишног покривача који су заступљени у оквиру пиксела као и од типова земљишног покривача који се јављају у другим пикселима.

#### **4.4 ОЦЕНА НЕСИГУРНОСТИ ПОДАТАКА САТЕЛИТСКОГ ОСМАТРАЊА**

Као што је показано у претходним поглављима, на квалитет података сателитског осматрања утиче низ фактора: геометријска дисторзија снимка, карактеристике сензора, атмосферски услови, топографија, итд. Методе радиометријске и геометријске калибрације и корекције су фундаменталне операције које се користе ради отклањања артефаката инструмента и атмосферског утицаја на податке. Међутим, овим методама није могуће постићи апсолутну корекцију па тиме ни нормализацију односно упоредивост података из многобројних разлога: атмосферски утицај је веома сложен и варира у простору, чак и мале разлике у просторној резолуцији узрокују различиту генерализацију сигнала, ниједна ресамлинг метода није идеална реконструкција сигнала, немогуће је постићи апсолутно тачну геометријску корекцију. Међутим, чак и да се постигну идеални степен калибрације и корекције, специфичне карактеристике инструмента производиће одређени ниво разлике у подацима. На пример LANDSAT 7 инструмент показује својства значајно више геометријске тачности (сировог снимка), више радиометријске прецизности и смањеног шума у поређењу са LANDSAT 5 инструментом (Masek et al., 2001). Како процес квантитативног мониторинга земљишног покривача подразумева коришћење мултисензорских и мултитемпоралних података, процена њихове тачности је неопходан параметар у креирању аналитичких модела.

Основна претпоставка оцене тачности неког мерења је познавање истините вредности тог мерења. У овом случају, то би значило познавати вредности спектралне рефлексије појава на Земљи у тренутку снимања. Ово је, међутим, веома тешко практично извести. Због тога се оцена несигурности мора извести из самих података сателитског снимања коришћењем метода математичке статистике (видети нпр. Perović, 1989; Mališić i Jevremović, 1991).

#### 4.4.1 Метода оцене тачности коришћењем псеудо-инваријантних објеката

Метода се заснива на својству одређених објеката да се њихове спектралне особине могу, са довољном тачношћу, сматрати непроменљивим у току времена. Овакви објекти се називају псеудо-инваријантним - PIF (*Pseudo-Invariant Features*). У идеалном случају, тачке грида које припадају псеудо-инваријантним објектима требало би да имају исте вредности спектралне рефлексије добијене са различитих снимака. Потенцијалне разлике које се јављају последица су свих утицаја који производе грешке у резултатима мерења.

Метода се састоји од следећих компонената:

- дефинисање PIF тачака;
- одређивање оцене праве вредности рефлексије у PIF тачкама (тестирање и одбацивање грубих грешака);
- одређивање линеарне зависности појединачних снимака и додатна релативна нормализација;
- оцена тачности снимака.

##### 4.4.1.1 Селекција PIF тачака

Код селекције PIF тачака треба идентификовати спектрално „хомогене“ области довољно велике да би се избегла радиометријска "контаминација" од околних појава. У литератури постоје различита мишљења која величина псеудоинваријантних површина је потребна. Karpouzli and Malthus (2003) тврде да она треба да буде најмање 3 пута већа од величине пиксела. Moran et al. (2001) заступају став да однос резолуције сензора и псеудоинваријантне површине треба да буде 1:8. Поред ових захтева, Clark et al. (2011) систематизују критеријуме за избор погодних псеудоинваријантних површина: (1) просторно екстензивне површине, (2) блиско-Ламбертове карактеристике рефлексије, (3) „хомогено“ гола површина која не садржи темпорално променљиве појаве, (4) лоцирана на равном терену да би се избегле варијације топографске осветљености. Међутим, у свим наведеним случајевима се говори о коришћењу псеудоинваријантних површина за потребе калибрације снимака. У случају када псеудоинваријанте површине треба

да буду коришћене за оцену тачности података сателитских сензора, потребно је установити другачији критеријум величине „хомогене“ површине код селекције PIF тачака. За PIF тачке треба узети оне локације у чијој се околини до вредности половине резолуције пиксела сателитског снимка налази „хомогена“ псеудоинваријантна појава да би се избегао утицај спектралног мешања. Ако би се око PIF тачке налазила значајно већа „хомогена“ површина, могло би доћи до избегавања детекције нежељених радиометријских ефеката који су последица геометријске дисторзије снимака. Из овог разлога, локацију PIF тачке треба одредити на снимцима веће резолуције од снимака чија се несигурност испитује и за које се може сматрати да су апсолутно тачни у геометријском смислу, односно чија је положајна тачност значајно већа у односу на снимке који се испитују. Идеално је да се PIF тачке идентификују на орторектификованим аерофото снимцима (Прилог П 4). PIF тачке треба да буду равномерно распоређене на снимку, а додатна истраживања су потребна да би се утврдио оптимални број тачака.

#### **4.4.1.2 Одређивање референтних вредности релфексије у PIF тачкама**

Континуирани мониторинг земљишног покривача захтеваће коришћење великог броја мултисензорских и мултитемпоралних података сателитског осматрања. Као резултат, имаћемо одређени број вредности мерења рефлексije у PIF тачкама и тај број ће се повећавати временом. Због практичних немогућности да се изврше *in situ* мерења рефлексije у PIF тачкама ради калибрације резултата и оцене тачности, права вредност рефлексije мора бити оцењена из самих података сателитских осматрања.

Основна претпоставка је да су апсолутном радиометријском калибрацијом и геометријском корекцијом отклоњени систематски утицаји који су били присутни у сигналу. Такође, с обзиром да се снимања врше под различитим условима и различитим сензорима, вредности рефлексije у различитим снимцима треба третирати као мерења различите тачности. На основу овог, оцену праве вредности рефлексije у тачки PIF налазимо као:

$$\bar{\rho}_{PIF} = \frac{1}{\Sigma P} (P_1 \cdot \rho_{1PIF} + P_2 \cdot \rho_{2PIF} + \dots + P_n \cdot \rho_{nPIF}), \Sigma P = \sum_{i=1}^n P_i \quad 4-30$$

где су:  $\rho_{nPIF}$  - вредност рефлексije у тачки PIF из  $n$ -тог снимка,  $P_n$  - релативна тежина резултата мерења рефлексije са  $n$ -тог снимка.

Релативна тежина мерења се обично описује као:

$$P_i = \frac{\mu^2}{\sigma_i^2} \quad 4-31$$

Где су:  $\mu$  - средња грешка јединице тежине (константа),  $\sigma_i$  - стандардна грешка сигнала у снимку  $i$ .

Међутим, како нису познате вредности стандардне грешке сигнала (а чије одређивање је управо циљ ове методе), морамо применити итеративни поступак. У почетној итерацији се може усвојити да су тежине свих снимака исте па праву вредност рефлексije оцењујемо аритметичком средином рефлексija из различитих снимака ( $\rho_{PIF}^{sr}$ ).

Пре рачунања ове величине, све вредности рефлексija би требало да буду тестиране на грубе грешке. Вредност рефлексije  $\rho_{iPIF}$  не садржи грубу грешку уколико важи:

$$\left| \rho_{iPIF} - \rho_{PIF}^{sr1} \right| < t_p(f) \sigma'_{PIF} \sqrt{\frac{n}{n-1}} \quad 4-32$$

при чему је  $\rho_{PIF}^{sr1}$  аритметичка средина рефлексija рачуната без вредности рефлексije  $\rho_{iPIF}$  која се тестира на грубе грешке,  $t_p(f)$  - квантил Студентовог распореда са  $f = n - 1$  степени слободе, а  $\sigma'_{PIF}$  - емпиријски стандард за остале вредности рефлексije у тачки PIF и рачуна се као:

$$\sigma'_{PIF} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^{n-1} (\rho_{jPIF} - \rho_{PIF}^{sr1})^2} \quad 4-33$$

Сада је могуће срачунати оцене стандардне грешке сигнала у појединачним снимцима. Нека је  $\Delta^i_{PIF}$  разлика рефлексije из снимка  $i$  у тачки PIF

и оцене праве вредности рефлексије у тој тачки. Како је очекивана вредност ове разлике нула јер се ради о рефлексији псеудо-инваријантних објеката, тачност снимка се тада може оценити из одступања ових вредности од нуле у свих  $k$  PIF тачака снимка. Стандардна грешка мерења у снимку/спектралном каналу  $i$  може се срачунати као:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{s=1}^k (\Delta_{PIFs}^i - 0)^2} = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{s=1}^k (\rho_{iPIFs} - \bar{\rho}_{PIFs})^2}$$

$$\Delta_{PIFs}^i = \rho_{iPIFs} - \bar{\rho}_{PIFs}$$
4-34

Са овим вредностима треба срачунати тежине мерења и праву вредност рефлексије у PIF тачкама према формулама 4-25 и 4-26 и тако прећи у наредну итерацију. Треба напоменути да у наредним итерацијама при тестирању вредности рефлексије у PIF тачки на грубу грешку  $i$ -тог снимка треба примењивати израз:

$$|\rho_{iPIF} - \bar{\rho}'_{PIF}| < t_p(f) \mu'_0 \sqrt{\frac{1}{P_i} - \frac{1}{P'}}$$
4-35

при чему је  $t_p(f)$  квантил распореда Студента са  $f=n-2$  степени слободе,  $\bar{\rho}'_{PIF}$  - оцена праве вредности рефлексије без  $i$ -тог снимка,  $P'$  - сума тежина без  $i$ -тог снимка и  $\mu'_0$  - оцена средње грешке јединице тежине без  $i$ -тог снимка која се рачуна као:

$$\mu'_0 = \frac{1}{n-2} \sum_1^{n-1} P_i (\rho_{iPIF} - \bar{\rho}'_{PIF})^2$$
4-36

#### 4.4.1.3 Испитивање нормализације снимка-тестирање регресионе праве

Када су одређене оцене правих или референтних вредности рефлексије у PIF тачкама, теоријски би, у случају да не постоје никакви заостали систематски утицаји, тј. да је апсолутна калибрација снимка отклонила значајне утицаје, ове

вредности и вредности рефлексije снимка требало да показују линеарну зависност по моделу:

$$PIF_{referentno} = PIF_{snimka} \quad 4-37$$

Да би се извршила провера овог релационог модела, потребно је извршити линеарну регресију над овим величинама по моделу:

$$PIF_{referentno} = A + B \cdot PIF_{snimka} \quad 4-38$$

изатим тестирати да ли модел 4-32 стохастички одговара моделу 4-31. То ће се постићи тестирањем хипотеза о коефицијентима регресије А и В:

Хипотеза 1:  $B=1$ ,

Хипотеза 2:  $A=0$ .

За тестирање прве хипотезе користи се тест статистика:

$$T_1 = \frac{B-1}{\sigma_B} \quad 4-39$$

која има Студентову расподелу са  $(n-1)$  степени слободe, где је  $n$  број  $PIF$  тачака.  $\sigma_B$  је стандардна гршка оцене параметра  $B$  из линеарне регресије и добија се као:

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{\sum (PIF_{referentno} - PIF_{referentno}^{ocenjeno})^2}{(n-2)}} \quad 4-40$$

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{\sum (PIF_{snimka} - PIF_{snimka}^{ocenjeno})^2}{(n-2)}}$$

Хипотеза се прихвата ако је

$$-t_{\alpha/2, n-1} < T_1 < t_{\alpha/2, n-1} \quad 4-41$$

при нивоу значајности  $\alpha$ .

Слично важи и за другу хипотезу. Тест статистика је:

$$T_2 = \frac{A-0}{\sigma_A} = \frac{A}{\sigma_A} \quad 4-42$$

са

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{\sum (PIF_{referentno} - PIF_{ocenjeno})^2}{n-2} \left[ \frac{1}{n} + \frac{PIF_{snimka}^{ocenjeno^2}}{\sum (PIF_{snimka} - PIF_{snimka}^{ocenjeno})^2} \right]} \quad 4-43$$

И ова хипотеза се прихвата за

$$-t_{\alpha/2, n-1} < T_2 < t_{\alpha/2, n-1} \quad 4-44$$

Уколико се за неки снимак одбаци једна од ове две хипотезе (или обе) потребно је извршити додатну релативну нормализацију снимка користећи срачунате параметре линеарне регресије.

#### 4.4.1.4 Мере оцене тачности снимка

##### Просечна грешка

Емпиријска просечна грешка снимка добија се као аритметичка средина апсолутне вредности разлика рефлексија у PIF тачкама снимка и оцене праве вредности рефлексија у PIF тачкама:

$$\theta = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k |\rho_{PIFi} - \bar{\rho}_{PIFi}| \quad 4-45$$

где је  $k$  број PIF тачака у снимку.

##### Степен осетљивости података

Ова мера тачности представља критеријум значајности података, или другим речима, у којој мери промена података одговара реалној промени биофизичких особина земљишног покривача. Идеја је да се за сваки снимак/спектрални канал одреди гранична вредност промене сигнала изнад које се вредности промене сигнала могу сматрати значајним при одређеном нивоу значајности (вероватноће).

У зависности које вредности упоређујемо, можемо дефинисати две врсте степена осетљивости сигнала:

а) апсолутни степен осетљивости- одређује значајност разлике вредности сигнала у односу на референтне вредности.

У извођењу формуле за ову величину полази се од претпоставке да је разлика између мерене вредности рефлексije и стварне (референтне) вредности рефлексije нормално распоређена са математичким очекивањем 0 и стандардном грешком једнаком стандардној грешци мерења у рефлексije у снимку  $\sigma_i$ , тј.

$$|\rho_i - \rho_{ref}| \sim N(0, \sigma_i)$$

$$T_{iaps} = |\rho_i - \rho_{ref}| = t_{1-\alpha} \sigma_i \quad 4-46$$

где је  $t_{1-\alpha}$  квантил нормалног распореда за ниво значајности  $\alpha$ .

б) релативни степен осетљивости – представља граничну вредност значајности разлике сигнала између два снимка. Слично као у претходном случају, полази се од претпоставке да је разлика вредности рефлексije у два снимка када нема реалне промене биофизичких карактеристика површине нормално распоређена са математичким очекивањем 0 и стандардном грешком  $\sigma_\Delta$ , тј.  $|\rho_i - \rho_j| \sim N(0, \sigma_\Delta)$ .

$$T_{\Delta ij} = |\rho_i - \rho_j| = t_{1-\alpha} \sigma_\Delta \quad 4-47$$

при чему се  $\sigma_\Delta$  рачуна као:

$$\sigma_\Delta = \sqrt{(\sigma_i^2 + \sigma_j^2)} \quad 4-48$$

#### 4.4.2 Експериментални пример

Валидација претходно описаних модела извршена је над реалним подацима LANDSAT 7 ETM+ снимака. У експерименту су коришћени подаци апсолутне рефлексije 4. и 3. канала (NIR и RED) (претходно коригованих за атмосферски и утицај топографије) дела сцена 187-30 и 187-29 који представља њихов преклоп. Оба снимка начињена су 20.08.2000. године. Географска област која представља преклоп обе две сцене величине је приближно 20 x 11 km и карактерише је велики



варијетет типова земљишног покривача. У оквиру области извршен је одабир 8 PIF тачака и у њима су очитане вредности рефлексије у 4. и 3. каналу. Локације PIF тачака и вредности рефлексија дате су у прилогу П 4.

Како би се тестирао хипотезе о нормализацији снимка (дефинисане у претходном поглављу), над подацима 4 канала са PIF тачака снимака 187-30 и 187-29 извршена је линеарна регресија. Услед недостатка више од 2 снимка овог подручја, узето је да читавања са снимка 187-30 представљају оцене правих вредности рефлексије и зависну променљиву регресије. Резултати линеарне регресије дати су у прилогу П 4.

Тест величине рачунају се као:

$$T_1 = \frac{B-1}{\sigma_B} = \frac{0.9936-1}{0.01407} = -0.4549$$

$$T_2 = \frac{A-0}{\sigma_A} = \frac{-0.01503}{0.00378} = -3.9762$$

Квантил Студентовог распореда за ниво значајности 0.001 и број степени слободe  $n-2=8-2=6$  износи 5.9588, што значи да се обе хипотезе прихватају.

Аналогно, линеарна регресија урађена је и за читавања вредности у 3 каналу (прилог П 4). Тест величине су:

$$T_1 = \frac{B-1}{\sigma_B} = \frac{1.0311-1}{0.0326} = -0.954$$

$$T_2 = \frac{A-0}{\sigma_A} = \frac{-0.0217}{0.00627} = -3.461$$

Како је квантил Студентовог распореда исти као у претходном случају, и ове две хипотезе се прихватају.

Користећи формулу 4-34 добијене су вредности за стандардне грешке мерења снимка 187-029:

$$\sigma_{187-029}^{4kanal} = 0.00563$$

$$\sigma_{187-029}^{3kanal} = 0.01890$$

Из 4-45 следи да је степен осетљивости снимка 187-029:

$T_4 = 3.090 \cdot 0.00563 = 0.0174$ , за 4. канал, при нивоу значајности  $\alpha = 0.001$ ,  
односно

$T_3 = 3.090 \cdot 0.01890 = 0.0584$ , за 3. канал, при нивоу значајности  $\alpha = 0.001$ .

У поређењу са опсегом могућих вредности рефлексије 0-1, степени осетљивости износе 1.7% у случају 4. канала, односно 5.8% у случају 3. канала.

Све вредности разлике сигнала између ова два снимка које су мање од вредности осетљивости  $T$ , требало би дакле приписати грешкама сигнала, а не стварним разликама у рефлексији земљишног покривача. Како су оба снимка која су коришћена у експерименту начињена истог дана (дакле није могло доћи до значајних промена у земљишном покривачу), може се сматрати да све разлике сигнала потичу од грешака сигнала, а не од промене земљишног покривача.

Добијене вредности степена осетљивости описују 95.31% разлика у сигналу у случају 4. канала и 99.99% у случају 3. канала. Истовремено, стандардне грешке мерења описују 51.48% варијација у 4. каналу и 98.22% у 3. каналу. Ова несразмерност указује на већу осетљивост земљишног покривача у рефлексији блиско-инфрацрвеног зрачења. Мање варијације у случају 3. канала могу се објаснити ужим опсегом спектралне рефлексије која зависи од биофизичких особина земљишног покривача. На експерименталном подручју, највећа површина се налази под неком врстом вегетације за коју је вредност рефлексије осетљива у блиско-инфрацрвеном спектру.

## 5 КВАНТИТАТИВНО ОПИСИВАЊЕ ЗЕМЉИШНОГ ПОКРИВАЧА

Један од основних мотива за коришћење квантитативног описивања земљишног покривача је да се избегну проблеми концептуализације који представљају примарни недостатак квалитативног моделирања. То не значи, међутим, да је квантитативно моделирање ослобођено „онтолошке замке“. Наиме, квантитативно моделирање подразумева да се особина некакве појаве односно категорије описује бројним вредностима, али је сама категорија поново производ људске концептуализације.

Да би избегли концептуалне разлике у картографском моделирању земљишног покривача, можемо поделити земљишни покривач у категорије које припадају Нортонској (Horton, 1982) „примарној теорији“. „Примарна теорија“ је део здравог разума који се може срести код свих људи у свим фазама развоја (Smith и Mark, 2001), дакле категорички системи за које не постоје онтолошке разлике код различитих људи или друштвених група. Може се закључити да су категорије земљишног покривача које одговарају „примарној теорији“:

- вегетација
- вода
- земљиште
- вештачке површине (створене и постављене од стране човека)

Дакле, основна идеја је да се квантитативно моделирање земљишног покривача сведе на квантитативно описивање карактеристика наведених категорија земљишног покривача.

## 5.1 КВАНТИТАТИВНО ОПИСИВАЊЕ ВЕГЕТАЦИЈЕ

### 5.1.1 Биофизички параметри вегетације

Најчешће коришћени биофизички параметри за описивање карактеристика вегетације и уједно најтемељније описани у литератури су: покривеност вегетацијом, LAI и fAPAR (Hall et al., 1992 и други). Поред њих, користе се и биомаса, садржај хлорофила и фактор сенке.

Leaf Area Index (LAI) ( $m^2/m^2$ ) се дефинише као површина зеленог лишћа (фотосинтетичког ткива) по јединици површине земљишта за широколисну вегетацију или пројектована површина иглица по јединици површине земљишта за четинарску вегетацију. LAI је уско повезан са разним вегетационим процесима као што су задржавање воде, транспирација, фотосинтеза, респирација и опадање лишћа (Sellers et al., 1997; Running and Coughlan, 1988; Potter et al., 1993; Liang, 2007) и заједно са фракцијом вегетационог покривача је кључна променљива за процену евапотранспирације (Bicheron and Leroy, 1999). Стога, LAI представља кључну променљиву у многим моделима који описују интеракције између вегетације и атмосфере, са посебним нагласком на циклусе кружења угљеника и воде (GCOS, 2004). Некада се може наићи на случај да се LAI односи на укупну вегетацију, а gLAI<sup>29</sup> на искључиво зелену вегетацију.

fraction of Absorbed Photosynthetic Active Radiation (fAPAR), фракција апсорбованог фотосинтетички активног зрачења, је фракција долазећег соларног зрачења у фотосинтетички активном спектралном региону коју апсорбује неки фотосинтетички активни организам. PAR је соларно зрачење које стиже до вегетације у опсегу 0.4-0.7  $\mu m$  таласне дужине. Ова биофизичка променљива је директно везана за основне продукте фотосинтезе и неки модели је користе за процену везивања угљен-диоксида од стране вегетације. Препозната је као једна од фундаменталних терестричких променљивих у науци која се бави глобалним променама (Liang, 2007) и служи као основна мера за процену нето примарне продукције (Liang, 2007; Bicheron and Leroy, 1999). Систематско праћење fAPAR је одговарајуће за поуздан мониторинг сезонских циклуса и међу-годишњих

---

<sup>29</sup> Green LAI (eng.)

промена вегетационе активности везане за фотосинтезу површина на Земљи. FAO овај параметар убрја у „есенцијалне климатске променљиве“ и сматра да он игра кључну улогу у низу темпоралних и просторних резолуција, посебно у енергетском балансу екосистема, процени баланса угљеника и хидрологији земљишта под вегетацијом.

Биомаса се дефинише као маса живе или неживе органске материје. Јединица је  $g/m^2$ . Промене вегетационе биомасе по јединици површине у току времена могу се користити као једна од есенцијалних климатских променљивих јер представљају директна мерења везивања или ослобађања угљеника између терестричких екосистема и атмосфере (извор FAO).

Покривеност вегетацијом<sup>30</sup> (lcv) представља проценат површине заузете вертикалном пројекцијом крошње дрвећа или неког другог облика вегетационог покривача. То је уобичајени концепт у шумарству и од великог је интереса за научна истраживања и политичке одлуке (Rautiainen et al., 2005). На пример, FAO дефинише шуму као земљиште са вегетационим покривачем већем од 10%, висином дрвећа већом од 5 метара које заузима површину преко 0.5 хектара. Некада се, у зависности од примењеног модела, може правити разлика између покривености зеленом вегетацијом<sup>31</sup> (glcv) и покривености нефотосинтетичком вегетацијом<sup>32</sup> (blcv).

Садржај хлорофила у лишћу (chl) се може сматрати био-индикатором статуса здравља биљака (Lichtenthaler et al., 1996; Sampson et al., 2003) и укупне примарне производње (Gitelson et al., 2006). Јединица је  $g/cm^2$ .

Фактор сенке вегетационог покривача<sup>33</sup> (csh) изражава количину сенке коју ствара вегетација и у суштини описује просторну структуру („грубост“) вегетације. Осветљеност шумског покривача није само под утицајем релативне оријентације према Сунцу, него и количином сенке које ствара сама вегетација (Gammel, 1998)

---

<sup>30</sup> Vegetation cover fraction (eng.)

<sup>31</sup> Green leaf cover fraction (eng.)

<sup>32</sup> Brown leaf cover fraction (eng.)

<sup>33</sup> Shadow factor of the vegetation canopy (eng.)

### 5.1.2 Везе између оптичких и биофизичких-биохемијских карактеристика вегетације

Типови вегетације представљају биохемијски и структурално комплексне ентитете, сваки са атрибутима који их у спектралном простору чине међусобно удаљеним. На основу експерименталних и теоријских сазнања, зна се да је рефлексија вегетације пре свега функција оптичких особина вегетационих ткива (лишћа, грања, сувог лишћа), биофизичких атрибута вегетационог покривача (нпр. површина лишћа и грања, оријентација лишћа и грања и нагомилавања лишћа), рефлексије голог земљишта, услова осветљености и геометрије посматрања. Лишће и нефотосинтетичка вегетација (стабла, грање, суво лишће) утичу на зрачење преко својих особина рефлексије и трансмисије. Оптичке особине лишћа су функција њихове структуре, садржаја воде и концентрације биохемикалија (Asner, 1998). Проблем при моделирању карактеристика вегетације из података даљинске детекције представља чињеница да је интеракција зрачења са вегетацијом у вертикалном простору изразито нелинеарна.

Студија коју је спровео Asner (1998), баца светло на квантификацију релативног доприноса оптичких особина лишћа, грања, сувог лишћа и структуралних особина вегетационог покривача рефлективним особинама вегетације. Модел трансфера зрачења који је примењен, базиран је на опште прихваћеном ( нпр. Asner, 1998; Jackson et al.,1991; Verstraete, 1994) моделу зависности вредности рефлексије на врху вегетационог покривача од параметара LAI, NPVAI (индекс површине нефотосинтетичке вегетације), LAD (распоред углова зеленог лишћа), NPVAD (распоред углова нефотосинтетичке вегетације), особина рефлексије ( $\rho$ ) и трансмисије ( $\tau$ ) лишћа (*leaf*), нефотосинтетичке вегетације (*npv*) и земљишта (*soil*) ( $\rho_{leaf(\lambda)}$ ,  $\tau_{leaf(\lambda)}$ ,  $\rho_{npv(\lambda)}$ ,  $\tau_{npv(\lambda)}$ ,  $\rho_{soil(\lambda)}$ ), азимута и зенитног одстојања Сунца (*sun*) и сензора (*view*) ( $\varphi_{sun}$ ,  $\theta_{sun}$ ,  $\varphi_{view}$ ,  $\theta_{view}$ ):

$$R(\lambda) = f(GEOMETRIJA, STRUKTURA, TKIVA, ZEMLJIŠTE) \quad 5-1$$

где су

*GEOMETRIJA* – ( $\varphi_{sun}$ ,  $\theta_{sun}$ ,  $\varphi_{view}$ ,  $\theta_{view}$ ),

*STRUKTURA* – (LAI, NPVAI, LAD, NPVAD),

$$TKIVA - (\rho_{leaf}(\lambda), \tau_{leaf}(\lambda), \rho_{npv}(\lambda), \tau_{npv}(\lambda)),$$

ZEMLJIŠTE- спектралне особине земљишта као позадине.

Прегледом табеле где су сумаризовани подаци анализе биохемијског састава разних врста дрвенастих биљака и трава, преузете из Asner (1998), може се добити слика о варијацијама у биохемијским особинама лишћа (Табела 5-1). Код дрвенастих биљака лигнин варира од 8.9% до 51.4% док целулоза варира од 24.8% до 60.7%. Код трава, количине лигнина и целулозе биле су мање променљиве него код дрвенастих биљака и кретале су се у границама 15-28.7%, односно 56.3-63.8% респективно. Концентрација лигнина код трава је значајно нижа него код дрвенастих биљака, док је супротан случај са концентрацијом целулозе. Такође, могу се приметити значајне разлике у вредностима угљеника, азота и воде у биљкама.

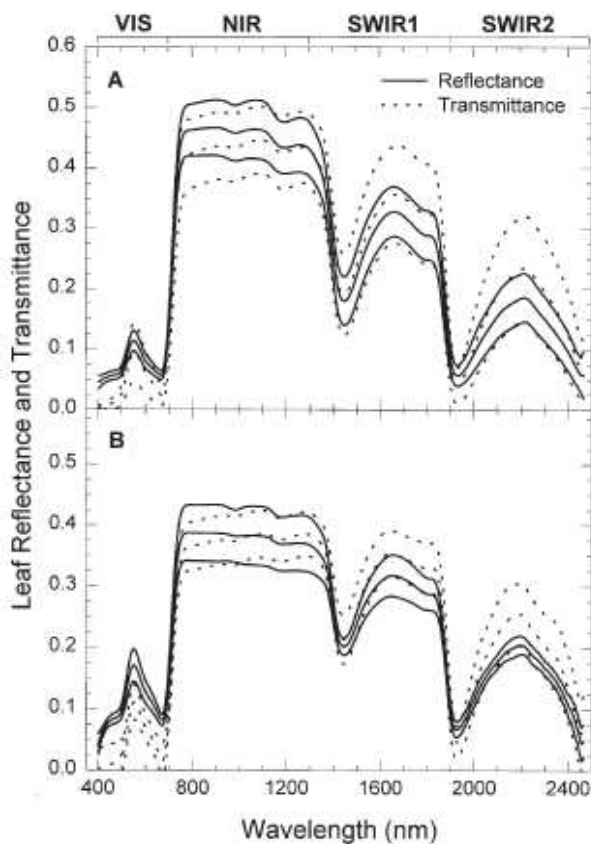
Табела 5-1. Садржај угљеника, азота и воде и њихових једињења у листовима (преузето из Asner, 1998)

	Средина % ( $\pm 1$ с.д.)	Мин. %	Макс. %
<b>Дрвенасте биљке</b>			
лигнин	25.3 (9.9)	8.9	51.4
целулоза	39.4 (8.0)	24.5	60.7
шећери, скроб, растворљиви полифеноли	27.1 (7.9)	9.6	50.0
Масти, восак, нерастворљиви феноли	8.2 (3.1)	2.8	17.0
Укупни угљеник (% суве материје)	48.1 (4.3)	37.8	52.7
Укупни азот (% суве материје)	1.7 (1.3)	0.9	5.2
Укупна вода (% свежје материје)	49.2 (6.2)	37.2	63.1
<b>Траве</b>			
лигнин	18.7 (3.4)	15.0	28.7
целулоза	60.6 (1.9)	56.3	63.8
шећери, скроб, растворљиви полифеноли	14.8 (3.1)	6.1	18.5
Масти, восак, нерастворљиви феноли	6.0 (1.6)	2.5	8.3
Укупни угљеник (% суве материје)	39.3 (2.1)	37.1	43.4
Укупни азот (% суве материје)	1.2 (0.4)	0.7	1.9
Укупна вода (% свежје материје)	58.7 (3.6)	51.9	66.0

Лишће дрвенастих биљака има ниже вредности рефлексije од лишћа трава на VIS<sup>34</sup>, али више вредности на NIR. Са друге стране, нема значајне разлике у

<sup>34</sup> Visible spectral channels (eng.)

рефлексији између ових типова вегетације на SWIR. Значајне разлике у трансмисији не постоје ни на једном делу спектра (Слика 5-1)



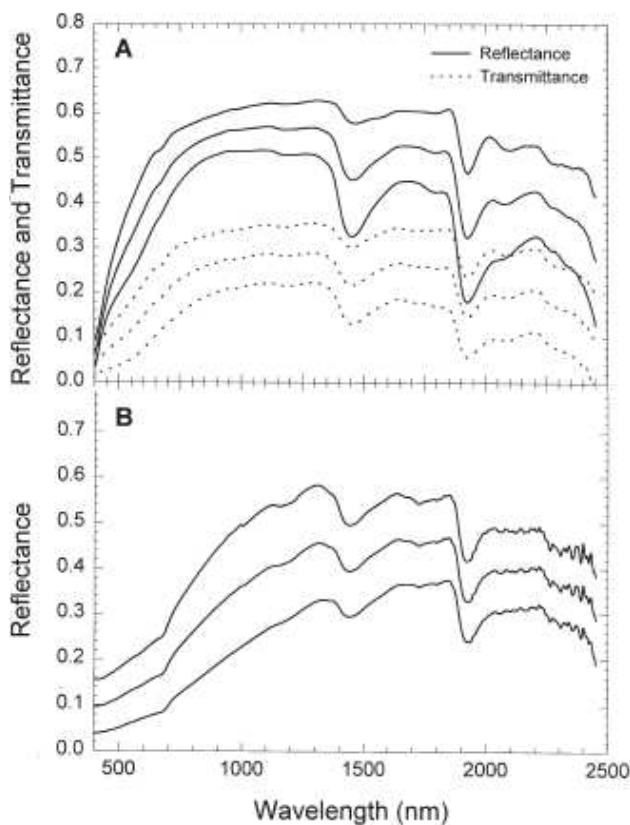
Слика 5-1. Средња рефлексија лишћа ( $\pm 1\sigma$ ) (пуне линије) и трансмисија (испрекидане линије) за: А) дрвенасте биљке, В) зељасте биљке. (преузето из Asner, 1998)

Што се тиче варијабилности рефлексије код дрвенстих биљака, она је најнижа у VIS, а највиша на SWIR2, док је трансмисија најнижа на NIR, а највиша на SWIR2. Код трава, најниже варијације рефлексије се дешавају у VIS, а највише у NIR (Слика 5-1/В). Варијације трансмисије код трава показују исти тренд као и код дрвенстих биљака. Релативно мала варијација оптичких особина на VIS таласним дужинама објашњава се биохемијским карактеристикама које су последица присуства биолошки активних пигмената. Снажна апсорпција зрачења на тим таласним дужинама резултат је активности хлорофила док се значајно повећање рефлексије и трансмисије у NIR објашњава растурањем фотона на додиру ваздуха и ћелије у оквиру сунђерастог мезофила лишћа. Две локалне неправилности које су јаче уочљиве на NIR платоу код дрвенстих биљака (око

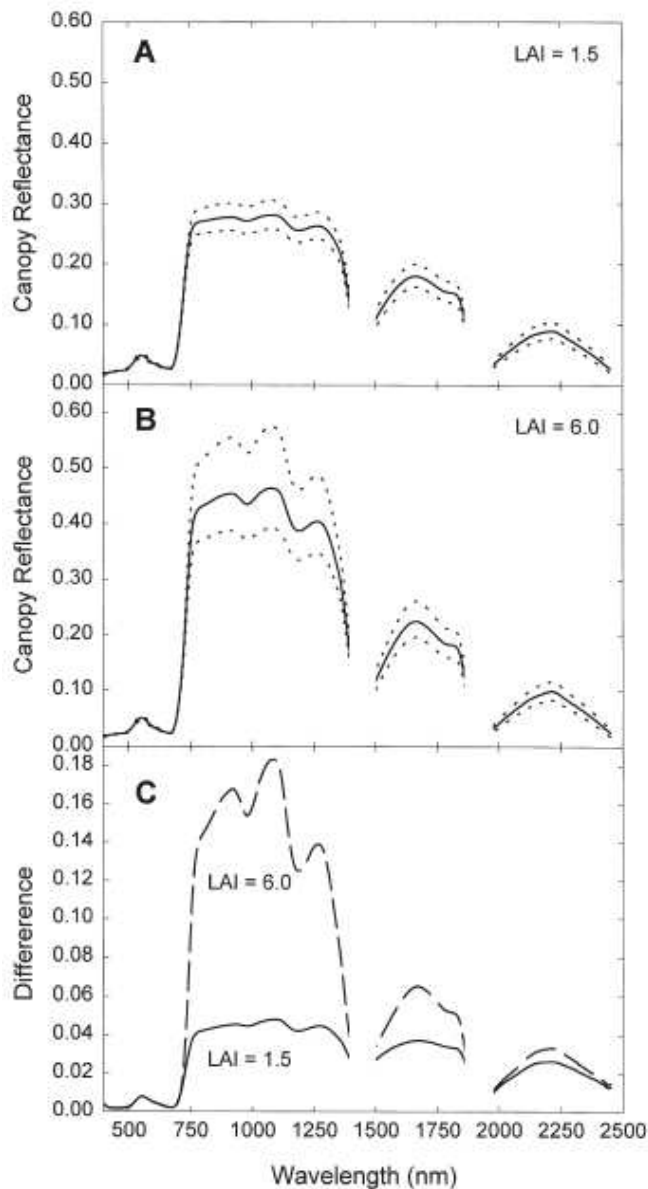


1000 nm и 1200 nm) последица су израженије водене апсорпције. У SWIR1 и SWIR2 деловима спектра постоји снажна водена апсорпција зрачења која потискује биохемијске појаве везане за лигнин и остала угљеникова једињења.

У укупној рефлексiji вегетационог покривача значајан удео има нефотосинтетичка вегетација. Оптичке особине сувог лишћа и грања су променљивије од оптичких особина лишћа (Слика 5-2). Велике разлике у оптичким особинама сувог лишћа су углавном последица разлика у количини преостале воде као и у разликама у концентрацији угљеника које зависе од биљне врсте. Код грања, ове варијације долазе од разлика у влажности и угљениковим једињењима спољашње коре. Генерално, нефотосинтетичка вегетација показује мање водене апсорпције него зелено лишће што омогућава појавама које су везане за лигнин и остале органске комплексе да се истакну у рефлексiji.



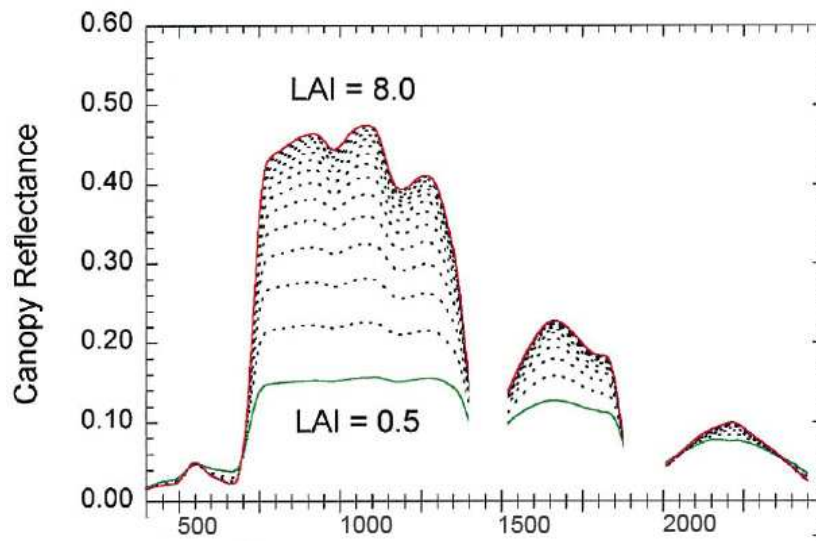
Слика 5-2. А) Средина ( $\pm 1\sigma$ ) сувог лишћа (пуне линије) и трансмисија (испрекидане линије); В) средина ( $\pm 1\sigma$ ) рефлексije грања дрвенстих биљака. (преузето из Asner, 1998)



Слика 5-3. Рефлексија вегетације у зависности од LAI (средњи угао лишћа је 45°):  
 А) LAI=1.5; В) LAI=6; С) разлика између највише и најниже рефлексије за оба случаја. (преузето из Asner, 1998)

Утицај варијације оптичких особина лишћа (из претходних примера) на укупну рефлексију вегетације (на нивоу вегетационог покривача) приказан је на слици 5-3. Варијације рефлексије вегетације су приказане за LAI=1.5, што је типичан случај за травнату вегетацију и LAI=6.0, што је карактеристично за шумовиту вегетацију. У првом случају, за ниску вредност LAI, варијације оптичких особина лишћа играју релативно малу улогу у стварању варијације рефлексије вегетације која се креће око 0.01-0.02 у VIS и око 0.04 у NIR. У случају

вегетације са високом вредношћу LAI, ефекти варијабилности оптичких особина лишћа су дошли више до изражаја, међутим само у NIR где се крећу од 0.13-0.18.

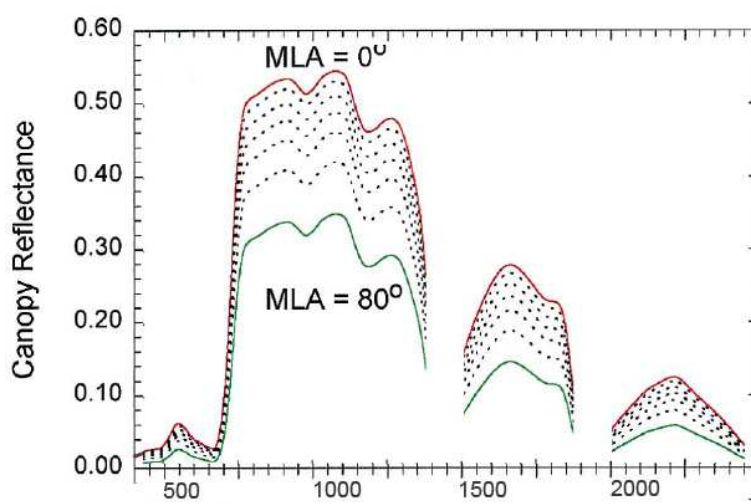


Слика 5-4. Зависност рефлексације вегетационог покривача од LAI при средњем углу лишћа MLA=5.0 (преузето из Asner, 1998)

На нивоу вегетационог покривача, рефлексација зависи и од других фактора као што су структура вегетације (коју описују LAI и архитектура вегетације) и спектралне особине земљане позадине (Jackson and Pinter, 1986; Darvishzadeh et al, 2008a). Ако се посматра график зависности рефлексације вегетације од LAI (као параметра структуре) (Слика 5-4) примећује се да је ова зависност изузетно изражена у NIR и знатно мање у SWIR, док у VIS нема готово никаквог ефекта промене LAI на рефлексацију. Могу се такође приметити два места на NIR платоу (око 1000 nm и 1200 nm) где израженија водена апсорпција узрокује смањење рефлексације. Ова појава је израженија код већих вредности LAI где постоји већа биомаса, па тиме и више фолијарне воде. Другим речима, варијације оптичких особина у VIS су мале и код лишћа и на нивоу вегетације тако да у овом делу спектра структура на утиче много на рефлексацију вегетације. У NIR, оптичке особине лишћа долазе до изражаја код високих LAI, али се тај утицај на оптичке особине вегетације смањује брзо са опадањем LAI. Може се закључити да су оптичке особине лишћа, па тако и биохемијски састав лисних ткива, слабије представљене на нивоу вегетације, сем ако није реч о високим вредностима LAI

што се објашњава вишеструким расипањем зрачења код вегетација са густим лишћем (Asner, 1998).

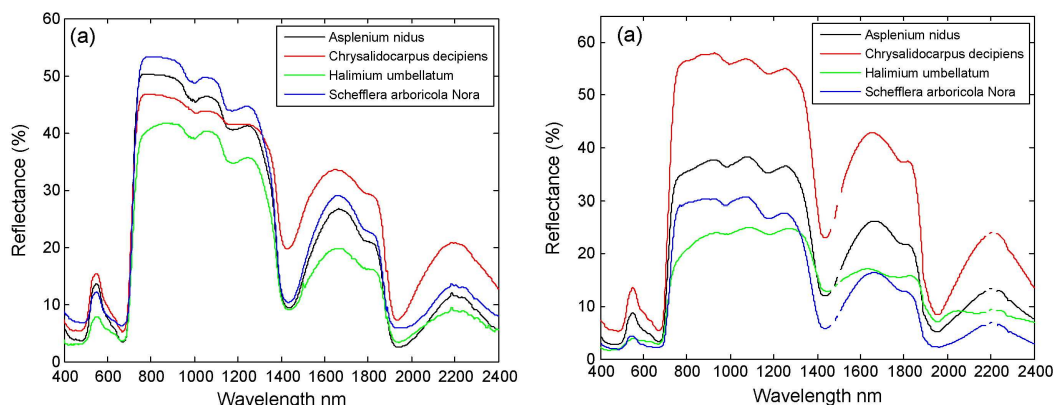
Следећи параметар структуре вегетационог покривача који утиче на њене оптичке особине је оријентација лишћа. Она се може описати средњим углом лишћа<sup>35</sup> (MLA) који представља средњи угао лишћа према хоризонту. На слици 5-5 види се зависност рефлексије вегетације од угла MLA и таласних дужина. Ове вредности су симулиране при средњој вредности LAI од 5.0. График показује повећање рефлексије вегетације са смањењем MLA. Ове варијације су ипак мањег интензитета него оне у случају промене LAI, а утицаји водене апсорпције на око 1000 nm и 1200 nm се не мењају са променом MLA. Другим речима, што је лишће више оријентисано хоризонтално, утицај оптичких особина лишћа на оптичке особине вегетације је већи. Одступање од хоризонталне оријентације смањује изражај оптичких особина лишћа на нивоу вегетације јер једноструко и вишеструко расипање зрачења омогућује фотонима да путују дубље у вегетацију водећи ка слабљењу сигнала. Ово се дешава јер фотони интерагују са нефотосинтетичком вегетацијом и земљиштем уносећи у сигнал другачије биохемијске (које потичу од грања и сувог лишћа) и геохемијске (које потичу од земљишта) информације.



Слика 5-5. Ефекат смањења средњег угла лишћа (MLA) на рефлексију вегетационог покривача, симулирано са LAI=5.0 и оптичким особинама лишћа из слике 5-1 (преузето из Asner, 1998)

<sup>35</sup> Mean leaf angle (eng.)

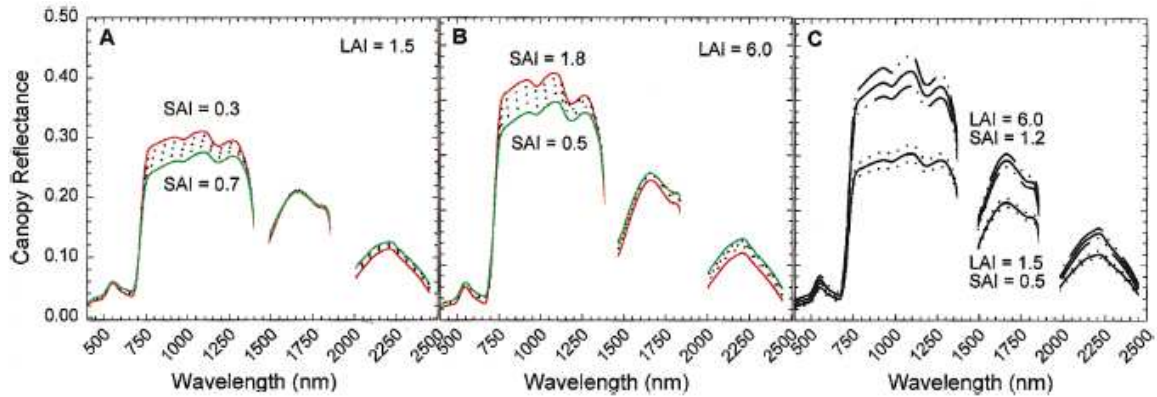
Утицај архитектуре вегетације показали су и Darvishzadeh et al. (2008a) у експерименту са реалним мерењима. Из слике 5-6 може се видети да рефлексија лишћа само делимично учествује у рефлексији вегетационог покривача и да су варијације у рефлексијама различитих вегетационих врста знатно више изражене на нивоу вегетационог покривача него на нивоу лишћа.



Слика 5-6. Разлике у рефлексији четири вегетационе врсте на нивоу лишћа (лево) и на нивоу вегетационог покривача при истим LAI и земљаном позадином (десно) (преузето из Darvishzadeh et al., 2008a)

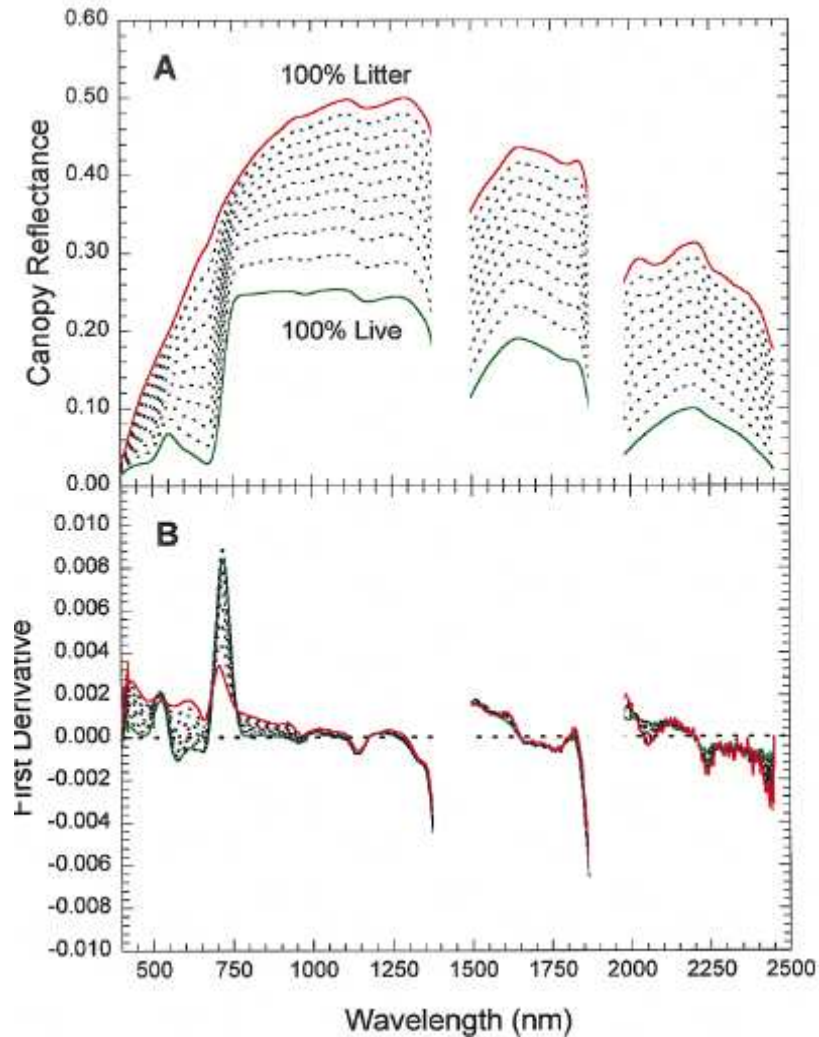
Допринос грања рефлексији вегетације је значајан како у случају ниских, тако и код високих вредности LAI, са највећим варијацијама од 5-9% у NIR и најмањим 1-2% у VIS. Повећавањем удела дрвеног материјала у вегетацији има следеће ефекте: а) смањује снагу апсорпције зрачења око 650 nm, б) смањује висину и повећава нагиб NIR платоа, в) цео SWIR регион је подигнут и г) разлика између NIR платоа (око 1100 nm и SWIR максимума (1680 nm и 2200 nm) се смањује. Ефекти дрвеног материјала се појачавају у NIR јер фотони продиру и излазе из вегетационог покривача успешније у том спектралном региону, омогућајући тако максималну интеракцију дрвеног материјала у том зрачењу. У SWIR, ефекат дрве и настог материјала је смањен, мада и даље значајан, снажном воденом апсорпцијом зеленог лишћа. Спектрална варијабилност дрвеног материјала знатно мање утиче на рефлексију вегетације од спектралне варијабилности лишћа (Слика 5-7). Тако при ниским вредностима LAI промене оптичких карактеристика грања су произвела максималне варијације рефлексије вегетације од 3-4% у NIR, док је варијација оптичких карактеристика лишћа мењала рефлексију вегетације од 4-5%. Код високих вредности LAI варијације рефлексије вегетације су 5-6% у случају промена спектралних особина дрвеног

материјала, односно 14-18% када се мењају оптичке особине лишћа. Ове се вредности требају узимати са претпоставком да је лишће и грање равномерно распоређено.



Слика 5-7. Утицај грања на рефлексију вегетационог покривача (SAI-„steam area index“ је индекс који описује количину грања): А) у случају ниских вредности LAI, В) високих вредности LAI. С) Варијација рефлексије вегетационог покривача услед варијације рефлексије грања (за податке из слике 2) (преузето из Asner, 1998)

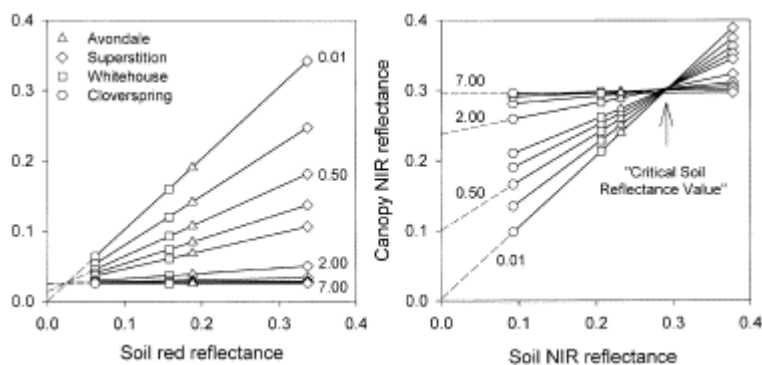
Суво лишће има много већи утицај на рефлексију травнате вегетације него дрвенасти материјал на шумску вегетацију. Са повећањем релативног удела сувог лишћа, рефлексија вегетације се значајно повећава (Слика 5-8). Промене су највеће у NIR (16-26%) и SWIR1 (24-26%). Међутим, можда је најзначајнији ефекат осетљивост VIS региона на повећање сувог лишћа у вегетацији, нарочито у опсегу 550-700 nm. Овај регион је умерено осетљив на промене у LAI и угла лишћа у односу на хоризонт (код високих вредности LAI) и зато су подаци рефлексије у VIS региону значајани за процену концентрације сувог лишћа. Оптички варијабилитет субог лишћа значајно утиче на рефлексију вегетације када је проценат сувог лишћа висок. У случају потпуне зрелости лишћа, варијација рефлексије вегетације може бити и до 9% у SWIR1, али релативно мала (2-4%) када је проценат сувог лишћа 50%.



Слика 5-8. А) Зависност рефлексије вегетационог покривача од промене удела сувог лишћа од 0% до 100% код травнате вегетације; В) Одговарајуће вредности првог извода. (преузето из Asner, 1998)

Рефлексија вегетационог покривача такође зависи и од особина земљишта као позадине. Gao et al., 2000 су показали да је ова веза линеарна (Слика 5-9). Код видљивог зрачења, рефлексија вегетационог покривача опада са повећањем количине вегетације (квантитативно изражене преко LAI). У блиском инфрацрвеном каналу промена рефлексије вегетационог покривача зависи од оптичких особина земљишта које се налази испод. Светлија земљишта ( $>0.30$ ) утичу да рефлексија вегетационог покривача опада са повећањем количине вегетације, док тамнија земљишта ( $<0.30$ ) повећавају рефлексију вегетационог покривача са повећањем количине вегетације. „Критична тачка вредности рефлексије земљишта“ од 0.3 је утврђена емпиријски. У свим случајевима

повећање рефлексије земљишта повећава рефлексију вегетационог покривача, сем у случају веома високих LAI када земљиште уопште не утиче на сигнал вегетације.



Слика 5-9. Веза између рефлексије вегетације и голог земљишта у позадини у црвеном (лево) и блиском инфрацрвеном каналу (десно) за различите вредности LAI за житарице и траве (преузето из Gao et al., 2000)

Неколико студија је показало да LAI код листопадних и четинарских шума има готово константу вредности у току вегетационог периода Јул-Август (Soudani et al., 2006).

### 5.1.3 Вегетациони индекси

Количина зрачења рефлектована од неке површине је одређена количином и саставом сунчевог зрачења које долази до површине и рефлексионих особина површине. Пошто сунчево зрачење варира у току времена и са променама атмосферских услова, просто мерење зрачења које је рефлектовано од површине није довољно да би се вршила поновљива упоредива картирања карактеристика површине. Овај проблем се решава комбиновањем података из два или више спектралних канала ради формирања вегетационих индекса. Они се могу добијати као односи, разлике, односи разлика и збирова и формирањем линеарних комбинација података спектралних канала. Вегетациони индекси (VI) служе да се појача вегетациони сигнал истовремено минимизујући соларно зрачење и ефекте позадине (Jackson and Huete, 1991).

Kandwal et al. (2009) су дали следећу категоризацију вегетационих индекса:

- вег. инд. базирани на нагибу;



- вег. инд. базирани на растојању, и;
- оптимизовани вег. инд.

### 5.1.3.1 Вегетациони индекси базирани на нагибу

Они представљају просту аритметичку комбинацију која се заснива на контрасту између спектралног одговора у црвеном и блиско-инфрацрвеном делу спектра.

Основни вегетациони индекс<sup>36</sup> (RVI) који представља однос блиско-инфрацрвеног (NIR) и црвеног (red) канала је први који је дефинисан за потребе процене LAI код шумске вегетације (Tucker, 1979) и један од најчешће коришћених.

$$RVI = \frac{NIR}{RED} \quad 5-2$$

Густа зелена вегетација рефлектује малу количину црвеног зрачења, тако да вредност RVI расте драматично када се red приближава нули. Када се црвени канал мери са довољном тачношћу, RVI индекс је доста осетљив на вегетационе промене током врха сезоне раста. Овај индекс, пак, није осетљив када је вегетациони покривач проређен (Jackson and Huete, 1991).

Вегетациони индекс нормализоване разлике<sup>37</sup> (NDVI) настао је да би побољшао ниску осетљивост RVI индекса на ретку вегетацију (Deering, 1978). Овај индекс представља однос разлике NIR и RED канала и њихове суме:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad 5-3$$

NDVI је знатно сензитивнији од RVI када је у питању густина ретке вегетације, али је мање остелјив у случају вегетације велике густине (Jackson and Huete, 1991).

<sup>36</sup> Simple ratio vegetation index (eng.)

<sup>37</sup> Normalized Difference Vegetation Index (eng.)

Goetz (1997) је показао да разлике између калибрисаних, атмосферски коригованих осредњених NDVI вредности из различитих сензора (са разликама у спектралним каналима и просторној резолуцији) нису статистички значајне, упркос различитим радиометријским карактеристикама геометрије снимања. Ова чињеница омогућава несметано континуирано праћење NDVI вредности током времена јер уклања евентуална ограничења у смислу избора сензора.

### 5.1.3.2 „Линија земљишта“<sup>38</sup>

Концепт линије земљишта је кључни концепт за схватање функционалности вегетационих индекса (Gilabert et al., 2002). У NIR-RED спектралном простору, пиксели који не садрже вегетацију групишу се дуж дијагоналне линије која је литератури позната под називом „линија земљишта“. Анализа овог кластера показује је да релативна позиција пиксела изражава њихов садржај и стање површине. Тамни пиксели близу координатног почетка имају ниске радиометријске вредности у оба канала због високог органског садржаја и великог процента влаге или специфичног минералног састава. Супротно томе, суво земљиште са малим процентом органског садржаја знатно више рефлектује NIR и RED зрачење па је лоцирано на другом крају издуженог кластера.

Неки вегетациони индекси користе „линију земљишта“ као референтну линију за рачунање својих вредности. Ово је, међутим, проблем када је потребно упоређивати вредности индекса из података даљинске детекције који потичу са различитих сензора и датума јер су подаци оптерећени ефектима осветљености, атмосферским условима и карактеристикама сензора (Caloz et al., 1988). Такође, проблем може представљати чињеница да због зависности параметара линије земљишта од типа земљишта, не може се утврдити "глобална" линија земљишта (Baret et al., 1993).

---

<sup>38</sup> Soil line (eng.)

### 5.1.3.3 Вегетациони индекси базирани на растојању

Ова група вегетационих индекса мери степен вегетације која је присутна одређивањем разлике рефлексије пискела од рефлексије голог земљишта. Вегетациони индекси базирани на растојању захтевају познавање параметара линеарне функције ( $Y = bX + a$ ): нагиба и пресека са у-осом (а и b). Вредности се одређују коришћењем NIR и RED канала из следећих једначина:

$$a = Y - bX \quad 5-4$$

$$b = \frac{\{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)\}}{\{n(\sum X^2) - (\sum X)^2\}} \quad 5-5$$

где су

$n$  - број редова  $\times$  број колона,

$X$  - независна променљива (NIR или RED),

$Y$  - зависна променљива (NIR или RED).

Perpendicular Vegetation Index (PVI) је дводимензионалан индекс који представља управну раздаљину од „линије земљишта“ вегетационе тачке од интереса у дводимензионалном NIR-RED простору (Richardson and Wiegand, 1977).

$$PVI = \{ \sin(a) \times NIR_{veg} \} - \{ \cos(a) \times RED_{veg} \} \quad 5-6$$

или

$$PVI = \frac{NIR_{veg} - a \cdot RED_{veg} - b}{\sqrt{1 + a^2}} \quad 5-7$$

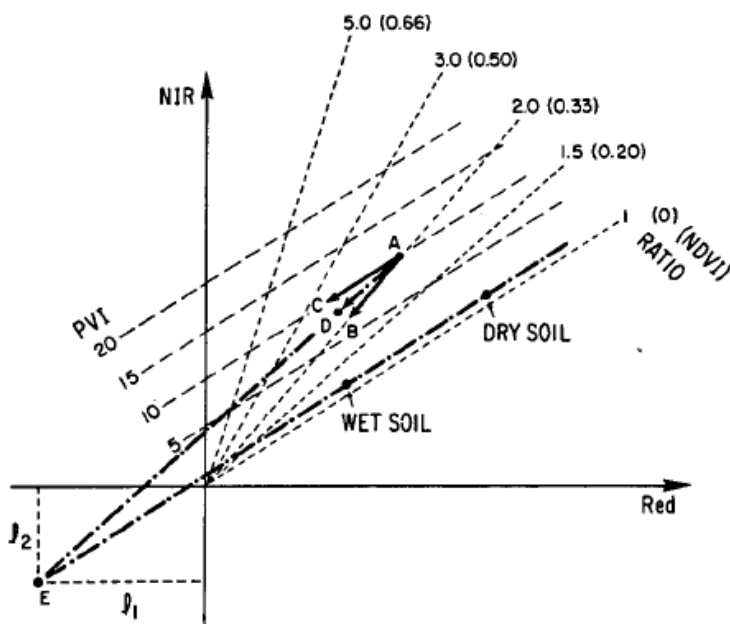
Овом индексу одговара *Greenness* компонента TC (Tasseled Cap) трансформације која као ортогонална равна на „линију земљишта“ садржи све информације о вегетацији.

Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) (Huete, 1988) развијен је са циљем да минимизује ефекат земљане позадине на ВИ:

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} (1 + L) \quad 5-8$$

где је  $L$ , фактор подешавања за земљиште и зависи од количине вегетације.

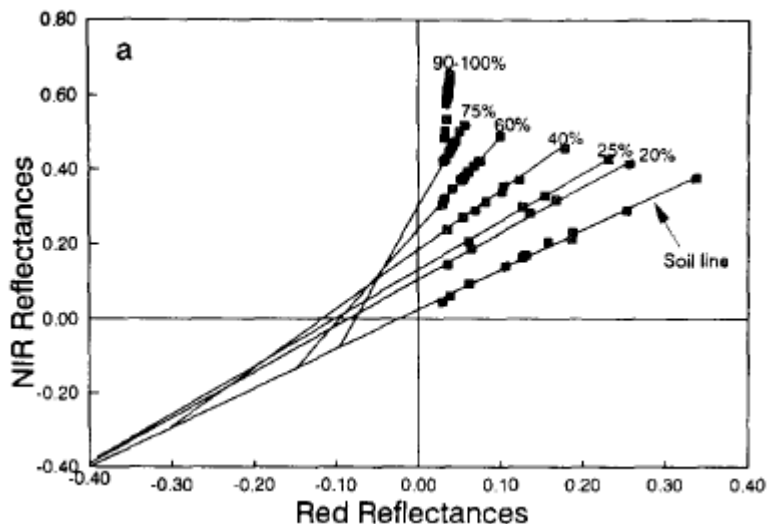
У случају када земљана позадина постаје влажнија спектрални одговор пиксела А се не креће дуж изолинија NDVI или PVI, дакле према тачкама С, тј. В (Слика 5-10). Како земљиште тамни због влажења, пиксел се помера ка тачки D, тако да је вредност PVI пиксела са влажним земљиштем нижа него пиксела са сувим земљиштем, при истој количини вегетације. У случају NDVI, дечава се обрнут случај, вредност индекса је већа када је земљиште тамније (Jackson and Huete, 1991). Huete (1988) је показао да ако се продужи линија А- D до пресека са „линијом земљишта“ и на вредности NIR и RED додају растојања  $l_1$  и  $l_2$  респективно, добијени индекс био би само минимално под утицајем земљане позадине. Упрошћена варијанта узима да је  $l_1=l_2$  и  $L=l_1+l_2=2l$ , а мултипликативни фактор  $(1+L)$  се уводи да би се опсег вредности индекса задржао у границама (0,1).



Слика 5-10. Положај линије земљишта и различитих NDVI и PVI изо-линија у RED-NIR спектралном простору (преузето из Jackson and Huete, 1991)

Јасно је да је за квалитетну оцену фактора  $L$  потребно *a priori* познавање количине вегетације. Такође, истраживања су показала да вегетационе изо-линије немају заједничку конвергенту тачку (Слика 5-11). Стога би оптимални  $L$  требало

да прати количину присутне вегетације и да се смањује са повећањем процента вегетације и обрнуто, повећава са њеним смањивањем (Qi et al., 1994).



Слика 5-11. Вегетационе изоленије (преузето из Qi et al., 1994)

Qi et al. (1994) представили су Модификовани SAVI индекс<sup>39</sup> (MSAVI) који решава проблем фактора  $L$ . Постоје две варијанте овог индекса које дају сличне резултате, стога ће овде бити представљена једноставнија:

$$MSAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} (1 + L) \quad 5-9$$

$$L = 1 - 2\gamma NDVI \times W DVI \quad 5-10$$

где су:

$\gamma$  - нагиб „линије земљишта“,

$W DVI = NIR - \gamma RED$  - тежински диференцијални вегетациони индекс.

Израз за  $L$  добијен је емпиријски, из чињенице да  $NDVI$  и  $W DVI$  варирају са светлином земљишта, али на супротан начин. На тај начин се значајно смањује утицај светлине земљишта на фактор  $L$ . Фактор 2 служи да се повећа динамички опсег фактора  $L$ .

<sup>39</sup> Modified SAVI (eng.)

Побољшани вегетациони индекс<sup>40</sup> (EVI) је, слично као и NDVI, добро корелисан са LAI, количином биомасе, вегетационим покривачем и fAPAR и стога је користан за мониторинг сезонских, међу-годишњих и дуготрајних промена вегетационе структуре. EVI садржи корекције за дисторзије због аеросоли коришћењем плавог канала, подешавање за утицај земљишта.

$$EVI = 2.5 \cdot \frac{(NIR - RED)}{(L + NIR + C_1 \cdot RED - C_2 \cdot BLUE)} \quad 5-11$$

где је L подешавање земљане позадине које је намењено нелинеарном, диференцијалном NIR и RED трансферу зрачења кроз вегетацију, и  $C_1$  и  $C_2$  су коефицијенти услова отпора аеросоли, који користи плави канал да би извршио поправку за утицај аеросоли у црвеном каналу.

SWIR/NIR индекс се показао веома ефектан за картирање оштећења (нпр. дефолијације) код четинарских шума при чему високе вредности овог индекса указују на високи ниво оштећења шумске масе (Vogelmann and Rock, 1988; Vogelmann, 1990)

#### **5.1.4 Оцена биофизичких параметара вегетације коришћењем вегетационих индекса**

Биофизичко објашњење везе између VI и посматраних вегетационих феномена је још тема многих дискусија (Sellers, 1985). Избор одговарајућег VI је у општем случају одређен његовом осетљивошћу на карактеристику од интереса, и/или осетљивошћу на ометајуће факторе (Gao et al., 2000). Основни принцип за конструисање и коришћење вегетационих индекса је да они треба да буду осетљиви на количину и-или густину лишћа и неосетљиви на друге променљиве животне средине као што су земљишна позадина, атмосферске прилике и угао сунчевог зрачења (Gilbert et al., 1996). Проблем је, међутим, што се везе између спектралних и биофизичких атрибута тешко екстраполују на друге локације и у друго време с обзиром да они зависе од геометрије посматрања и зрачења,

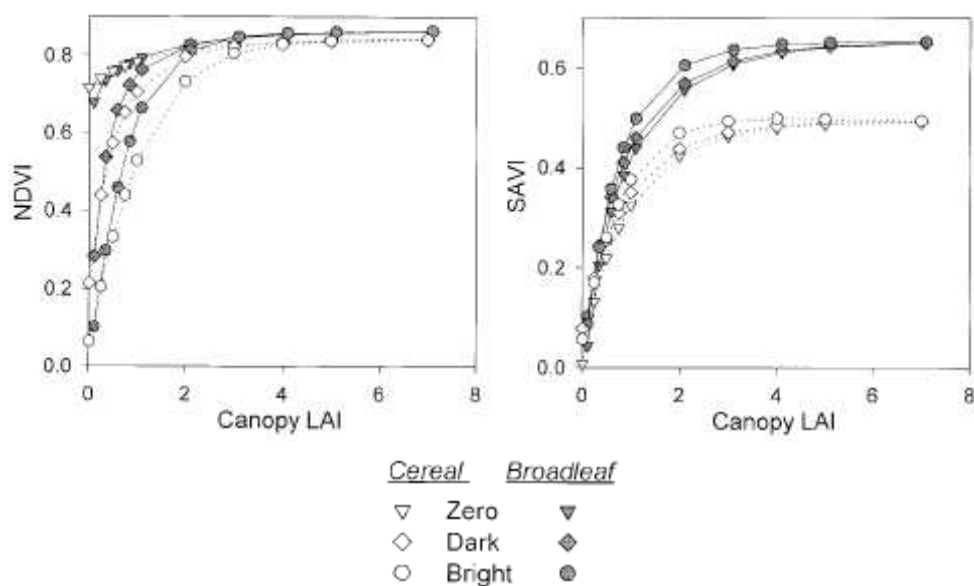
---

<sup>40</sup> Enhanced Vegetation Index (eng.)

морфоложких карактеристика вегетације и позадине и спектралних карактеристика делова биљака (Kanemasu et al., 1990).

Многа истраживања дошла су до закључка да везе између VI и LAI/fAPAR зависе од земљишног покривача и структуре вегетације, да варирају са променом у дистрибуцији углава лишћа, груписања вегетације, оријентацији, растојању и оптичким особинама компоненти вегетације (лишћа, грања, итд.) (Gao et al., 2000). На пример, различите врсте вегетационог покривача имају различите структуре и рефлексивне особине што производи различите вредности VI при истим вредностима LAI или fAPAR. Опсежно истраживање ових зависности спровели су Gao et al. (2000), а овде ће бити дата одређена интерпретација резултата до којих су дошли у контексту теме овог рада.

Зависност LAI од вегетационих индекса NDVI и SAVI за два типа зељасте вегетације (житарице/траве и широколисна вегетација) и три типа земљане позадине (чист вегетациони сигнал без утицаја земљишта, тамно земљиште и светло земљиште) приказан је на слици 5-12.

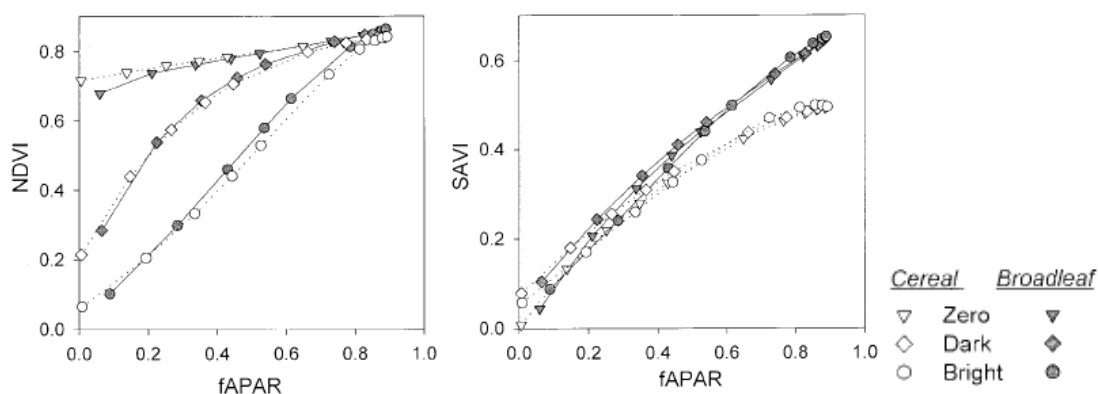


Слика 5-12. Зависност LAI од NDVI (лево) и SAVI (десно) за три типа земљане позадине (преузето из Gao et al., 2000).

У случају везе NDVI-LAI, тамна земљишта генерално дају више вредности NDVI у случају некомплетних вегетационих покривача (ниже вредности LAI). NDVI показује малу осетљивост према типу вегетације, посебно у случају чистог

вегетационог сигнала (без утицаја земљишта) када се приближава засићењу кроз цео дијапазон LAI. Присуство земљане позадине успоставља приближно експоненцијалну везу NDVI-LAI, али зависну од оптичких особина земљане позадине. Ова веза није много осетљива на тип вегетације. У сваком случају, засићење се достиже већ при вредностима LAI од 2-3.

SAVI је веома мало осетљив на варијације у земљаној позадини, али је веома осетљив на тип вегетације (житарице/траве-широколисни усеви). Вредности SAVI су значајно више у случају широколисних усева за LAI>1. SAVI може да послужи као добар предиктор LAI у колико је познат тип зељасте вегетације на коју се примењује функција везе.



Слика 5-13. Зависност fAPAR од NDVI (лево) и SAVI (десно) за три типа земљане позадине (преузето из Gao et al., 2000).

Веза између вегетационих индекса NDVI и SAVI и fAPAR је знатно другачија (Слика 5-13). fAPAR-SAVI веза је готово линеарна за сва три типа земљишне позадине и за оба типа зељасте пољопривредне вегетације (житарице/траве и широколисни усеви). SAVI индекс није осетљив на варијације земљишне позадине, али је при вредностима fAPAR>0.5 осетљив на различите типове вегетације. fAPAR- NDVI веза је претежно линеарна и зависна од типа земљане позадине, али не зависи од типа вегетације. У случају чистог сигнала вегетације (без утицаја земљишта), NDVI је врло мало осетљив на промену fAPAR. SAVI може да служи као добар предиктор fAPAR код зељасте пољопривредне вегетације под условом да се познаје тип вегетације (житарице/траве и широколисни усеви). NDVI такође може да буде добар предиктор fAPAR под условом да се познаје тип земљане позадине.

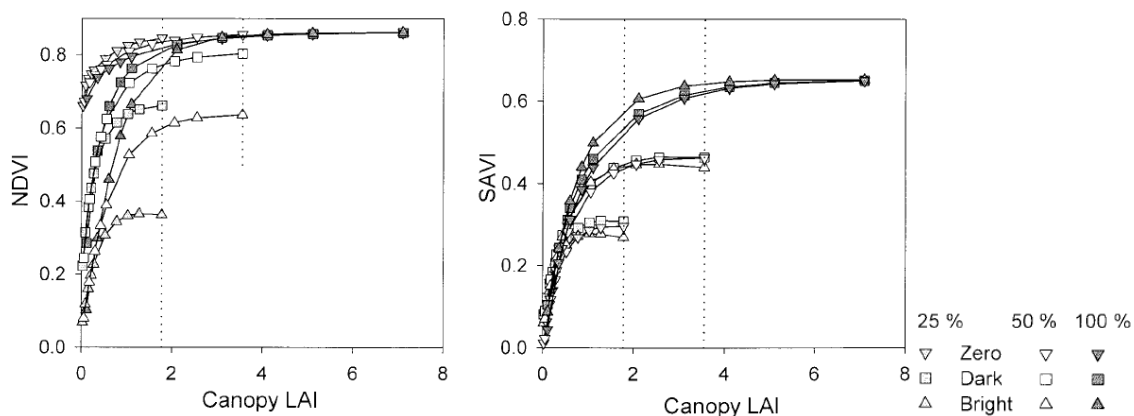


Претходни закључци за широколисне усеве важе само у случају равномерне покривености. Међутим, код овог типа вегетације карактеристично је груписање лишћа што ствара хоризонталну хетерогеност. Хоризонтална хетерогеност која је карактеристична код широколисне зељасте вегетације за разлику од житарица/трава описује се коришћењем два параметра: CLAI (*clump* LAI) и покривености зеленом вегетацијом (Gao et al., 2000). Код хетерогених вегетација може се јављати значајан сигнал који потиче од земљане позадине и високе вредности трансмисије код вегетације заједно са високим вредностима CLAI. Како се вегетација развија од слабе до потпуне покривености, хетерогеност некомплетних вегетационих покривача се смањује док се не достигне потпуна покривеност. VI нису индикатори за LAI вегетационог покривача или апсолутне количине лисне површине, већ просторног распореда лисних површина што значи да LAI вегетационог покривача као параметар има смисла само код равномерно распоређеног вегетационог покривача тј. комплетне покривености. Са слике 5-14 се може закључити да је у случају чистог вегетационог сигнала (без утицаја земљишта) NDVI веома слабо осетљив на проценат зеленог покривача до LAI=2, а преко ове вредности постаје потпуно неосетљив јер настаје засићење. Када постоји утицај земљане позадине, појављује се осетљивост NDVI на проценат вегетационог покривача. Она је знатно виша код светлијих земљишта него код тамних и повећава се са порастом LAI. Са друге стране SAVI је веома осетљив на проценат зеленог покривача, али неосетљив на варијације у осветљености<sup>41</sup> земљане позадине. Исти закључак о засићењу NDVI за средње густу и густу вегетацију (LAI>2) имају и Naboudane et al. (2004), и предлажу да се у овим случајевима користи индекс MSAVI2 (Qi et al., 1994) код кога засићење наступа тек за вредности LAI>6:

$$MSAVI2 = 0.5 \cdot [2 \cdot NIR + 1 - (2 \cdot NIR + 1)^2 - 8 \cdot (NIR - R)]^{1/2} \quad 5-12$$

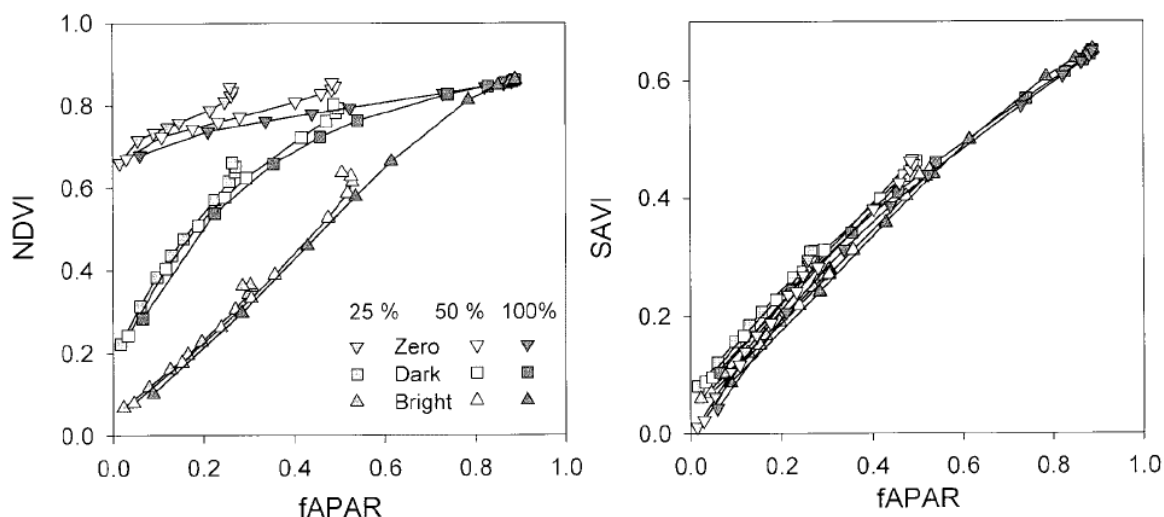
---

<sup>41</sup> Brightness (eng.)



Слика 5-14. Веза између NDVI/SAVI и LAI широколисних усева у зависности од рефлексије земљане позадине (zero, dark, bright) и различитих процена зеленог покривача (25%, 50% и 90%) (преузето из Gao et al., 2000).

Веза између VI и fAPAR код хетерогених широколисних усева није зависна од степена хетерогености (Слика 5-15).

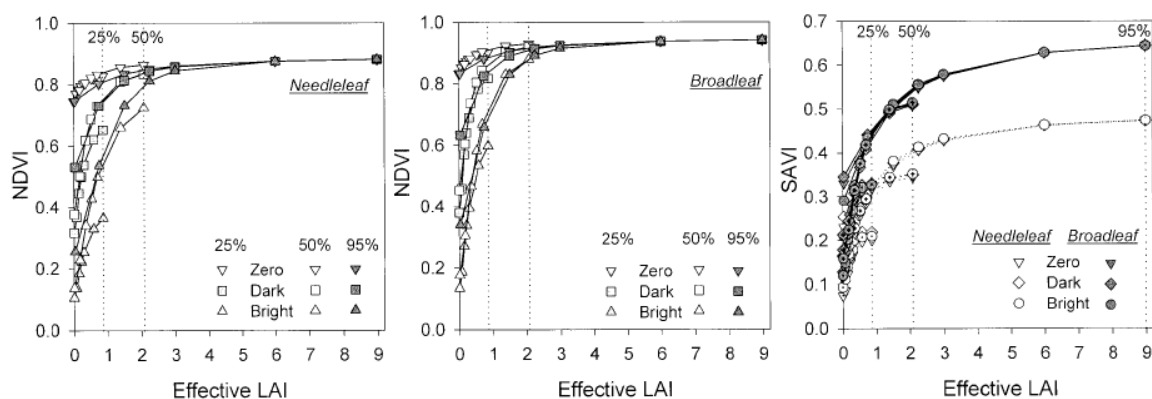


Слика 5-15. Веза између NDVI/SAVI и fAPAR широколисних усева у зависности од рефлексије земљане позадине (zero, dark, bright) и различитих степена покривености крошње (25%, 50% и 90%) (преузето из Gao et al., 2000).

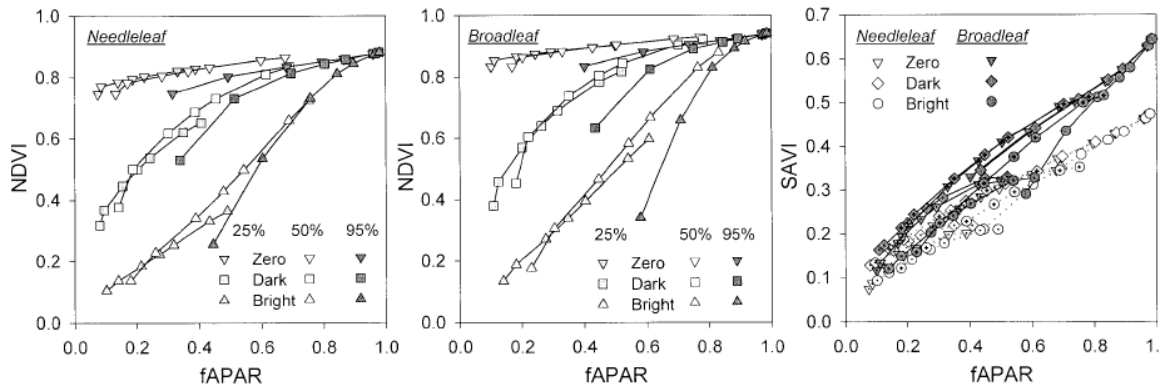
За шумску вегетацију везе између NDVI/SAVI и LAI/ fAPAR које су утврдили Gao et al. (2000), приказане су на сликама 5-16 и 5-17. NDVI је осетљив на промену LAI до вредности LAI=2-3 када наступа zasiћење, али је такође осетљив и на земљану позадину-генерално узима ниже вредности за светлију земљану позадину. У исто време, NDVI није осетљив на степен покривености крошње. Овакве законитости су потпуно идентичне за четинарску и

широколисну шуму, с тим што су вредности NDVI за четинарску шуму нешто ниже. Индекс SAVI није осетљив на земљану позадину, али јесте осетљив на тип и структуру шумске вегетације- вредности SAVI за четинарске и широколисне шуме се значајно разликују (за исте вредности LAI) већ за вредности LAI>0.5. За разлику од NDVI, засићење наступа тек за LAI>7. Из наведеног се може закључити да је SAVI оптималнији индекс од NDVI за одређивање LAI код шумске вегетације, али је за правилно успостављање и интерпретацију функције везе потребно претходно одредити површине под одређеним типовима вегетације (широколисне и четинарске). Сличне резултате добили су у својим експериментима Gilabert et al. (2002).

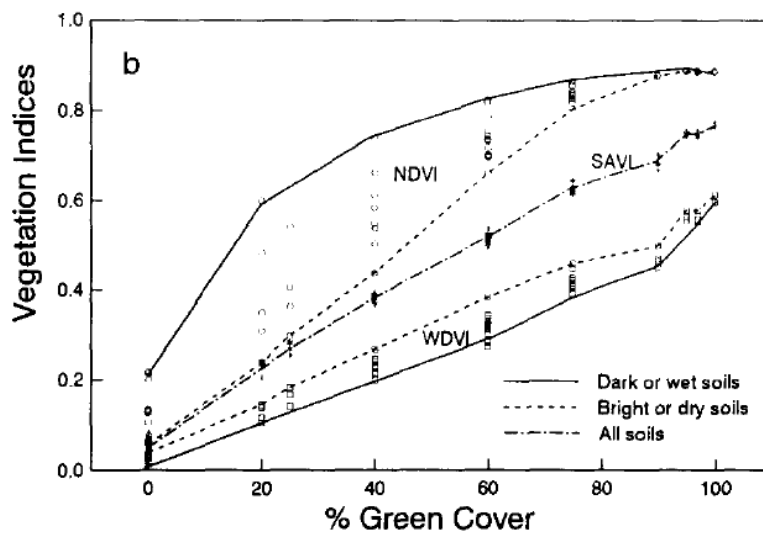
Функције везе између NDVI и fAPAR су готово исте за четинаре и широколисне шуме, с тим што су генерално нешто више вредности код широколисних шума. NDVI је веома осетљив на утицаје земљане позадине и има драстично ниже вредности код светлијих земљишта. NDVI је слабо осетљив на степен покривености крошње расте са порастом покривености, али се може приметити тенденција да се код нижих вредности fAPAR, NDVI опада са порастом покривености крошње. Све поменуте функције везе теже линеарним. SAVI није осетљив на утицаје земљане позадине, али јесте осетљив на тип шумске вегетације (четинари или широколисне шуме) за вредности fAPAR изнад 0.5.



Слика 5-16. Веза између NDVI/SAVI и LAI у зависности од рефлексије земљане позадине (zero, dark, bright) и различитих степена покривености крошње (25%, 50% и 90%) (преузето из Gao et al., 2000).

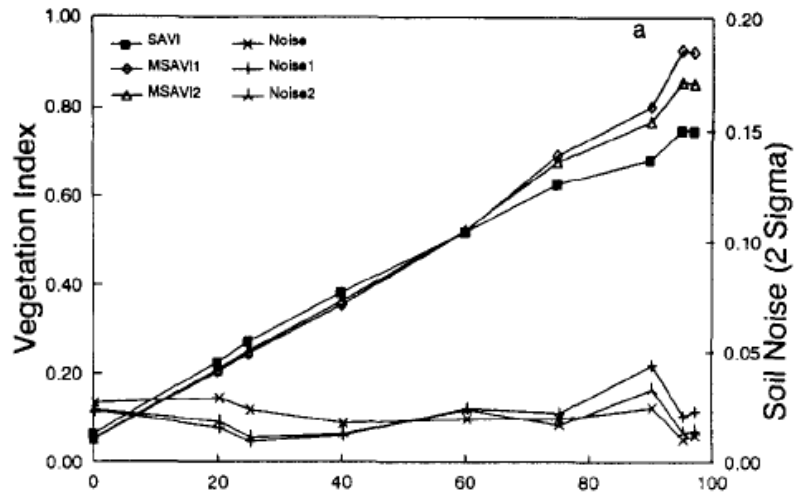


Слика 5-17. Веза између NDVI/SAVI и fAPAR у зависности од рефлексије земљане позадине (zero, dark, bright) и различитих степена покривености крошње (25%, 50% и 90%) (преузето из Gao et al., 2000).



Слика 5-18. Зависност вегетационих индекса од покривености вегетацијом (%) (преузето из Qi et al., 1994)

Слично понашање може се приметити и код везе VI и процента зеленог покривача (Слика 5-18). NDVI је засићен када је зелени покривач изнад 80% покривености и осетљив на светлину земљане позадине. WDWI има нелинеаран, благо конкаван одговор на зелени вегетациони покривач и знатно мање је осетљив на светлину земљане позадине. Веза SAVI-процент зеленог покривача је скоро линеарна и не зависи од земљане позадине (Qi et al., 1994).



Слика 5-19. (преузето из Qi et al., 1994)

Постоји велики број истраживања описаних у литератури које се баве успостављањем практичних функција везе између биофизичких параметара вегетације и VI. Многи аутори препоручују експоненцијалну функцију за предикцију LAI код различитих усева (нпр. Naboudane et al., 2004; Toullos et al., 1998). Са друге стране, Turner et al., (1999) су на експерименту који је укључивао више врста вегетације: 2 врсте травнате вегетације, жбуње, младе и старе четинарске шуме и листопадне шуме, добили боље резултате коефицијента одређености  $R^2$  користећи полином трећег степена него у случају линеарне, логаритамске или везе полинома другог степена. Занимљиво је да су они одредили јединствени модел за све поменуте типове вегетације, при чему су се вредности LAI кретале од 1 до 13, и то за случајеве три вегетациона индекса: NDVI, SR и SAVI, који су добијени са различитим степеном калибрације (Табела 5-2).

Из резултата се види да је у овом експерименту најбољи модел одређивања LAI из везе NDVI- LAI, као и да се значајно боља веза добија са NDVI срачунатим из атмосферски кориговане рефлексије.

У табели 5-3 приказани су параметри функција везе LAI и VI изведених из IRS-1D LISS-III података и коефицијент одређености регресије  $R^2$  које су добили Chaurasia et al. (2006) на 3 експериментална подручја под пшеницом и дуваном.

Табела 5-2. Полиноми трећег степена као веза LAI- VI (DN-сирове вредности; RAD- зрачење на сензору, радиометријска калибрација; TOA- рефлексција на врху атмосфере, и SUR-површинска рефлексција, атмосферска корекција) Извор: Turner et al., (1999).

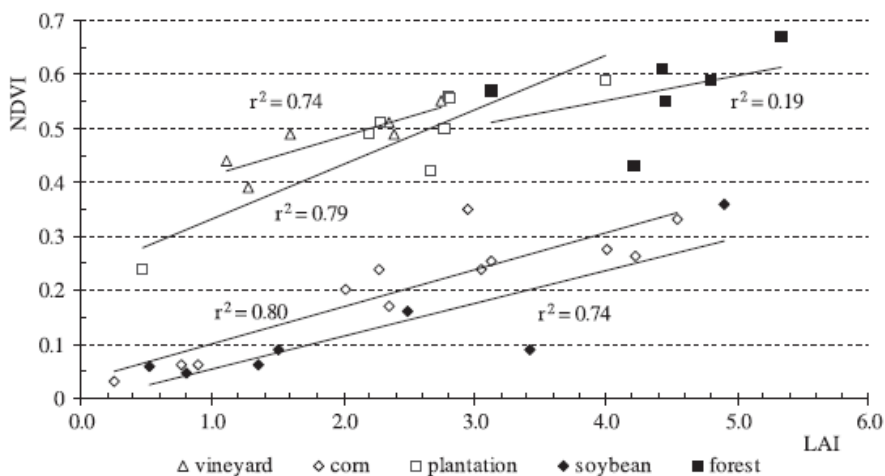
Модел	$R^2$
$NDVI_{DN} = 0.2926 + 0.1528 \cdot LAI - 0.0189 \cdot LAI^2 + 0.0007 \cdot LAI^3$	0.53
$NDVI_{RAD} = 0.3195 + 0.1405 \cdot LAI - 0.0166 \cdot LAI^2 + 0.0006 \cdot LAI^3$	0.51
$NDVI_{TOA} = 0.4939 + 0.1091 \cdot LAI - 0.0130 \cdot LAI^2 + 0.0004 \cdot LAI^3$	0.51
$NDVI_{SUR} = 0.5724 + 0.0989 \cdot LAI - 0.0114 \cdot LAI^2 + 0.0004 \cdot LAI^3$	0.74
$SR_{SUR} = 2.2282 + 2.5376 \cdot LAI - 0.1576 \cdot LAI^2$	0.59
$SAVI_{SUR} = 0.2318 + 0.0703 \cdot LAI - 0.004 \cdot LAI^2$	0.54

Табела 5-3: Параметри функција везе између LAI и VI према истраживањима Chaurasia et al. (2006)

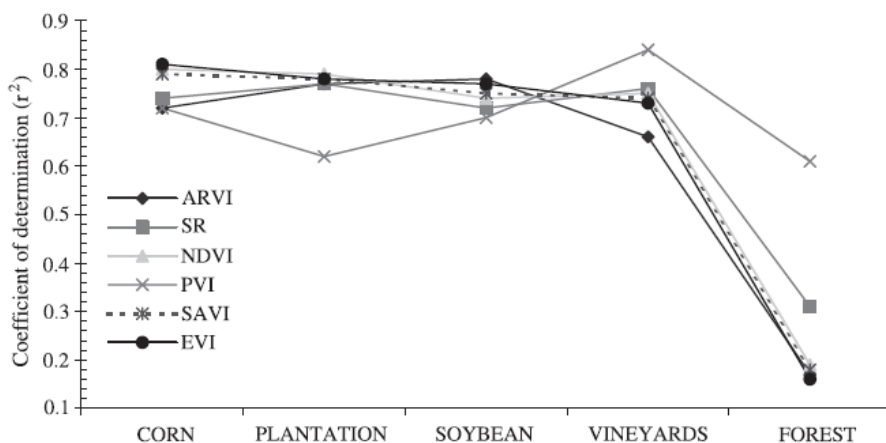
Датум и тип вег.	VI	Бр. поља	Експоненцијална функција $LAI = A \times \exp(B \times VI)$			Степена функција $LAI = A \times (VI)^B$		
			A	B	$R^2$	A	B	$R^2$
1	SR	11	0.002	2.099	0.57	0.002	5.927	0.60
пшеница	NDVI		0.001	15.197	0.61	137.97	6.843	0.62
	SAVI		0.003	18.634	0.56	592.74	5.429	0.58
2	SR	35	1.395	0.098	0.05	1.012	0.508	0.05
пшеница	NDVI		0.813	1.566	0.04	3.523	1.034	0.04
дуван	SAVI		0.718	2.463	0.11	5.521	1.163	0.10
3	SR	24	0.275	0.362	0.57	0.108	1.734	0.58
пшеница	NDVI		0.037	5.838	0.56	8.139	3.652	0.56
	SAVI		0.063	6.975	0.58	18.36	3.134	0.58

Велике разлике у функцијама везе у зависности од типа вегетације показала су и истраживања која су спровели Colombo et al. (2003) (Слика 5-20). Линеарни модел добро описује ове везе у случајевима пољопривредне вегетације (виноград, кукуруз, воћњак, соја) са коефицијентом одређености у опсегу 0.7-0.8, међутим слаба осетљивост NDVI на промене LAI у случају веома густе вегетације представља препреку за успостављање везе у случају локално хетерогене вегетације што показује низак коефицијент одређености у случају шумске вегетације. Још један битан закључак је да, осим код шумске вегетације где PVI показује бољу предикцију LAI, не постоји велика разлика код примене

различитих VI за дати опсег LAI од 0-4.5 (Слика 5-21). NDVI је у овом случају био одређен користећи сирове DN вредности IKONOS снимка.



Слика 5-20. Везе између NDVI и LAI за различите типове вегетације према (преузето из Colombo et al., 2003)



Слика 5-21. Упоређење коефицијента одређености за различите вегетационе индексе и различите типове вегетације (преузето из Colombo et al., 2003)

Trout et al. (2008) успоставили су лиенарну зависност између вегетационог покривача<sup>42</sup> (CC) зелених усева и NDVI:

$$NDVI = 0.81 \times CC + 0.18, \text{ са } R^2 = 0.95 \quad 5-13$$

Ова веза међутим важи само до 80% вегетационе покривености, после чега настаје засићење и NDVI престаје да буде осетљив на промену вегетационог покривача.

Varet и Guyot (1991) предложили су употребу следеће опште зависности:

<sup>42</sup> Canopy cover (eng.)

$$LAI = f(NDVI) = \frac{-1}{K_{NDVI}} \log\left(\frac{NDVI - NDVI_{\infty}}{NDVI_S - NDVI_{\infty}}\right) = a \cdot \log(b \cdot NDVI + c) \quad 5-14$$

где су

$K_{NDVI}$  - коефицијент пригушивања,

$NDVI_{\infty}$  - асимптотска вредност NDVI (одговара бесконачном LAI),

$NDVI_S$  - вредност NDVI за голо земљиште

Управо је основно ограничење у оцени LAI (али и осталих биофизичких параметара) помоћу VI диверзитет функција везе предложених у литератури. Ове функције се разликују како у математичкој форми (линеарне, степене, експоненцијалне итд...) тако и у њиховим, емпиријски одређеним, коефицијентима који углавном зависе од типа вегетације (Qi et al., 2000; Naboudane et al., 2004). Непостојање јединственог модела и значајно расипање сигнала је узроковано варијацијама у: а) садржају хлорофила- пошто садржај хлорофила одређује зеленило лишћа, вегетациони индекси су осетљиви на зелену вегетацију (Naboudane et al., 2004), б) утицају карактеристика вегетационе структуре, нпр. оријентација лишћа има значајан утицај на R-NIR рефлексију, и/или в) утицају рефлексије позадине (Turner et al., 1999).

### 5.1.5 Физичко моделирање биофизичких параметара

Описане статистичке методе квантитативног моделирања биофизичких параметара су брзе и једноставне за коришћење. Међутим, пошто нису утемељене у физичким односима у природи, оне не успостављају узрочно-последичне везе између појава. Развој рачунарске технологије, омогућио је у скорије време значајан напредак у развоју и коришћењу физичких (или детерминистичких) квантитативних модела. Они врше оцене параметара модела на основу система знања као што су модели трансфера зрачења и скупа мерења даљинске детекције (Liang, 2007). Квантитативни модели у даљинској детекцији су функција спектралних, просторних, темпоралних, угловних и поларизационих



карактеристика појава. Са друге стране, рефлексја вегетационих покривача (као најкомплексније појаве) је функција геометрије, структуре, биохемијских и геохемијских карактеристика. Да би се описали ови системи, потребно је увести велики број параметара и променљивих.

Међу различитим физичким моделима који су развијени током времена (видети нпр. Bicheron and Leroy, 1999; Qi et al., 2000), SAIL модел (Verhoef, 1984) трансфера зрачења који симулира рефлексју вегетационог покривача и PROSPECT (Schaerman-Strub et al., 2006; Jacquemoud and Baret, 1990) који је генерички модел оптичких особина лишћа, најчешће су коришћени, највише испитивани (Jackquemoud et al., 2009) и упоређивани са другим моделима трансфера зрачења (Jackquemoud et al., 2000). Ови модели су повезани у PROSAIL омогућавајући опис спектралне и дирекционалне варијације рефлексје вегетационог покривача као функције биохемијских карактеристика лишћа- углавном хлорофила, воде и садржаја суве материје-и архитектуре вегетационог покривача-који се пре свега описује параметрима LAI, дистрибуцијом лисног угла и релативном величином листа (Jackquemoud et al., 2009).

Основни изазов представља инверзија PROSAIL модела да би се из радиометријског сигнала добили биофизички параметри. Инверзни проблем се може решити само ако је добро постављен у смислу како је то дефинисао Hadamard, тј. ако и само ако решење проблема постоји, јединствано је и непрекидно зависи од података (Combal et al., 2002). Код инверзије модела трансфера зрачења то није случај из два разлога (Combal et al., 2002): а) различити модели параметризације могу произвести идентичне спектралне одговоре и б) постоје несигурности модела (нпр. због упрошћене претпоставке да лишће има карактеристике Ламбертове површи) и мерења рефлексје (које потичу од шума сензора и грешака пре-процесуирања снимака).

Иако постоје различите методе које се примењују у пракси: итеративна минимизација, *Look-up Table* (LUT), вештачке неуралне мреже<sup>43</sup> (видети нпр: Liang, 2007; Jackquemoud et al., 2009; Atzberger, 2004), рачунање биофизичких параметара се у основи састоји у налажењу најбоље оцене улазних променљивих у PROSAIL модел тако да се рефлексје добијене из модела најбоље сложе са

---

<sup>43</sup> Artificial neural networks (eng.)

мереним вредностима. Ако се пође од основне једначине која описује модел рефлексије у  $i$ -том каналу:

$$\rho_i = PROSAIL(x_1, x_2, \dots, x_k) + \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, n \quad 5-15$$

где су  $x_1, x_2, \dots, x_k$  биофизички параметри као улазне променљиве, а  $\varepsilon_i$ -разлика између симулиране и мерене рефлексије, онда се инверзни модел може описати једначином:

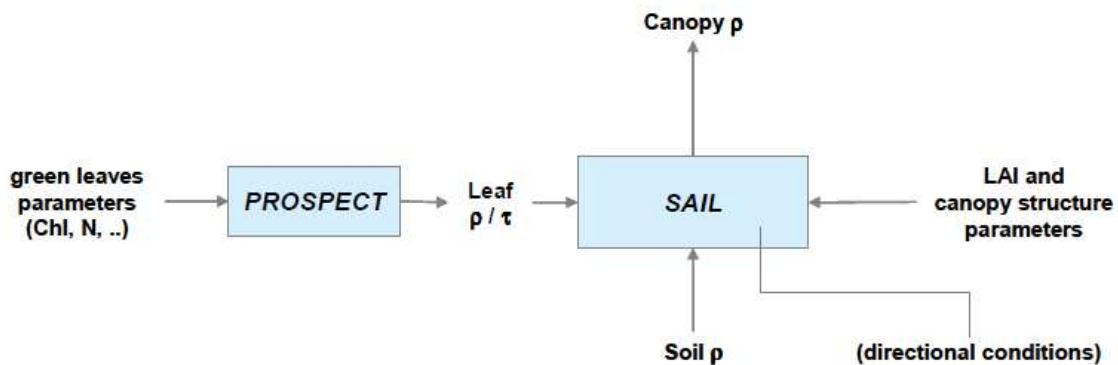
$$\rho(PROSAIL(X)) \approx \rho^0$$

где је  $\rho^0$  вектор мерених вредности рефлексије.

При инверзији нелинеарног PROSAIL модела користи се минимизација *cost function* која је састављена из два дела, при чему први представља разлику између моделоване и мерене рефлексије, а други рачуна разлику оцена променљивих од централних вредности тих променљивих, срачунатих на основу *a priori* статистика промениљивих модела:

$$\delta^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\rho_i^0 - PROSAIL(x_1, x_2, \dots, x_k)}{\sigma_{\rho_i}} \right)^2 + \sum_{j=1}^k \left( \frac{x_j - x_j^{prior}}{\sigma_{x_j}} \right)^2 \quad 5-16$$

где су  $\sigma_{\rho_i}$  и  $\sigma_{x_j}$  дијагонални елементи матрица коваријације, први одговара несигурностима мерења и модела, а други несигурностима *a priori* информацијама о променљивима  $x_j^{prior}$  (која се добија независно од мерења).



Слика 5-22. Основни PROSAIL модел (преузето из geoland2, 2010a)

Табела 5-4. Параметри PROSAIL модела

Модел	Симбол	Назив параметра	Јединица
PROSPECT	N	Параметар структуре лишћа	неимен. вел.
	Chl	Садржај а и б хлорофила	$\mu\text{g} / \text{cm}^2$
	Cw	Еквивалентни слој фолијарне воде	$\text{g} / \text{cm}^2$
	Cm	Садржај суве материје	$\text{g} / \text{cm}^2$
	Cbp	Садржај браон пигмената	неимен. вел.
SAIL	LAI	Индекс површине лишћа	неимен. вел.
	LIDF	Функција лисног распореда	неимен. вел.
	SI	<i>hot spot</i> параметар, однос просечне величине лишћа и висине вегетације	$\text{mm}^{-1}$
	$\rho_s$	Рефлексија земљишта	неимен. вел.
	SKYL	Однос дифузног и укупног упадног зрачења	неимен. вел.
	ALA	Средњи угао нагиба лишћа	степени
	sza	Зенитни угао Сунца	степени
	vza	Зенитни угао посматрања	степени
gga	Релативни азимут	степени	

Свакако најзначајније питање које се поставља је колика тачност биофизичких параметара може да се постигне коришћењем PROSAIL модела. Иако нису формулисани конкретни за PROSAIL модел, и у овом случају се може применити концепт три основна извора несигурности у оцени LAI (мада се у мањој или већој мери ово може применити и на оцену осталих биофизичких параметара) који наводе Garrigues et al. (2008): а) због неодређености модела инверзије, оцена LAI из површинске рефлексије је нестабилна; б) описивање архитектуре вегетационог покривача у моделима је проблематично- ово је посебно важно када су изражене просторне варијације у густини вегетације због груписања лишћа; в) упитна је применљивост модела на широк спектар типова вегетације и екосистема. Код самог PROSAIL модела, на укупну тачност утиче квалитет самог модела, али и тачност модела инверзије који се примењује (Richter et al., 2012). На пример, SAIL модел поседује, одређена унутрашња ограничења у симулирању различитих типова вегетационих структура, а потребна побољшања би захтевала комплексније описивање вегетационе архитектуре (Jackquemoud et al., 2009; Richter et al., 2012). Такође, на тачност оцене параметара утиче и број спектралних канала који улазе у модел (са порастом броја коришћених канала (шест до осам) смањује се несигурност све док спектрална редунданција не

претегне над повећањем информација), али и позиција канала игра важну улогу. Тако на пример NIR и ивица црвеног канала<sup>44</sup> обезбеђују најрелевантније информације за LAI (Richter et al., 2012). Овај закључак даје на значају сателитским мисијама са вишом спектралном резолуцијом као што су LANDSAT или SENTINEL. Darvishzadeh et al. (2008b) даље показују да се тачност биофизичких параметара смањује са повећањем броја типова вегетације у оквиру вегетационог покривача, дакле када вегетациони покривач није „хомоген“.

Baret (2010) је проценио да је тренутно достижна тачност оцене LAI из података даљинске детекције од 15%-20% NRMSE (нормализована RMSE се добија када се RMSE подели опсегом мерених вредности). Ово су потврдили Richter et al. (2012) у својим истраживањима спроведеним на различитим типовима усева, користећи две методе инверзије PROSAIL модела, LUT и неуронске мреже (Табела 5-5). Ово истраживање је извршено над симулираним мерењима са SENTINEL-2 сензора који снима и на ивици црвеног канала.

Табела 5-5. Преузето из Richter et al. (2012)

Тип усева	LUT модел инв. (са 8 канала)			Неуронске мреже (са 5 канала)		
	R <sup>2</sup>	RMSE	NRMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	NRMSE
алфа-алфа	0.80	0.50	20 %	0.84	0.71	28 %
кукуруз	0.44	0.50	47 %	0.39	0.47	44 %
шећерна репа	0.3	0.71	37 %	0.13	0.55	29 %
бели лук	0.11	0.49	123 %	0.01	0.12	30 %
црни лук	0.92	0.25	16 %	0.88	0.70	45 %
комбиновани усеви	0.86	0.53	12 %	0.85	0.58	13 %

Степен корелисаности је доста нестабилан и креће се од 0.01 до 0.92. Нешто стабилнији параметар несигурности је NRMSE где вредности иду од 12% до 47% (сем 123% у случају белог лука), али ова величина је зависна од распона LAI. Оно што је веома значајно је да се вредности RMSE не разликују значајно ни између метода инверзије ни између типова усева.

Сличан експеримент извели су Vuolo et al. (2010) користећи геометријски , радиометријски и атмосферски кориговане RAPIDEYE снимке. Оригиналну просторну резолуцију снимака од 5m смањили су на 15 m да би смањили утицај преостале геометријске грешке и прилагодили мерењима биофизичких

<sup>44</sup> Red edge (eng.)

параметара на терену (једна ESU је површине 20x20 m) које су служиле као референтне вредности за упоређивање.

Табела 5-6. RMSE вредности оцене LAI и Chl по типовима усева и за два типа инверзије PROSAIL модела. Преузето из Vuolo et al. (2010).

Тип усева	LAI (m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> )		Chl (gm <sup>-2</sup> )	
	LUT	Неуронске мреже	LUT	Неуронске мреже
воћњаци (брескве, кајсије..)	0.35 (NRMSE*=18%)	0.61 (NRMSE=31%)	0.34	0.25
кукуруз	0.89 (NRMSE=34%)	0.91 (NRMSE=35%)	0.50	0.70
друго (алфаалфа, плави парадајз..)	0.93 (NRMSE=18%)	0.72 (NRMSE=15%)	0.31	0.28
комбиновани усеви	0.64 (NRMSE=13%)	0.72 (NRMSE=15%)	0.39	0.43

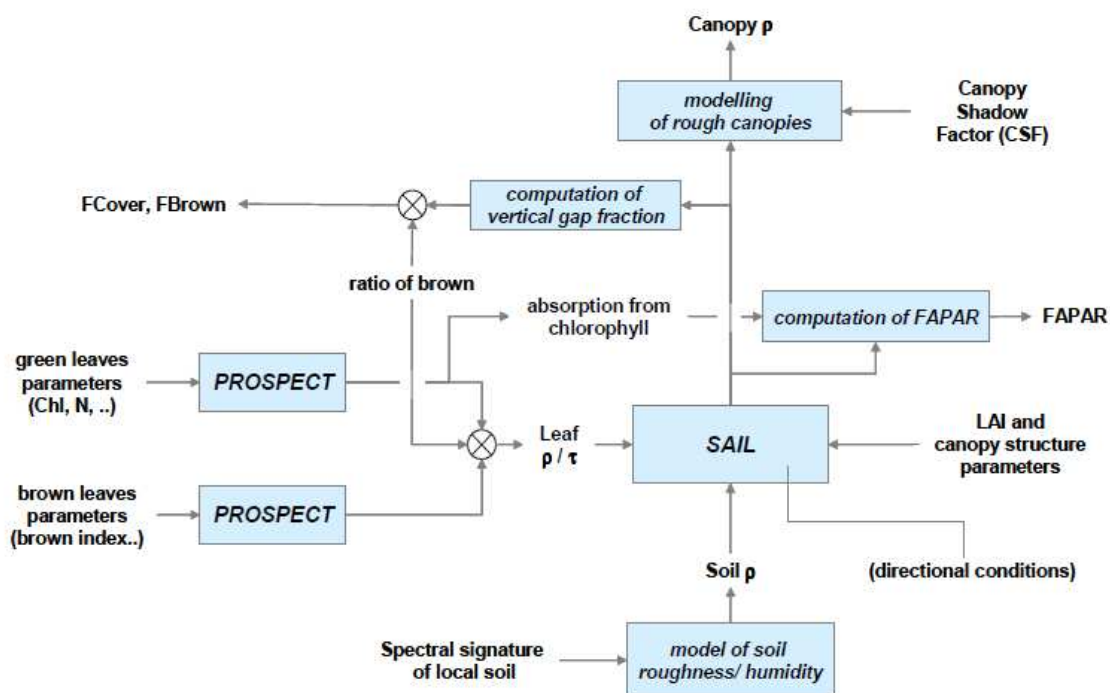
\* NRMSE нису оригинално приказане у раду Vuolo et al. (2010), срачунате су коришћењем вредности опсега процењених са графика.

Иако Vuolo et al. (2010) нису рачунали вредности NRMSE, њих је могуће проценити из графика које су приложили у раду. За комбиноване усеве и при примени LUT инверзног модела при оцени LAI, NRMSE=13%, док је у случају примене неуронских мрежа NRMSE=15%. За Chl, ове вредности су 13% и 16%, респективно. Иако је у питању други сензор са дупло вишом просторном резолуцијом, због претходног смањења резолуције може се извршити упоређивање са резултатима које су добили Richter et al. (2012). Премда постоје значајне разлике вредности апсолутних RMSE за појединачне типове усева, вредности добијене за комбиноване усеве (када се узму у обзир сви типови усева) се мало разликују. Такође, оба експеримента су показала да се апсолутне вредности RMSE не разликују значајно у зависности од примењеног модела инверзије. Експерименти су урађени у различитим условима: а) Richter et al. (2012) су експеримент извели у пољопривредној тест области ESA SPARC у јужној Шпанији, а Vuolo et al. (2010) у јужној Италији, и б) користили су податке са различитих сензора, али је у оба случаја коришћен исти инструмент LICOR LAI-2000 за прикупљање *in situ* вредности LAI – што упоређивање резултата ослобађа утицаја евентуалне систематске грешке инструмента. Из овога се може закључити да су ове оцене несигурности LAI оцењених из PROSAIL модела

стабилне. Основни проблем код оваквог испитивања несигурности PROSAIL модела је то што је PROSAIL дизајниран да моделира зелену вегетацију, док инструмент LICOR LAI-2000 не разликује зелену од нефотосинтетичке вегетације. Ово може да ствара повећане вредности RMSE у случајевима када је присутна значајна количина нефотосинтетичке вегетације.

Одређена побољшања PROSAIL модела имплементирана су у Overland софтвер и овај модел је коришћен у оквиру Geoland2 пројекта (geoland2, 2010a). У основни PROSAIL модел су укључена следећа побољшања:

- допринос нефотосинтетичке вегетације;
- моделирање „грубих“ вегетационих покривача кроз модел сенке површи;
- рачунање фракције вегетационог покривача у вертикалном правцу посматрања;
- рачунање фракције апсорбоване фотосинтетички активног зрачења FAPAR из SAIL модела;
- укључивање рефлексије земљишта у SAIL модел узимајући у обзир да земљишта могу бити и у локалним размерама веома променљива.



Слика 5-23. Побољшани PROSAIL модел коришћен за генерисање биофизичких параметара високе резолуције у оквиру Geoland 2 пројекта (преузето из geoland2, 2010a)

Несигурност биофизичких параметара добијених из побољшаног PROSAIL модела оцењена је у истраживању извршеном у оквиру geoland2 пројекта. Добијене вредности за RMSE и *bias* (систематска помереност) приказане су у Табели 5-7.

Табела 5-7. Мере несигурност биоф. параметара одређених у побољшаном PROSAIL моделу

	<b>RMSE</b>	<i>bias</i>
<b>покривеност зеленом вег.</b>	4-17%	2 - -16%
<b>GLAI</b>	0.2-0.8	0.05-1
<b>fAPAR</b>	6-19%	2- -17%

### 5.1.6 Анализа несигурност побољшаног PROSAIL модела

Уношењем одређеног *a priori* знања у PROSAIL модел повећава се његова робусност и, као резултат, тачност излазних биофизичких параметара. Додатно знање које учвршћује модел обухвата: знање о доминатном типу земљишног покривача (односно о општем типу пејзажа) простора за који се рачунају биофизички параметри, атмосферске услове приликом снимања (присуство облака, измаглице итд.), спектралне особине земљишта (због утицаја земљишта испод вегетационог покривача на сигнал), присуство водених површина, дигитални модел терена (ради топографске корекције). У исто време, ови параметри представљају извор несигурности излазних биофизичких параметара. Од интереса за овај рад је да се утврди величина ових утицаја, односно у ком обиму и на који начин промена подешавања одређених *a priori* параметара утиче на излазне вредности биофизичких параметара. У серији експеримената, испитана је зависност биофизичких параметара од: 1) *a priori* дефинисаног доминантног типа пејзажа, 2) података о спектралним особинама земљишта, 3) сателитске сцене и 4) сателитског сензора.

У оцени несигурности параметара коришћене су следеће статистике:

1. Средина разлика:

$$bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (bp1 - bp2) \quad 5-17$$

2. Релативна средина разлика:

$$bias_r = \frac{bias}{opseg} \cdot 100 \quad 5-18$$

3. Коефицијент одређености:

$$R^2 = \left[ \frac{n \sum bp1_i \cdot bp2_i - (\sum bp1_i)(\sum bp2_i)}{\sqrt{n \sum bp1_i^2 - (\sum bp1_i)^2} \cdot \sqrt{n \sum bp2_i^2 - (\sum bp2_i)^2}} \right]^2 \quad 5-19$$

4. Средња квадратна девијација (мера стандардног одступања вредности параметра из једног и другог нивоа фактора под којим су параметри добијени)

$$RMSD = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (bp1_i - bp2_i)^2} \quad 5-20$$

5. Релативна средња квадратна девијација

$$RMSD_r (\%) = \frac{RMSD}{opseg} \cdot 100 \quad 5-21$$

где су  $bp1$  и  $bp2$  вредности биофизичког параметра у одређеном пикселу добијене под различитим условима- нивоима фактора,  $i = 1, \dots, n$  број пиксела на подручју од интереса, а  $opseg$  представља опсег вредности параметра на том подручју, односно  $bp_{max} - bp_{min}$ .

### 5.1.6.1 Разлике биофизичких параметара добијених из PROSAIL модела у зависности од предефинисаног доминантног типа пејзажа

У првом експерименту биће испитана зависност биофизичких параметара од подешавања типа пејзажа у моделу. У ту сврху, на SPOT 5 сцени су генерисани биофизички параметри за 3 случаја доминантног пејзажа: а) случај опште вегетације, б) случај шумско-природне вегетације и в) случај пољопривредне



вегетације (усева). Сателитски снимак начињен је 01.07.2007. године и покрива југоисточни део Србије. Биофизички параметри за случај опште вегетације генерисани су за цео снимак, док су за шумску и пољопривредну вегетацију одређена мања експериментална подручја величине 2.7x2.7 km и 1.6x3.4 km респективно. Добијене вредности биофизичких параметара су упоређене и то: општа vs. пољопривредна вегетација и општа vs. шумска вегетација.

За пољопривредну област анализирани су параметри LAI и glcv, а за шумску област LAI, glcv, fAPAR и csh. Генерисане су карте разлика параметара добијених за општу вегетацију и *a priori* дефинисану доминантну пољопривредну вегетацију, односно шумску вегетацију. Несигурност параметара је квантификована помоћу средње вредности разлика (*bias*) и средње квадратне грешке (RMSE), њихових релативних вредности (*y* %) као и коефицијента одређености из линеарне регресије ( $R^2$ ). Резултати су приказани у Табели 5-8. Карте разлика параметара, графици и једначине линеарне регресије приказани су у прилогу П 5.

У случају шумског подручја, вредности glcv и fAPAR генерисаних за општу вегетацију су генерално прецењене у односу на вредности параметара одређених за шумско-природну вегетацију на местима са четинарском вегетацијом и потцењени на местима „хомогене“ директно осветљене листопадне шуме. Вредности LAI за општу вегетацију су у свим случајевима више од вредности параметра прилагођеног шумској вегетацији, с тим што је ова разлика минимална на местима са присуством четинарске вегетације.

На пољопривредном подручју, разлике између LAI и glcv одређених за општу и пољопривредну вегетацију су мале. Код оба параметра су вредности за општу вегетацију ниже од вредности за пољопривредну вегетацију на местима где постоји затворени зелени покривач усева, односно више на местима са зрелом жутом или браон вегетацијом. Вредности параметара се не разликују на местима са голом земљом.

Статистике показују веома малу несигурност параметра када се упоређују вредности са предефинисаном пољопривредном и општом вегетацијом. Систематске разлике готово да нема, а и вредности RMSDr су ниске (<3%). Када су у питању поређења вредности параметара са предефинисаном шумском и

општом вегетацијом, у случају LAI и csh вредности релативног *bias* су веома значајне, али супротног знака, 13.5% и -18.3% респективно. И стандардно одступање код ових параметара је значајно више него код осталих.

Табела 5-8. Упоредивање биофизичких параметара за општу и пољопривредну, односно шумску вегетацију

Пољопривредна - општа вегетација	<i>opseg</i>	<i>bias</i>	<i>bias<sub>r</sub></i> (%)	RMSD	RMSDr (%)	<i>R</i> <sup>2</sup>
Разлика LAI	3.71	0.006	0.16	0.094	2.53	0.971
Разлика glcv	0.76	0.004	0.53	0.01	1.32	0.995
Шумска - општа вегетација	<i>opseg</i>	<i>bias</i>	<i>bias<sub>r</sub></i> (%)	RMSD	RMSDr (%)	<i>R</i> <sup>2</sup>
Разлика LAI	3.72	0.503	13.52	0.533	14.33	0.424
Разлика glcv	0.72	-0.005	-0.69	0.01	1.39	0.957
Разлика fAPAR	0.72	-0.016	-2.22	0.025	3.47	0.770
Разлика csh	0.69	-0.126	-18.26	0.1334	19.33	0.729

#### 5.1.6.2 Разлике биофизичких параметара добијених из PROSAIL модела у зависности од спектралних особина земљишта

У овом експерименту упоређивани су биофизички параметри добијени из PROSAIL модела и то: а) без коришћења података о земљишту (конфигурација 1) и б) са коришћењем података о спектралним особинама локалног земљишта (конфигурација 2). С обзиром да у експерименту није било расположивих *in situ* података о спектралним особинама земљишта, они су добијени из самог PROSAIL модела, а затим су генерисани биофизички параметри укључивши у модел претходно добијене информације о спектру земљишта.

Експериментално подручје представља део SPOT 5 сателитске сцене која покрива део јужне Србије (јужно од Ниша) начињене 01.07.2007. Заступљени су различити типови пејзажа: равничарско пољопривредно подручје, комплексни брдски пејзаж и планинска област под листопадном, четинарском и мешовитом шумом.

Резултати упоређивања дати су у Табели 5-9, а карте разлика параметара и графици линеарне регресије у прилогу П 6. Несигурност параметара је исказана

кроз статистичке параметре  $bias$ ,  $bias_r$ , RMSD, RMSDr и  $R^2$ . Параметри добијени без коришћења података о земљишту су углавном подцењени у односу на оне са коришћењем спектра земљишта сем у случају chl и LAI. Релативни  $bias$  од 6% у случају csh може бити индикатор одређеног систематског утицаја при чему су вредности параметра у случају некоришћења спектра земљишта генерално више него када се спектар користи. Код осталих параметара, релативни  $bias$  је значајно мањи и креће се у распону од 0.68-3.3%.

Табела 5-9. Упоредивање биофизичких параметара добијених са и без коришћења података о спектралним особинама локалног земљишта у PROSAIL моделу

BP без спектра земљ. - BP са спектром земљ.	<i>opseg</i>	<i>bias</i>	$bias_r$ (%)	RMSD	RMSDr (%)	$R^2$
Разлика chl	58.06	1.31	2.26	2.38	4.10	0.897
Разлика csh	1.00	-0.06	-6.00	0.072	7.20	0.832
Разлика fAPAR	1.00	-0.033	-3.30	0.056	5.60	0.957
Разлика glcv	0.90	-0.025	-2.78	0.033	3.67	0.990
Разлика LAI	8.06	0.055	0.68	0.20	2.48	0.967
Разлика scv	1.00	-0.01	-1.00	0.055	5.50	0.942

### 5.1.6.3 Разлике биофизичких параметара добијених из PROSAIL модела у зависности од сателитске сцене

Циљ експеримента био је испитивање конзистентности биофизичких параметара добијених из две различите сцене, с обзиром да PROSAIL модел узима у обзир опште карактеристике сцене. Изабрани су такви улазни подаци сателитског осматрања који ће обезбедити да несигурности самих података не утичу на оцену. Биофизички параметри су генерисани на два експериментална подручја на преклопу две суседне SPOT 5 сцене. Обе сцене начињене су истог дана, 07.07.2006., са минималном временском разликом, због чега се може сматрати да је приликом прикупљања података била иста геометрија Сунца и снимања и исти атмосферски услови. Генерисана су 5 биофизичких параметара: gLAI, fAPAR, glcv, csh и wcv<sup>45</sup> и упоређене вредности параметара на експерименталним подручјима. Карте разлика параметара и графици линеарне

<sup>45</sup> Water cover fraction (eng.)

регресије дати су у прилогу П 7. Може се сматрати да су разлике које су се појавиле последица су искључиво несигурности физичког модела услед утицаја карактеристика сцена на физички модел, с обзиром да су све остале променљиве биле исте за оба снимка, укључујући подешавања модела (*a priori* информације о преовлађујућем типу пејзажа).

Биофизички параметри су добијени за обе сцене коришћењем исте *a priori* конфигурације: општа вегетација, без облака и са малим бројем водених површина. За сваку сцену су посебно одређене спектралне карактеристике земљишта у првој итерацији, да би се онда ови подаци користили као улазни у PROSAIL моделу при генерисању биофизичких параметара.

У првом експерименталном подручју ROI1, преовлађујуће је пољопривредно земљиште под различитим усевима у различитим фенолошким стадијумима са значајном површином под природном травом. Друго експериментално подручје ROI2, знатно је хетерогеније у пејзажном смислу. Поред значајне површине под пољопривредним културама у различитим стадијумима фенолошког развоја, у оквиру подручја налазе се и водене површине, шумска вегетација и насељена подручја.

Из статистике разлика биофизичких параметара (Табела 5-10 и Табела 5-11) може се закључити следеће: а) на подручју ROI1 нема значајних вредности *bias*, са највећим релативним *bias* од 2.13% у случају *csh*, што показује да нема систематске разлике; б) на ROI1 релативна средња квадратна девијација је најнижа у случају *glcv*, а највиша за *csh*; в) на ROI2, повећане су вредности релативног *bias*, посебно у случају *glai* где је 6.98%; г) вредности RMSDr нису значајно различите на ROI2 у поређењу са ROI1, осим код *glai* где вредност прелази 15%; д) најмању несигурност на оба подручја показује параметар *glcv*.

Табела 5-10. Статистике разлика биофизичких параметара за експериментално подручје ROI1

	<i>opseg</i>	<i>bias</i>	<i>bias<sub>r</sub></i> (%)	RMSD	RMSDr (%)	<i>R</i> <sup>2</sup>
Разлика fAPAR	0.97	0.001	0.10	0.056	5.77	0.893
Разлика <i>glai</i>	4.09	0.0003	0.01	0.276	6.75	0.908
Разлика <i>glcv</i>	0.87	0.004	0.46	0.023	2.64	0.984
Разлика <i>csh</i>	0.47	0.01	2.13	0.035	7.45	0.827

Табела 5-11. Статистике разлика биофизичких параметара за експериментално подручје ROI2

	<i>opseg</i>	<i>bias</i>	<i>bias<sub>r</sub></i> (%)	RMSD	RMSDr (%)	<i>R</i> <sup>2</sup>
Разлика fAPAR	1.00	-0.01	-1.00	0.085	8.50	0.886
Разлика glai	4.24	-0.296	-6.98	0.656	15.47	0.833
Разлика glcv	1.00	-0.01	-1.00	0.032	3.20	0.986
Разлика wcv	0.64	0.01	1.56	0.04	6.25	0.878
Разлика csh	0.60	0.004	0.67	0.043	7.17	0.812

#### 5.1.6.4 Разлике биофизичких параметара добијених из PROSAIL модела у зависности од сателитског сензора

Да би се оценио утицај различитих просторних и спектралних резолуција сензора на оцену биофизичких параметара коришћењем PROSAIL модела трансфера зрачења упоређивани су параметри LAI, fAPAR, glcv и csh истог подручја добијени из снимака два сензора сензора различитих карактеристика. У експерименту су коришћени SPOT 5 снимак резолуције 10 m начињен 01.07.2007. и LANDSAT 7 ETM+ снимак резолуције 30 m начињен 23.06.2007 (Табела 5-12). Временска разлика од седам дана у овом периоду може се сматрати довољно малом да би се десиле значајне промене земљишног покривача. Биофизички параметри добијени су коришћењем Overland софтвера и при томе је PROSAIL модел био подешен за општу вегетацију. Карте параметара добијених из SPOT 5 снимка резолуције 10 m преведени су у резолуцију 30 m осредњавањем вредности пиксела ради упоређивања. Ниједан од снимака није садржавао облаке. Основне информације о коришћеним снимцима дате су у Табели 5-12.

Табела 5-12. Карактеристике снимака коришћених у експерименту

Карактеристике	Сензор	
	SPOT 5	LANDSAT 7 ETM+
Датум снимања	01.07.2007.	23.06.2007.
Просторна резолуција	10 m	30 m
Спектрална резолуција- канали	G, R, NIR и SWIR	B, G, R, NIR, SWIR1 и SWIR2

Експериментално подручје је изабрано тако да покрива велики опсег вредности параметара. Вредности LAI се крећу од 0 до 5, fAPAR од 0 до 0.9, glcv од 0 до 0.9, а csh од 0 до 0.9. На овај начин обезбеђено је да оцена ефеката размере

буде што реалнија. Сви статистички параметри разунати су за случај LANDSAT 7- SPOT 5. Карте разлика параметара и графици линеарне регресије дати су у прилогу П 8.

Између LAI-SPOT 5 и LAI-LANDSAT 7 постоји добра конзистентност. Подаци су високо корелисани ( $R^2 = 0.887$ ) а средња вредност разлика (*bias*) је ниска (-0.07) (Табела 5-13). Може се, међутим, приметити одређена прецењеност вредности LAI из LANDSAT 7 података на вишим вредностима (у случајевима гушће вегетације). У случају ниских вредности LAI, разлике су концентрисане око 0. За остале вредности LAI, позитивне и негативне разлике су равномерно распоређене. Међутим, карта разлика LAI (Прилог П 8), показује извесну географску зависност ових вредности. Тако се позитивне вредности разлика (прецењеност LAI- LANDSAT 7) углавном појављују у шумским пределима које заузимају средишњи и источни део карте, док су негативне вредности разлика (прецењеност LAI- LANDSAT 7) доминантне у областима комплексног пејзажа (где се природна шумска вегетација меша са пољопривредним површинама) у југоисточном и североисточном делу картиране области.

Статистике разлика вредности параметра fAPAR показују одличну конзистентност овог биофизичког параметра добијеног из SPOT 5 и LANDSAT 7 снимака. Подаци су високо корелисани, а *bias* веома мали као и RMSD. Разлике fAPAR се у случају виших вредности (густа фотосинтетички активна вегетација) крећу око 0, или имају благо негативне вредности, док се у случају ниских вредности fAPAR (земљиште са мало или без фотосинтетички активне вегетације) разлике крећу око 0 или имају благо позитивне вредности. Визуелном анализом карте разлика fAPAR може се закључити да нема специфичне географске зависности ових вредности.

На карти разлика се види веома добра конзистентност између glcv-SPOT 5 и glcv-LANDSAT 7, са високом корелисаномшћу ( $R^2 = 0.879$ ) и готово нултом средњом вредношћу разлика (Табела 5-13). Најниже вредности разлика се налазе у областима са густом зеленом вегетацијом (шуме) односно високом вредностима glcv. Такође, концентрација ниских вредности разлика се јавља у областима са мало или без присуства зелене вегетације (нпр. голо земљиште).

У случају *csh*, може се закључити да постоји систематски позитиван *bias* (*bias*=0.06) између вредности добијених из LANDSAT 7 и SPOT 5 података, респективно. Међутим, анализом карте разлика *csh* може се приметити да се највећа прецењеност параметра добијеног из LANDSAT 7 појављује на површинама без вегетације (и до 0.14) док су на површинама са вегетацијом те разлике мање и у просеку се крећу око 0.07. Негативне разлике су значајно мање и појављују се код четинарских и мешовитих шума, на површинама са значајним уделом нефотосинтетичке вегетације и код оних површина са зеленом вегетацијом које се налазе на северозападним падинама планина (дакле у сенци).

Табела 5-13. Статистике упоређивања биофизичких параметара

	<i>opseg</i>	<i>bias</i>	<i>bias<sub>r</sub></i> (%)	RMSD	RMSDr (%)	<i>R</i> <sup>2</sup> (%)
Разлика fAPAR	0.9	0.008	0.89	0.06	6.67	0.919
Разлика LAI	4.4	-0.07	-1.59	0.35	7.95	0.887
Разлика glcv	0.9	0.02	2.22	0.08	8.89	0.879
Разлика <i>csh</i>	0.9	0.06	6.67	0.05	5.56	0.693

## 5.2 КВАНТИТАТИВНО ОПИСИВАЊЕ ГОЛОГ ЗЕМЉИШТА И ВЕШТАЧКИХ ПОВРШИНА

Голо земљиште и вештачке површине укључују све оне типове земљишног покривача који нису покривени вегетацијом или водом. Земљиште представља мешавину минерала, воде и живих и неживих органских материјала. Вештачке површине су производ људске активности и индикатор присуства човека. Важна карактеристика вештачких површина је та што оне представљају непропусне или делимишно пропусне типове земљишног покривача, другим речима оне онемогућују у потпуности или у великој мери отицање воде у дубље слојеве литосфере.

### 5.2.1 Параметри земљишта

Сигнал земљишта који региструју сензори даљинске детекције је резултат утицаја минералног састава, влажности земљишта, садржаја органског материјала

и текстуре. Стабилност појаве и квалитета (односно динамика промена) голог земљишта зависи од динамике промена вегетације и воде. Примери ове зависности су:

- пољопривредно земљиште где се сигнал голог земљишта повећава и смањује у укупном сигналу у зависности од фенолошког статуса култура;
- обале водених површина (текућих и стајаћих) где варивање нивоа воде и/или појава барске вегетације утичу на појаву и јачину сигнала голог земљишта;
- ниво подземних вода одређује степен влажности земљишта.

У пракси се могу наћи две квантитативне карактеристике земљишта чије се вредности могу оценити из података са оптичких сензора даљинске детекције. То су фракција земљишта и влажност земљишта.

#### Фракција земљишта

Ова величина представља удео земљишта у пикселу које је видљиво у вертикалном правцу и изражава се у процентима. Може се изразити једначином:

*фракција земљишта (%) = 100% - (покривеност вегетацијом + покривеност водом + покривеност вештачким материјалима)*

при чему се под вегетацијом подразумева и зелена и сува (нефотосинтетичка) вегетација.

Фракција земљишта се може добити као производ PROSAIL модела (geoland2, 2010a) или коришћењем неке *soft* класификације (нпр. линеарне декомпозиције). У оба случаја потребно је што тачније познавати спектралне особине локалног земљишта. До ових података се може доћи *in situ* мерењима или оцени спектралних особина на самом снимку, претходним препознавањем пиксела где је фракција земљишта 100% и затим статистичком обрадом ових података. Обе методе имају своје предности и недостатке: у првом случају подаци су веома поуздани, али не узимају у обзир темпоралну варијабилност влажности земљишта што може значајно да утиче на спектрални одговор; у другом случају



не постоји гаранција да ће се на снимку наћи довољно „чистих“ пиксела који би били статистички репрезентативни.

### Влажност земљишта

Иако се за оцену влажности земљишта уобичајено користе микроталасно и термално зрачење, постоје методи да се ове информације добију и коришћењем зрачења из соларног домена (0.4-2.5  $\mu\text{m}$ ) које региструју оптички сателитских сензори (Wang и Qu, 2009). Liu et al. (2003) су тестирали неколико модела за одређивање нивоа влажности земљишта  $\theta$  која би минимизовала утицај типа земљишта:

а) Коришћењем нормализоване рефлексије

$$\theta = -\frac{1}{b(\lambda)} \log \left( \frac{\frac{R(\theta, \lambda)}{R(0, \lambda)} - a(\lambda)}{1 - a(\lambda)} \right) \quad 5-22$$

где су  $a(\lambda)$  и  $b(\lambda)$  - коефицијенти нелинеарне регресије који зависе од таласне дужине  $\lambda$ ,  $R(\theta, \lambda)$  - рефлексија земљишта при нивоу влажности  $\theta$ , а  $R(0, \lambda)$  - рефлексија земљишта при нивоу влажности 0 (потпуно суво земљиште).

б) Коришћењем разлике рефлексије  $R$  или апсорпције  $A$

$$\theta = a_R(\lambda_i, \lambda_j) + b_R(\lambda_i, \lambda_j) \Delta R(\lambda_i, \lambda_j) \quad 5-23$$

$$\theta = a_A(\lambda_i, \lambda_j) + b_A(\lambda_i, \lambda_j) \Delta A(\lambda_i, \lambda_j) \quad 5-24$$

где су

$$\Delta R(\lambda_i, \lambda_j) = R(\lambda_i) - R(\lambda_j) \quad 5-25$$

$$\Delta A(\lambda_i, \lambda_j) = A(\lambda_i) - A(\lambda_j) \quad 5-26$$

при чему се апсорпција рачуна као  $A(\theta, \lambda) = \log(1/R(\theta, \lambda))$ .

За 18 разлишних типова тла, разлика апсорпција за  $\lambda_i = 1.628 \mu\text{m}$  и  $\lambda_j = 1.630 \mu\text{m}$  показала се као најтачнији модел са  $\text{RMSE}=0.064 \text{ m}^3/\text{m}^3$  и  $R^2 = 0.88$ . Најтачнији модел коришћењем нормализоване рефлексије постигао је тачност од  $\text{RMSE}=0.083 \text{ m}^3/\text{m}^3$  и  $R^2 = 0.68$  и то за  $\lambda = 1.944 \mu\text{m}$ .

Практична употреба ових модела је ограничена. У случају коришћења нормализоване рефлексије, потребно је познавати особине рефлексије локалних типова земљишта за нулти степен влажности (потпуно сува земља) што захтева теренски рад и лабораторијска испитивања. Такође, комерцијални сензори не снимају на таласној дужини  $\lambda = 1.944 \mu\text{m}$  за коју се добијају најбољи резултати због високог степена апсорпције водене паре у атмосфери. Коришћење разлике рефлексије или апсорпције не захтева никакво *a priori* знање, али због веома блиских таласних дужина за које је потребно имати мерење рефлексије, захтева употребу хиперспектралних снимања.

За оцену влажности земљишта може се користити и Нормализовани вишеканални индекс суше<sup>46</sup> (NMDI) (Wang и Qu, 2007):

$$NMDI = \frac{R_{860nm} - (R_{1640nm} - R_{2150nm})}{R_{860nm} + (R_{1640nm} - R_{2150nm})} \quad 5-27$$

где  $R_{860nm}$ ,  $R_{1640nm}$  и  $R_{2150nm}$  представљају рефлексије које региструје сателитски сензор у NIR, SWIR1 и SWIR2 каналима респективно, развијен је за детекцију садржаја воде у земљишту и вегетацији. Индекс користи NIR канал које није осетљив на промене садржаја воде и разлику између два канала које вода апсорбује (SWIR1 и SWIR2) као елемент осетљив на присуство воде у земљишту и вегетацији.

Да би се овај индекс који узима вредности од 0 до 1 прилагодио употреби за процену влажности земљишта оригинални индекс је модификован:

$$NMDI_{SOIL} = 0.9 - \frac{R_{860nm} - (R_{1640nm} - R_{2150nm})}{R_{860nm} + (R_{1640nm} - R_{2150nm})} \quad 5-28$$

<sup>46</sup> Normalized Multi-band Drought Index (eng.)

тако да узима вредности од 0 до 0.9 при чему више вредности индекса указују на влажније земљиште и то 0.4-0.6 за умерено влажно земљиште, >0.6 за врло влажно земљиште, <0.4 указује на суво земљиште, а <0.2 на екстремно суве услове (Wang et al., 2008).

## 5.2.2 Параметри описивања вештачких површина

Све вештачке површине које се могу осматрати са сателитских сензора (кровови, отворене непропусне и отворене делимично пропусне површине) могу се класификовати као минералне, металне и хидрокарбонатне (видети нпр. Heiden et al., 2007):

Табела 5-14. Класификација вештачких површина

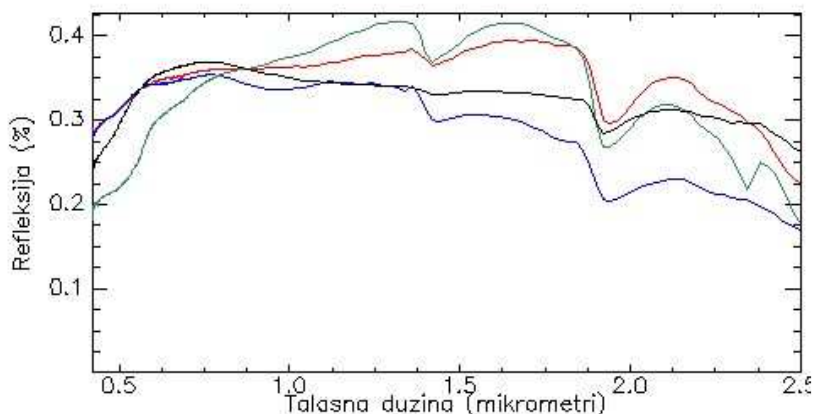
Кровни материјали	Минерални	- цреп - бетон - шљунак - цементна влакна итд.
	Метални	-алуминијум - цинк - бакар - олово
	Хидрокарбонати	- битумен - тар папир - поливинил-хлорид (ПВЦ) - полиетилен - полиизобутилен
Непропусне отворене површине	Минералне	- бетон
	Хидрокарбонати	- асфалт
Делимично непропусне отворене површине	Минералне	- калдрма - бетонске стазе

Вештачке површине представљају, у темпоралном смислу, стабилне појаве и основна квантитативна информација за праћење ове појаве је густина вештачког покривача на неком простору. Ова информација се у пракси концептуализује кроз величину која се зове степен непропусности и представља проценат непропусне

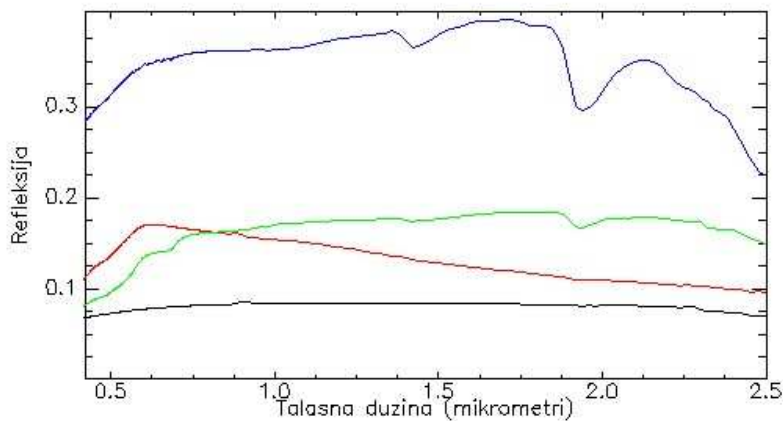
површине у односу на укупну јединичну површину (обично површину пиксела снимка даљинске детекције који се користи за добијање ове информације).

Непропусне површине представљају површине земљишта покривене непропусним материјалима као што су бетон, метал, пластика, стакло итд., као резултат урбаног развоја и изградње инфраструктуре (Buttner, 2012).

Оцена степена непропусности коришћењем података оптичких сателитских сензора је у суштини резултат подпикселске анализе снимака. Основни проблем добијања ове информације је велика варијабилност спектралних потписа непропусних (вештачких) материјала (Слика 5-24, Слика 5-25). Чак и у оквиру једног типа материјала могу постојати значајне спектралне разлике. На слици 5-24 се може приметити да у случају разних врста бетона, разлике у рефлексији могу ићи од врло малих у NIR региону до чак 0.1 у SWIR региону. Решење се може тражити у локализованој парцијалној подпикселској анализи као што је то објашњено у поглављу 4.2.



Слика 5-24. Спектрални потписи неколико различитих врста конструктивног бетона у VIS-NIR-SWIR региону (график је генерисан према подацима из Johns Hopkins University Spectral Library)



Слика 5-25. Спектрални потписи неколико различитих врста вештачких материјала: асфалт (црна), бакарни кров (црвена), *terra cotta* цигла (зелена) и конструктивни бетон (плава) у VIS-NIR-SWIR региону (график је генерисан према подацима из Johns Hopkins University Spectral Library)

Друга могућност за оцену степена непропусности је употребом емпиријске функције зависности са одговарајућим спектралним индексима. У литератури се могу наћи неколико индекса који су високо корелисани са количином непропусних површина (Deng и Wu, 2012):

а) Индекс биофизичког састава<sup>47</sup> (BCI) који су развили Deng и Wu (2012):

$$BCI = \frac{(H + L)/2 - V}{(H + L)/2 + V} \quad 5-29$$

$$H = \frac{TC1 - TC1_{\min}}{TC1_{\max} - TC1_{\min}} \quad 5-30$$

$$V = \frac{TC2 - TC2_{\min}}{TC2_{\max} - TC2_{\min}} \quad 5-31$$

$$L = \frac{TC3 - TC3_{\min}}{TC3_{\max} - TC3_{\min}} \quad 5-32$$

<sup>47</sup> Biophysical Composition Index (eng.)

где су  $TC1$ ,  $TC2$  и  $TC3$  прве три *Tasseled Cap* компоненте, а  $TCi_{\min}$  и  $TCi_{\max}$  минималне и максималне вредности одговарајућих *Tasseled Cap* компонената.

б) Индекс изграђености<sup>48</sup> (NDBI) (Zha et al., 2003):

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR} \quad 5-33$$

в) Индекс непропусних површина<sup>49</sup> (NDISI) (Xu, 2010):

$$NDISI = \frac{TIR - (MNDWI + NIR + SWIR) / 3}{TIR + (MNDWI + NIR + SWIR) / 3} \quad 5-34$$

где је  $MNDWI$  модификовани индекс воде<sup>50</sup> (Hanqiu, 2006).

Ниједан од ова три индекса нису погодни да се употребљавају као самостални квантитативни параметри у оперативне сврхе где је неопходно комбиновати податке са више сензора рзличитих спектралних и просторних резолуција. NDBI зависи од SWIR канала, а NDISI од SWIR и TIR па је њихова употреба ограничена на сензоре који снимају у ових спектралним опсезима. Са друге стране, VCI је применљив на податке са свих сензора, али се поставља питање колико су вредности индекса, односно вредности *Tasseled Cap* компонената упоредиве између сензора. Такође, коефицијенти *Tasseled Cap* трансформације могу се значајно разликовати у различитим географским регионима (Ivits et al., 2008), али за мања регионална подручја где се састав земљишта не разликује драстично ово не би требало да има утицаја.

Из претходног се може извести закључак да је за сваки индекс и за сваки сензор потребно успоставити глобалне параметре функције везе између индекса и степена непропусности као крајњег циља, као и степен корелације који би одредио оптимални избор модела. Ова питања би свакако требало да буду предмет будућег истраживања.

<sup>48</sup> Normalized Difference Built-up Index (eng.)

<sup>49</sup> Normalized Difference Impervious Surface Index (eng.)

<sup>50</sup> Modified Normalised Difference Water Index (eng.)

### 5.3 КВАНТИТАТИВНО ОПИСИВАЊЕ ВОДЕ

Картографско моделирање воде као типа земљишног покривача подразумева генерисање информација о присуству и количини воде на одређеној површини земље као и о њеном квалитету. Вода је веома важан природни ресурс, па је од огромног значаја поседовати информације о њеном присуству и количини. Такође, вода је изузетно динамичан тип земљишног покривача, посебно када су у питању системи плитких вода са нестабилним границама. Такође, и квалитет воде је динамична категорија па је висока темпорална резолуција ових информација неопходна за велики број примена.

Под квалитетом воде подразумева се општи опис карактеристика воде у смислу физичких, хемијских, термалних и/или биолошких карактеристика. Главни фактори који утичу на квалитет воде су концентрација суспендованих честица (замућеност), хлорофил, хемикалије, растоврени органски материјал, термална испуштања, водене васкуларне биљке, патогени и уља (Ritchie et al, 2003). Све набројано осим хемикалија и патогена мењају спектралне особине воде па се могу мерити методама даљинске детекције.

Рефлексија воде представља функцију дубине воде, особина суспендованих честица и оптичких особина дна

Параметри присуства и квалитета воде могу се оцењивати коришћењем физичких и емпиријских модела. Физички модели успостављају везу између спектралних и физичких карактеристика воде, док емпиријски модели подразумевају коришћење емпиријски изведених индекса воде.

#### 5.3.1 Физички модели

За разумевање физичких модела параметара квалитета воде неопходно је кренути од везе између рефлексије даљинске детекције  $R_{rs}(\lambda)$  и оптичких карактеристика воде- коефицијената укупне апсорпције ( $a$ ) и расипања „у назад“ ( $b_b$ ) (Gitelson et al, 2008):

$$R_{rs}(\lambda) \propto \gamma \frac{b_b(\lambda)}{a(\lambda) + b_b(\lambda)} \quad 5-35$$

где је  $\lambda$  таласна дужина зрачења а  $\gamma$  параметар који описује геометрију поља зрачења које креће од водене површине.

Коефицијент апсорпције  $a(\lambda)$  је сума коефицијената апсорпције различитих састојака воде и то пигмената фитопланктона у који спада и хлорофил ( $a_{pigm}$ ), обојених растворених органских супстанци ( $a_{CDOM}$ ), делова који не потичу од алги ( $a_{tripton}$ ) и чисте воде ( $a_{water}$ ):

$$a = a_{pigm} + a_{CDOM} + a_{tripton} + a_{water} \quad 5-36$$

Концентрација суспендованих честица (mg/l) се може успешно оцењивати применом физичког модела који су развили Schiebe et al. (1992):

$$R_i = A_i + B_i \left[ 1 - e^{-(c/S_i)} \right] \quad 5-37$$

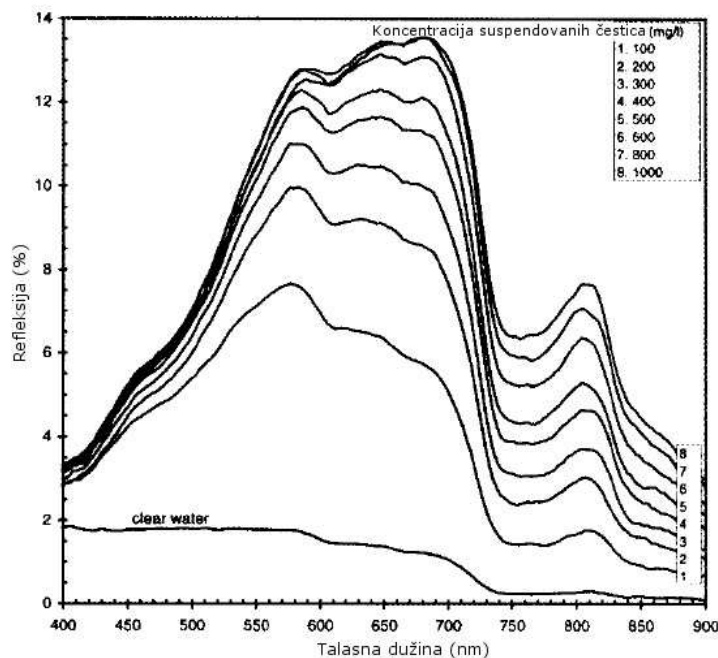
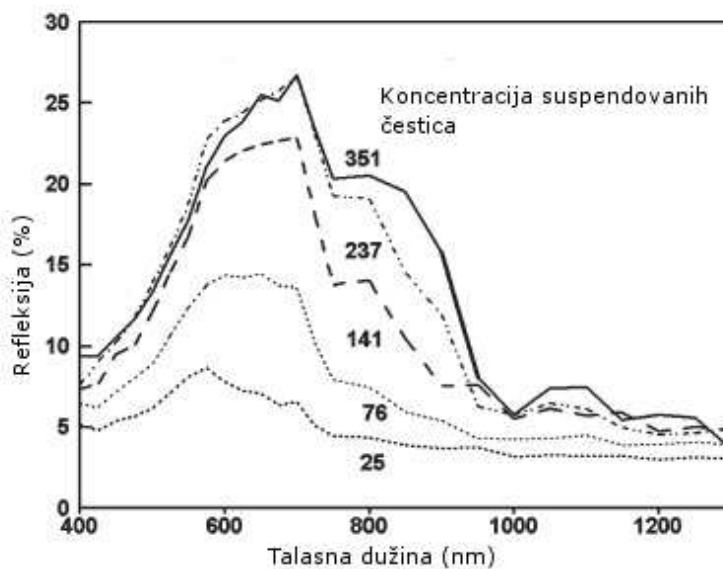
где су:  $R_i$  - рефлексија у каналу  $i$ ,  $c$  - концентрација суспендованих честица,  $A_i$  - комбинује зрачење из пута кроз атмосферу који се приписује *Rayleigh* и *Mie* расипању са рефлексијом чисте воде  $B_i$  - повећање у егзоатмосферској рефлексији од  $A_i$  до нивоа асимптотског засићења рефлексије при високим вредностима концентрације суспендованих честица у каналу  $i$ ,  $S_i$  - параметар концентрације који одговара концентрацији када је рефлексија 63% од засићене вредности у каналу  $i$ .

Harrington et al. (1992) су упоређујући *in situ* и сателитске податке из регресије одредили коефицијенте  $A_i$ ,  $B_i$  и  $S_i$  за Landsat MSS сензор при чему су утврдили да модел најбоље одговара 3. каналу (R) са  $R^2=0.716$  и стандардна грешка оцењених вредности 0.026. Вредности коефицијената за 3. канал су:  $A_i=0.057$ ,  $B_i=0.160$  и  $S_i=266.6$ .

Зависност рефлексије од концентрације суспендованих честица по спектралним каналима одређивали су у *in situ* испитивањима Ritchie et al. (1976) (Слика 5-26а). Прецизније податке добили су Lodhi et al. (1998) у лабораторијском



условима (Слика 5-26б). На графику се може уочити да zasiћење најбрже наступа у плавом и зеленом делу видљивог спектра, знатно спорије у црвеном делу док у блиско-инфрацрвеном спектру, тачније између 750 и 850 nm таласне дужине зрачења, повећање рефлексije у зависности од повећања концентрације суспендованих честица је готово равномерно.



Слика 5-26. График зависности рефлексije од таласне дужине зрачења и концентрације суспендованих честица одређене: а) in situ (Ritchie et al., 1976) и б) у лабораторијским условима (Lodhi et al., 1998)

Насупрот Harrington et al. (1992), Lodhi et al. (1998) предлажу коришћење блиско-инфрацрвеног канала и регресиони модел другог реда за оцену концентрације суспендованих честица. За 4. канал Landsat TM са овим моделом постижу коефицијент одређености  $R^2=0.989$ , а RMSE= 31.88:

$$c = 19.516 + 42.657 \cdot R_4 + 23.167 \cdot R_4^2 \quad 5-38$$

где су  $c$  - концентрација суспендованих честица,  $R_4$  - рефлексија у 4. каналу Landsat TM.

Концентрација хлорофила у води ( $\text{mg/m}^3$ ), фотосинтетички активног пигмента у фитопланктонима, је кључни индикатор биофизичког статуса воде (Moses et al., 2012). Оцењивање концентрације хлорофила није погодно вршити коришћењем стандардних оптичких сензора високе резолуције (Landsat, SPOT, IRS..) у условима високе концентрације суспендованих честица (овај сигнал постаје доминантан), због релативно ниске спектралне резолуције ових сензора (Ritchie et al, 2003; Ritchie et al, 1990). Међутим, NIR-Red алгоритми калибрисани за податке са MERIS сензора погказали су се погодним да постану стандардне метода за процену концентрације хлорофила (Moses et al., 2012).

Калибрисани алгоритми одређени од Moses et al. (2009):

-за два MERIS канала:

$$Chl - a = 61.324 \cdot [R_{665}^{-1} \cdot R_{708}] - 37.94 \quad 5-39$$

-за три MERIS канала:

$$Chl - a = 232.29 \cdot [(R_{665}^{-1} \cdot R_{708}^{-1}) \cdot R_{753}] + 23.174 \quad 5-40$$

и они одређени од Gilerson et al. (2000):

-за два MERIS канала:

$$Chl - a = [35.75 \cdot [R_{665}^{-1} \cdot R_{708}] - 19.3]^{1.124} \quad 5-41$$

-за три MERIS канала:

$$Chl - a = \{113.36 \cdot [(R_{665}^{-1} \cdot R_{708}^{-1}) \cdot R_{753}] + 16.45\}^{1.124} \quad 5-42$$

су показали конзистентне резултате у различитим примерима квалитета вода и различитим географским локацијама без потребе да се параметри регресије поново одређују у случајевима када је концентрација хлорофила већа од 5 mg/m<sup>3</sup>, што их чини погодним за оперативну употребу (Moses et al., 2012). Сви алгоритми дају приближно исту тачност и то средњу апсолутну грешку од око 4.5 mg/m<sup>3</sup> и средњу квадратну грешку од око 5.9 mg/m<sup>3</sup>.

Јасноћа<sup>51</sup> је параметар који се такође често користи у описивању квалитета воде и представља меру даљине продирања светлости у водену масу. *In situ* мерења овог параметра изводе се коришћењем *Secchi* диска- белог диска пречника 20 cm који се спушта до тренутка када се више не види. Дубина која се при томе забележи назива се *Secchi* дубина. На јасноћу воде утичу различите појаве које се налазе у води: алге и честице које остају од алги, природни обојени органски материјал и честице глине и муља.

Стандардни модел предикције јасноће воде изражене преко *Secchi* дубине је (Kloiber et al., 2002a; Brezonik et al., 2007):

$$\ln(SD) = a(TM1/TM3) + b(TM1) + c \quad 5-43$$

где су  $a$ ,  $b$  и  $c$  - коефицијенти регресије,  $SD$  - *Secchi* дубина, а  $TM1$  и  $TM3$  - DN вредности у плавом и зеленом каналу LANDSAT TM сензора,

односно:

$$\ln(SD) = a(MSS1/MSS2) + b(MSS1) + c \quad 5-44$$

за случај LANDSAT MSS сензора.

Коефицијент одређености предикције јасноће воде на овај начин се креће у распону  $R^2=0.7-0.9$  за LANDSAT TM сензор са стандардном грешком предикције од 0.17-0.42 m (Kloiber et al., 2002b), а за LANDSAT MSS сензор  $R^2=0.60-0.79$  и стандардна грешка 0.34-0.43 m (Kloiber et al., 2002b).

На коефицијенте регресије утичу различити фактори као што су атмосферски услови и положај Сунца. Да би се одредили и користили јединствени коефицијенти, претходно мора бити извршена робусна калибрација снимака.

---

<sup>51</sup> Clarity (eng.)

За добијање параметара квалитета воде, дубину и спектралних особина дна развијају се модели трансфера зрачења, мада они у овом тренутку нису достигли зрелост попут оних развијених за потребе праћења вегетације (нпр. PROSAIL). На основу приступа Lee et al. (2001) који су укључили инверзију и оптимизацију и извели карактеристике воденог стуба и дна (дубина дна, алbedo дна, коефицијенти апсорпције пигмената и коефицијенти расипања унатраг за суспендоване честице у воденом стубу), Brando et al. (2009) су развили модел SAMBUCA (Semi analytical model for bathymetry unmixing and concentration assessment). Модел упоређује моделовану рефлексију водене површине са рефлексијом мереном на сензору и оптимизује параметре модела тражећи најмање разлике рефлексије. Параметри модела, који су уједно и излазни подаци укључују: дубину дна, композицију дна (тј. фракцију типова прекривача дна као што су песак, муљ, разне врсте водене вегетације итд.) и концентрације састојака воденог стуба укључујући хлорофил, обојену растворену органску материју (CDOM) и неорганску материју (NAP). Ови модели су развијени за хиперспектралне аеро-снимке (CASI-2, AVIRIS). Када су у питању сателитски хиперспектрални сензори, Lee et al. (2007) су такође на приступу Lee et al. (2001) развили модел HOPE (Hyperspectral Optimization Processing Execution) за Hyperion хиперспектралне снимке. Сви поменути модели су, међутим, фокусирани пре свега на процену дубине дна плитких вода за шта литература приказује оптимистичне оцене тачности тих процена. Са друге стране, оцене параметара квалитета воде су остале у другом плану то доказује и чињеница да су изостале оцене тачности процена тих параметара. Даље, јасно је да аеро-снимање није погодно за оперативно праћење карактеристика воде, међутим ни Hyperion сателитски сензор није у потпуности оперативан (Lee et al., 2007).

### 5.3.2 Емпиријски модели - водени индекси

Водени Индекс Нормализоване Разлике<sup>52</sup> (NDWI) користи више вредности рефлексије воде у зеленом делу видљивог спектра и ниске вредности рефлексије воде у блиском инфра-црвеном делу спектра (McFeeters, 1996):

---

<sup>52</sup> Normalized Difference Water Index (eng.)

$$NDWI = \frac{(\rho_{green} - \rho_{NIR})}{(\rho_{green} + \rho_{NIR})} \quad 5-45$$

Водене површине имају позитивне вредности индекса док земљиште и вегетација имају негативне вредности што омогућава одвајање водених од неводених површина.

Hanqiu (2006) је предложио употребу новог, Модификованог Воденог Индекса<sup>53</sup> (MNDWI), у коме SWIR1 канал (1.65  $\mu\text{m}$ ), замењује NIR

$$MNDWI = \frac{(\rho_{green} - \rho_{SWIR1})}{(\rho_{green} + \rho_{SWIR1})} \quad 5-46$$

На овај начин, MNDWI може да открије финије водене површине али и да отклони конфузију воде са урбаним површинама које могу имати слични спектрални одговор у зеленом и блиско-инфрацрвеном каналу, пре свега због појаве сенки. Иако се ова два индекса углавном користе за одвајање отворених водених од неводених површина, MNDWI има већу стандардну девијацију па дакле садржи више информација. Ово сугерише да би овај индекс могао да се користи за предикцију параметара квалитета воде, али о оваквој апликацији још увек нема значајнијих примера у литератури.

Ради процене замућености воде може се користити Индекс Замућености Нормализоване Разлике<sup>54</sup> (NDTI) (Lacaux et al., 1986):

$$NDTI = \frac{(\rho_{red} - \rho_{green})}{(\rho_{red} + \rho_{green})} \quad 5-47$$

Замућеност је последица присуства суспендованих честица у води чија је рефлективност већа у црвеном него у зеленом каналу. Међутим, овај индекс није примењљив на плитке воде јер у случају чисте воде, рефлексија дна даје сличне вредности индекса као у случају дубоке замућене воде, па се његова употреба мора ограничити на пикселе са дубоком водом.

<sup>53</sup> Modified NDWI (eng.)

<sup>54</sup> Normalized Difference Turbidity Index (eng.)

## **6 КОНЦЕПТ ОПЕРАТИВНОГ КВАНТИТАТИВНОГ МОНИТОРИНГА ЗЕМЉИШНОГ ПОКРИВАЧА**

Основни разлози за спровођење оперативног мониторинга земљишта као супротности *ad hoc* решењима су потреба за одговарајућим праћањем и заштитом биодиверзитета и екосистема, правилним управљањем ресурсима и политикама везаним за животну средину и успостављањем услова за одрживи социални и економски развој. Према Herold et al. (2006), оперативни мониторинг земљишта захтева интегрисано коришћење података опсервација, њихову трансформацију у корисне и флексибилне производе, њихове асимилације у моделе, ефективни дизајн модела и њихово коришћење у проценама, креирању политика и системима за подршку доношењу одлука. Значај успостављања оперативног мониторинга земљишта је препознат и артикулисан кроз бројне иницијатива на различитим политичким нивоима и у различитим географским областима (EP, 2010; Liu et al, 1999; Loboda et al, 2009; Skole et al., 1997; Defries and Townshend, 1999).

Било који систем оперативног мониторинга земљишта треба креирати тако да испуни очекивања корисника.

### **6.1 ОЧЕКИВАЊА ОД ОПЕРАТИВНОГ МОНИТОРИНГА ЗЕМЉИШТА**

Циљеви неког оперативног мониторинга земљишта су генерално јасно дефинисани и описани у литератури. На пример, прописи Европске Уније који се односе на Global Monitoring for Environment and Security програм (GMES) подвлаче да су „сервиси мониторинга земљишта важни за праћење биодиверзитета и екосистема и подршку мерама за смањење климатских промена и адаптацију и управљање широким спектром ресурса и политика, од којих је већина у вези са животном средином: земљиште, вода, пољопривреда, шуме, енергија, изграђена земљишта, рекреационе површине, инфраструктура и транспорт“ (EP, 2010). Међународна пажња усмерена на земљишни покривач као кључну компоненту глобалних промена снажно подстиче прелазак са

истраживачког на оперативни мониторинг земљишног покривача (Defries and Townshend, 1999). Међутим, за картографију као дисциплину која користи решења за гео-информационе моделе геопросторних појава, није есенцијално важан разлог за креирање модела, већ шта се од модела очекује. Очекивања од система мониторинга земљишта би требало извести из хипотезе да карте земљишног покривача треба да буду корисне својим корисницима, а не само употребљиве. Овај задатак је, међутим, комплексан имајући на уму велику разноврсност корисника који међусобно могу имати значајно различите потребе и очекивања од геопросторних информација.

Кроз истраживање литературе, препознати су следећи захтеви који стварају јасан оквир потребан за креирање једног система оперативног мониторинга земљишта:

- континуитет операција у смислу техничких аспеката и квалитета (Liu et al, 1999);
- успостављање процедура за валидацију података о земљишном покривачу (Defries and Townshend, 1999);
- аутоматизација метода за оперативну имплементацију (Defries and Townshend, 1999);
- правовремена производња информација- учесталост прикупљања података је од кључне важности јер од тога зависи на која питања ће моћи да дају одговоре (Brandt et al., 2002). На пример, многе примене захтевају годишњу производњу информација о земљишном покривачу, а постојећи програми картирања (нпр. CORINE land cover) не могу да одговоре на те захтеве јер захтевају доста времена и финансијских ресурса (Araujo et al., 2008);
- производња обимних и систематских информација о земљишном покривачу (Skole et al, 1997);
- успостављање концензуса о томе како описивати земљишни покривач да би се максимализовала корисност за широк спектар апликација (Defries and Townshend, 1999). Herold et al. (2006) указују да оперативни мониторинг земљишта захтева „заједнички језик“ ради комуникације у вези информација о земљишту током времена, у оквиру једне или између више

апликација, дисциплина или корисника, и кроз различите размере. Слично, Brandt et al. (2002) наглашава потребу за компатибилношћу између различитих кампања мониторинга – потребно је очувати упоредивост података/информација.

Из наведеног се може закључити да оперативни мониторинг земљишта треба да представља процес који има следеће особине:

- ефикасност (производња информација у оптималном року и са оптималним ресурсима);
- континуитет (информације поседују и временску димензију);
- правовременост (временске резолуције информација су адекватне);
- стандардизованост (моделу су стандардизовани, концепти су константни).

## **6.2 ХЕТЕРОГЕНОСТ ПОДАТАКА САТЕЛИТСКОГ ОСМАТРАЊА ЗЕМЉЕ**

Ако се упореде различите технологије за прикупљање геопросторних података које су тренутно на располагању, јасно је да је технологија сателитског осматрања Земље једина која може да обезбеди захтевану ефикасност оперативног мониторинга.

Подаци о земљишном покривачу неке територије се перманентно прикупљају са бројних сателита различитих просторних, спектралних и темпоралних карактеристика. Преглед података репрезентативних оперативних сателитских сензора и њихових карактеристика дат је у табели 6-1 при чему су сензори поређани према просторној резолуцији, од највеће до најмање. Може се уочити веома широк спектар просторне резолуције снимака: од 0.41 m до 1 km. Веома је разнолика и спектрална резолуција: од 4 канала код нпр. QUICKBIRD, IKONOS и AVHRR сензора, преко 13 канала у случају SENTINEL сателита до 36 канала код MODIS-а, са различитим спектралним опсезима. Периоди до поновног снимања који одређују темпоралну димензију могу бити од једног дана до 16 дана.



Различите апликације у мониторингу животне средине захтевају податке са различитим спектралним, просторним и темпоралним карактеристикама. Такође, зависност од било ког одређеног сензора због неких његових карактеристика може бити у великој мери лимитирајући фактор у контексту других карактеристика. На пример, темпорална димензија неких сензора може бити проблематична када се захтевају подаци у кратком року или у одређеном тренутку. Због тога је коришћење података из различитих сензора постало императив у мониторингу животне средине. Да би се извукла максимална корист из оваквог богатства различитих података, они треба да буду организовани на начин који може да обезбеди њихову систематску и комбиновану анализу. Као предуслов за испуњење ових захтева, неопходно је одређивање међу-сензорских односа ради њихове међусобне хармонизације и синтезе (Thenkabail, 2004).

Са друге стране, разлике у карактеристикама сензора, укључујући просторну, радиометријску и спектралну резолуцију представљају систематски извор несигурности у оцени квантитативних параметара којима се описује земљишни покривач.

Табела 6-1. Карактеристике различитих сателитских сензора

Сензор	Просторна резолуција (m)	Број спектралних канала	Опсежи канала ( $\mu\text{m}$ )	Темпорална димензија
GEOEYE	0.41,1.65	5	0.45-0.51 0.51-0.58 0.65-0.69 0.78-0.92 0.45-0.80 (p)	3 дана
QUICKBIRD	0.61,2.44	4	0.45-0.52 0.52-0.60 0.63-0.69 0.76-0.89	5 дана
IKONOS	1,4	4	0.445-0.516 0.506-0.595 0.632-0.698 0.757-0.853 (p)	5 дана
RAPID EYE - A	6.5	5	0.44-0.51 0.52-0.59 0.63-0.68 0.69-0.73 0.77-0.89	1-2 дана
SPOT-1,2,3,4,5	2.5,5,10,20	5	0.50-0.59 0.61-0.68 0.79-0.89 1.5-1.75 0.51-0.73 (p)	2-3 дана

IRS-1C	23,5	15	0.52-0.59 0.62-0.68 0.77-0.86 1.55-1.70 0.5-0.75 (P)	16 дана
ASTER	15,30,90	15	0.52-0.63 0.63-0.69 0.76-0.86 0.76-0.86 1.60-1.70 2.145-2.185 2.185-2.225 2.235-2.285 2.295-2.365 2.360-2.430	16 дана
LANDSAT 4,5,7	15,30	7,8	0.45-0.52 0.52-0.60 0.63-0.69 0.50-0.75 0.75-0.90 10.0 - 12.5 1.75-1.55 0.52-0.90 (p)	16 дана
SENTINEL	10,20,60	13	VIS/NIR+SWIR	5 дана
MODIS	250,500,1000	36/7	0.459-0.479 0.545-0.565 0.62-0.67 0.84-0.876 1.23-1.25 1.63-1.65 2.11-2.16	једном дневно
MERIS	300	15	Од 0.39 до 1.04, ширине канала се могу програмирати	3 дана
AVHRR	1000	4	0.58-0.68 0.725-1.1 3.55-3.93 10.50-11.50	једном дневно

### 6.2.1 Разлике у спектраној резолуцији

Основни изазови у комбинованом коришћењу података из различитих сензора су последица пре свега различитих спектралних особина, дакле позиције и ширине спектралних канала, и просторне резолуције података, односно величине пиксела. Док спектрални канал заправо представља физичку величину која се мери, просторна резолуција утиче на степен генерализације те физичке величине због спектралног мешања појава земљишног покривача у оквиру пиксела. „Сличности“ сензора у смислу ове две карактеристике драстично

повећавају могућности њиховог директног упоређивања. На пример, ширине спектралних канала LANDSAT 7 ETM+ и IKONOS података немају значајан утицај на динамички опсег података због високог степена њиховог међусобног поклапања док изразита разлика у просторној резолуцији иде у прилог IKONOS подацима да региструју спектралне карактеристике мањих појава земљишног покривача (Thenkabail, 2004). Међутим, у поменутом истраживању су се користили симулирани подаци без узимања у обзир разлика у функцијама релативног спектралног одговора сензора (Слика 6-1). Функција релативног спектралног одговора сензора у оквиру канала описује одговор за сваку таласну дужину излазног сигнала по јединици упадног флуksа (Schott, 2007). Релативни спектрални одговор значајно утиче на осетљивост па је тако рефлексивност у црвеном каналу измерена на IKONOS-у око 3% виша него да је измерена на SPOT4 или ETM+, и 5-6% нижа у NIR (Soudani et al., 2006; Goward et al, 2003). Разлике у спектралним карактеристикама између ових сензора су зависне од густине вегетације, па тако су за голо земљиште и оно прекривено ретком вегетацијом подаци слични и никаква корекција није потребна, а разлика се повећава са повећањем густине вегетације, односно LAI (Soudani et al., 2006).

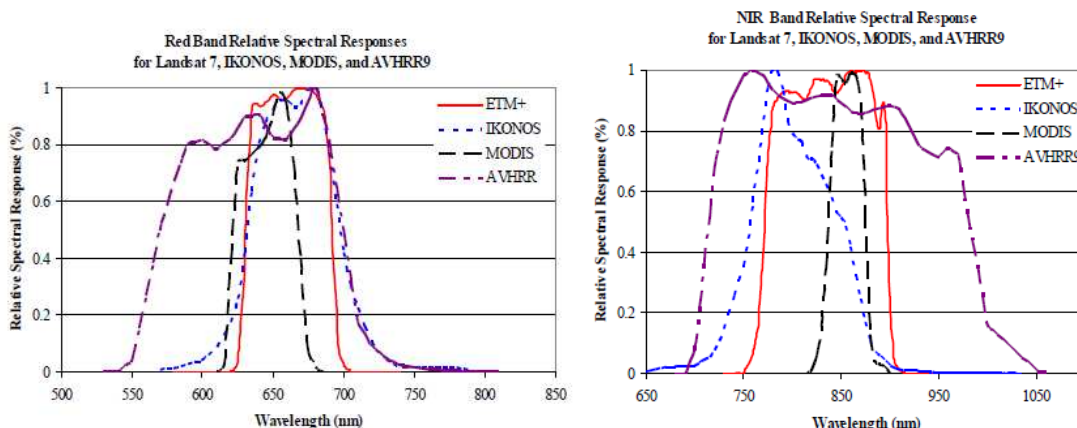
Уобичајени метод за успостављање међу-сензорских односа је унакрсна калибрација линеарном регресијом (Vogelman et al, 2001; Teillet et al., 2007). Steven et al. (2003) одредили су такође снажну линеарну зависност за NDVI и SAVI добијених из сензора AVHRR, ATSR-2, LANDSAT MSS, TM and ETM+, SPOT-2, SPOT-4 HRV, IRS, IKONOS, SEAWIFS, MISR, MODIS, POLDER, Quickbird и MERIS, омогућавајући да се вегетациони индекс из различитих сензора међусобно калибришу на релативно једноставан начин (Табела 6-2). Проблем је, међутим, што се не могу успоставити опште функције везе јер су утицаји на сигнале из различитих сензора зависни и од карактеристика сцене (Taillet et al., 2007).

У оперативном мониторингу земљишта када је неопходно коришћење података са великог броја различитих сензора, овај приступ унакрсне калибрације практично би значио да се један од сензора прогласи за референтни, а сви остали би се кориговали према њему. Оваква пракса већ постоји у случају LANDSAT 7 и LANDSAT 5 сензора када се одличне радиометријске карактеристике LANDSAT

7 користе за калибрисање LANDSAT 5 (Teillet et al., 2001). Међутим, овде остаје проблем немогућности успостављања глобалних функција везе које би биле независне од географског подручја и састава сцене, што значи да би параметри унакрсне калибрације морали бити локализовани да би се добили реални резултати, а то захтева комплексно решење у контексту оперативног мониторинга.

Табела 6-2. Коефицијенти међусобне калибрације различитих сензора

	R		NIR		NDVI	
	a	a	a	b	a	b
$S2=a*S1+b$ (S1 vs S2)						
IKONOS vs ETM+ (Soudani et al., 2006)	0.941	0.8671	0.8671	0.0204	0.941	-0.025
IKONOS vs ETM+ (Thenkabail, 2004)					0.8694	-0.191
IKONOS vs ETM+ (Steven et al., 2003)					0.908	-0.013
ETM+ vs TM(L5) (Vogelmann et al., 2001)	0.650	-2.50	0.701	-4.80		
SPOT4vs ETM+ (Soudani et al., 2006)					1.047	-0.013
SPOT4vs ETM+ (Steven et al., 2003)					1.042	-0.006
SPOT4 vs IKONOS (Soudani et al., 2006)	0.9854	-0.037	0.869	0.019	0.9854	-0.037



Слика 6-1. Пример разлика у релативном спектралном одговору између IKONOS, Landsat 7 ETM+, MODIS и AVHRR9 сензора у црвеном (лево) и блиско-инфрацрвеном каналу (десно), (преузето из Fleming, 2006)

## 6.2.2 Разлике у просторној резолуцији и теорија спектралног мешања

Сигнал који до сателита стиже са одређене површине на земљи резултат је спектралних особина свих појава на тој површини. У колико је површина „хомогена“ то значи да само једна, „хомогена“, појава доприноси укупном сигналу. Међутим, хомогеност је у овом контексту категорија која зависи од просторне размере у којој се свет посматра. Тако на пример, у једној размери се може рећи да је трава хомоген тип земљишног покривача, док се у другој размери

могу разликовати груписани родови трава, а у трећој квалитет појединачних биљака.

Оно што је од интереса у контексту зависности мерења од размере је модел формирања мереног сигнала на сензору. Он је увек резултат интеракције електромагнетног зрачења са саставним деловима земљишног покривача у оквиру једног пиксела. Мешани пиксели садрже мешавину више различитих материјала и могу да се појаве у зависности од просторне резолуције снимања, када је пиксел већи од једне „хомогене“ области, или независно од ње, када су различити материјали помешани у „хомогену“ смешу (нпр. песак, вода са муљем...) (Keshava, 2003). Мешани пиксели се у општем случају моделирају коришћењем линеарног или нелинеарног модела (Somers et al., 2011). Линеарни модел мешања се заснива на претпоставци да је мешање материјала идеално пропорционално са јединственом рефлексијом сунчевог зрачења при чему упадни фотон интерагује са само једном компонентом пиксела (Keshava, 2003; Somers et al., 2011). Мешани сигнал је тада линеарна комбинација чистих сигнала са његових компонената при чему се површине ових подпикселских фракција узимају као тежине.

Нелинеарни модели мешања у оквиру пиксела се примењују при претпоставци да су компоненте равномерно распоређене унутар пиксела чинећи „хомогену“ мешавину (Keshava, 2003) или је производ вишеструког распршавања зрачења између најмање два материјала унутар пиксела (Somers et al., 2011). Многа истраживања показала су да нелинеарни модели боље описују пикселско мешање (нпр. Arai, 2007), али очито је да овакав приступ, због комплексне интеракције између зрачења, земљишног покривача и атмосфере, ствара значајнији ефекат размере на мерени сигнал.

Такође, важно је приметити да је променљивост спектралног одговора земљишног покривача зависна од величине пиксела и да је степен ове зависности повезан са просторним карактеристикама земљишног покривача (Curtan и Atkinson, 1999). Променљивост и опсег вредности података даљинске детекције се по правилу смањује са повећањем величине пиксела и обрнуто. То се наравно догађа због смањивања детаљности (односно генерализације) података приликом преласка из крупније у ситнију размеру, међутим интензитет варијација између пиксела, поред просторне резолуције сензора зависи и од просторне варијације

сцене (Woodcock и Strahler, 1987). Другим речима, за „хомогене“ пејзаже оптимални су већи пиксели и обрнуто.

Овде се, такође, може поставити питање сврхе прикупљања и коришћења података у ниским резолуцијама. Разлози за ово су пре свега јасни у контексту оперативног мониторинга земљишта, наиме, снимци ниских резолуција увек имају високе темпоралне резолуције, а често и више спектралне резолуције, и ниску цену, а значај временске и спектралне димензије у моделирању земљишног покривача је већ јасно наглашен. То значи да је у оперативном мониторингу земљишта неопходно користити податке различитих просторних резолуција, али да би се постигао виши ниво моделирања земљишног покривача, различити подаци морају бити организовани на начин који ће омогућити њихово истовремено коришћење у геоинформационим моделима.

#### **6.2.2.1 Утицај просторне резолуције података даљинске детекције на оцену биофизичких параметара**

Уколико се успостави основни модел рачунања биофизичких параметара (ВР) као функције података добијених из мерења методама и инструментима даљинске детекције:

$$ВР=f(\text{мерења}) \quad 6-1$$

лако је приметити да су сви елементи оваквог модела зависни од размере у којој функционишу. У том случају, неминовано се јављају ефекти размере које можемо дефинисати као контраст информација, тј. појава различитих карактеристика на различитим размерама (Wu и Li, 2009). Hall et al. (1992) су дали формулацију независности модела од размере: алгоритам  $A_j$  који рачуна вредност параметра  $p$  од зрачења  $\psi_i$  емитованог са „хомогеног“ парчета земљине површи је независан од размере у оквиру региона  $R$  само ако је:

$$p_R = \sum \omega_i A_j(\psi_i) = A_j(\sum \omega_i \psi_i) = A_j(\psi_R) \quad 6-2$$

где је  $\omega_i$  део региона  $R$  који емитује зрачење  $\psi_i$ .

Основни извори ефеката размере на оцену биофизичких параметара могу се сумирати у три категорије према концепту Wu и Li (2009) и Lilburne (2002):

- ограничења мерења;
- применљивост самог модела добијања биофизичких параметара у одређеним размерама;
- хетерогеност земљишног покривача и карактеристика линеарности или нелинеарности модела..

Код модела оцене биофизичких параметара, просторна хетерогеност земљишног покривача може имати значајног утицаја на оцену карактеристика земљишног покривача. Функције трансфера зрачења које се користе да би се извели биофизички параметри из података даљинске детекције су генерално дизајниране за „хомогене“ површине при чему мерења са сателита представљају просторно осредњене вредности сигнала зрачења у оквиру једног пиксела (Garrigues et al., 2002). Ови аутори закључују управо да разлике у оцени LAI из VI добијених из података различитих просторних резолуција потичу из нелинеарности функције везе и просторне хетерогености података.

У случају када се биофизички параметри оцењују из VI, могу се извући основни закључци о ефектима размере на основу досадашњих истраживања:

- два основна питања од значаја за оцену ефекта размере су: а) да ли је биофизички параметар линеаран у односу на VI?, и б) да ли је VI линеаран у односу на зрачење? (Hall et al., 1992);
- линеарни модели не производе одступања узрокована променом размере када су у питању промене густине једног типа земљишног покривача или мешања више типова сличних спектралних особина, али се ефекти размере појављују у случајевима дисконтинуитета, тј. мешања типова земљишног покривача са великим спектралним контрастом (Chen, 1999);
- нелинеарни модели имају с друге стране истовремени проблем нелинеарности и дисконтинуитета (Chen, 1999; Garrigues et al., 2002);
- ефекат размере се шири у случајевима слагања више нелинеарних модела, дакле када се VP оцењују кроз нелинеарну функцију везе са VI који је такође нелинеарна функција зрачења (Garrigues et al., 2002);

- главни утицај на ефекат размере има фрагментисаност терена односно степен дисконтинуитета као мера хетерогености, тј. количина смењивања различитих типова земљишног покривача (Chen,1999);
- потребно је познавати фракције одређених типова земљишног покривача које имају значајан спектрални контраст према другим типовима (нпр. воде) на вишим просторним резолуцијама да би се оценио ефекат размере на биофизичке параметре (Chen,1999).

Због изразито нелинеарног карактера, веза између NDVI и LAI и зависи од размере док је веза између NDVI и fAPAR линеарна са доста slabим ефектом размере, али је сам NDVI индекс завистан од размере (Friedl et al, 1995).

Ефекте размере у случају физичких модела, размотрићемо на примеру модела PROSAIL. Дизајн овог модела је сам по себи резултат одговора на питања ефекта размере: док је PROSPECT модел оптичких карактеристика лишћа (дакле функционише на веома крупној размери у контексту пејзажа), SAIL описује карактеристике сложеног вегетационог покривача. Оригинални PROSAIL модел је дизајниран за зелене, „хомогене“ и равномерно распоређене вегетационе површине као што су усеви и травнате површине, док је побољшани модел укључио и допринос зреле (браон) вегетације и фактор сенке као параметра „грубости“ вегетационог покривача. Међутим и побољшани модел је такође дизајниран за „хомогене“ вегетационе површине што узрокује појаву значајног ефекта размере са смањивањем просторне резолуције пиксела.

Ефекти размере код PROSAIL модела могу се видети у анализи конзистенције биофизичких параметара добијених из снимака различитих резолуција у оквиру пројекта geoland 2 (geoland2, 2010b). Параметри високе резолуције (geoland2, 2010b) добијени су из SPOT снимака просторне резолуције 20 метара док су параметри у нижој размери (geoland2, 2011) добијени из MERIS снимака просторне резолуције 300 m. Анализа конзистенције биофизичких параметара добијених из снимака више и ниже резолуције спроведена је на три VALERI<sup>55</sup> подручја, два пољопривредна и једном шумском. Показало се да постоји добра конзистенција између lsv и fAPAR са средњом квадратном грешком од око 0.1 (10%) и добром корелацијом ( $R^2 > 0.75$ ), док је GLAI показао добру

---

<sup>55</sup> <http://w3.avignon.inra.fr/>



конзистенцију на шумском и једном од пољопривредних подручја. У пољопривредним подручјима у областима са гушћом вегетацијом lcv и fAPAR добијени из MERIS снимака имају генерално нешто више вредности (и до 0.2) од оних добијених из SPOT снимака и обрнуто, док је у шумском подручју овај тренд обрнут. GLAI из MERIS снимака је у свим подручјима виши у областима са гушћом вегетацијом, док у пољопривредним подручјима GLAI из SPOT снимака показује засићење на граници 3-3.5 што доводи до великих разлика (до -2) са GLAI из ситније размере. b1cv и LAI (који је завистан од процента покривености нефотосинтетичком вегетацијом) су се показали као изразито неконзистентни.

Из овога се могу исвести два закључка: а) у тренутном облику PROSAIL модел не показује изразите ефекте размере у случају биофизичких параметара који описују зелену вегетацију, односно показује значајни ефекат размере код параметара нефотосинтетичке вегетације, и б) карактеристике ефекта размере PROSAIL модела зависе од типа пејзажа.

### **6.3 ОРГАНИЗАЦИЈА ПОДАТАКА –УСПОСТАВЉАЊЕ РЕФЕРЕНТНОГ ГРИДА ЗА МОНИТОРИНГ ЗЕМЉИШТА**

Основни је захтев квантитативног мониторинга земљишног покривача да се бројни подаци са великог броја сензора могу просторно и спектрално упоређивати и анализирати. Одговор на овај захтев може се постићи успостављањем референтног грид-система за организацију геопросторних података и изведених информација. Основна идеја је да се квантитативни подаци са сателитских сензора о територији над којом се врши мониторинг земљишта организују у апстрактној мрежи правилних ћелија, просторно и кроз размере. То значи да ћелије грида представљају фиксиране просторне локације којима се придружују подаци (који се односе на те локације) из сателитских осматрања са различитих сензора и из различитих временских периода.

Потребе за постојањем референтних грид-система за одређене политичко-географске области већ су артикулисане кроз иницијативе на различитим нивоима. Одређивање карактеристика референтног грида је стога резултат политичке одлуке колико и техничких решења. Иницијатива о дефинисању

Европског Референтног Грида<sup>56</sup> представља значајну активност у процесима стандардизације презентације података и информација на европском континенту. Закључци Радионице посвећене успостављању Европског Референтног Грида садрже и препоруке конкретног техничког решења (JRC-IES-LMU-ESDI, 2004).

Најважнији закључци и препоруке се могу сумирати кроз следеће:

- концепт Грида се може формулисати кроз дефиницију: „Грид за представљање тематске информације је систем регуларних геореференцираних ћелија, одређеног облика и величине и са придруженом особином“;
- сврха Европског Референтног Грида је превасходно за прикупљање и анализу података о појавама које имају просторну димензију. Из тог разлога GRID мора бити хомоген и сваки елемент површине мора имати исту вероватноћу учествовања у систему. То значи да Европска територија треба да буде подељена на делове са истим површинама;
- због наведених разлога, референтни GRID систем треба да се изгради коришћењем Европског референтног система ETRS-LAEA (ETRS89 геодетски датум и Ламбертова еквивалентна пројекција). Центар пројекције је у 52° северне географске ширине и 10° источне географске дужине и ова тачка има правоугле координате у пројекцији: 4321000, 3210000 метара;
- систем треба да буде хијерархијски што омогућава да се подаци смештају у различитим размерама. Предложена је хијерархијска метричка структура: 1 m, 10 m, 100 m, 1000 m, 10.000 m, 100.000 m;
- у изградњи система треба пратити принципе квалитета који су описани у ISO 19113-11915;
- временски жиг је предуслов система;
- метаподаци су нужна компонента било којег будућег GRID-система који се базира на Европском Референтном GRID систему. Метаподаци треба да прате ISO спецификације и да се праве да би описивали сваки специфични GRID и информације које се односе на специфичну јединицу грида.

---

<sup>56</sup> European Reference Grid (eng.)

INSPIRE директива се такође бави географским GRID системом кроз спецификације које су састављене да би омогућиле хармонизовану и интероперабилну гео-локализацију просторних објеката који су дефинисани у другим спецификацијама INSPIRE тематских података (INSPIRE, 2010). Сама директива дефинише Географски GRID систем као „хармонизовани вишеразмерни GRID са јединственим координатним почетком и стандардизованим положајем и величином ћелије GRID“ (Directive 2007/2/EC). INSPIRE спецификације за географске GRID системе (INSPIRE, 2010) практично усвајају закључке Радионице везане за Европски референтни GRID за вишенаменски пан-европски стандард. Европска Агенција за Животну Средину (EEA) такође усвајају ETRS89-LAEA координатни референтни систем за свој референтни GRID са резолуцијама 100m, 1km, 10km и 100km, односно 25 m и 250 m за аналитичке потребе тамо где стандардне ћелије GRID од 100 m и 1 km нису погодне (Peifer, 2011).

USGS NLCD GRID резолуције 30m користи Албертову Конусну Еквивалентну Пројекцију са две стандардне паралеле и максималним фактором размере 1.25% за цео континентални део Сједињених Америчких Држава. Ова пројекција, међутим, није погодна за картоирање у крупним размерама.

Јасно је да приликом успостављања референтног GRID за квантитативно праћење земљишног покривача постоје два елемента која треба оптимално дефинисати. Први је картографска пројекција GRID, а други је његова структура. Приликом дефинисања ових параметара, треба поћи од следећег оквира:

- основна сврха GRID је просторно смештање информација о земљишном покривачу;
- основни извор ових информација су подаци са сателита за опсервацију Земље; ови подаци су различитих просторних резолуција.

### **6.3.1 Питање картографске пројекције**

Када се поставља питање погодне картографске пројекције, основни критеријум избора је минимализација деформација. За потребе премера и топографске картографије уобичајено је коришћење конформних пројекција са линеарним деформацијама занемарљиво малим у контексту употребе карте. Ово

је, међутим, могуће постићи само за релативно мала географска подручја. Уколико је потребно картирање веће географске површине, значајне деформације се не могу избећи. Ово може постати значајан проблем када је у питању картирање земљишног покривача посебно јер ове информације често превазилазе локалне размере.

Може се закључити да за националне потребе мониторинга земљишног покривача треба користити националу пројекцију која се користи за карте крупних размера. Питање је међутим какво решење изабрати за већа географска подручја. Да ли је, на пример, Европски референтни систем ETRS-LAEA погодно решење у овом случају?

Да би се илустровао утицај картографске пројекције, може се приказати површина на Земљи која одговара једној ћелији грида у ETRS-LAEA у некој области континента која је најудаљенија од централне тачке пројекције (Слика 6-2). С обзиром да је у питању еквивалентна пројекција, ћелије грида (у пројекцији) задржавају исте површине које имају на елипсоиду. Они, међутим, не задржавају оригинални облик на елипсоиду због присутних деформација углова и дужина. Ако усвојимо да су сателитски снимци довољно просторно локални да не буду оптерећени деформацијама пројекције (иако су дводимензионалне представе), и да представљају површ елипсоида као апроксимације Земље, геометрија пиксела у пројекцији биће нарушена иако ће саме њихове површине остати исте. Као последица, грид снимка је деформисан у односу на референтни грид као што је и пројекција референтног грида на површину Земље деформисана.

За подручје Србије, деформације углова у ETRS-LAEA пројекцији се крећу у распону од  $0.4^{\circ}$ - $0.85^{\circ}$ , док су грешке размере  $0.35$ - $0.75\%$ . Да би се видео утицај линеарних деформација на ћелије грида, узета је једна ћелија величине  $100 \times 100$  m која је географски смештена на острву Криту, Грчка, где се налазе екстремне вредности линеарних деформација. Ћелија грида је препројектована у локалну Попречну Меркаторову<sup>57</sup> пројекцију коју можемо сматрати да локално поседује занемариво мале линеарне деформације, па замењује елипсоид са равни. На овај начин могуће је представити површину коју квадрат грида у ETRS-LAEA

---

<sup>57</sup> Transverse Mercator (eng.)

представља на Земљи у две димензије. Координате ободних тачака у ETRS-LAEA, ETRS-GRS80 и Попречној Меркаторовој пројекцији су приказане у табели 6-3.

Табела 6-3. Координате ободних тачака апстрактне ћелије грида

Тачка	ETRS-LAEA		ETRS-GRS80		ETRS-Transverse Mercator	
	x	y	$\varphi$	$\lambda$	x	y
1	5682600.00	1462600.00	35.04350159	24.86730627	487894.25	3879039.13
2	5682700.00	1462600.00	35.04332713	24.86837792	487992.00	3879019.64
3	5682700.00	1462700.00	35.04421860	24.86855979	488008.72	3879118.51
4	5682600.00	1462700.00	35.04439306	24.86748812	487910.98	3879137.9

У овом случају, параметри Попречне Меркаторове пројекције су подешени на следећи начин:

- централни меридијан: 25°;
- координатни почетак: x=500.000; y=0;.
- размера дуж средњег меридијана: 0.9996;

Дужине страница пројекције ћелије грида на површини Земље и грешке размере у процентима су:

Табела 6-4. Испитивање линеарних деформација

страница	дужина на Земљи	грешка размере у %
1-2	99.67m	0.33
2-3	100.27m	0.27
3-4	99.64m	0.63
1-4	100.18m	0.18
дијагонала 2-4	143.35m	1.4
дијагонала 1-3	139.30m	1.5

Значајне линеарне деформације ћелије грида по дијагоналама као и деформације углова могу се уочити на приказу на Google Earth виртуелном глобусу (Слика 6-2). Пројекција ћелије грида 100x100 m приказана је жутом линијом.



Слика 6-2. Локална пројекција ћелија грида у ETRS-LAEA пројекцији и то: 25x25 m (зелени полигон), 100x100 m (жути полигон) на локално равну површину Земље. Зелена тачка представља пројекцију центра ћелије грида 25x25 m. Црвене тачке представљају хипотетичке центре пиксела LANDSAT снимака од 25 m.

Како, међутим, нема деформација површина, ћелија грида у ETRS-LAEA пројекцији (квадрат) представљаће одређену област једнаке површине на Земљи. Како се квантитативно картирање земљишног покривача спроводи кроз одређивање вредности квантитативних параметара за одређене површине Земље то се може теоријски закључити да је употреба референтног грида у ETRS-LAEA пројекцији, као и у било којој другој еквивалентној пројекцији, одговарајућа, без обзира на величину линеарних и угловних деформација.

Овај би закључак био применљив у пракси када би се вредности параметара за посматрану област (нпр. ћелију грида), ма каквог она облика била, могле одредити са довољном тачношћу. Како су основни извор података у квантитативном картирању земљишног покривача сензори сателита за осматрање Земље, то значи да тачност оцене неког квантитативног параметра за одређену област (нпр. која одговара ћелији референтног грида) зависи од метода којим се вредност параметара изводи из сигнала са сензора. У пракси, у ову сврху користе

се различите методе интерполације. На слици 6-2 дат је пример слике ћелије грида од 25x25 m у ETRS-LAEA на површини Земље која је претстављена зеленом линијом. Као и у претходном случају, видљиве су деформације углова и дужина-област која је приказана има максималне вредности линеарних и угловних деформација у ETRS-LAEA на европском континенту. Црвеним тачкама приказана су средишта пиксела сателитског снимка одговарајуће резолуције 25x25 m (нпр. LANDSAT TM/ETM), а зеленом тачком слика средишта ћелије референтног грида на површини Земље. Интерполација се спроводи узимајући да се вредности параметра односе на центре пиксела као дискретне локације, а не на површине пиксела, па се и интерполована вредност односи на пројекцију средишње тачке ћелије грида. Проблем је, међутим, што та тачка може бити тежиште било које друге фигуре (површине). Из овога следи да линеарне и деформације углова такође могу представљати проблем за коректну интерполацију и да је потребно да пројекције ћелија грида остану сличне пикселима сателитских снимака. Питање дефинисања дозвољених вредности ових деформација остаје за даље истраживање.

Оптимална интерполација била би реконструкција сигнала која долази са одређене површине. Да би се то постигло, било би неопходно претходно спектрално-просторно разлагање пиксела снимка на подпикселске, релативно спектрално хомогене области, а затим формирање новог сигнала за жељену област (нпр. коришћењем модела линеарног мешања). Проблем у реализацији оваквог решења је што је за овакво спектрално подпикселско разлагање сигнала потребна велика количина спектралних података да би се оценило присуство довољно детаљног броја „крајњих чланова“<sup>58</sup>. Хиперспектрални подаци би могли да пруже решење али њихова оперативна производња још увек није реалност.

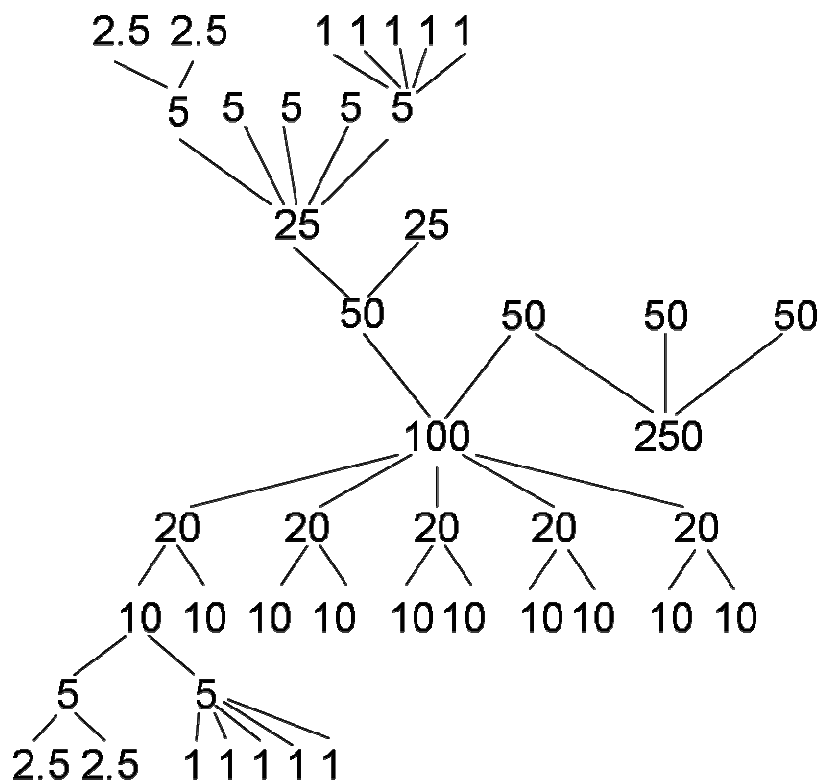
### **6.3.2 Структура грида**

Кад је реч о структури грида, може се закључити да он треба да буде хијерархијски да би се успоставио однос над-објеката и под-објеката у даљој анализи, али треба и да се прилагођава просторној резолуцији сателитских

---

<sup>58</sup> End members (eng.)

снимака. Пример структуре прилагођене водећим оперативним оптичким мултиспектралним сензорима за опсервацију Земље LANDSAT TM/ETM (25/30 m), SPOT 4,5 (2.5, 5, 10, 20 m), IRS (20m), SENTINEL (10, 20 m), MODIS (250 m) и сл. приказана је на слици 6-3.



Слика 6-3. Структура грида са резолуцијама ћелија на различитим нивоима

Оваква структура омогућава да:

- објекти (ћелије) грида наслеђују податке из својих над-објеката (надпиксела) и под-објеката (подпиксела). Свака просторна локација се дакле посматра, и описује подацима, у контексту размерне дубине: једна локација може да садржи у себи бесконачан број под-локација, а истовремено је и саставни део бесконачно много над-локација;
- да се праве просторно-временске серије;
- да се врши подпикселско картирање и тиме са тачака вишег реда за које се подаци скупљају чешће, подаци преносе и на тачке нижег реда, за које се подаци скупљају ређе (нпр. коришћењем линеарне *unmixing* методе).



## 6.4 ОБЈЕКТНО ОРЈЕНТИСАНА АНАЛИЗА ПОДАТАКА

Модел организације података за мониторинг земљишта који се базира на референтном грид систему омогућава коришћење концепта објектно-оријентације у моделирању, анализи и интерпретацији података и информација. Идеја објектно оријентације подразумева да се свет перципира кроз објекте који међусобно интерагују на специфичне начине. Овај концепт је већ uveden у праксу дисциплина које се користе у мониторингу земљишта, дакле ГИС-а и анализа података даљинске детекције, међутим, овде ће бити посматран у другачијем контексту.

Карактеристике објектно-оријентисаних модела података су концепти апстракције и понашања објеката (Egenhofer and Frank, 1992). У теорији објектно-оријентисаних модела разликују се четири основна концепта апстракције (Brodie et al., 1984): класификација, генерализација, придруживање и агрегација.

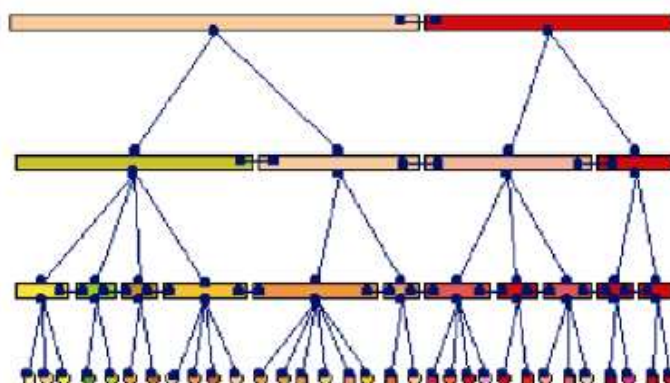
Egenhofer and Frank (1992) су систематизовали ове концепте. Класификација представља смештање објеката у одређену класу - објекат представља примерак одређене класе. Генерализација је груписање више класа објеката са заједничким карактеристикама у општије суперкласе. При томе се успоставља однос „је пример“ између подкласе и суперкласе (нпр. класа село „је пример“ суперкласе насељено место). Придруживање представља такво груписање два или више објеката код кога је резултат скуп објеката, док се појединачни објекти сматрају члановима скупа. При томе се карактеристике скупа истичу у односу на карактеристике појединачних објеката. У случају агрегације, више објеката се комбинује да би формирао објекат на семантички вишем нивоу при чему свака компонента има своју сопствену функционалност. Карактеристични су односи између објеката: „бити део“ и „састоји се од“.

Поред апстракције објеката, за објектно-оријентисано моделирање су важни начини њиховог понашања који служе да би се унапредио семантички модел. Egenhofer и Frank (1992) су синтетисали основне идеје кроз концепте наслеђивања и ширења, а овде ће бити укратко описане. Наслеђивање је везано за хијерархију генерализације при чему се карактеристике подкласе зависе од карактеристика суперкласе – подкласе наслеђују све карактеристике и операције (које се могу

вршити над њима) од суперкласе, али поред тога могу имати и своје специфичне особине. Ширење, са друге стране, је специфично за хијерархију агрегације. Овај облик понашање објеката описује како је вредност карактеристике једне класе изведена из вредности карактеристике(а) друге класе (нпр. број стабала у шуми је једнак суми броја стабала у састојинама које чине шуму).

Описани концепти објектно-орјентисаног моделирања су нашли значајну примену у анализи података даљинске детекције. Они су омогућили да се искористи што већи информациони капацитет, како физичке основе мерења сензора тако и контекста у оквиру сцене (Benz et al., 2004). Носиоци података и информација су, у овом случају, сегменти слике – објекти, уместо појединачних пиксела. Они су такође основне јединице над којима се врши обрада и анализа. Предности објектно-орјентисане анализе су статистичка и текстуална рачуница, увећани некорелисани простор карактеристика који се добија коришћењем података о облику и топологији објеката, као и блиски однос сликовних објеката са објектима из реалног света (Benz et al., 2004). Сегменти снимка се добијају на основу постављених параметара „хомогености“, при чему се „хомогеност“ углавном односи на сигнал и облик, односно параметре који дефинишу облик сегмената. Степен „хомогености“ такође одређује размеру у којој ће се сегменти генерисати и у којој ће функционисати. Тако се могу креирати нивои размера објеката снимка који су организовани у хијерархијској мрежи објеката за коју важе следећа правила (Benz et al., 2004):

- границе објеката морају пратити границе објеката на суседном нижем нивоу;
- сегментација је ограничена границама објеката на следећем вишем нивоу;
- структуре различитих размера се могу представити симултано и класификовати једне у односу на друге;
- различити хијерархијски нивои се могу сегментовати на основу различитих података.

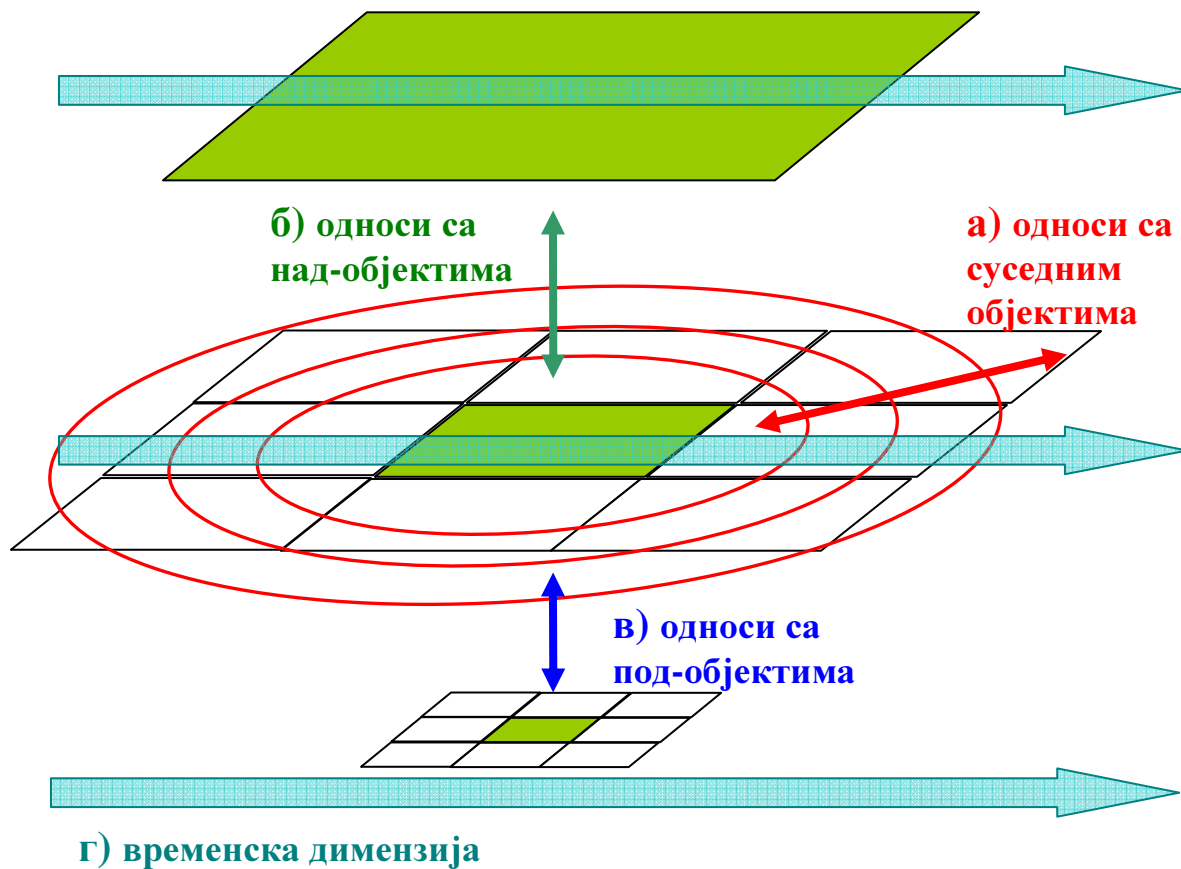


Слика 6-4. Систем хијерархије објеката (преузето из Benz et al., 2004)

У случају референтног грида за оперативни мониторинг земљишта, ћелије грида на различитим хијерархијским размерним нивоима представљају објекте у објектно-орјентисаном моделу. Основна концептуална разлика у овом случају је у томе што ћелије грида представљају апстрактне објекте – они не постоје у реалности. Њихова егзистенција је последица модела података – они у идеалном случају представљају области за које постоје измерене физичке величине (нпр. рефлексије у одређеним спектралним каналима) и за које је могуће извести додатне квантитативне параметре (нпр. вегетационе индексе, биофизичке параметре...), а у реалности се ови квантитативни атрибути оцењују (нпр. методама интерполације). На овај начин могуће је генерисати, обрађивати и анализирати вишедимензионалне информације о земљишном покривачу.

На слици 6-5 је илустрован овај концепт. Информације о земљишном покривачу генеришу се као функције квантитативних параметара објеката на истом хијерархијском нивоу (односи између суседних објеката), на различитим хијерархијским нивоима (односи између над-објеката и под-објеката) и као функције ових односа од времена. Односи између суседних објеката описују међусобне утицаје биофизичких појава у природи. Односи објеката са над и под објектима премошћавају проблеме просторних, темпоралних и спектралних резолуција. Објашњење је следеће: вредност параметара објекта је унета у вредност параметра над-објекта у једном временском тренутку. На овај начин се постиже далеко потпуније искоришћавање информационог потенцијала снимака ниских просторних, али високих темпоралних (и евентуално спектралних) резолуција и обрнуто, ниских темпоралних али високих просторних резолуција.

И на крају, временска димензија ових односа даје потпуно нове информације о земљишном покривачу.



Слика 6-5. Односи између објеката у референтном гриду

## 7 ЗАКЉУЧАК

Развој људског друштва увелико је почео да угрожава природну средину што као повратни ефекат прети катастрофалним последицама по човечанство. Да би се последице притиска на природу ублажиле и избегли најлошији сценарији, препозната је потреба да се неминован развој учини одрживим. Како би се то постигло, потребно је пратити и анализирати утицај људских активности на животну средину и креирати политике и планирања како би се ти утицаји минимизовали. Како би заиста постигли жељене циљеве, потребни су пре свега квалитетни научни модели који ће објашњавати узрочно-последичне везе, а они се не могу достићи без квалитетних података и информација о стању животне средине. Картографске информације о земљишном покривачу препознате су као један од најважнијих концепата информација о животној средини и њихово обезбеђивање постало је један од приоритета политика како на националним нивоима тако и на међународном. О њиховом значају сведочи велики број иницијатива и пројеката картирања земљишног покривача на различитим нивоима и на различитим географским просторима, као и значајна количина научног рада широм света фокусираног на питања везаним за картирање земљишног покривача. Картографска информација о земљишном покривачу мора да буде довољно квалитетна да би модели животне средине давали корисне резултате.

Ова дисертација бавила се квалитетом квантитативних картографских информација о земљишном покривачу и то питањима концепта, квалитета података даљинске детекције као основе за производњу информација и квалитета квантитативних параметара за описивање земљишног покривача. Ова питања су анализирана у контексту захтева за оперативним мониторингом земљишног покривача и на крају је дефинисан предлог концепта оперативног квантитативног мониторинга.

Анализом концепта квантитативног моделирања земљишног покривача насупрот концепта традиционалних квалитативних карата базираних на класификацији, установљене су две основне предности првог у односу на други:

- употребом квантитативних карата земљишног покривача избегнути су (барем у највећој мери) проблеми онтолошких непоклапања између произвођача информације и разних корисника који су општа појава код класификација;
- квантитативни модели поседују знатно већи информациони капацитет од карата класа где многе информације остају генералисане у фиксираној тематској, просторној и темпоралној резолуцији.

Оптички сателитски сензори без сумње представљају основни извор података за мониторинг земљишног покривача због своје ефикасности, техничких карактеристика и економичности. Њихова нормализација чији резултат треба да буде упоредивост података са различитих сензора и из различитог временских периода неопходан је услов квантитативног картирања. За потребе оперативног мониторинга који подразумева континуирано прикупљање и коришћење великог броја снимака, међусобна нормализација треба да буде базирана на предложеном методу систематске комбиноване апсолутне и релативне калибрације. Апсолутна калибрација треба да у највећој могућој мери отклони све артефакте снимања (односно геометријске дисторзије, утицаје атмосфере, топографије и несавршеност сензора) и доведе до података о спектралној рефлексији Земљине површине. Квалитет апсолутне калибрације се затим статистички оцењује преко референтног спектралног система који се успоставља помоћу псеудо-инваријантних локација. На основу статистичких резултата може се по потреби вршити додатна релативна нормализација чиме је постигнут висок степен међусобног усаглашавања снимака.

Квантитативно картирање земљишног покривача подразумева одређивање просторног распореда бројних вредности одређеног параметра који на неки начин описује карактеристике земљишног покривача. Параметри треба да буду изабрани тако да описују основне опште категорије које се могу идентификовати у оквиру земљишног покривача и то: вегетацију, воду, (голо) земљиште и вештачке површине.

Спектрални индекси су, са једне стране, погодни у квантитативном моделирању јер су директна функција нормализованих података сателитских осматрања при чему се у моделу преносе само грешке које нису отклоњене

корекцијама сировог сигнала (тј. нема грешака самог модела). Они, међутим, не представљају апсолутне биофизичке карактеристике појава и њихова интерпретација често може бити проблематична. Њихово коришћење је знатно више оправдано у описивању вештачких површина, голог земљишта и воде јер су то категорије земљишног покривача мање комплексне од вегетације па су и њихови спектрални индекси концептуално стабилнији.

Са друге стране, биофизички параметри описују апсолутне биофизичке карактеристике појава земљишног покривача, али њихово моделирање представља изазов, посебно када га је потребно вршити систематски у оперативним условима. Значај коришћења биофизичких параметара у описивању земљишног покривача јасно је препознат што се може видети у великом броју научних радова посвећених развоју нових и унапређењу постојећих модела за њихово генерисање. У овим напорима постоје два основна правца: емпиријско моделирање биофизичких параметара коришћењем спектралних индекса и физичко (или детерминистичко) моделирање.

Истраживања су показала да постоји потенцијал у коришћењу спектралних индекса (пре свега вегетационих) за оцену биофизичких параметара јер се може постићи задовољавајућа тачност једноставним моделима, али постоје значајна ограничења због којих ово није погодан начин у оперативном картирању. Ту се пре свега мисли на значајну нестабилност емпиријских функција зависности које се морају одређивати посебно за различите нивое услова (на пример за различите типове вегетације или различите карактеристике земљишта као позадине).

Физички модели за оцену биофизичких параметара из података оптичких сателитских сензора су знатно погоднији за оперативну употребу, пре свега због чињенице да они не зависе од географске локације и типа вегетације. Такође, у питању су робусни модели који узимају у обзир мноштво релевантних параметара. Међутим, биофизички параметри оцењени кроз физичке моделе нису ослобођени несигурности. Разни су узроци несигурности: сам дизајн модела, избор инверзног модела, квалитет улазних сателитских података (тип сензора), коришћење додатних параметара у моделу (нпр. спектар земљишта као позадине). Познавање узрока и величина несигурности биофизичких параметара у случајевима коришћења „стандардних“ физичких модела (нпр. PROSAIL) од

највеће је важности за оперативно моделирање земљишног покривача. У оквиру дисертације извршено је експериментално испитивање несигурности PROSAIL модела као последице предефинисаних параметара: типа пејзажа, спектралних особина земљишта, сателитске сцене и сателитског сензора. Већина биофизичких параметара у свим случајевима имала је вредности релативног *bias* мање од 5% и вредности релативне средње квадратне девијације мање од 8%, а максималне забележене вредности биле су 18% и 19%, респективно. Ове резултате, међутим, треба третирати искључиво као део сложеног система знања о узроцима и величинама несигурности у одређивању биофизичких параметара.

Како би се постигао оптимални оперативни континуирани мониторинг земљишног покривача, а то значи оптимално коришћење информационог капацитета оригиналних података, потребно је системско решење. У раду је предложен и образложен концепт референтног грида као просторног оквира за чување и анализу података и информација. Ћелије грида представљају локације на земљиној површини за које се везују односни подаци/информације. Два основна питања код дефинисања референтног грид система су пројекција и структура грида. У овом контексту, јасно је да изабрана пројекција треба да буде еквивалентна (или блиска еквивалентној) с обзиром да ћелије грида морају репрезентовати истоветне површине на Земљи. Са друге стране, питање пројекције је истовремено и питање интерполације вредности квантитативног параметра, а како се интерполација изводи у односу на тачку тежишта ћелије грида у пројекцији, а не за ћелију грида као површину, то значи да деформације углова и дужина такође треба да буду минималне. Структура грида треба да буде дизајнирана тако да одговара (прати) просторне резолуције података са различитих сателитских сензора, а да се у исто време постигне хијерархијски систем. Овакво решење омогућава примену концепта хијерархијског објектно-орјентисаног информационог система са великим капацитетом генерисања нових информација.

Један од резултата ове дисертације је и препознавање потребе за даљим истраживањима у оквиру два основна правца. Са једне стране, потребно је успоставити стандардне методологије производње и употребе квантитативних параметара земљишног покривача погодне за оперативну употребу. Са друге



стране, оперативна решења мониторинга земљишног покривача захтевају да картографски производ од дводимензионалних и тродимензионалних репрезентација простора прерасте у сложени вишеразмерни (различите величине ћелије грида као основне јединице картирања) четвородимензионални (просторне координате X, Y, Z и време) интелигентни систем. Овакав концепт свакако може представљати нови изазов за картографску науку и предмет трагања за адекватним решењима.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ahlquist, O., 2008, In search of classification that supports the dynamics of science: the FAO Land Cover Classification System and proposed modifications, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 35, pp. 169-186.
2. Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J. T. and Witmer, R. E., 1976, A land use and land cover classification system for use with remote sensor data, *Geological Survey Professional Paper 964*, USGS, Reston, VA.
3. Asner, G. P., 1998, Biophysical and Biochemical Sources of Variability in Canopy Reflectance, *Remote Sensing of Environment*, 64, pp. 234-253.
4. Asner, G. P., Braswell, B.H., Schimel, D.S., Wessman, C.A., 1997, Ecological Research Needs from Multiangle Remote Sensing Data, *Remote Sensing of Environment*, 63, pp. 155-165.
5. Arai, K., 2007, Nonlinear mixture model of mixed pixels in remote sensing satellite images based on Monte Carlo simulation, *Advances in Space Research*, 41, pp. 1715–1723.
6. Araujo, A., Carrao, H., Caetano, M., 2008, An operational approach for annual land cover mapping at the national scale with MERIS images, *Remote Sensing for a Changing Europe, Proceedings of the 28th Symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories, Istanbul, Turkey, 2–5 June 2008*.
7. Atkinson, P.M., 2005, Super-resolution target mapping from soft classified remotely sensed imagery, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 71(7), pp. 839-846.
8. Atzberger, C., 2004, Object-based retrieval of biophysical canopy variables using artificial neural nets and radiative transfer models, *Remote Sensing of Environment*, 93, pp. 53–67.
9. Bateson, C.A., Asner, G.P., Wessman, C.A., 2000, Endmember Bundles: A new approach to incorporating endmember variability into spectral mixture analysis, *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 38(2), pp. 1083-1094.
10. Baret, F., Guyot, G., 1991, Potentials and limits of vegetation indices for LAI and FAPAR assessment, *Remote Sens Environ*, 35, pp. 161–173.
11. Baret, F., Jacquemoud, S., Hanocq, J. F., 1993, The soil line concept in remote sensing, *Remote Sensing Reviews*, 7, pp. 65– 82.
12. Baret, F., 2010, Biophysical Vegetation Variables Retrieval from Remote Sensing Observations, In *Proceedings of Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and*

Hydrology XII, Toulouse, France, 20–22 September 2010; Neale, C.M.U.; Maltese, A., Eds.; SPIE: Bellingham, WA, USA, 2010; 7824, pp. xvii-xix.

13. Bartholomé, E. Belward, A.S., 2005, GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth observation data. *International Journal of Remote Sensing*, 26, pp.1959–1977.
14. Benz, U.C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., Heynen, M., 2004, Multi resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 58, pp. 239– 258.
15. Bicheron, P., Leroy, M., 1999, A Method of Biophysical Parameter Retrieval at Global Scale by Inversion of a Vegetation Reflectance Model, *Remote Sensing of Environment*, 67, pp. 251-266.
16. Bishop, M.P., Colby, J.D., 2002, Anisotropic reflectance correction of SOPT-3 HRV imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 23, pp. 2125-2131.
17. Bjelland, T. K., 2004, Classification: assumptions and implications for conceptual modeling, dissertation, Department of Information Science and Media Studies, Faculty of Social Science, University of Bergen.
18. Blagojević, D., 2007, Satelitska geodezija, pisana predavanja, Građevinski fakultet u Beogradu.
19. Bossard, M., Feranec, J., Otahel, J., 2000, CORINE Land Cover Technical Guide-Addendum 2000, Technical report No 40, EEA, København.
20. Brando, V.E., Anstee, J.M., Wettle, M., Dekker, A.G., Phinn, S.R., Roelfsema, C., 2009, A physics based retrieval and quality assessment of bathymetry from suboptimal hyperspectral data, *Remote Sensing of Environment*, 113, pp. 755-770.
21. Brandt, J.J.E., Bunce, R.G.H., Howard, D.C., Petit, S., 2002, General principles of monitoring land cover change based on two case studies in Britain and Denmark, *Landscape and Urban Planning*, 62, pp. 37-51.
22. Brezonik, P.L., Olmanson, L.G., Bauer, M.E., Kloiber, S.M., 2007, Measuring Water Clarity and Quality in Minnesota Lakes and Rivers: A Census-Based Approach Using Remote-Sensing Techniques, CURA Reporter.
23. Brodie, M., Mylopoulos, J., Schmidt, J., 1984, On Conceptual Modeling, Perspectives from Artificial Intelligence, Databases, and Programming Languages, New York, NY, Springer-Verlag.
24. Burley, T. M., 1961, Land use or land utilization?, *Prof. Geographer*, 13(6), pp. 18-20.

25. Buttner, G., 2012, Guidelines for verification and enhancement of high-resolution layers produced under GMES initial operations (GIO) Land monitoring 2011 – 2013, EEA Report.
26. Caloz, R., Abednego, B., Collet, C., 1988, The normalisation of a soil brightness index for the study of changes in soil conditions, Proceedings of the 4th International Colloquium on Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing.
27. Cambell, J.B., Wynne, J.B., 2011, Introduction to remote sensing, 5<sup>th</sup> edition, The Guilford Press.
28. Chander, G., Markham, B.L., Helder, D.L., 2009, Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, Remote Sensing of Environment, 113, pp. 893 – 903.
29. Chaurasia, S., Bhattacharya, B.K., Dadhwal, V.K., Parihar, J.S., 2006, Field-scale Leaf Area Index estimation using IRS-1D LISS-III data, International Journal of Remote Sensing, 27(3-4), pp. 637-644.
30. Chavez, P. S., 1988, An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data, Remote Sensing of Environment, 24, pp. 459-479.
31. Chavez, P.S., 1996, Image-Based Atmospheric Correctins – Revisited and Improved, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 62(9), pp. 1025-1036.
32. Chavez, P.S., 1989, Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 55(9), pp.1285-1294.
33. Chehbouni, A., Kerr, Y.H., Qi, J., Huete, A.R., Sorooshian, S., 1994, Toward the development of a multidirectional vegetation index, Water Resources Research, 30(5), pp:1281-1286.
34. Chen, H.M., Arora, M.K., Varshney, P.K., 2003, Mutual information based image registration for remote sensing data, International Journal of Remote Sensing, 24(18), 3701-3706.
35. Chen, J.M., 1999, Spatial scaling of a remotely sensed surface parameter by contexture, Remote Sensing of Environment, 69, pp. 30-42.
36. Clapham, W. B., 2005, Quantitative classification as a tool to show change in an urbanizing watershed, International Journal of Remote Sensing, 26(22), pp. 4923–4939.

37. Clark, B., Suomalainen, J., Pellikka, P., 2011, The selection of appropriate spectrally bright pseudo-invariant ground targets for use in empirical line calibration of SPOT satellite imagery, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66, pp. 429-445.
38. Clark, R.N., Swayze, G.A., Wise, R., Livo, E., Hoefen, T., Kokaly, R., Sutley, S.J., 2007, USGS digital spectral library splib06a: U.S. Geological Survey, Digital Data Series 231.
39. Colombo, R., Bellingeri, D., Fasolini, D., & Marino, C. M., 2003, Retrieval of leaf area index in different vegetation types using high resolution satellite data, *Remote Sensing of Environment*, 86, pp. 120–131.
40. Combal, B., Baret, F., Weiss, M., Trubuil, A., Mace', D., Pragne`re, A., et al., 2002, Retrieval of canopy biophysical variables from bidirectional reflectance using prior information to solve the ill-posed inverse problem, *Remote Sensing of Environment*, 84, pp. 1 – 15.
41. Comber, A. J., Fisher, P. F., 2005, What is land cover?, *Environment and Planning B: Planning and Design* 2005, 32, pp.199-209.
42. Comber, A.J., Fisher, P., Wadsworth, R., 2005, You know what land cover is but does anyone else?...an investigation into semantic and ontological confusion, *International Journal of Remote Sensing*, 26(1), pp. 223-228.
43. Comber, A. J., Fisher, P. F., Wadsworth, R.A., 2007, Land Cover: To standardise or not to standardise? Comment on "Evolving standards in land cover characterization" by Herold et al., *Journal of land use science*, 2( 4), pp. 283-287.
44. Comber, A. J., Fisher, P. F., Wadsworth, R. A., 2002, Creating spatial information: commissioning the UK land cover map 2000, *Advances in Spatial Data Handling*, Eds D. Richardson, P. van Oosterom, (Springer, Berlin), pp. 351-362.
45. Coppin, P. R., and Bauer, M. E., 1996, Digital change detection in forest ecosystems with remotely sensing imagery, *Remote Sensing of Environment*, 13, pp. 207–234.
46. Cracknell, A.P., 1998, Synergy in remote sensing-what's in a pixel?, *International Journal of Remote Sensing*, 19, pp. 2025-2047.
47. Curran, P.J., Atkinson, P.M., 1999, Issues of scale and optimal pixel size, in *Spatial Statistics for Remote Sensing*, Stein et al. (eds.), pp. 115-133.
48. Dai, X., and Khorram, S., 1997, Quantification of the impact of misregistration on the accuracy of remotely sensed change detection, *Proceedings of the IEEE Geosciences and Remote Sensing Symposium (Texas: IEEE)*, pp. 1763–1765.

49. Darvishzadeh, R., Skidmore, A., Atzberger, C., Wieren van, S., 2008a, Estimation of vegetation LAI from hyperspectral reflectance data: Effects of soil type and plant architecture, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10, pp. 358-373.
50. Darvishzadeh, R., Skidmore, A., Schlerf, M., Atzberger, C., 2008b, Inversion of a radiative transfer model for estimating vegetation LAI and chlorophyll in a heterogeneous grassland, *Remote Sensing of Environment*, 112, pp. 2592-2604.
51. Debella-Gilo, M., Kaab, A., 2011, Sub-pixel image matching for measuring surface displacements on mass movements using normalized cross-correlation, *Remote Sensing of Environment*, 115, pp. 130–142.
52. Deering, D.W., 1978, Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensors“, Ph.D. Diss., Texas A&M Univ., College Station, 338p.
53. DeFries, R., Hansen, M., Townshend, J., 1995, Global discrimination of land cover types from metrics derived from AVHRR Pathfinder data, *Remote Sensing of Environment*, 54, pp. 209-222.
54. Defries, R.S. and Townshend, J.R.G., 1999, Global land cover characterization from satellite data: from research to operational implementation?, *Global Ecology and Biogeography*, 8, pp. 367-379.
55. Deng, C., Wu, C., 2012, BCI: A biophysical composition index for remote sensing of urban environments, *Remote Sensing of Environment*, 127, pp. 247-259.
56. Di Gregorio, A., 2005, Land Cover Classification System Classification Concepts and User Manual, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
57. Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE).
58. Dobson, J.E., Bright, E.A., Ferguson, R.L., Field, D.W., Wood, L.L., Haddad, K.D., Iredale, H., Jensen, J.R., Klemas, V.V., Orth, R.J., and Thomas, J.P., 1995, NOAA Coastal Change Analysis Program (CCAP): guidance for regional implementation, NOAA Technical Report NMFS 123, U.S. Department of Commerce, Seattle, Washington.
59. EC, 1993, CORINE Land Cover technical guide, Report EUR 12585EN. Office for Publications of the European Communities, Luxembourg, 144 pp.

60. EEA, 2007, CLC2006 technical guidelines, EEA Technical report No 17/2007, Copenhagen.
61. Egenhofer, M.J., Frank, A.U., 1992, Object-Oriented Modeling for GIS, *URISA Journal*, 4(2), pp. 3-19.
62. Ekstrand, S., 1996, Landsat TM-based forest damage assessment: Correction for topographic effects, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 62(1), pp. 151–161.
63. Elin, K.J., 2004, Classification and Categorization: A Difference that Makes a Difference, *Library Trends*, 52(3), pp. 515-540.
64. EP, 2010, Regulation of the European Parliament and of the Council off 22 September 2010 on the European Earth monitoring programme (GMES) and its initial operations (2011- 2013), Regulation (EU) No 911/2010.
65. EUR Report 21494 EN, 2005, European Reference Grids. Proposal for a European Grid System. Workshop Proceedings and Recommendations. Edited by: Alessandro Annoni. JRC, Ispra, 27-29 October 2003. Institute for Environment and Sustainability.
66. Falkenström, H., Ekstrand, S., 2002, Evaluation of IRS-1c LISS-3 satellite data for defoliation assessment on Norway spruce and Scots pine, *Remote Sensing of Environment*, 82, pp. 208-223.
67. Feranec, J., Otahe, J., 2001, Land Cover of Slovakia, Slovenska Akademia Vied, Bratislava.
68. Fleming, D.J., 2006, Effect of relative spectral response on multi-spectral measurements and NDVI from different remote sensing systems, Doctoral dissertation, University of Maryland.
69. Fonseca, L.M.G. and Manjunath, B.S., 1996, Registration techniques for multisensor remotely sensed imagery, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, pp.1049–1056.
70. Foody, G.M., Muslim, A.M., Atkinson, P.M., 2005, Super-resolution mapping of the water line from remotely sensed data, *International Journal of Remote Sensing*, 24, pp. 5381-5392.
71. Friedl, M.A., Davis, F.W., Michaelsen, J., Moritz, M.A., 1995, Scaling and Uncertainty in the Relationship between the NDVI and Land Surface Biophysical Variables: An Analysis Using a Scene Simulation Model and Data from FIFE, *Remote Sensing of Environment*, 54, pp. 233-246.

72. Fry, J., Xian, G., Jin, S., Dewitz, J., Homer, C., Yang, L., Barnes, C., Herold, N., and Wickham, J., 2011, Completion of the 2006 National Land Cover Database for the Conterminous United States, *PE&RS*, 77(9), pp. 858-864.
73. Gabrynowicz, J.I., 2007, The Land Remote Sensing Laws and Policies of National Governments: A Global Survey, The National Center for Remote Sensing, Air, and Space Law at the University of Mississippi School of Law.
74. Galbraith, J. Theiler, and S. Bender, 2003, Resampling Methods for the MTI Coregistration Product, *Proc. SPIE* 5093.
75. Ganguly, S., Friedl, M.A., Tan, B., Zhang, X., and Verma, M., 2010, Land surface Phenology from MODIS: Characterization of the Collection 5 global land cover dynamics product, *Remote Sensing of Environment*, 114(8), pp. 1805-1816.
76. Gao, X., Huete, A., Ni, W., Miura, T., 2000, Optical-Biophysical Relationships of Vegetation Spectra without Background Contamination, *Remote Sensing of Environment*, 74(3), pp. 609-620.
77. Garrigues, S., et al., 2008, Validation and intercomparison of global Leaf Area Index products derived from remote sensing data, *Journal of geophysical research*, 113, pp. 1-20.
78. Garrigues, S., Allard, D., Weiss, M., Baret, F., Marni, S., Jeanjean, H., 2002, Influence of spatial heterogeneity and scaling on leaf area index estimates from remote sensing data, *Proceedings of Symposium Recent advances in quantitative remote sensing*, Valencia.
79. GCOS, 2004, Implementation plan for the Global Observing System for Climate in support of the UNFCCC, Report GCOS – 92 (WMO/TD No. 1219), 136 p.
80. Gemmel, F, 1998, An investigation on terrain effects on the inversion of a forest reflectance model, *Remote Sensing of Environment*, 65, pp. 155-169.
81. geoland2, 2010a, BioPar Product User Manual HR Biophysical Products, BP-RP-BP053, FP7-SPACE-2007-1, FP-7-218795.
82. geoland2, 2010b, Validation Report High Resolution Vegetation Parameters, BP-RP-BP022, FP7-SPACE-2007-1, FP-7-218795.
83. geoland2, 2011, Medium Resolution (MERIS) Vegetation Parameters – Validation Report, BP-RP-BP022, FP7-SPACE-2007-1, FP-7-218795.
84. Giannone, F., 2006, A rigorous model for High Resolution Satellite Imagery Orientation, Doctoral dissertation, University of Rome „La Sapienza“.



85. Gilabert, M.A., Conese, C., Maselli, F., 1994, An atmospheric correction method for the automatic retrieval of surface reflectance from TM images. *International Journal of Remote Sensing*, 15, pp. 2065–2086.
86. Gilabert, M.A., Gandia, S., Melia, J., 1996, Analyses of spectralbiophysical relationships for a corn canopy, *Remote Sensing of Environment*, 55(1), pp. 11–20.
87. Gilabert, M. A., Gonzalez-Piqueras, J., Garcia-Haro, F. J., Melia, J., 2002, A generalized soil-adjusted vegetation index, *Remote Sensing of Environment*, 82, pp. 303-310.
88. Gitelson, A. A., Dall’Olmo, G., Moses, W., Rundquist, D. C., Barrow, T., Fisher, T. R., Gurlin, D., Holz, J., 2008, A simple semi-analytical model for remote estimation of chlorophyll-a in turbid waters: validation, *Remote Sens. Environ.*, 112, pp. 3582–93.
89. Gitelson, A. A., Viña, A., Verma, S. B., Rundquist, D. C., Arkebauer, T. J., Keydan, G., et al., 2006, Relationship between gross primary production and chlorophyll content in crops: Implications for the synoptic monitoring of vegetation productivity, *Geophysical Research Letters*, 111, D08S11, doi:10.1029/2005JD006017.
90. GMES, 2010, GMES Land User Newsletter, Issue 13, November 2010.
91. Goetz, S.J., 1997, Multi-sensor analysis of NDVI, surface temperature and biophysical variables at a mixed grassland site. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 18, No. 1, pp. 71-94.
92. Goward, S. N., Davis, P. E., Fleming, D., Miller, L., & Townshend, J. R., 2003, Empirical comparison of Landsat 7 and IKONOS multispectral measurements for selected Earth Observation System (EOS) validation sites, *Remote Sensing of Environment*, 88, 80–99.
93. Gruber, T.R., 1993, A translation approach to portable ontologies, *Knowledge Acquisition*, 5(2), pp. 199-220.
94. Gurjarand, S.D., Padmanabhan, N., 2005, Study of various resampling techniques for high-resolution remote sensing imagery, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 33(1), pp. 113-120.
95. Haboudane, D., Miller, J.R., Tremblay, N., Pattey, E., Vigneault, P., 2004, Estimation of leaf area index using ground spectral measurements over agriculture crops: prediction capability assessment of optical indices, *Proc. Of the XXth ISPRS Congress*, vol. XXXV, 12-23 July 2004, Istanbul, Turkey.

96. Hall, F. G., Huemmrich, K. F., Goetz, S. J., Sellers, P. J., Nickeson, J. E., 1992, Satellite remote sensing of surface energy balance: success, failures, and unresolved issues in FIFE, *J. Geophys. Res.*, 97, pp. 19061-19089.
97. Hanqiu, X., 2006, Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery, *International Journal of Remote sensing*, 27(14), pp. 3025-3033.
98. Harrington, J.A., Schiebe, F.R., 1992, Remote Sensing of Lake Chicot, Arkansas: Monitoring Suspended Sediments, Turbidity, and Secchi Depth with Landsat MSS Data, *Remote Sensing of Environment*, 39, pp. 15-27.
99. Harvey, F., Chrisman, N., 1998, Boundary objects and the social construction of GIS technology', *Environment and Planning A*, 30, pp. 1683-1694.
100. Heiden, U., Segl, K., Roessner, S., Kaufmann, H., 2007, Determination of robust spectral features for identification of urban surface materials in hyperspectral remote sensing data, *Remote Sensing of Environment*, 111, pp. 537-552.
101. Hellawell, J.M., 1991, Development of a rationale for monitoring. In: Goldsmith, F.B. (Ed.), *Monitoring for Conservation and Ecology*. London, pp. 1-14.
102. HELM, 2012, D1.1 Panorama of European Land Monitoring, HELM FP7 project.
103. Herold, M., Latham, J.S., DiGregorio, A., Schumullus, C.C., 2006a, Evolving standards in land cover characterization, *Journal of Land Use Science*, 1, pp. 2-4.
104. Herold, M., Schumullus, C., 2004, Report on the Harmonization of Global and Regional Land Cover Products Meeting, 14th -16th July 2004.
105. Herold, M., Woodcock, C.E., Gregorio di, A., Mayaux, P., Belward, A.S., Latham, J., Schumullus, C.C., 2006b, A joint initiative for harmonization and validation of land cover datasets, *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 44 (7), pp. 1719-1727.
106. Heymann, Y., Steenmans, Ch., Croissille, G., Bossard, M., 1994, CORINE Land Cover. Technical Guide, EUR12585 Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities.
107. Hoeschele, W., 2000, Geographic information engineering and social ground truth in Attappadi, Kerala State, India, *Annals of the Association of American Geographers*, 90, pp. 293-321.
108. Homer, C., Huang, C., Yang, L., Wylie, B., Coan, M., 2004, Development of a 2001 National Land-Cover Database for the United States, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(7), pp. 829-840.

109. Horton, R., 1982, Tradition and modernity revisited. In *Rationality and Relativism*, edited by M. Hollis and S. Luke (Oxford: Blackwell ), pp. 201–260.
110. Hill, J., Megier, J., 1992, *Imaging Spectrometry-a Tool for Environmental Observations*, Kluwer Academic Publishers.
111. Huang et al., 2003, Derivation of Tasseled Cap Transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance, USGS publication.
112. Huang, C., Wylie, B., Yang, L., Homer, C., Zylstra, G., 2002, Derivation of Tasseled Cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance, *International Journal of Remote Sensing*, 23(8), pp. 1741–1748.
113. Huete, A.R., 1988, A soil-adjusted vegetation index (SAVI), *Remote Sensing of Environment*, 25, pp. 295-309.
114. Hui et al., 2008, Modelling spatial-temporal change of Poyang Lake using multitemporal Landsat imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 29(20), pp. 5767-5784.
115. INSPIRE, 2010, D2.8.I.2 INSPIRE Specification on Geographical Grid Systems – Guidelines, INSPIRE Thematic Working Group Coordinate reference systems and Geographical grid systems.
116. Ivits, E., Lamb, A., Langar, F., Hemphill, S., Koch, B., 2008, Orthogonal Transformation of Segmented SPOT5 Images: Seasonal and Geographical Dependence of the Tasseled Cap Parameters, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74(11), pp. 1351-1364.
117. Jackson, R.D., Pinter, P.J., 1986, Spectral response of architecturally different wheat canopies, *Remote Sensing of Environment*, 20(1), pp. 43-56.
118. Jacquemoud, S., Bacour, C., Poilvé, H., Frangi, J. P., 2000, Comparison of four radiative transfer models to simulate plant canopies reflectance—Direct and inverse mode, *Remote Sensing of Environment*, 74, pp. 471–481.
119. Jacquemoud, S., Baret, F., 1990, PROSPECT: A model of leaf optical properties spectra, *Remote Sensing of Environment*, 34, pp. 75–91.
120. Jacquemoud, S., Verhoef, W., Baret, W., Bacour, C., Zarco-Tejada, P.J., Asner, G.P., François, C., Ustin, S.L., 2009, PROSPECT+SAIL: 15 Years of Use for Vegetation Characterization, *Remote Sensing of Environment*, 113, pp. S56-S66.
121. Jackson, R. D., Huete, A.R., 1991, Interpreting vegetation indices, *Preventive Veterinary Medicine*, 11, pp. 185-200.
122. Ji, L., Zhang, L., Wylie, B.K., 2009, Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75, pp. 1307–1317.

123. Jones, K.B., 2008, Importance of Land Cover and Biophysical Data in Landscape-Based Environmental Assessments, North America Land Cover Summit Proceedings, Chapter 13.
124. JRC-IES-LMU-ESDI, 2004, Proceedings of the 1<sup>st</sup> European Reference Grid workshop and Proposal for a European reference Grid System, Editor: Alessandro Annoni.
125. Kandwal, R., Jeganathan, C., Tolpekin, V., Kushwaha, S.P.S., 2009, Discriminating the Invasive Species, 'Lantana' using Vegetation Indices, Journal of Indian Society of Remote Sensing, 37, pp. 275-290.
126. Kanemasu, E.T., Demetriades-Shah, T.H., SU, H., 1990, Estimating grassland biomass using remotely sensed data, Applications of Remote Sensing in Agriculture, editors M.D. Steven and J.A. Clark, London: Butterworths.
127. Karpouzli, E., Malthus, T., 2003, The empirical line method for the atmospheric correction of IKONOS imagery, International Journal of Remote Sensing, 20(13), pp. 2653-2662.
128. Keshava, N., 2003, A survey of spectral unmixing algorithms, Lincoln Laboratory Journal, 14, pp. 55-78.
129. Kimes, D.S., 1983, Dynamics of directional reflectance factor distributions for vegetation canopies, Applied Optics, 22, pp. 1364-1372.
130. Kloiber, S.M., Brezonik, P.L., Olmanson L.G., Bauer, M.E., 2002a, A procedure for regional lake water clarity assessment using Landsat multispectral data, Remote Sensing of Environment, 82, pp. 38-47.
131. Kloiber, S.M., Brezonik, P.L., Bauer, M.E., 2002b, Application of Landsat imagery to regional-scale assessments of lake clarity, Water Resources, 36, pp. 4330-4340.
132. Kobayashi, S., Sanga-Ngoie, K., 2009, A comparative study of radiometric correction methods for optical remote sensing imagery: the IRC vs. other image-based C-correction methods, International Journal of Remote Sensing, 30, pp. 285-314.
133. Labovitz, M.I., Marvin, J.W., 1986, Precision in Geodetic Correction of TM Data as a Function of the Number, Spatial Distribution, and Success in Matching of Control Points: A Simulation, Remote Sensing of Environment, 20, pp. 237-252.
134. Lacaux, J.P., Tourre, Y.M., Vignolles, C., Ndione, J.A., Lafaye, M., 1986, Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal, Remote Sensing of Environment, 106, pp. 66-74.

135. Lambin, E., 2000, Land-Cover Categories Versus Biophysical Attributes to Monitor Land-Cover Change by Remote Sensing, Chapter 15 from *OBSERVING LAND FROM SPACE: SCIENCE, CUSTOMERS AND TECHNOLOGY*, Advances in Global Change Research, Volume 4, pp.137-142.
136. Landgrebe, D., 2003, Signal theory methods in multispectral remote sensing, New Jersey, Willey-Interscience.
137. Lawler, J.J., O'Connor, R.J., Hunsaker, C.T., Jones, K.B., Loveland, T.R., White, D., 2004, The effects of habitat resolution on models of avian diversity and distributions: a comparison of two land-cover classifications, *Landscape Ecology*, 19, pp. 515–530.
138. Lee, Z., Casey, B., Arnone, R., Weidemann, A., Parsons, R., Montes, M.J., Gao, B., Goode, W., Davis, C.O., Dye, J., 2007, Water and bottom properties of coastal environment derived from Hyperion data measured from the EO-1 spacecraft platform, *Journal of Applied Remote Sensing*, 1, pp. 1-16.
139. Lee, Z., Kendall, L.C., Chen, R.F., Peacock, T.G., 2001, Properties of the water column and bottom derived from Airborne Visible Imaging Spectrometer (AVIRIS) data, *J. Geophys. Res.-Ocean*, 106, pp. 11639-11651.
140. Liang, S., 2007, Recent developments in estimating land surface biogeophysical variables from optical remote sensing, *Progress in Physical Geography*, 31(5), pp. 501-516.
141. Lichtenthaler, H. K., 1996, Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants, *J. Plant Physiol.*, 148, pp. 4–14.
142. Lilburne, L., 2002, The Scale Matcher: a framework for assessing scale compatibility of environmental data and models, PhD thesis, University of Otago, New Zealand.
143. Lillesand, T., Kiefer, R., 1979, Remote sensing and image interpretation, Wiley, New York.
144. Liu, W., Baret, F., Gu, X., Zhang, B., Tong, Q., Zheng, L., 2003, Evaluation of methods for soil surface moisture estimation from reflectance data, *International Journal of Remote Sensing*, 24(10), pp. 2069–2083.
145. Liu, J., Zhuang, D., Liu, M., 1999, An Operational State Land Use/Cover Monitoring System in China Based on Remote Sensing and GIS Technology, Towards Digital Earth — Proceedings of the International Symposium on Digital Earth, Science Press.

146. Lizarazo, I., 2010, Fuzzy image regions for quantitative land cover analysis, GEOBIA 2010: Geographic Object-Based Image Analysis, ISPRS, Volume XXXVIII-4/C7.
147. Lobell, D.B., Asner, G.P., 2004, Cropland distributions from temporal unmixing MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 93(3), pp. 412-422.
148. Lodhi, M.A., Rundquist, D.C., Han, L., Kuzila, M.S., 1998, Estimation of Suspended Sediment Concentration in Water Using Integrated Surface Reflectance, *Geocarto International*, 13(2), pp. 11-15.
149. Lu, D., Ge, H., He, S., Xu, A., Zhou, G., Du, H., 2008, Pixel-based Minnaert Correction Method for Reducing Topographic Effects on a Landsat 7 ETM Image, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74(11), pp. 1343-1350.
150. Mališić, J., Jevremović, V., 1991, *Statistička analiza i slučajni procesi*, Naučna Knjiga, Beograd.
151. Mertens, K.C., Baets De, B., Verbeke, L.P.C., Wulf De, R.R., 2006, A sub-pixel mapping algorithm on sub-pixel/pixel spatial attraction models, *International Journal of Remote Sensing*, 27, pp. 3293-3310.
152. Masek, J.G., Honzak, M., Goward, S.N., Liu, P., Pak, E., 2001, Landsat-7 ETM+ as an observatory for land cover Initial radiometric and geometric comparisons with Landsat-5 Thematic Mapper, *Remote Sensing of Environment*, 78, pp. 118-130.
153. Masek, J.G., Vermote, N., Saleous, R., Wolfe, F.G., Hall, F., Huemmrich, F., Gao, J., Kutler, T.K., Lim, 2006, A Landsat surface reflectance data set for North America, 1990-2000, *Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3, pp. 68-72.
154. McDonald E.R., Wu X., Caccetta P.A. and Campbell N.A., 2000, Illumination Correction of Landsat TM data in South East NSW. *Proceedings 10th Aust Remote Sensing & Photogrammetry Conference*. Vol1, p1375. Adelaide, August, 21-25, 2000.
155. McFeeters, S.K., 1996, The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), pp. 1425-1432.
156. Mota et al., 2004, A framework for automatic low-resolution satellite image interpretation based on spectral, contextual and multitemporal knowledge, ISPRS, Istanbul.
157. Moran, M.S., Bryant, R., Thome, K., Ni, W., Nouvellon, Y., Gonzales-Dugo, M.P., Qi, J., Clarke, T.R., 2001, A refined empirical line approach for reflectance retrieval from Landsat-5 and Landsat-7 ETM+, *Remote Sensing of the Environment* 78(1-2), pp. 71-82.

158. Moran, M.S., Jackson, R.D., Slater, P.N., Teillet, P.M., 1992, Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output, *Remote Sensing of Environment*, 41, pp. 169-184.
159. Moses, W.J., Gitelson, A.A., Berdnikov, S., Saprygin, V., Povazhnyi, V., 2012, Operational MERIS-based NIR-red algorithms for estimating chlorophyll-a concentrations in coastal waters – The Azov Sea case study, *Remote Sensing of Environment*, 121, pp. 118-124.
160. Muslim, A.M., Foody, G.M., Atkinson, P.M., 2006, Localized soft classification for super-resolution mapping of the shoreline, *International Journal of Remote Sensing*, 27, pp. 2271-2285.
161. Newnham, G.J., Verbesselt, J., Grant, I.F., Anderson, S.A.J., 2011, Relative Greenness Index for assessing curing of grassland fuel, *Remote Sensing of Environment*, 115, pp. 1456-1463.
162. Nielsen, A.A., 1998, Linear mixture models and partial unmixing in multi-and hyperspectral image data. The First EARSEL Workshop on Imaging Spectroscopy, pp. 165-172.
163. Ouaidrari, H., Vermote, E. F., 1999, Operational atmospheric correction of Landsat TM data. *Remote Sensing of the Environment*, 70, pp. 4-15.
164. Pan, C., Zhang, Z., Yan, H., Wu, G., Ma, S., 2008, Multisource data registration based on NURBS description of contours, *International Journal of Remote Sensing*, 29(2), pp. 569-591.
165. Parker, A.J., Kenyon, R.V. and Troxel, D., 1983, Comparison of interpolating methods for image resampling. *IEEE Trans. Med. Imaging*, MF-2, pp. 31-39.
166. Peifer, H., 2011, About the EEA reference grid, EEA.
167. Perdigão, V., Annoni, A., 1997, Technical and methodological guide for updating CORINE Land Cover Data Base. JRC/EEA.
168. Perović, G., 1989, Račun izravnjanja- teorija grešaka merenja, Naučna Knjiga, Beograd.
169. Potter, C. S., J. T. Randerson, C. B. Field, P. A. Matson, P. M. Vitousek, H. A. Mooney, and S. A. Klooster, 1993, Terrestrial Ecosystem Production, a process model, based on global satellite and surface data, *Global Biogeochem. Cycles*, 7, pp. 811 – 841.
170. Pratt, W.K., 1991, *Digital Image Processing*, Second Ed. New York, John Wiley and Sons.

171. Prenzel, B.G., 2004, Remote sensing-based quantification of land-cover and land-use change for planning, *Progress in Planning*, 61, pp. 281–299.
172. Protic, D., 2007, Unapređenje CORINE metodologije kartiranja zemljišnog pokrivača, Građevinski fakultet, Beograd
173. Protic, D., Kilibarda, M., Nestorov, I., 2012, Super resolution mapping of agricultural parcel boundaries based on localized partial unmixing, *Geodetski list*, 89(4), pp. 259-270.
174. Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A.R., Kerr, Y.H., Sorooshian, S., 1994, A modified soil adjusted vegetation index: MSAVI, *Remote Sensing of Environment*, 48, pp. 119-126
175. Qi, J., Kerr, Y.H., Moran, M.S., Wetz, M., Huete, A.R., Sorooshian, S., Bryant, R., 2000, Leaf Area Index Estimates Using Remotely Sensed Data and BRDF Models in a Semiarid Region, *Remote Sensing of Environment*, 73, pp. 18-30.
176. Rautiainen, M., Stenberg, P., Nilson, T., 2005, Estimating canopy cover in Scots pine stands, *Silva Fennica* 39(1), pp. 137–142.
177. Reese, H., Olsson, H., 2011, C-correction of optical satellite data over alpine vegetation areas: A comparison of sampling strategies for determining the empirical c-parrameter, *Remote Sensing of Environment*, 119, pp. 1387-1400.
178. Riano, D., Chuvieco, E., Salas, J., Aguado, I., 2003, Assessment of Different Topographic Corrections in Landsat-TM Data for Mapping Vegetation Types, *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 41(5), pp. 1056-1061.
179. Richardson, A.J., Wiegand, C.L., 1977, Distinguishing vegetation from soil background information, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(2), pp. 1541-1552.
180. Richter, K., Hank, T.B., Vuolo, F., Mauser, W., D’Urso, G., 2012, Optimal exploitation of the Sentinel-2 spectral capabilities for crop leaf area index mapping, *Remote Sensing*, 4, pp. 561-582.
181. Richter, R., Kellenberger, T. Kaufmann, H., 2009, Comparison of topographic correction methods, *Remote Sensing*, 1, pp. 184-196.
182. Ritchie, J.C., Cooper, C.M., Schiebe, F.R., 1990, The relationship of MSS and TM digital data with suspended sediments, chlorophyll, and temperature in Moon lake, Mississippi, *Remote Sensing of Environment*, 33, pp. 137–148.
183. Ritchie, J.C., Schiebe, F.R., McHenry, J.R., 1976, Remote sensing of suspended sediment in surface water, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 42, pp. 1539–1545.



184. Ritchie, J.C., Zimba, P.V., Everitt, J.H., 2003, Remote Sensing Techniques to Assess Water Quality, *Photographic Engineering & Remote Sensing*, 69(6), pp. 695-704.
185. Roy, D. P., et al., 2010, Web-enabled Landsat Data (WELD): Landsat ETM+ composited mosaics of conterminous United States, *Remote Sensing of Environment*, 114, pp. 35-49.
186. Sampson, P.H., Zarco-Tejada, P.J., Mohammed, G.H., Miller, J.R., Noland, T.L., 2003, Hyperspectral remote sensing of forest condition: estimating chlorophyll content in tolerant hardwoods. *Forest Science*, 49(3), pp. 381–391.
187. Schaepman-Strub, G., Schaepman, M. E., Painter, T. H., Dangel, S., Martonchik, J. V., 2006, Reflectance quantities in optical remote sensing — Definitions and case Studies, *Remote Sensing of Environment*, 103, pp. 27–42.
188. Schiebe, F.R., Harrington, J.A. Jr., Ritchie, J.C., 1992, Remote sensing of suspended sediments: The Lake Chicot, Arkansas project, *International Journal of Remote Sensing*, 13(8), pp. 1487–1509.
189. Schott, J.R., 2007, *Remote Sensing, The Image Chain Approach*, Oxford University Press, New York.
190. Schovengerdth, R., 1997, *Remote sensing-models and methods for image processing*, Academic Press.
191. Sellers, P. J., 1985, Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration, *International Journal of Remote Sensing*, 6, pp. 1335-1371.
192. Sellers, P. J., Randall, D. A., Betts, A. K., Hall, F. G., Berry, J. A., Collatz, G. J., Denning, A. S., Mooney, H. A., Nobre, C. A., Sato, N., Field, C. B., Henderson-Sellers, A., 1997, Modeling the exchanges of energy, water, and carbon between continents and the atmosphere, *Science*, 275, pp. 502 – 509.
193. Sertel, E., Kutoglu, S.H., Kaya, S., 2007, Geometric correction accuracy of different satellite sensor images: application of figure condition. *International Journal of Remote Sensing*, 28, pp. 4685–4692.
194. Singh, A., 1989, Digital change detection techniques using remotely sensed data, *International Journal of Remote Sensing*, 10, pp. 989–1003.
195. Skole, D. L., Justice, C. O., Townshend, J. R. G., Janetos, A. C., 1997, A land cover change monitoring program: Strategy for an international effort, *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 2(2-3), pp. 157-175.
196. Slonecker, E.T., Shaw, D.M., Lillesand, T.M., 1998, Emerging Legal and Ethical Issues in Advanced Remote Sensing Technology, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 64(6), pp. 589-595.

197. Smith, B., Mark, D.M., 2001, Geographical categories: an ontological investigation, *International Journal of Geographical Information Science*, 15(7), pp. 591-612.
198. Smith, B., and Varzi, A. C., 2000, Fiat and bona fide boundaries, *Philosophy and Phenomenological Research*, 60, pp. 401–420.
199. Somers, B., Asner, G.P., Tits, L., Coppin, P., 2011, Endmember variability in Spectral Mixture Analysis: A review, *Remote Sensing of Environment*, 115, pp. 1603-1616.
200. Soenen, S.A. et al., 2008, Improved topographic correction of forest image data using a 3-D canopy reflectance model in multiple forward mode, *International Journal of Remote Sensing*, 29, pp. 1007-1027.
201. Somers, B., Asner, G.P., Tits, L., Coppin, P., 2011, Endmember variability in Spectral Mixture Analysis: A review, *Remote Sensing of Environment*, 115, pp. 1603-1616.
202. Song, C., Woodcock, C. E., Seto, K. C., Pax-Lenney, M., Macomber, S. A., 2001, Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects. *Remote Sensing of Environment*, 75, pp. 230 – 244.
203. Soudani, K., Francois, C., Maire le, G., Dantec le, V., Dufrene, E., 2006, Comparative analysis of IKONOS, SPOT, and ETM+ data for leaf area index estimation in temperate coniferous and deciduous forest stands, *Remote Sensing of Environment*, 102, pp. 161-175.
204. Srinivas, P., Das, B.K., Saibaba, J., Krishnan, R., 2004, Application of Distance Based Vegetation Index for Agricultural Crops Discrimination, XXXV congress ISPRS, Istanbul.
205. Steven, M.D., Malthus, T.J., Baret, F., Xu, H., Chopping, M.J., 2003, Intercalibration of vegetation indices from different sensor systems. *Remote Sensing of Environment*, 88(4) pp. 412-422.
206. Tang, J., Chen, F., Schwartz, S., 2012, Assessing spatiotemporal variations of greenness in the Baltimore-Washington corridor area, *Landscape and Urban Planning*, 105, pp. 296-306.
207. Loboda, T., Krankina, O., Justice, C., Gutman, G., Spivak, L., Muratova, N., 2009, Monitoring land cover, land use and fire in agricultural and semi-arid regions of Northern Eurasia, Report on Joint NASA LCLUC Science Team Meeting and GOF-C-GOLD/ NERIN, NEESPI, MAIRS Workshop.
208. Teillet, P.M., Barker, J.L., Markham, B.L., Irish, R.R., Fedosejevs, G., Storey, J.C., 2001, Radiometric cross-calibration of the Landsat-7 ETM+ and Landsat-5

- TM sensors based on tandem data sets, *Remote Sensing of Environment*, 78, pp. 39-54.
209. Teillet, P. M., Fedosejevs, G., 1995, On the dark target approach to atmospheric correction of remotely sensed data, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 21, pp. 375–381.
  210. Teillet, P.M., Fedosejevs, G., Thome, K.J., Barker, J.L., 2007, Impacts of spectral band difference effects on radiometric cross-calibration between satellite sensors in the solar-reflective spectral domain, *Remote Sensing of Environment*, 110, pp. 393–409.
  211. Teillet, P.M., Guindon, B., Goodenough, D.G., 1982, On the Slope-Aspect Correction of Multispectral Scanner Data, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 8, pp. 84-106.
  212. Thenkabail, P.S., 2004, Inter-sensor relationships between IKONOS and Landsat-7 ETM+ NDVI data in three ecoregions of Africa, *International Journal of Remote Sensing*, 25(2), pp. 389-408.
  213. Tompkins, S., Mustard, J.F., Pieters, C.M., Forsyth, D.W., 1997, Optimization of Endmembers for Spectral Mixture Analysis, *Remote Sensing of Environment*, 59, pp. 472-489.
  214. Toullos, L., Toullos, M., Zerva, G., 1998, Spectral data analysis for cotton growth monitoring, *Proc. Of the World Cotton Research Conference-2*, 6-12 September 1998, Athens, Greece, pp. 534-539.
  215. Toutin, T., Chnier, R., 2004, Gcp Requirement for High-resolution Satellite Mapping, *ISPRS XXXV Conference proceedings*, pp. 836-839.
  216. Toutin, T., 2004, Review article: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods, *International Journal of Remote Sensing*, 25(10), pp. 1893-1924.
  217. Toutin, T., 1995, Multisource data fusion with an integrated and unified geometric modelling, *Earsel conference*.
  218. Toutin, Th., Cheñnier, R., Carbonneau, Y., 2002, 3D models for high resolution images:examples with QuickBird, IKONOS and EROS, *Papers of ISPRS conference, Commission IV*.
  219. Townshend, J. R. G., Justice, C. O., Gurney, C., McManus, J., 1992, The impact of misregistration on change detection. *IEEE T ransactions, Geosciences and Remote Sensing*, 30, pp. 1054–1060.
  220. Trout, T.J., Jphnson, L.F., Gartung, J., 2008, Remote Sensing of Canopy Cover in Horticultural Crops, *HortScience*, 43 (2), pp. 333-337.

221. Tucker, C.J., 1979, Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, *Remote Sensing of Environment*, 8, pp .127-150.
222. Turner, D.P., Cohen, W.B., Kennedy, R.E., Fassnacht, K.S., Briggs, J.M. 1999, Relationships between leaf area index and Landsat spectral vegetation indices across three temperate zone sites, *Remote Sensing of Environment*, **70**(1), pp. 52–68.
223. Turner II, B.L., Moss R.H., Skole D.L., 1993, Relating land use and global land-cover change: A proposal for an IGBP-HDP core project, pp. 65, *International Biosphere Geosphere Program: A study of global change and the human dimensions of global environmental change programme*, Stockholm.
224. Verbila, D.L., Boles, S.H., 2000, Bias in land cover change estimates due to misregistration, *International Journal of Remote Sensing*, 21(18), pp. 3553-3560.
225. Verheye, W. H., 2007, Land use, land cover and soil sciences, *Encyclopedia of Life Support Systems*.
226. Verhoef, W., 1984, Light scattering by leaf layers with application to canopy reflectance modeling: the SAIL model, *Remote Sensing of Environment*, 16, pp. 125–141.
227. Villa, G., Valcarcel, N., Arozarena, A., Garcia-Arenso, L., Caballero, M.E., Porcuna.A., Domenech, E., Peces, J.J., 2008, Land Cover Classification: an Obsolete Paradigm, *ISPRS Congress Beijing, Proceedings of Commission IV*.
228. Vogelmann, J. E., Helder, D., Morfitt, R., Choate, M. J., Merchant, J. W., and Bulley, H., 2001, Effects of Landsat 5 Thematic Mapper and Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus radiometric and geometric calibrations and corrections on landscape characterization. *Remote Sensing of Environment*, 78, pp. 55–70.
229. Vogelmann, J., E., 1990, Comparison between two vegetation indices for measuring different types of forest damage in the northeastern United States, *International Journal of Remote Sensing*, 11, pp. 2281-2297.
230. Vogelmann, J.R., Rock, B.N., 1988, Assessing forest damage I high-elevation coniferous forest in Vermont and New Hampshire using Thematic Mapper data, *Remote Sensing of Environment*, 24, pp. 227-246.
231. Vuolo, F., Atzberger, C., Richter, K., D’Urso, G., Dash, J., 2010, Retrieval of biophysical vegetation products from Rapideye imagery, *ISPRS TC VII Symposium, IAPRS, Vol. XXXVIII, Part 7A*.
232. Wang, L., Qu, J.J., 2009, Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: A review, *Front. Earth Sci. China*, 3(2), pp. 237-247.

233. Wang, L., Qu, J.J., 2007, NMDI: a normalized multi-band drought index for monitoring soil and vegetation moisture with satellite remote sensing, *Geophysical Research Letters*, 34, L20405.
234. Wang, L., Qu, J. J., Hao, X., 2008, Forest fire detection using the normalized multi-band drought index (NMDI) with satellite measurements, *Agricultural and Forest Meteorology*, 148(11), pp. 1767–1776.
235. Welch, R., Usery, E. L., 1984, Carto- graphic accuracy of Landsat-4 MSS and TM image data, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* GE-22(3), pp. 281-288.
236. Wit, A.J.W. de, 2003, Land use mapping and monitoring in the Netherlands using remote sensing data, in *Learning from Earth's shapes & colors*; 2003 IEEE international geoscience and remote sensing symposium, Toulouse.
237. Wolfe, R.E., Nishihama, M., Fleig, A. J., Kuyper, J.A., Roy, D. P., Storey, J.C., Patt, F.S., 2002, Achieving sub-pixel geolocation accuracy in support of MODIS land science, *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), pp. 31–49.
238. Woodcock, C. E., Strahler, A. H., 1987, The factor of scale in remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 21, pp. 311–322.
239. Wu, X., Furby, S., Wallace, J., 2004, An approach for terrain illuminatin correction, *The 12th Australasian Remote. Sensing and Photogrammetry Conference Proceedings*.
240. Wu, H., Li, Z., 2009, Scale Issues in Remote Sensing: A Review on Analysis, Processing and Modeling, *Sensors*, 9, pp. 1768-1793.
241. Wulder, M.A., Dechka, J.A., Gillis, M.A., Luther, J.E., Hall, R.J., Beaudoin, A., Franklin, S.E., 2003, Operational mapping of the land cover of the forested area of Canada with Landsat data: EOSD land cover program, *The Forestry Chronicle*, 79(6), pp. 1075-1083.
242. Wulder, M.A., White, J.C., Goward, S.N., Masek, J.G., Irons, J.R., Herold, M., Cohen, W.B., Loveland, T.R., Woodcock, C.E., 2008, Landsat continuity: Issues and opportunities for land cover monitoring, *Remote Sensing of Environment*, 112, pp. 955-969.
243. Wylie, B.K., Meyer, D.J., Tieszen, L.L., Mannel, S., 2002, Satellite mapping of surface biophysical parameters at the biome scale over the North American grasslands-A case study, *Remote Sensing of Environment*, 79, pp. 266-278.
244. Xing at al., 1998, Change detection in citrus by means of Landsat Thematic Mapper data, *ITC Journal* 1998-3/4, Enchede.

245. Xu, H., 2010, Analysis of impervious surface and its impact on urban heat environment using the normalized difference impervious surface index (NDISI), *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 76(5), pp. 557–565.
246. Zha, Y., Gao, Y., Ni, S., 2003, Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 24, pp. 583–594.

## **ПРИЛОЗИ**

## П 1 ПРАКТИЧНА АПСОЛУТНА КАЛИБРАЦИЈА LANDSAT 7 СНИМАКА КОРИШЋЕНИХ У ЕКСПЕРИМЕНТИМА

### П 1.1 Формуле за рачунање рефлексије на врху атмосфере

Практична апсолутна калибрација LANDSAT 7 снимака коришћених у експериментима изведена је рачунањем TOA рефлексије  $\rho_b$  према формулама Chander et al. (2009) и Protić (2007):

$$\rho_b = K_{1b} \cdot DN + K_{2b}$$

где су:

$$K_{1b} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot gain}{ESUN_\lambda \cdot \sin(\theta)}$$

и

$$K_{2b} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot offset}{ESUN_\lambda \cdot \sin(\theta)}$$

кофицијенти калибрације за канал  $p$ .

$$gain = \frac{(LMAX_\lambda - LMIN_\lambda)}{(QCALMAX - QCALMIN)}$$

$$offset = LMIN_\lambda - \left( \frac{LMAX_\lambda - LMIN_\lambda}{QCALMAX - QCALMIN} \right) \cdot QCALMIN$$

$gain$  – коефицијент увећања у  $watt/(meter^2 * ster * \mu m)$

$offset$  – почетно одступање од 0 у  $watt/(meter^2 * ster * \mu m)$

$QCAL$  – квантификована калибрисана вредност пискела у DN

$LMIN_\lambda$  – спектрално зрачење уразмерено са  $QCALMIN$  у  $watt/(meter^2 * ster * \mu m)$

$LMAX_\lambda$  - спектрално зрачење уразмерено са  $QCALMAX$  у  $watt/(meter^2 * ster * \mu m)$

$QCALMIN$  – минимална квантификована калибрисана вредност пиксела (која одговара  $LMIN_\lambda$ ) у DN (1 код LPGS производа и 0 код NLAPS производа)

$QCALMAX$  - максимална квантификована калибрисана вредност пиксела (која одговара  $LMAX_\lambda$ ) у DN (= 255)



Табела П 1 Области спектралних зрачења за LANDSAT 7 ETM+ (извор LANDSAT 7 Science Data Users Handbook)

<b>ETM+ Spectral Radiance Range</b> watts/(meter squared * ster * $\mu\text{m}$ )								
<b>Band Number</b>	<b>Before July 1, 2000</b>				<b>After July 1, 2000</b>			
	<b>Low Gain</b>		<b>High Gain</b>		<b>Low Gain</b>		<b>High Gain</b>	
	<b>LMIN</b>	<b>LMAX</b>	<b>LMIN</b>	<b>LMAX</b>	<b>LMIN</b>	<b>LMAX</b>	<b>LMIN</b>	<b>LMAX</b>
1	-6.2	297.5	-6.2	194.3	-6.2	293.7	-6.2	191.6
2	-6.0	303.4	-6.0	202.4	-6.4	300.9	-6.4	196.5
3	-4.5	235.5	-4.5	158.6	-5.0	234.4	-5.0	152.9
4	-4.5	235.0	-4.5	157.5	-5.1	241.1	-5.1	157.4
5	-1.0	47.70	-1.0	31.76	-1.0	47.57	-1.0	31.06
6	0.0	17.04	3.2	12.65	0.0	17.04	3.2	12.65
7	-0.35	16.60	-0.35	10.932	-0.35	16.54	-0.35	10.80
8	-5.0	244.00	-5.0	158.40	-4.7	243.1	-4.7	158.3

Табела П 2 Средње соларне екзоатмосферске ирадијансе за LANDSAT 7 ETM+ (извор LANDSAT 7 Science Data Users Handbook)

<b>Спектралне ирадијансе Сунца за ETM+ сензор</b>	
<b>Канал</b>	<b>watts/(meter squared * <math>\mu\text{m}</math>)</b>
1	1969.000
2	1840.000
3	1551.000
4	1044.000
5	225.700
7	82.07
8	1368.000

Табела П 3 Растојање Земља – Сунце у астрономским јединицама (извор LANDSAT 7 Science Data Users Handbook)

**Растојање Земља – Сунце у астрономским јединицама**

Julian Day	Distance	Julian Day	Distance	Julian Day	Distance	Julian Day	Distance	Julian Day	Distance
1	.9832	74	.9945	152	1.0140	227	1.0128	305	.9925
15	.9836	91	.9993	166	1.0158	242	1.0092	319	.9892
32	.9853	106	1.0033	182	1.0167	258	1.0057	335	.9860
46	.9878	121	1.0076	196	1.0165	274	1.0011	349	.9843
60	.9909	135	1.0109	213	1.0149	288	.9972	365	.9833

**П 1.2 Коefицијенти калибрације за снимке коришћене у експериментима**

У табелама П 1-4 до 1-7 приказани су величине  $gain$ ,  $offset$ ,  $ESUN_{\lambda}$ ,  $d$  и  $\theta$  као и коefицијенти апсолутне калибрације за сцене 186-29, 187-30, 187-29 и 187-30.

Табела П 4 Величине за апсолутну калибрацију 3., 4. и 5. канала снимка 187-29

Снимак датум дан у год.	к	$d$	ESUN	$\theta$	$gain$	$offset$	$K_1$	$K_2$
187-29	3	1.012	1551.00	52.79	0.622	-5.622	0.0016	-0.0146
20.08.2000.	4	1.012	1044.00	52.79	0.969	-6.069	0.0037	-0.0235
232	5	1.012	225.70	52.79	0.126	-1.126	0.0023	-0.0201

Табела П 5 Величине за апсолутну калибрацију 3., 4. и 5. канала снимка 187-30

Снимак датум дан у год.	к	$d$	ESUN	$\theta$	$gain$	$offset$	$K_1$	$K_2$
187-30	3	1.012	1551.00	53.73	0.622	-5.622	0.0016	-0.0144
20.08.2000.	4	1.012	1044.00	53.73	0.969	-6.069	0.0037	-0.0232
232	5	1.012	225.70	53.73	0.126	-1.126	0.0022	-0.0199

Табела П 6 Величине за апсолутну калибрацију 3., 4. и 5. канала снимка 186-29

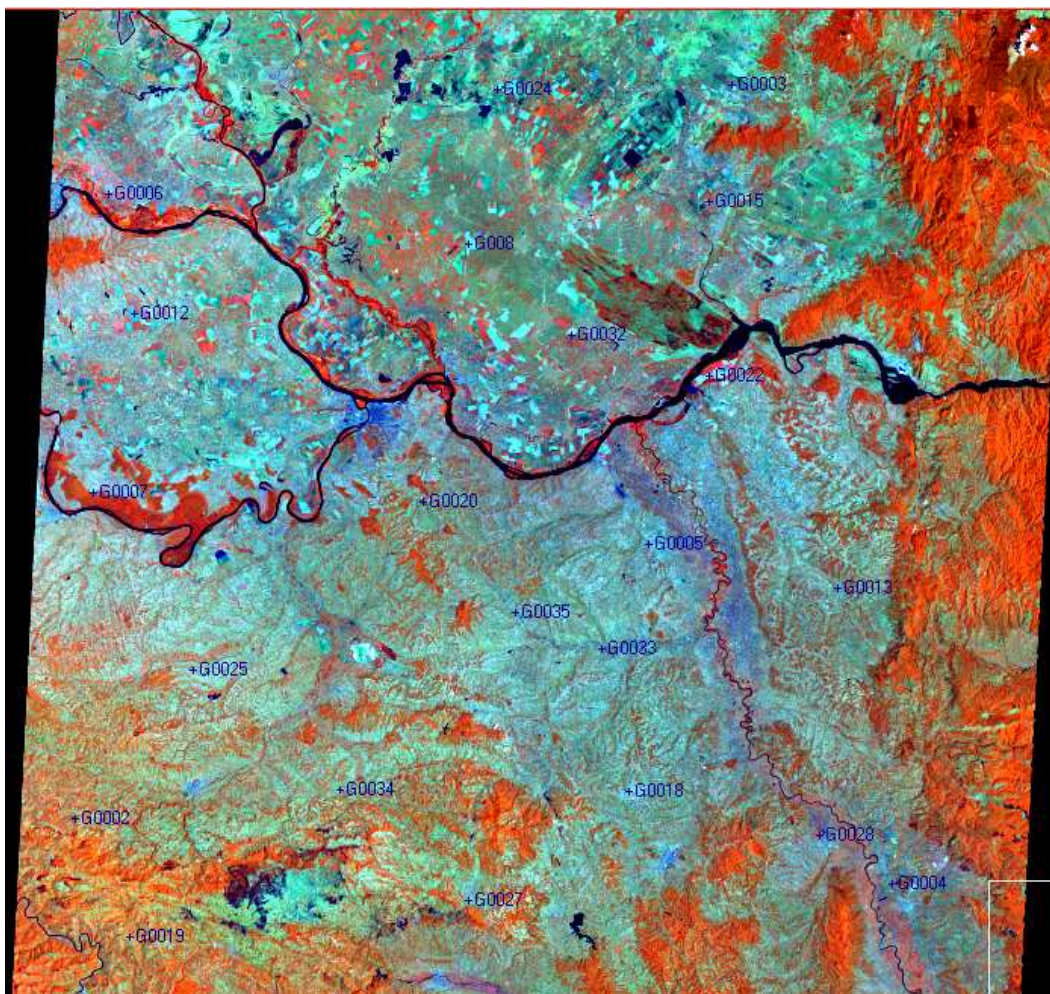
Снимак датум дан у год.	к	$d$	ESUN	$\theta$	$gain$	$offset$	$K_1$	$K_2$
186-29	3	1.015	1551.00	58.09	0.619	-5.000	0.0015	-0.0123
28.07.2000.	4	1.015	1044.00	58.09	0.965	-5.100	0.0035	-0.0186
209	5	1.015	225.70	58.09	0.126	-1.000	0.0021	-0.0169

Табела П 7 Величине за апсолутну калибрацију 3., 4. и 5. канала снимка 186-30

Снимак датум дан у год.	к	$d$	ESUN	$\theta$	$gain$	$offset$	$K_1$	$K_2$
186-30	3	1.015	1551.00	59.04	0.622	-5.622	0.0015	-0.0137
28.07.2000.	4	1.015	1044.00	59.04	0.969	-6.069	0.0035	-0.0219
209	5	1.015	225.70	59.04	0.126	-1.126	0.0021	-0.0188

## П 2 ИЗВЕШТАЈ „ПРЕЦИЗНЕ“ ГЕОМЕТРИЈСКЕ КОРЕКЦИЈЕ LANDSAT 7 186-29 СЦЕНЕ

**НАПОМЕНА:** У извештају су дате локација контролних тачака за успостављање математичког модела геометријске корекције, као и резидуали на контролним тачкама.



Слика П 1. Распоред и локације контролних тачака на снимку  
LANDSAT 7 186-29 (колор композиција 4-5-3)

Residual Error Report

Residual Units: Ground Units

Residual Info for 1 Images

GCPs: 22 X RMS 4.70 Y RMS 3.95

Total RMS 6.14

Табела П 8 Извештај о резидуалима

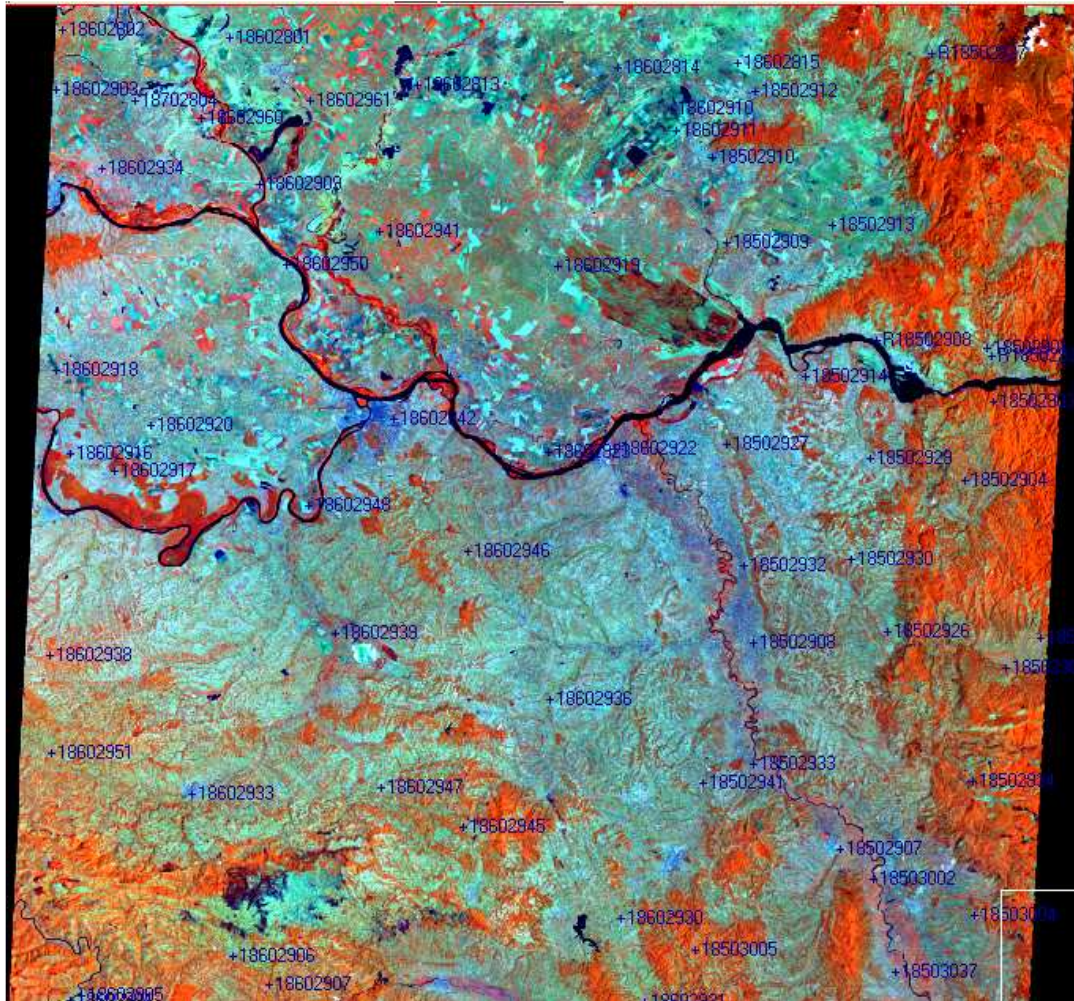
Point ID	Res	Res X	Res Y	Type	Photo ID	Ground X	Ground Y	Ground Z	Comp X	Comp Y
G0018	16.037	-13	9.391	GCP	186029multi	7489187	4887087	294	7489174	4887096
G0005	10.105	6.523	-7.718	GCP	186029multi	7501463	4929988	90	7501469	4929980
G0015	7.701	-6.951	-3.316	GCP	186029multi	7524528	4988084	98	7524521	4988080
G0025	7.105	-5.999	3.806	GCP	186029multi	7416562	4924355	162	7416556	4924359
G0033	7.082	6.876	-1.695	GCP	186029multi	7489419	4913111	108	7489426	4913109
G008	6.023	2.149	-5.627	GCP	186029multi	7480745	4989383	110	7480747	4989378
G0024	5.834	4.667	3.5	GCP	186029multi	7491324	5015472	73	7491328	5015475
G0002	5.653	5.027	-2.585	GCP	186029multi	7390364	4902288	769	7390369	4902286
G0003	5.298	0.45	5.279	GCP	186029multi	7532880	5007796	121	7532880	5007802
G0032	5.224	0.085	5.223	GCP	186029multi	7495462	4969610	90	7495462	4969615
G0020	4.692	-1.759	-4.35	GCP	186029multi	7463353	4945587	231	7463351	4945582
G0027	4.599	4.599	0.064	GCP	186029multi	7456795	4873779	313	7456800	4873779
G0028	4.465	3.946	2.089	GCP	186029multi	7521163	4872344	111	7521167	4872346
G0034	4.398	-3.448	-2.73	GCP	186029multi	7438252	4897783	208	7438249	4897780
G0007	3.553	2.105	2.863	GCP	186029multi	7405310	4959192	77	7405312	4959194
G0006	2.86	-2.841	-0.328	GCP	186029multi	7418946	5011259	70	7418943	5011258
G0013	2.381	-2.064	-1.187	GCP	186029multi	7533186	4915371	120	7533184	4915370
G0035	1.329	-0.662	-1.152	GCP	186029multi	7475543	4922585	152	7475542	4922584
G0022	1.318	0.39	-1.259	GCP	186029multi	7518194	4957303	66	7518194	4957302
G0019	1.279	-0.704	1.068	GCP	186029multi	7395828	4879408	885	7395827	4879409
G0004	0.995	0.344	-0.933	GCP	186029multi	7532240	4861195	124	7532240	4861194
G0012	0.482	0.268	-0.401	GCP	186029multi	7419159	4989082	121	7419159	4989082

RMS (x, y) for worst 5% of points in list: 13.00, 9.39



### П 3 ИЗВЕШТАЈ ГЕОМЕТРИЈСКЕ КОРЕКЦИЈЕ LANDSAT 7 186-29 СЦЕНЕ ИЗ IMAGE2000 ПРОИЗВОДА

**НАПОМЕНА:** У извештају су дате локација контролних тачака за успостављање математичког модела геометријске корекције, као и резидуали на контролним тачкама.



Слика П 2. Распоред и локације контролних тачака на снимку  
LANDSAT 7 186-29 (колор композиција 4-5-3)

Residual Error Report

Residual Units: Ground Units

Residual Info for 1 Images

GCPs: 65 X RMS 12.38 Y RMS 12.60

Total RMS 17.66

Listing: GCPs only All Images

RMS (x, y) for worst 5% of points in list: 28.52, 37.10

Табела П 9 Извештај о резидуалима

Point ID	Res	Res X	Res Y	Type	Photo ID	Ground X	Ground Y	Ground Z	Comp X	Comp Y
18502913	47.844	-27.383	-39.233	GCP	186029multi	7544195.9	4979275.4	111	7544168.56	4979236.14
18503005	33.376	-29.597	-15.426	GCP	186029multi	7494293.5	4857407.3	590	7494263.87	4857391.82
18602939	31.25	0.929	31.236	GCP	186029multi	7442897.6	4925653.7	86	7442898.53	4925684.93
18503002	28.908	-15.137	24.628	GCP	186029multi	7527809.6	4863389.1	119	7527794.45	4863413.74
18502904	28.647	-0.269	-28.646	GCP	186029multi	7558103.7	4929844.8	208	7558103.38	4929816.11
18602802	26.933	-26.895	-1.436	GCP	186029multi	7416923.8	5040860.6	79	7416896.95	5040859.18
18502901	26.345	20.757	16.223	GCP	186029multi	7566739.5	4952000.7	112	7566760.24	4952016.94
18602801	26.028	16.911	19.785	GCP	186029multi	7445793.6	5033445.3	80	7445810.49	5033465.06
18602931	25.209	5.601	24.579	GCP	186029multi	7483428	4850158.6	209	7483433.58	4850183.13
18702804	24.829	24.478	-4.166	GCP	186029multi	7427059	5025805.3	79	7427083.52	5025801.15
18502909	24.51	15.506	-18.981	GCP	186029multi	7525320.6	4979893.7	75	7525336.06	4979874.76
18602918	23.471	-19.804	12.596	GCP	186029multi	7403650.9	4981572.8	92	7403631.06	4981585.37
18502926	23.316	-17.42	-15.498	GCP	186029multi	7539276.6	4905943.1	156	7539259.19	4905927.62
R18502927	21.382	-9.828	18.99	GCP	186029multi	7567697	5005538.6	245	7567687.16	5005557.64
18602961	20.865	15.716	-13.725	GCP	186029multi	7457721.5	5019711.2	76	7457737.22	5019697.44
18602945	19.599	-18.382	-6.798	GCP	186029multi	7458164.3	4887050.5	491	7458145.89	4887043.72
18502907	19.553	19.5	-1.44	GCP	186029multi	7523079.1	4869818.2	115	7523098.57	4869816.8
18602951	19.098	-15.506	11.15	GCP	186029multi	7388998.5	4914974.3	200	7388982.96	4914985.48
18502912	18.798	5.479	17.981	GCP	186029multi	7535621.6	5005280	169	7535627.07	5005298.03
18502933	18.59	13.64	12.632	GCP	186029multi	7511086.2	4887746.2	103	7511099.83	4887758.82
18502908	18.588	15.559	-10.171	GCP	186029multi	7515482.9	4908835	91	7515498.43	4908824.83
18602938	18.525	-14.809	11.129	GCP	186029multi	7392180.4	4931930.8	242	7392165.6	4931941.94
18602910	17.9	6.873	16.528	GCP	186029multi	7520385	5005272.2	72	7520391.91	5005288.77
18602941	17.873	-17.869	0.39	GCP	186029multi	7465201.6	4994380.5	78	7465183.73	4994380.89
18602917	17.648	17.37	3.123	GCP	186029multi	7410107.7	4961904.8	84	7410125.03	4961907.93
18602906	17.272	17.008	-3.007	GCP	186029multi	7413462.4	4872785.3	404.5	7413479.38	4872782.28
18602922	17.252	16.845	3.724	GCP	186029multi	7498319.4	4947834.6	67	7498336.22	4947838.31
18602815	16.351	-2.589	16.145	GCP	186029multi	7533531	5010982.2	109	7533528.39	5010998.3
18602950	15.863	-10.308	-12.058	GCP	186029multi	7447640.4	4991724.1	104	7447630.12	4991712.03
18602904	15.234	14.14	-5.668	GCP	186029multi	7383447.3	4871099	253	7383461.41	4871093.35
18502902	14.961	8.457	-12.341	GCP	186029multi	7558494.8	4895416.5	377	7558503.24	4895404.14
18502910	14.541	-14.438	-1.73	GCP	186029multi	7525882.5	4995331.5	137	7525868.03	4995329.74
18602948	13.545	-12.338	-5.588	GCP	186029multi	7442829.9	4948824.8	69	7442817.52	4948819.25
18602907	13.526	-2.511	-13.291	GCP	186029multi	7418847	4866664.1	362	7418844.44	4866650.84
18602916	13.512	12.324	-5.541	GCP	186029multi	7403259.5	4966673.5	77	7403271.82	4966667.95
18602942	13.369	1.081	-13.326	GCP	186029multi	7460689.4	4960883.5	161	7460690.47	4960870.14
R18502908	13.037	5.241	11.938	GCP	186029multi	7547901	4957375.6	75	7547906.24	4957387.49
18502930	12.663	-11.972	-4.128	GCP	186029multi	7535503.1	4920009.4	281	7535491.16	4920005.25

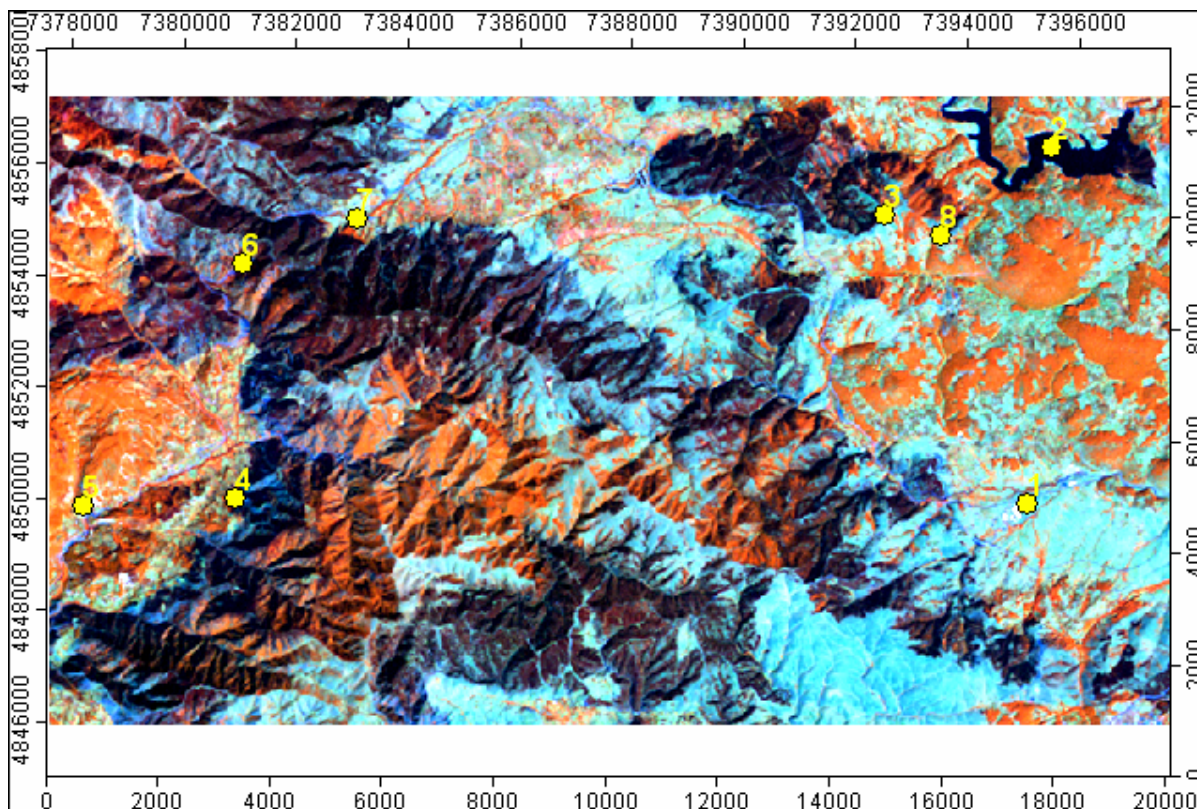
18602903	12.555	11.213	-5.649	GCP	186029multi	7413684.8	5030836.5	80	7413695.97	5030830.89
18602911	12.375	-5.016	-11.313	GCP	186029multi	7520410.4	5001109.9	74	7520405.42	5001098.62
18502927	11.883	-7.466	-9.245	GCP	186029multi	7517892.3	4944618.2	74	7517884.8	4944609
18503004	11.621	-9.708	6.388	GCP	186029multi	7544108.8	4853247.3	342	7544099.08	4853253.7
18502903	10.498	1.614	10.374	GCP	186029multi	7565862.5	4942404	240	7565864.09	4942414.41
18602813	9.986	6.062	7.936	GCP	186029multi	7476941.3	5018412	74	7476947.38	5018419.89
18602814	9.752	-4.224	-8.79	GCP	186029multi	7512364.1	5014303.1	81	7512359.83	5014294.3
18602947	9.059	0.034	-9.059	GCP	186029multi	7445452	4897078.5	162	7445452.08	4897069.49
18602946	8.708	-2.417	8.366	GCP	186029multi	7469078	4935131.6	257	7469075.58	4935139.95
18602960	7.791	-2.285	-7.448	GCP	186029multi	7438096.9	5020464.9	70	7438094.64	5020457.41
18502929	7.695	-4.19	6.455	GCP	186029multi	7542448.9	4937077	109	7542444.72	4937083.48
18602923	7.649	7.018	-3.042	GCP	186029multi	7486423.4	4949528.2	66	7486430.44	4949525.15
18602919	7.478	0.069	-7.478	GCP	186029multi	7494968.2	4981792	143	7494968.24	4981784.56
18502941	7.391	7.25	-1.435	GCP	186029multi	7501554.1	4886339.1	126	7501561.37	4886337.65
18602920	7.017	2.024	6.719	GCP	186029multi	7418265.9	4968573	73	7418267.92	4968579.69
18602933	6.598	-5.507	-3.634	GCP	186029multi	7412023.1	4902797.2	182	7412017.58	4902793.56
18602930	6.381	6.228	1.389	GCP	186029multi	7482474.4	4865515.7	273	7482480.63	4865517.12
18502932	6.3	1.607	-6.092	GCP	186029multi	7516658.6	4922734.6	84	7516660.16	4922728.49
18602936	6.271	-1.026	6.186	GCP	186029multi	7477812	4906487.8	215	7477810.99	4906493.96
18602905	6.042	4.299	-4.245	GCP	186029multi	7385622	4871334	230	7385626.33	4871329.71
18502905	5.901	5.634	1.753	GCP	186029multi	7565785.5	4899533.7	442	7565791.14	4899535.41
18502934	4.531	2.218	3.951	GCP	186029multi	7548621.7	4876847.1	439	7548623.94	4876851.05
18503037	3.983	2.304	-3.249	GCP	186029multi	7528215.2	4846153.9	135	7528217.46	4846150.7
R18502928	3.353	2.773	1.885	GCP	186029multi	7567283	4950610.2	110	7567285.8	4950612.12
18602934	3.103	-3.101	-0.116	GCP	186029multi	7418851.6	5015353.4	70	7418848.48	5015353.28
18602909	2.697	-2.69	-0.193	GCP	186029multi	7445927.7	5006884.3	101	7445925.05	5006884.15
18502914	1.34	0.923	-0.972	GCP	186029multi	7534078.5	4953757.6	66	7534079.41	4953756.64

RMS (x, y) for worst 5% of points in list: 28.52, 37.10



## П 4 ПОДАЦИ ЛИНЕАРНЕ РЕГРЕСИЈЕ PIF ТАЧАКА

### П 4.1 Локација PIF тачака



Слика П 3. Карта локација PIF тачака. У позадини је LANDSAT 7 снимак 187-030, колор композиција 4-5-3

### П 4.2 Резултати очитавања рефлексије на LANDSAT 7 ETM+ снимцима 187-030 и 187-029 у заједничким PIF тачкама на експерименталном подручју

Табела П 10 Рефлексије и разлике рефлексија у 4. каналу

	Координате у ДКС		Вредности рефлексије		разлика	разлика <sup>2</sup>
	x	y	187-030	187-029		
1	7395047	4849869	0.48633	0.471	0.01533	0.000235
2	7392506	4855027	0.2014	0.1863	0.0151	0.000228
3	7380912	4849981	0.1681	0.1563	0.0118	0.000139
4	7378190	4849856	0.3901	0.3698	0.0203	0.000412
5	7381041	4854166	0.1829	0.1563	0.0266	0.000708
6	7383078	4854977	0.2125	0.1976	0.0149	0.000222
7	7393501	4854674	0.1903	0.1751	0.0152	0.000231
8	7395481	4856256	0.0608	0.04772	0.01308	0.000171

Табела П 11 Рефлексије и разлике рефлексија у 3. каналу

Тачка	Координате у ДКС		Вредности рефлексије		разлика	разлика <sup>2</sup>
	x	y	187-030	187-029		
1	7395047	4849869	0.40212	0.3961	0.00602	0.00004
2	7392506	4855027	0.1178	0.105	0.0128	0.00016
3	7380912	4849981	0.1098	0.0921	0.0177	0.00031
4	7378190	4849856	0.25196	0.23441	0.01755	0.00031
5	7381041	4854166	0.1082	0.076	0.0322	0.00104
6	7383078	4854977	0.1194	0.0905	0.0289	0.00084
7	7393501	4854674	0.12417	0.116362	0.00781	0.00006
8	7395481	4856256	0.05867	0.04844	0.01023	0.00010



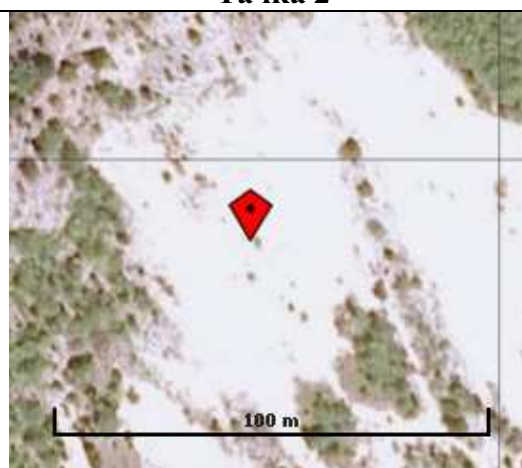
Тачка 1



Тачка 2

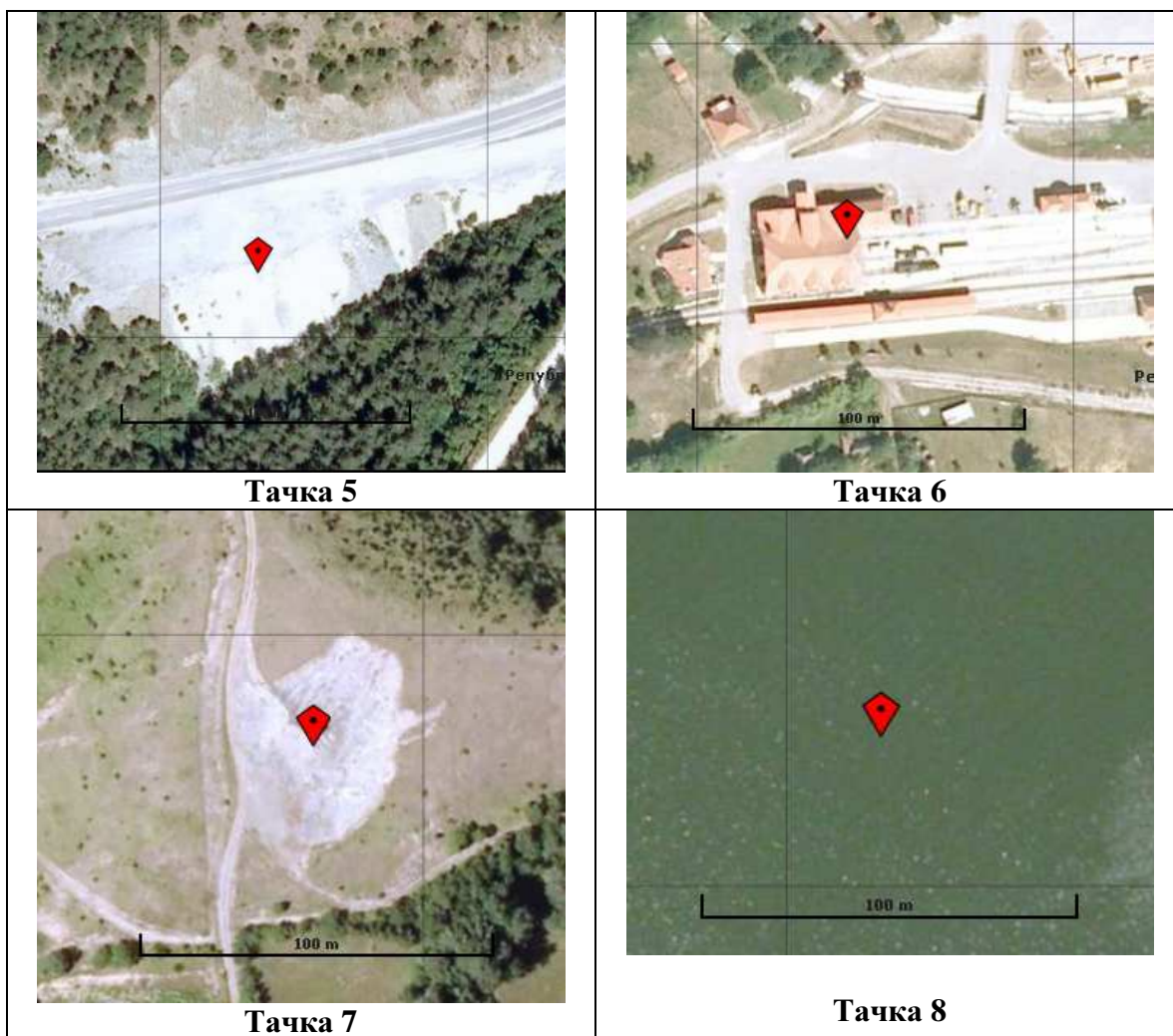


Тачка 3



Тачка 4





Слика П 4. Аеро-фото снимци PIF тачака

### П 4.3 Линеарна регресија PIF тачака у 3 каналу

Coefficients

$$y = a + bx$$

Fitting target of sum of squared absolute error = 5.5639803868182591E-04

a = -2.1680438753440275E-02

b = 1.0311391434445114E+00

Coefficient and Fit Statistics

From scipy.odr.odrpack and <http://www.scipy.org/Cookbook/OLS>

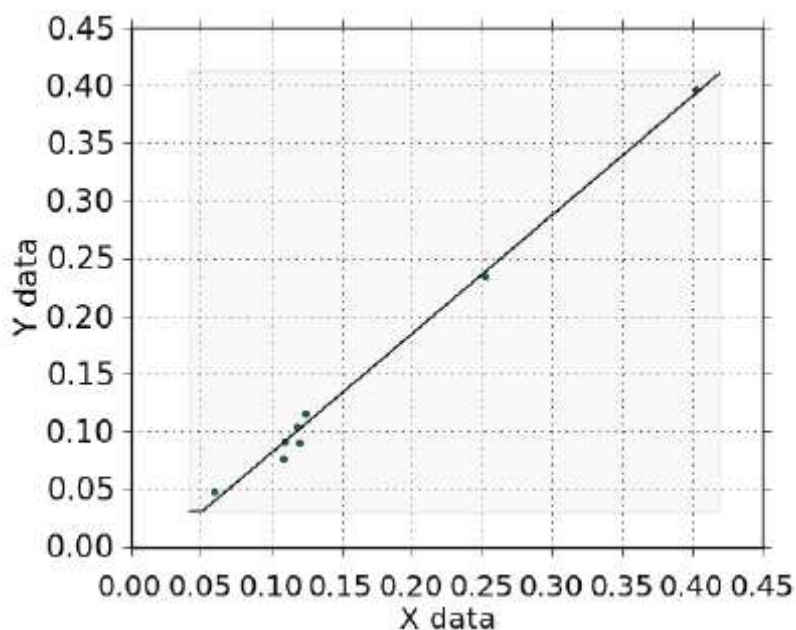
Degrees of freedom (error): 6.0

Degrees of freedom (regression): 1.0

R-squared: 0.994037666499

R-squared adjusted: 0.993043944249

Model F-statistic: 1000.31740899  
 Model F-statistic p-value: 6.63853485516e-08  
 Model log-likelihood: 26.9423643928  
 AIC: -6.23559109821  
 BIC: -6.21573071279  
 Root Mean Squared Error (RMSE): 0.00833964956309  
 a = -2.1680438753440275E-02  
 std err squared: 3.93199E-05  
 t-stat: -3.45750E+00  
 p-stat: 1.35085E-02  
 95% confidence intervals: [-3.70239E-02, -6.33694E-03]  
 b = 1.0311391434445114E+00  
 std err squared: 1.06291E-03  
 t-stat: 3.16278E+01  
 p-stat: 6.63854E-08  
 95% confidence intervals: [9.51364E-01, 1.11091E+00]  
 Coefficient Covariance Matrix  
 [ 0.42401175 -1.85129369]  
 [ -1.85129369 11.46205367]



Слика П 5. График линеарне рефресије за 3. канал

#### П 4.4 Линеарна рефресија PIF тачака у 4 каналу

Coefficients

$$y = a + bx$$

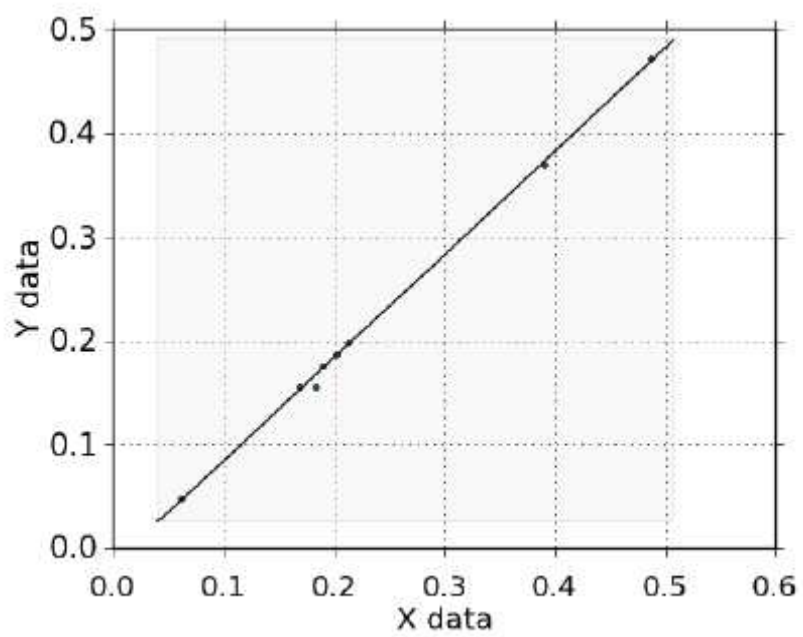
Fitting target of sum of squared absolute error = 1.5256570609620526E-04

a = -1.5027767772301181E-02  
b = 9.9361252050454130E-01

#### Coefficient and Fit Statistics

From scipy.odr.odrpack and <http://www.scipy.org/Cookbook/OLS>

Degrees of freedom (error): 6.0  
Degrees of freedom (regression): 1.0  
R-squared: 0.998797656446  
R-squared adjusted: 0.998597265854  
Model F-statistic: 4984.25422607  
Model F-statistic p-value: 5.43415090704e-10  
Model log-likelihood: 32.1179186813  
AIC: -7.52947967033  
BIC: -7.50961928491  
Root Mean Squared Error (RMSE): 0.00436700277788  
a = -1.5027767772301181E-02  
std err squared: 1.42624E-05  
t-stat: -3.97922E+00  
p-stat: 7.28970E-03  
95% confidence intervals: [-2.42687E-02, -5.78686E-03]  
b = 9.9361252050454130E-01  
std err squared: 1.98077E-04  
t-stat: 7.05993E+01  
p-stat: 5.43414E-10  
95% confidence intervals: [9.59175E-01, 1.02805E+00]  
Coefficient Covariance Matrix  
[ 0.56090137 -1.84271451]  
[-1.84271451 7.78983068]

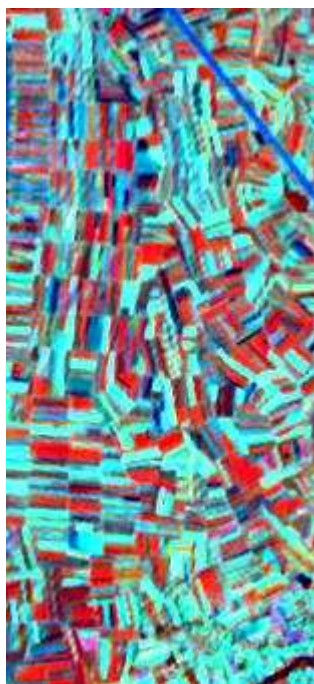


Слика П 6. График линеарне рефресије за 4. канал

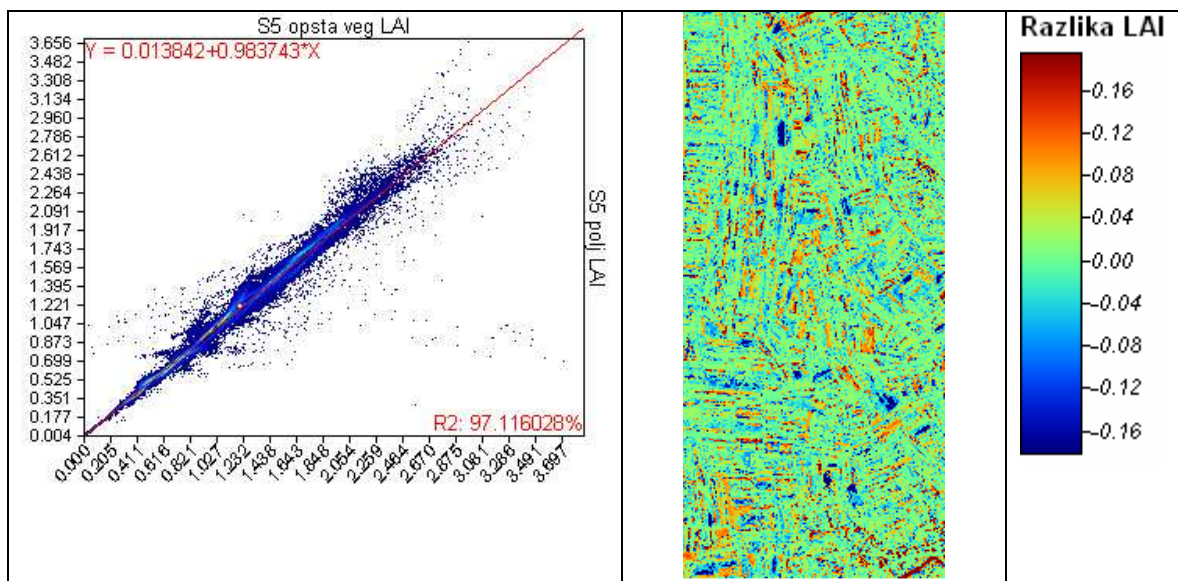
## П 5 УПОРЕЂИВАЊЕ БИОФИЗИШКИХ ПАРАМЕТАРА ДОБИЈЕНИХ ЗА ОПШТИ ТИП ПЕЈЗАЖА У PROSAIL МОДЕЛУ И ЗА СПЕЦИФИЧНЕ ТИПОВЕ ПЕЈЗАЖА

### П 5.1 Упоредивање за случај специфичног пољопривредног типа пејзажа

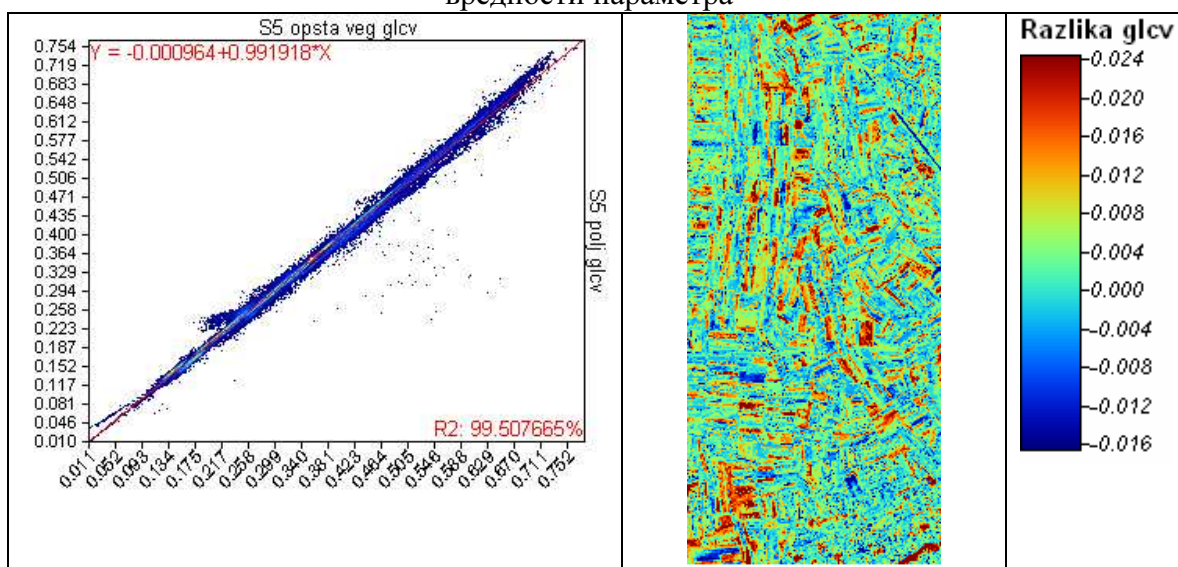
У експерименту је извршена линеарна регресија вредности биофизичких параметара LAI и  $g_{lcv}$  који су генерисани у PROSAIL моделу подешеном за општу вегетацију (S5 opsta veg) и подешеном за пољопривредну вегетацију (S5 polj). Поред тога, добијене су и карте разлика вредности параметара из ова два услова.



Слика П 7. Област са пољопривредним типом пејзажа која је коришћена у експерименту (RGB колор композиција: NIR-SWIR-R)



Слика П 8. График и једначина линеарне регресије за LAI и карта разлика вредности параметра

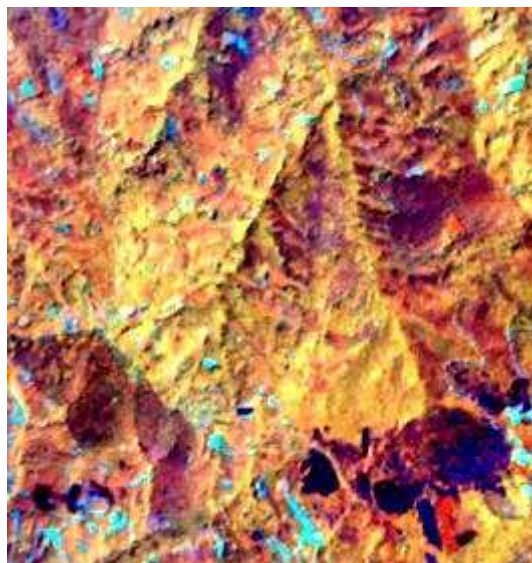


Слика П 9. График и једначина линеарне регресије за glcv и карта разлика вредности параметра

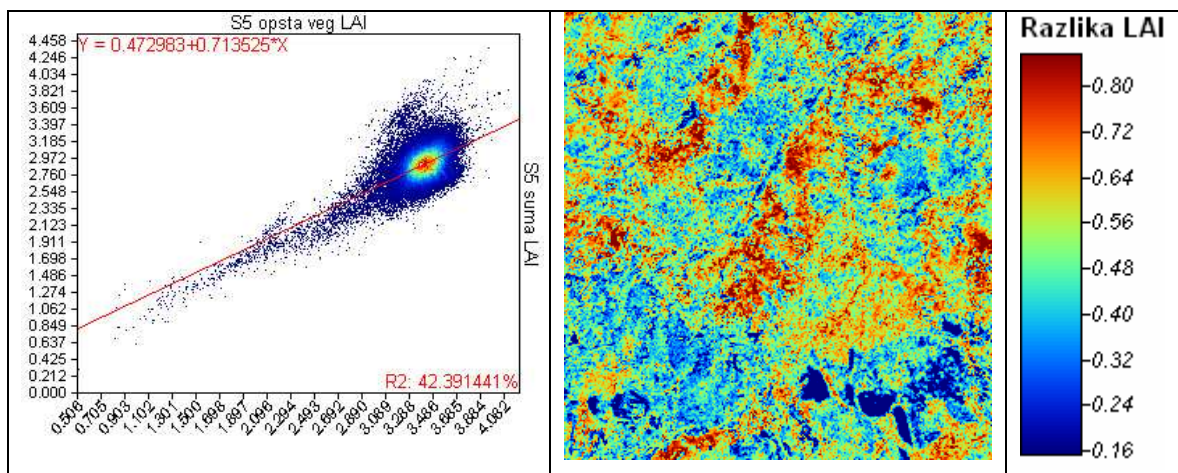
## П 5.2 Упоредивање за случај специфичног шумско-природног типа пејзажа

У експерименту је извршена линеарна регресија вредности биофизичких параметара LAI, glcv, fAPAR и csh који су генерисани у PROSAIL моделу подешеном за општу вегетацију (S5 opsta veg) и подешеном за шумско-природну вегетацију (S5 suma). Као и у претходном случају, генерисане су карте разлика вредности параметара из ова два услова.

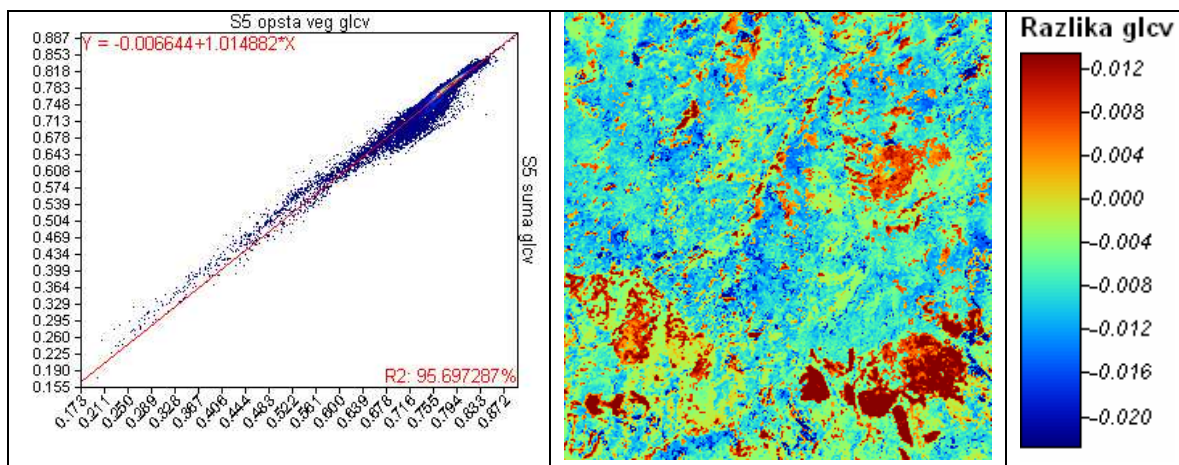




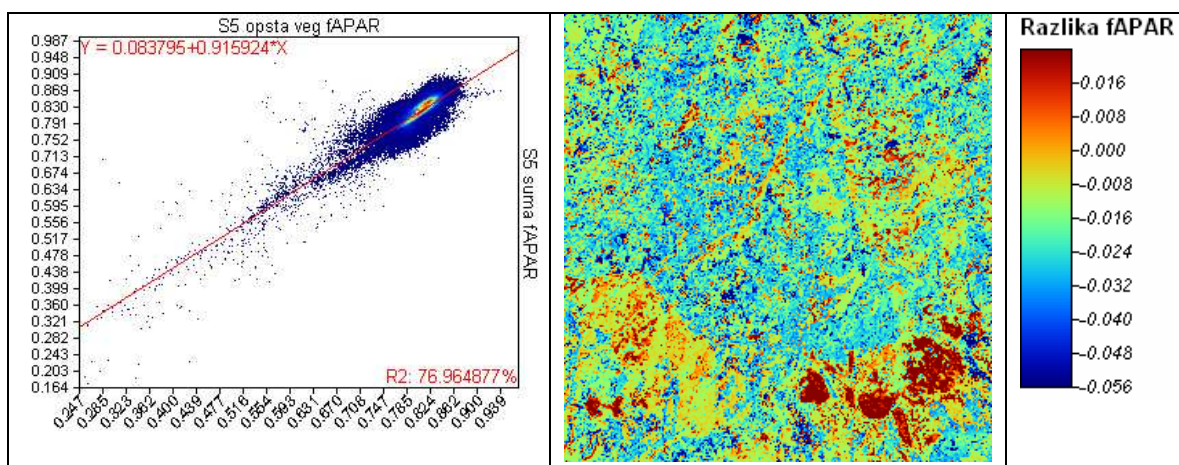
Слика П 10. Област са шумско-природним типом пејзажа која је коришћена у експерименту (RGB колор композиција: NIR-SWIR-R)



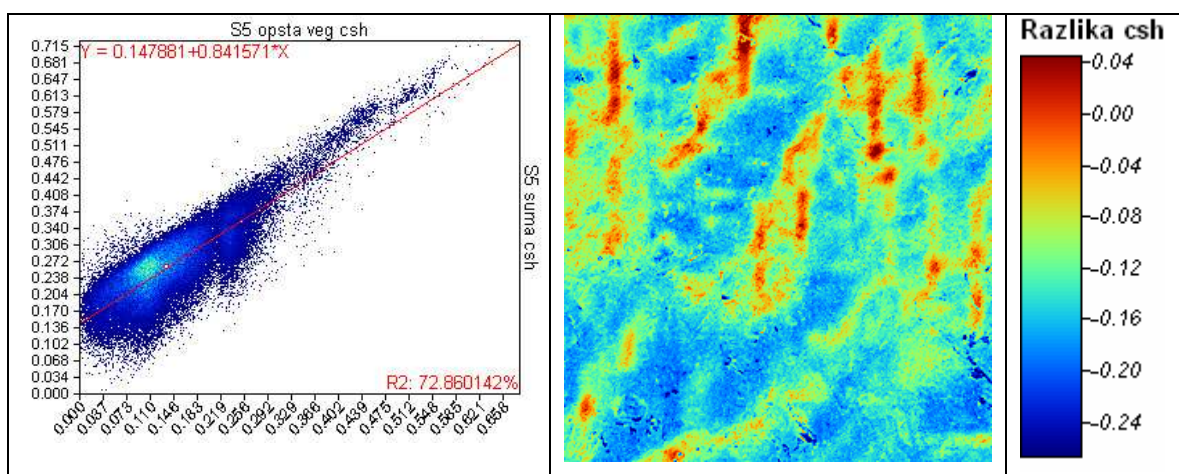
Слика П 11. График и једначина линеарне регресије за LAI и карта разлика вредности параметра



Слика П 12. График и једначина линеарне регресије за glcv и карта разлика вредности параметра



Слика П 13. График и једначина линеарне регресије за fAPAR и карта разлика вредности параметра

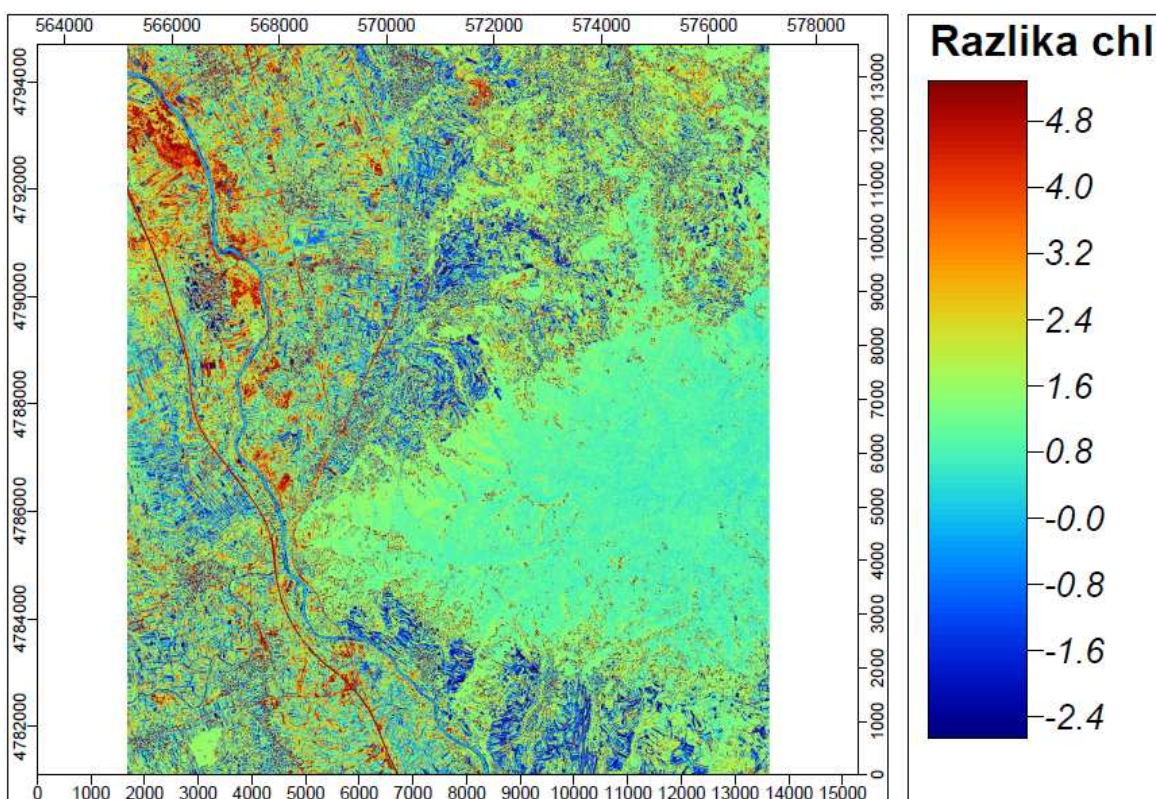


Слика П 14. График и једначина линеарне регресије за csh и карта разлика вредности параметра

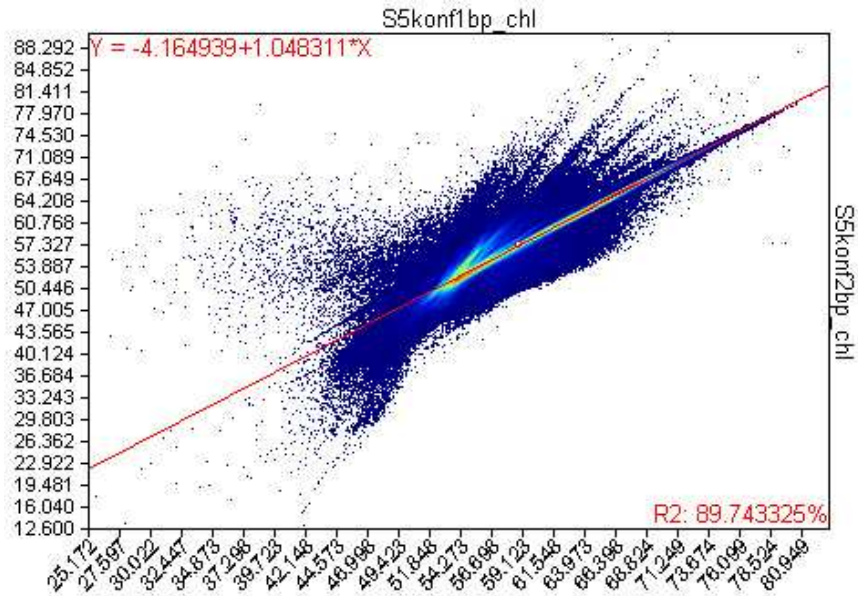


## П 6 УПОРЕЂИВАЊЕ БИОФИЗИШКИХ ПАРАМЕТАРА ДОБИЈЕНИХ У PROSAIL МОДЕЛУ СА И БЕЗ КОРИШЋЕЊА СПЕКТРАЛНИХ ОСОБИНА ЗЕМЉИШТА

### П 6.1 Упоредивање chl карата

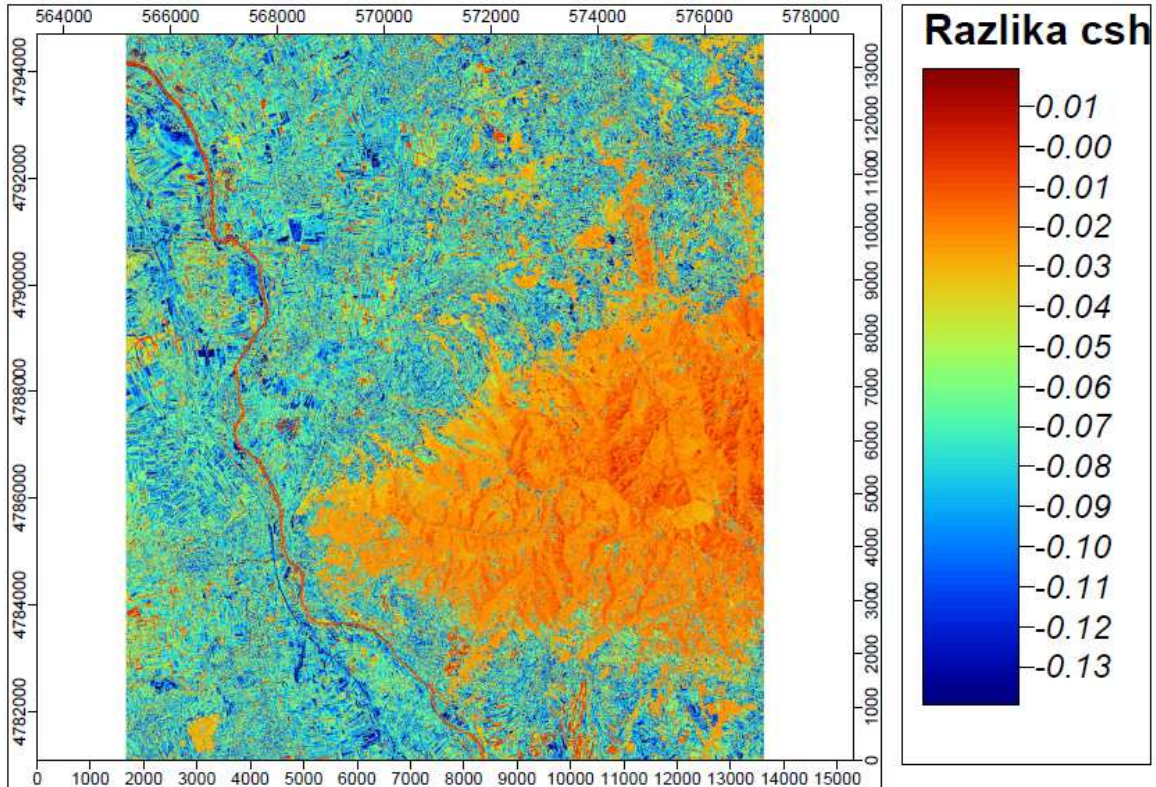


Слика П 15. Карта разлика chl карата добијених са и без коришћења спектралних особина земљишта



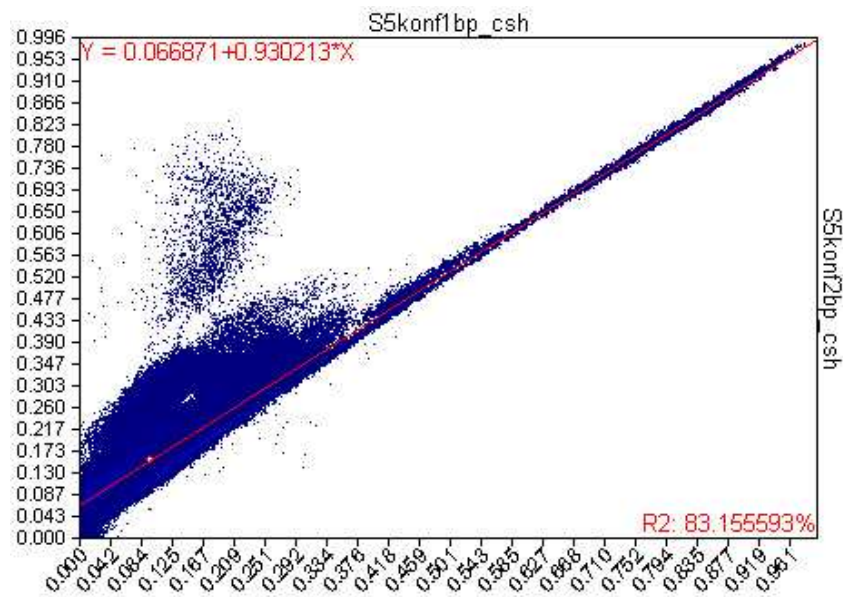
Слика П 16. График и једначина линеарне регресије за chl (S5konf1bp представља параметар добијен без коришћења спектра земљишта, а S5konf2bp са коришћењем спектра земљишта)

## П 6.2 Упоредивање csh карата



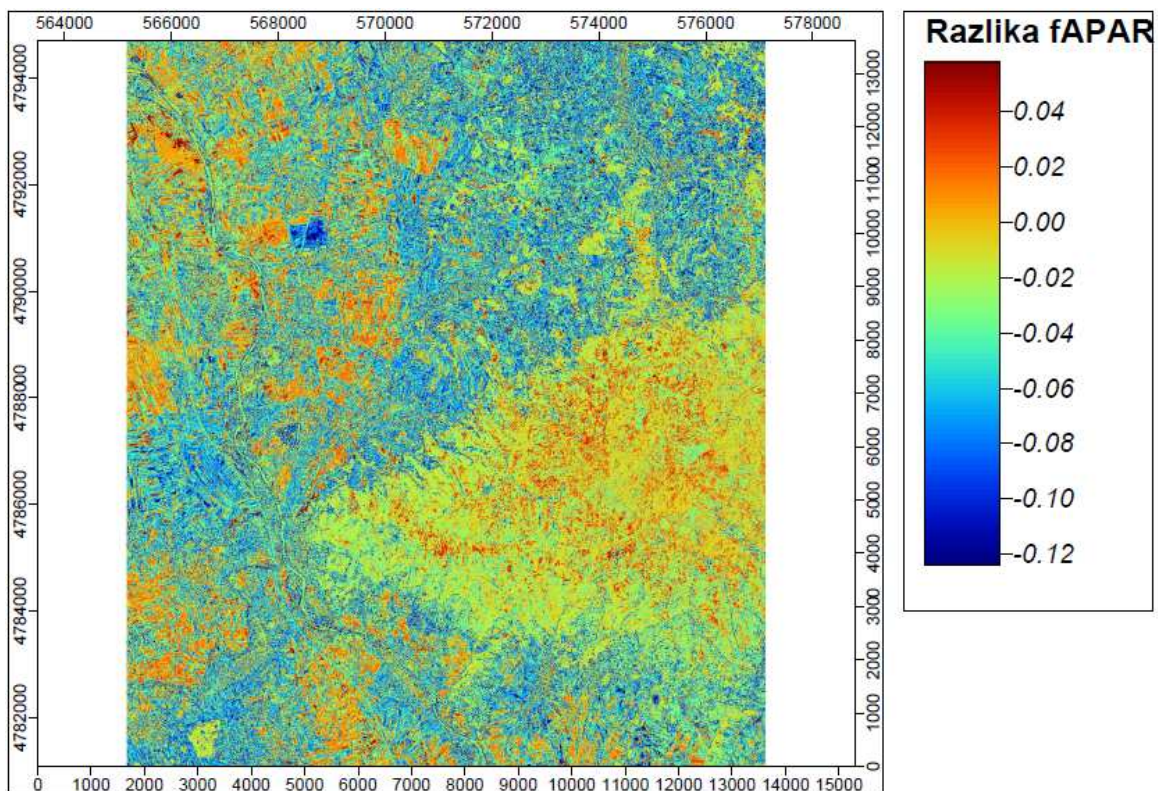
Слика П 17. Карта разлика csh карата добијених са и без коришћења спектралних особина земљишта



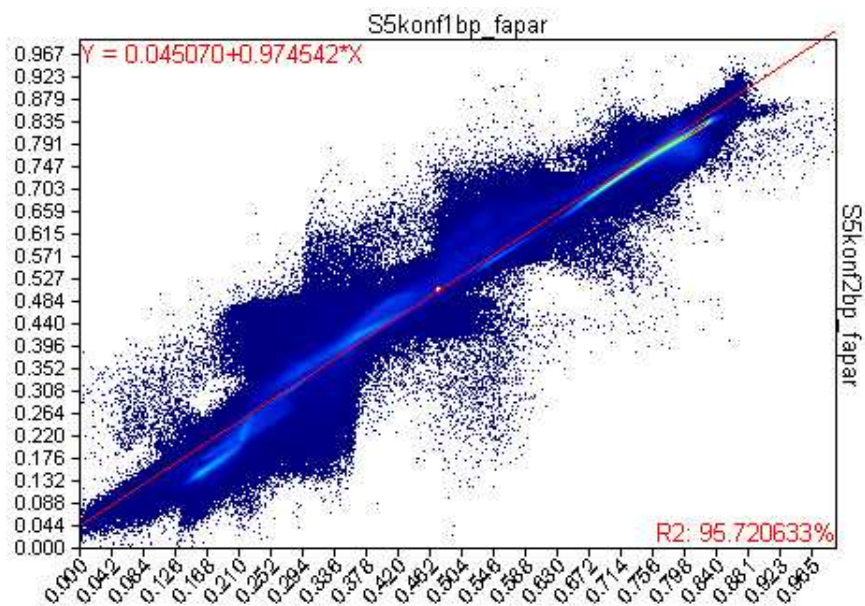


Слика П 18. График и једначина линеарне регресије за csh (S5konf1bp представља параметар добијен без коришћења спектра земљишта, а S5konf2bp са коришћењем спектра земљишта)

### П 6.3 Упоређивање fAPAR карата

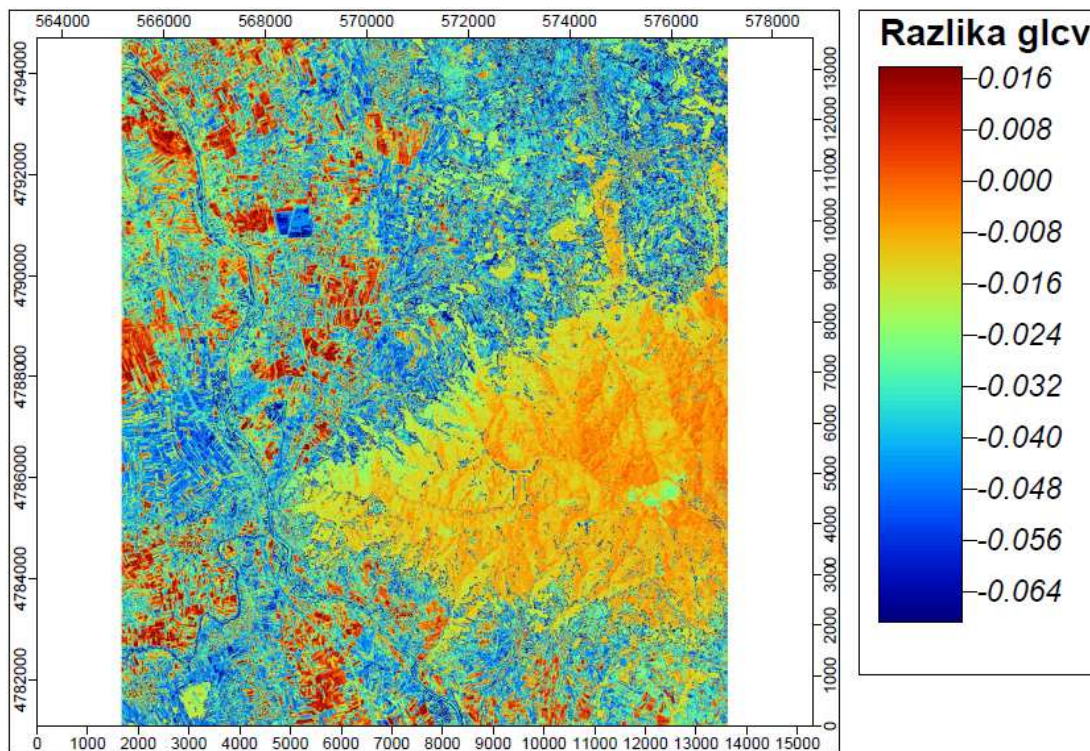


Слика П 19. Карта разлика fAPAR карата добијених са и без коришћења спектралних особина земљишта



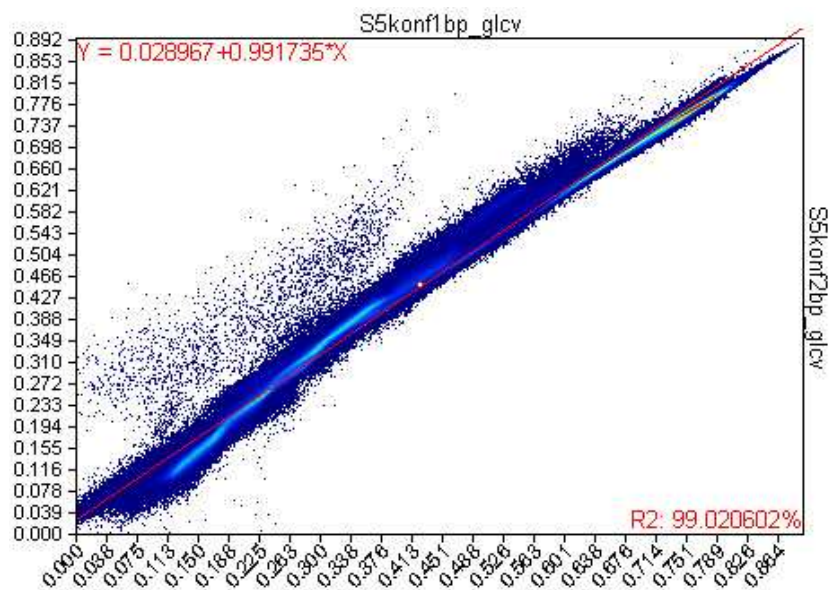
Слика П 20. График и једначина линеарне регресије за fAPAR (S5konf1bp представља параметар добијен без коришћења спектра земљишта, а S5konf2bp са коришћењем спектра земљишта)

#### П 6.4 Упоредивање glsv карата



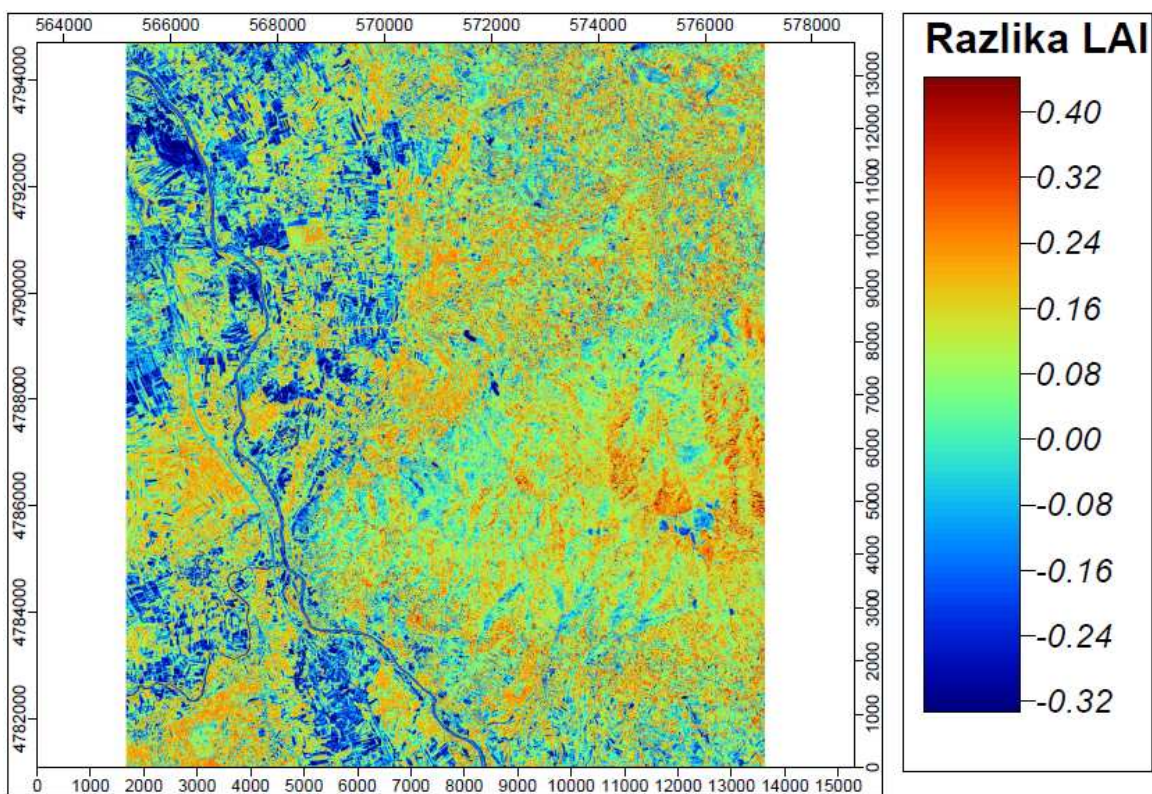
Слика П 21. Карта разлика glsv карата добијених са и без коришћења спектралних особина земљишта



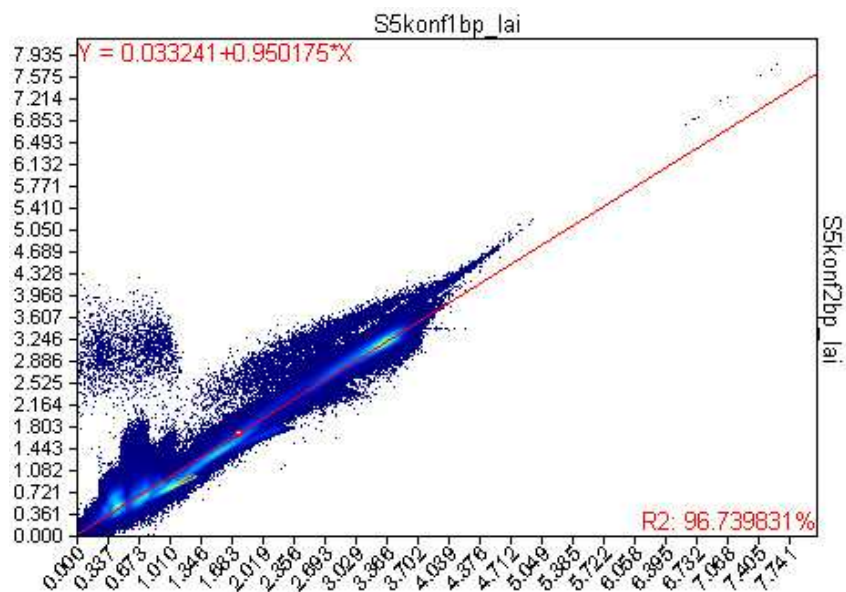


Слика П 22. График и једначина линеарне регресије за glcv (S5konf1bp представља параметар добијен без коришћења спектра земљишта, а S5konf2bp са коришћењем спектра земљишта)

### П 6.5 Упоредивање LAI карата

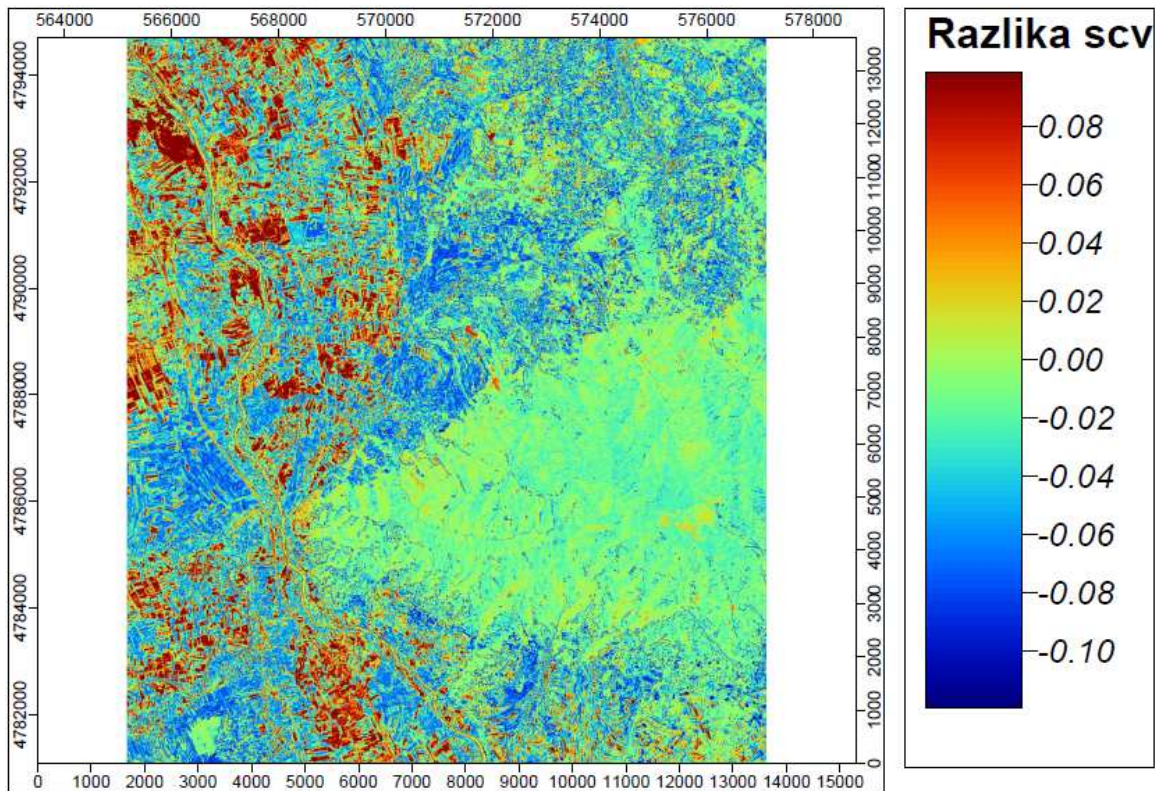


Слика П 23. Карта разлика LAI карата добијених са и без коришћења спектралних особина земљишта



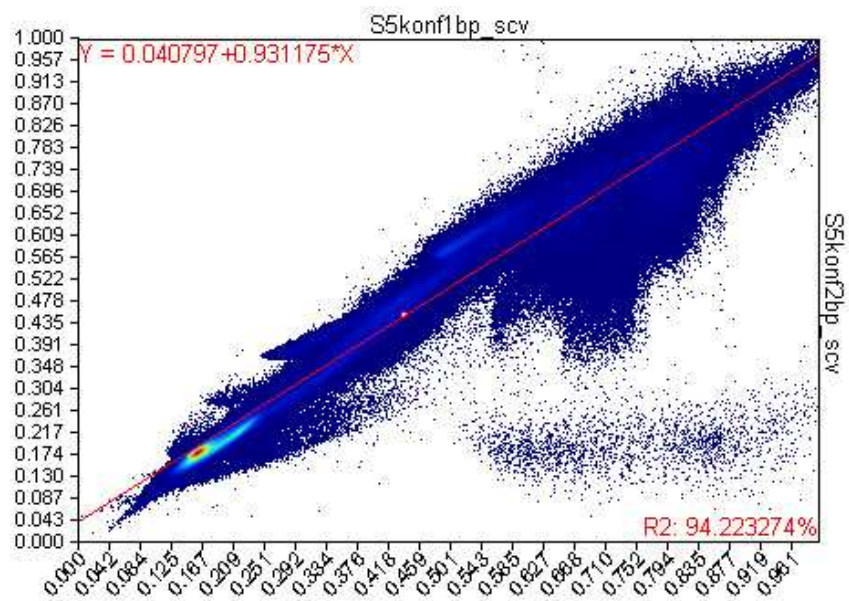
Слика П 24. График и једначина линеарне регресије за LAI (S5konf1bp представља параметар добијен без коришћења спектра земљишта, а S5konf2bp са коришћењем спектра земљишта)

## П 6.6 Упоредивање scv карата



Слика П 25. Карта разлика scv карата добијених са и без коришћења спектралних особина земљишта





Слика П 26. График и једначина линеарне регресије за scv (S5konf1bp представља параметар добијен без коришћења спектра земљишта, а S5konf2bp са коришћењем спектра земљишта)

## П 7 УПОРЕЂИВАЊЕ БИОФИЗИЧКИХ ПАРАМЕТАРА ДОБИЈЕНИХ У PROSAIL МОДЕЛУ ИЗ РАЗЛИЧИТИХ САТЕЛИТСКИХ СЦЕНА

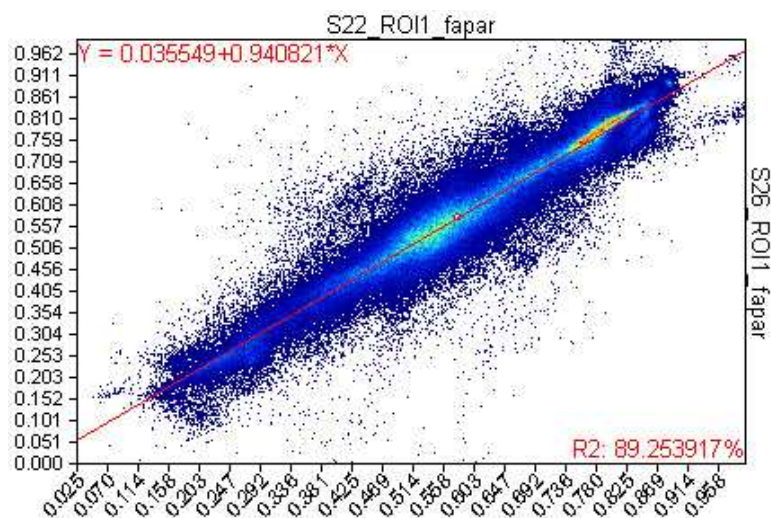
У експерименту су извршена упоређења карата биофизичких параметара за два подручја која се налазе на преклопу две суседне SPOT 5 сцене S26 и S22 из истог датума – 7.7.2006. Извршена је линеарна регресија вредности биофизичких параметара и генерисане су карте разлика вредности параметара.



Слика П 27. Снимак првог подручја - ROI (извор Google Earth)

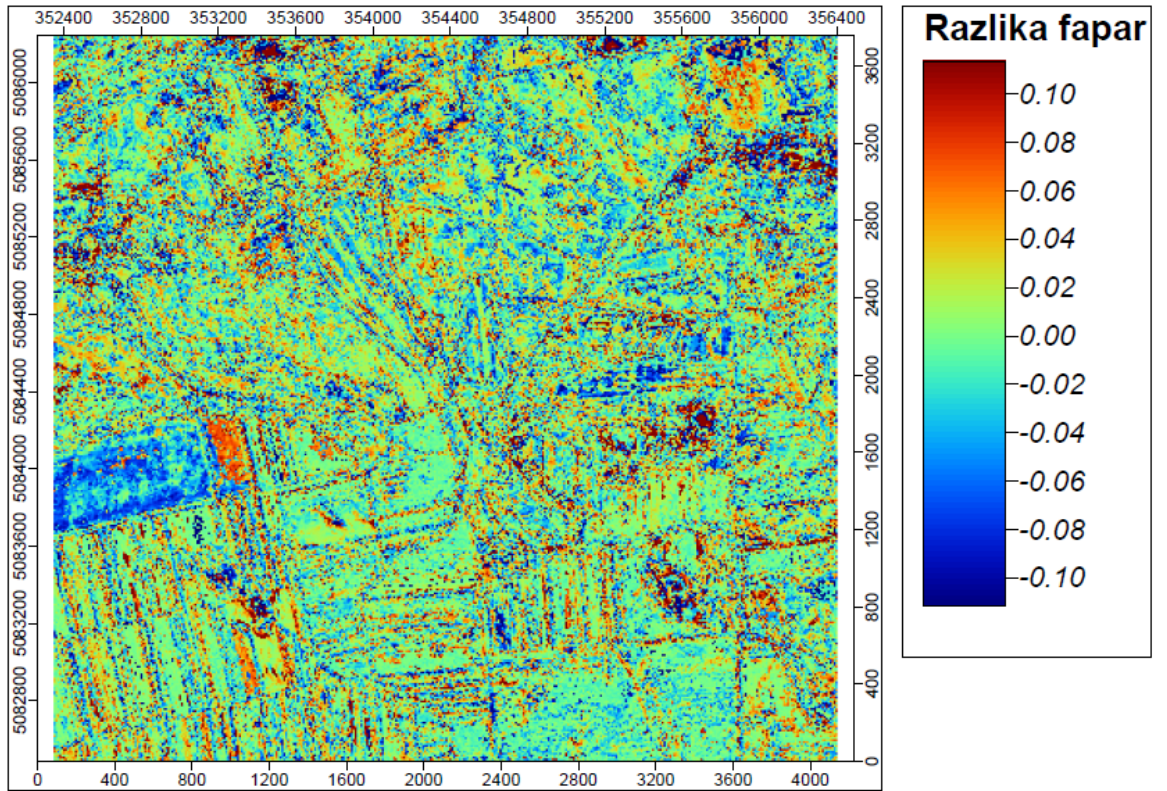


Слика П 28. Снимак другог подручја - ROI2 (извор Google Earth)

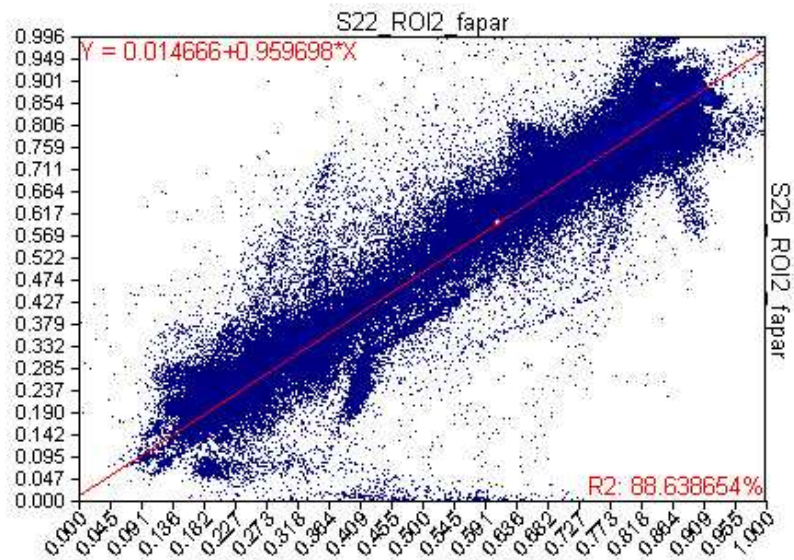


Слика П 29. График и једначина линеарне регресије за fAPAR на подручју ROI1

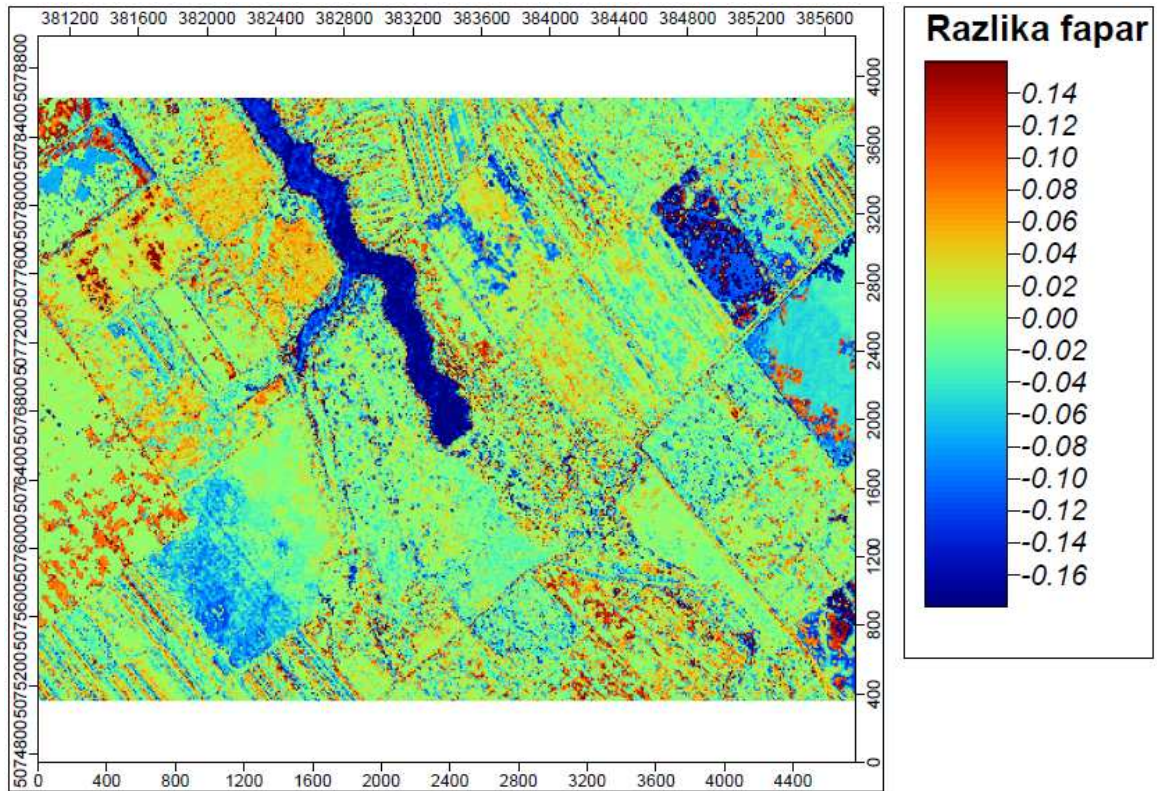




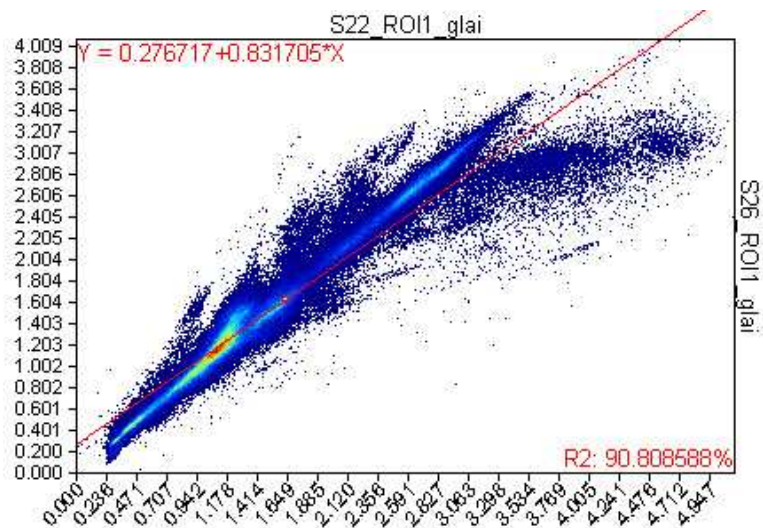
Слика П 30. Карта разлике fAPAR на подручју ROI1



Слика П 31. График и једначина линеарне регресије за fAPAR на подручју ROI2

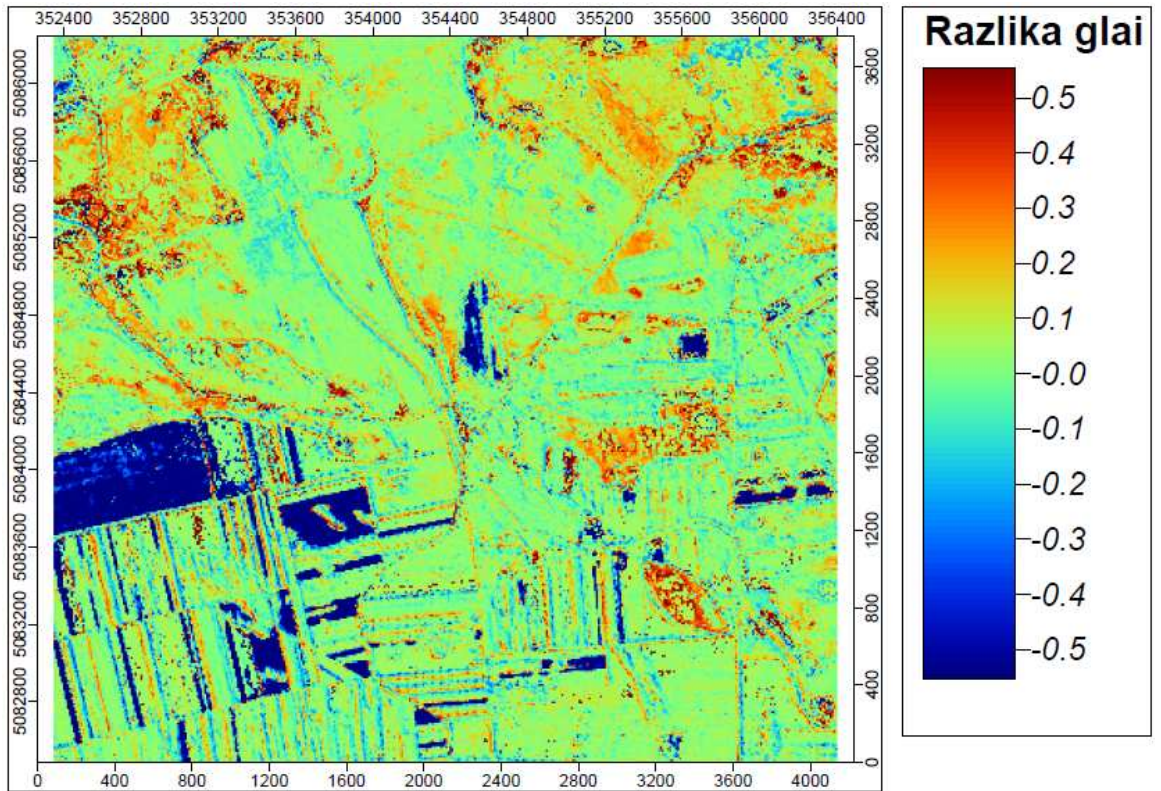


Слика П 32. Карта разлике fAPAR на подручју ROI2

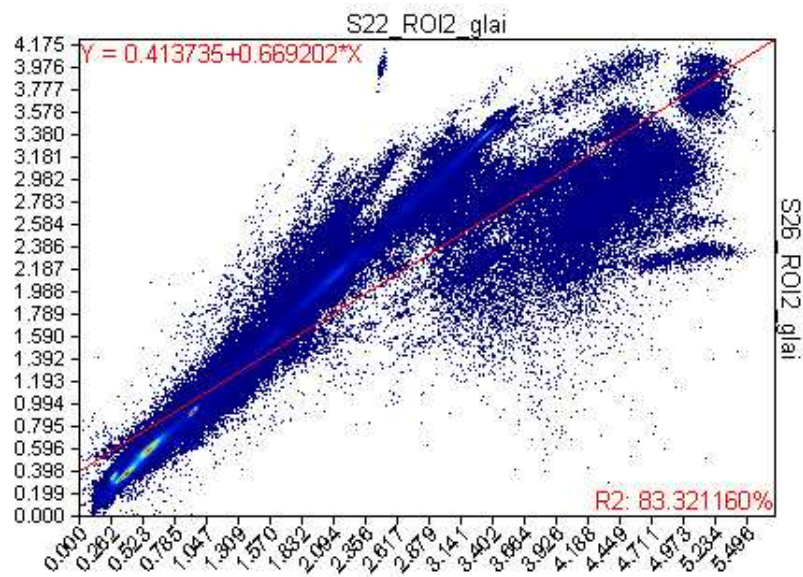


Слика П 33. График и једначина линеарне регресије за glai на подручју ROI1

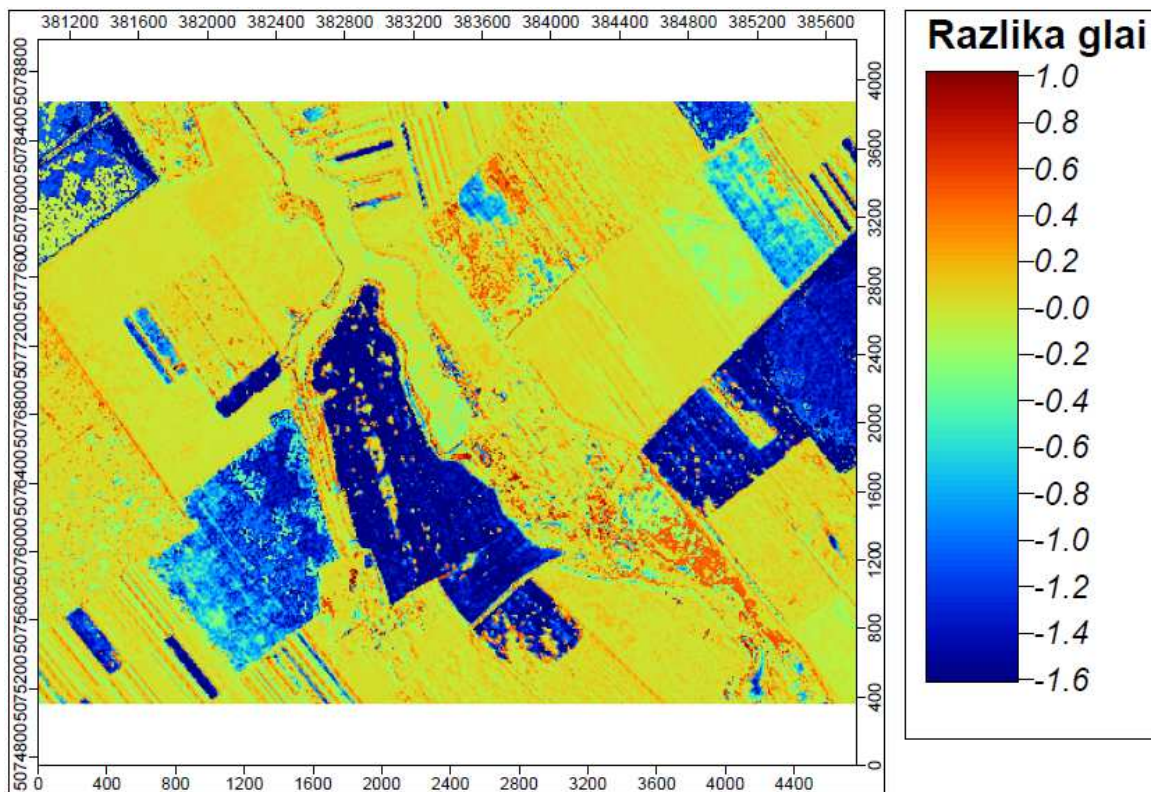




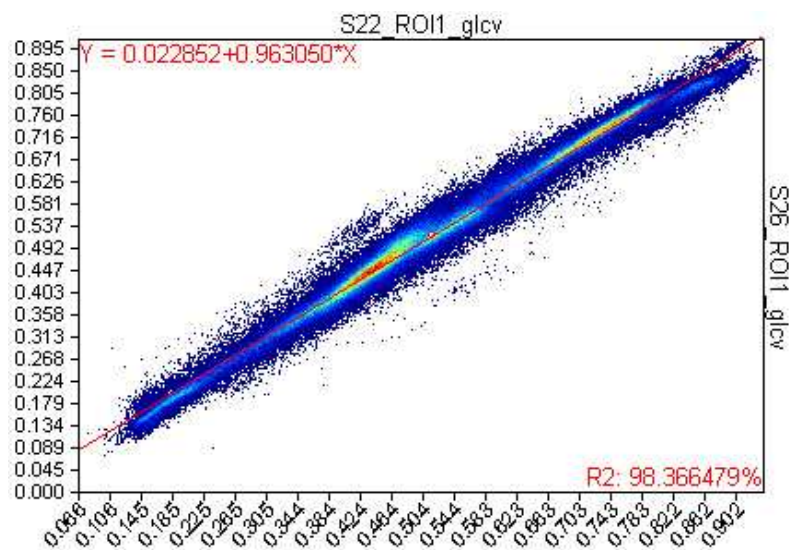
Слика П 34. Карта разлике glai на подручју ROI1



Слика П 35. График и једначина линеарне регресије за glai на подручју ROI2

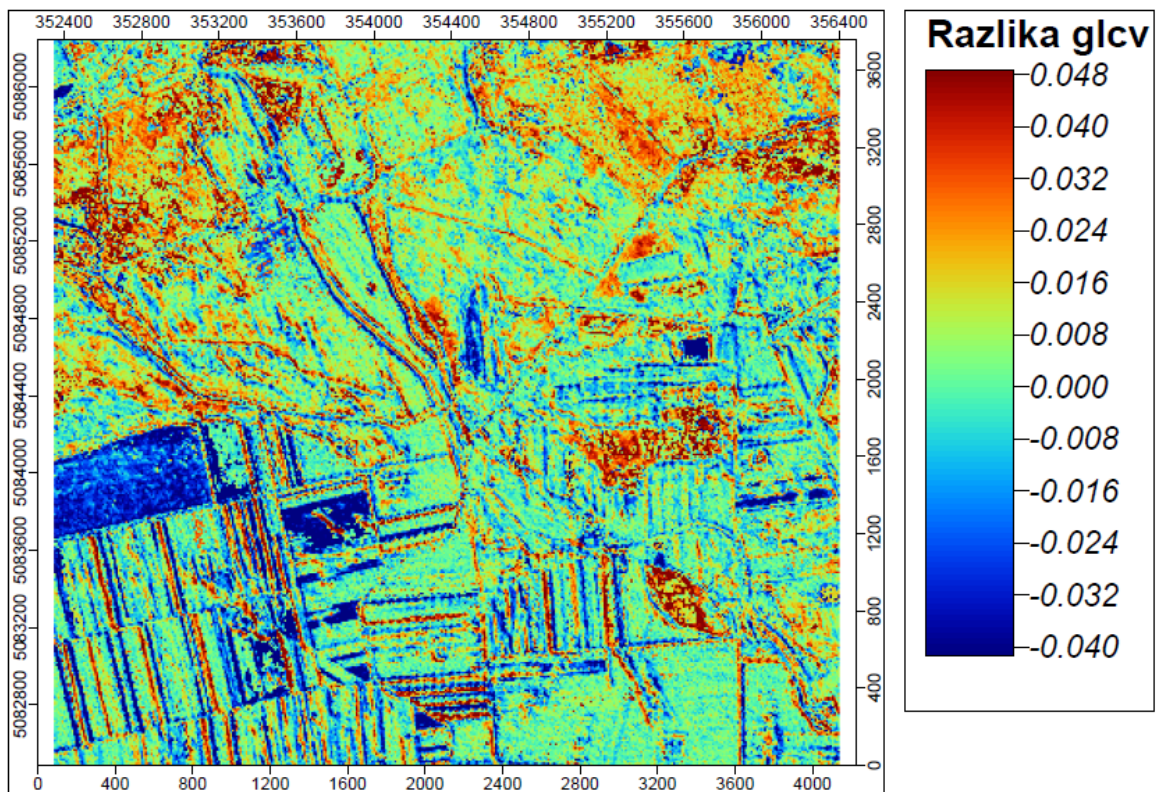


Слика П 36. Карта разлике glai на подручју ROI2

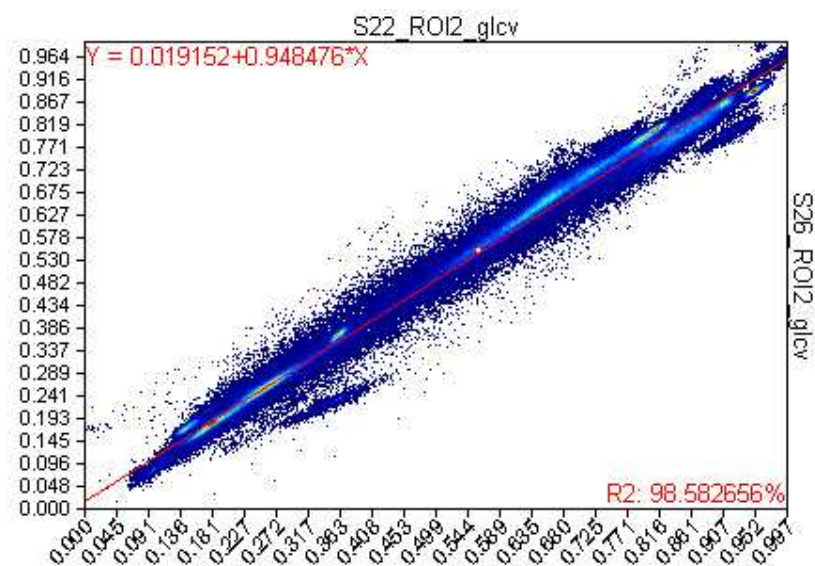


Слика П 37. График и једначина линеарне регресије за glcv на подручју ROI1



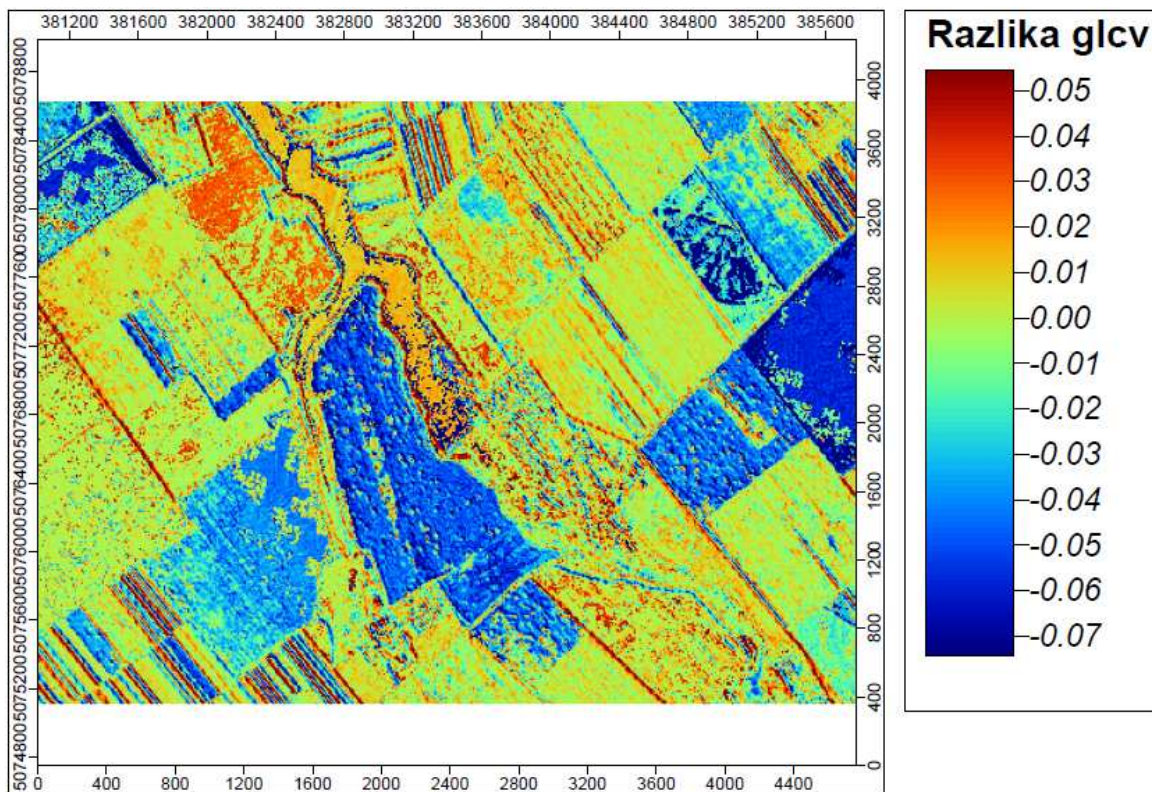


Слика П 38. Карта разлике glcv на подручју ROI1

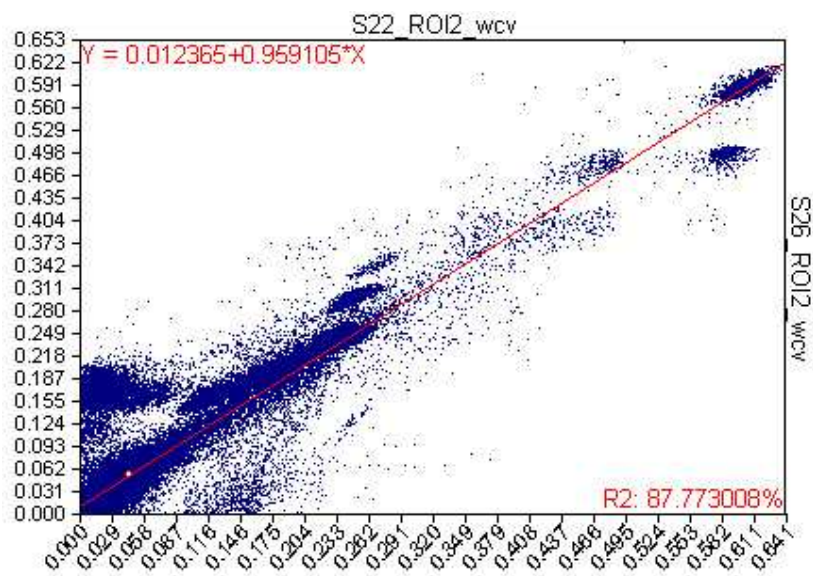


Слика П 39. График и једначина линеарне регресије за glcv на подручју ROI2

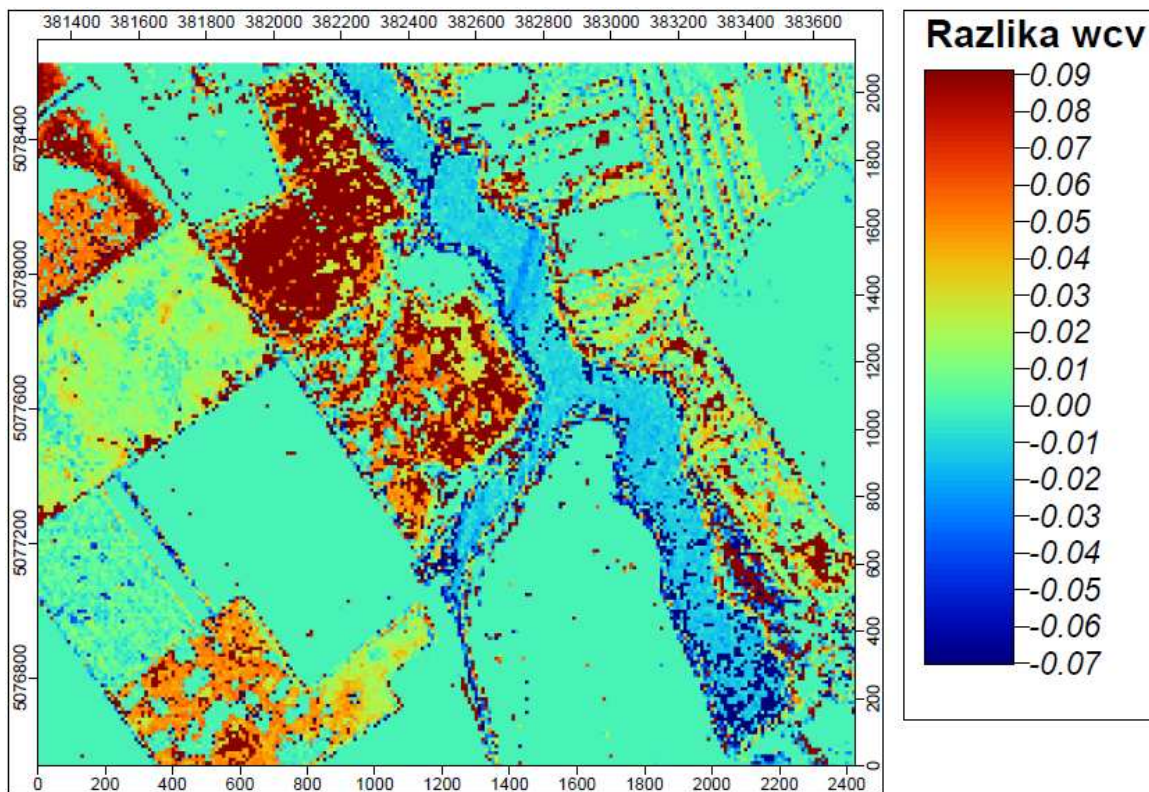




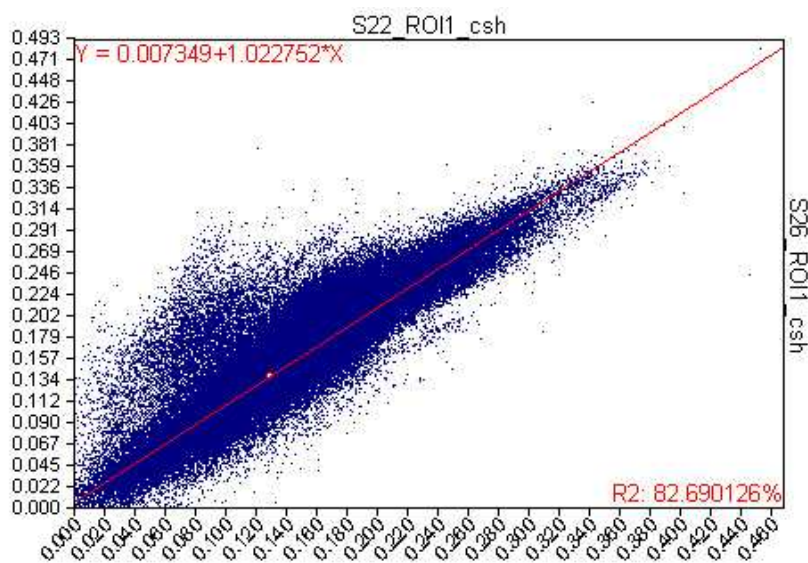
Слика П 40. Карта разлике glcv на подручју ROI2



Слика П 41. График и једначина линеарне регресије за wcv на подручју ROI2

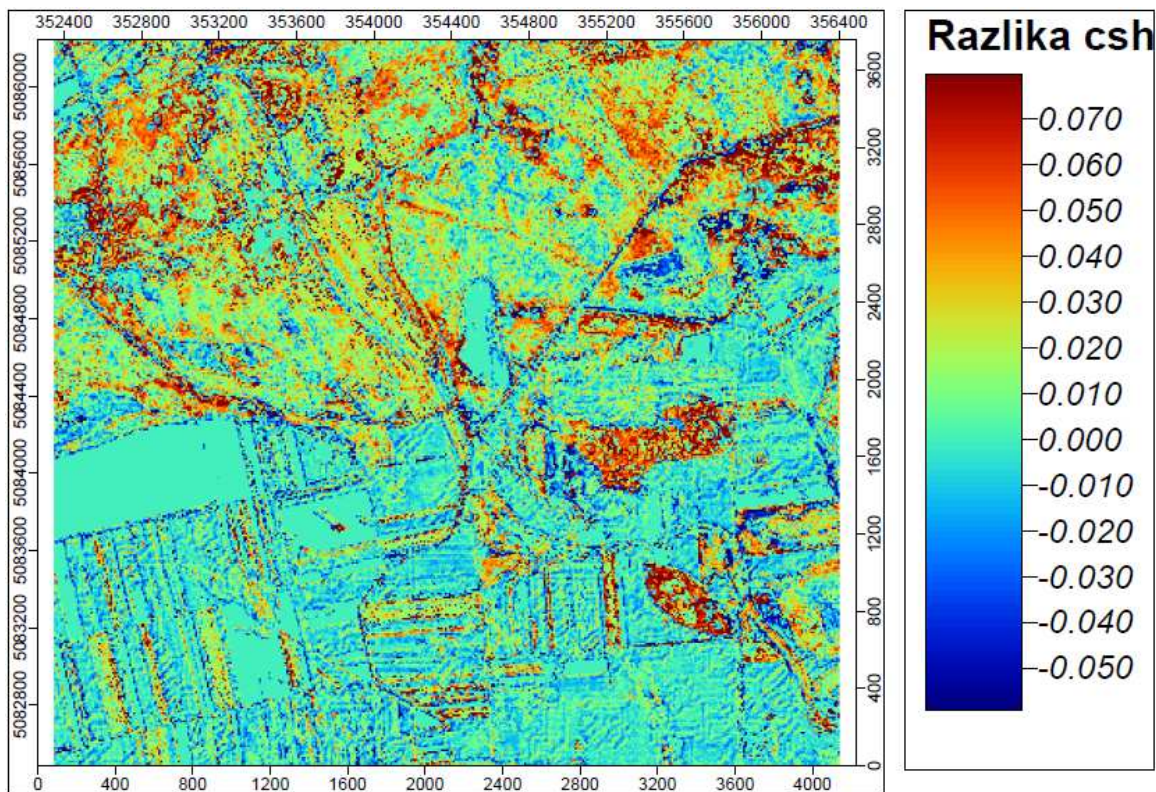


Слика П 42. Карта разлике wcv на подручју ROI2

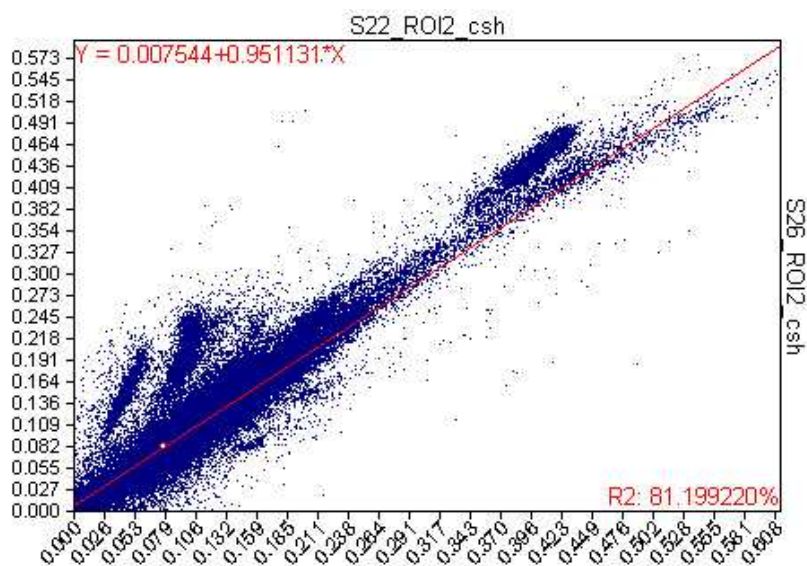


Слика П 43. График и једначина линеарне регресије за csh на подручју ROI1

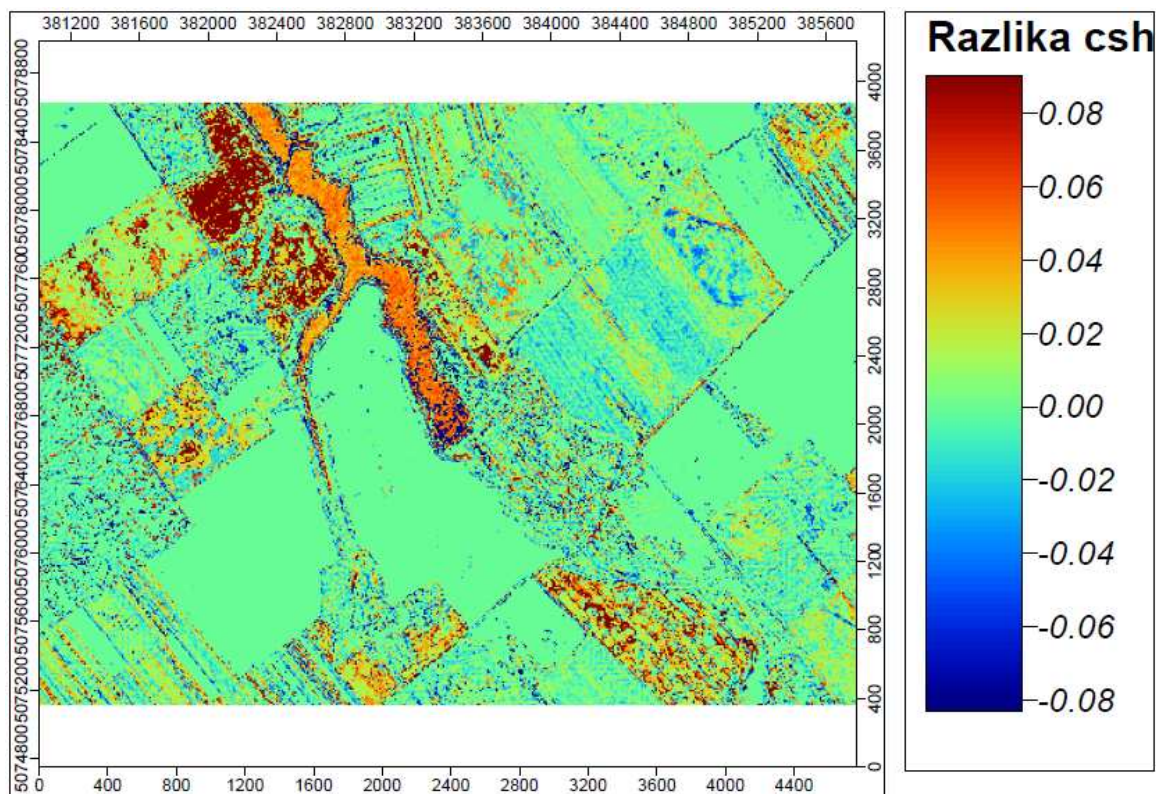




Слика П 44. Карта разлике csh на подручју ROI1



Слика П 45. График и једначина линеарне регресије за csh на подручју ROI2

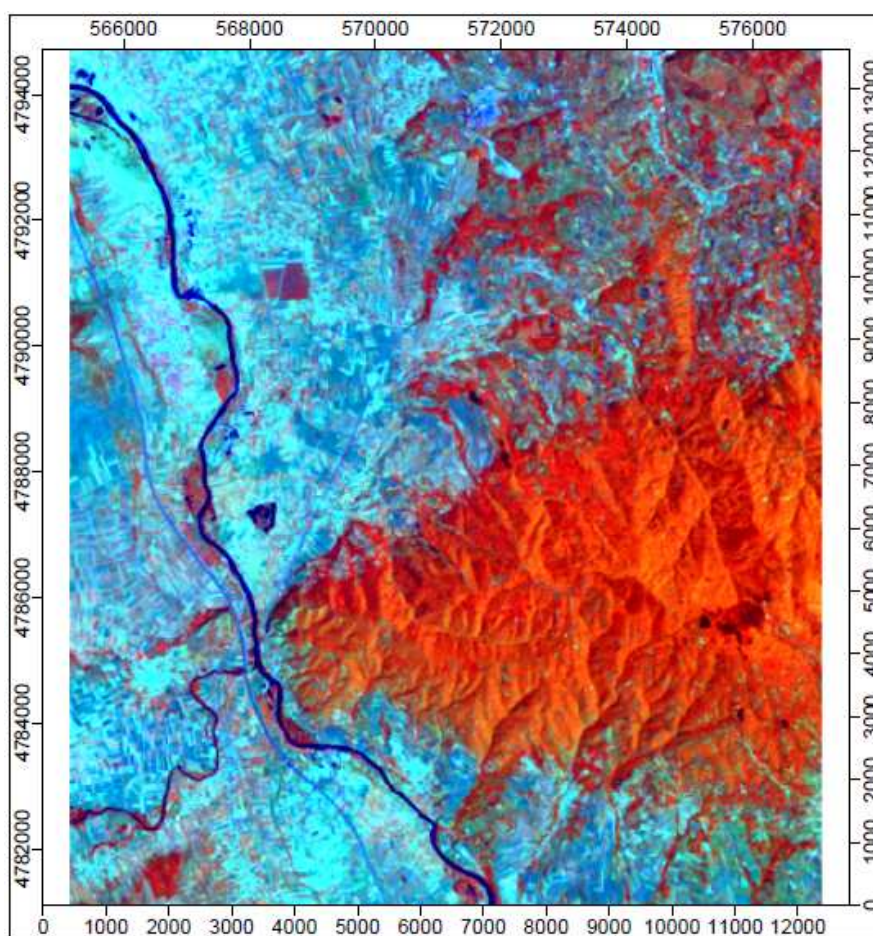


Слика П 46. Карта разлике csh на подручју ROI2

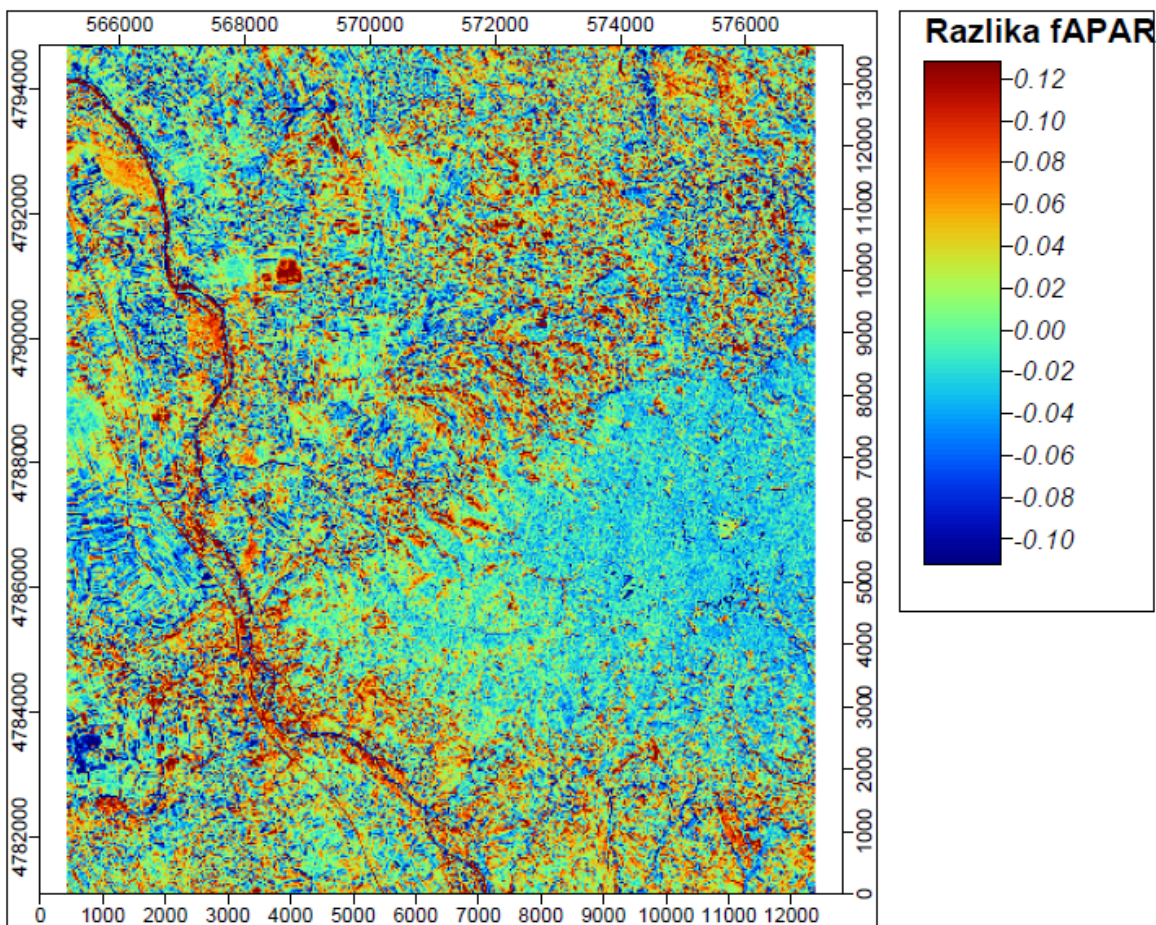


## П 8 УПОРЕЂИВАЊЕ БИОФИЗИШКИХ ПАРАМЕТАРА ДОБИЈЕНИХ У PROSAIL МОДЕЛУ ИЗ ПОДАТАКА СА РАЗЛИЧИТИХ СЕНЗОРА

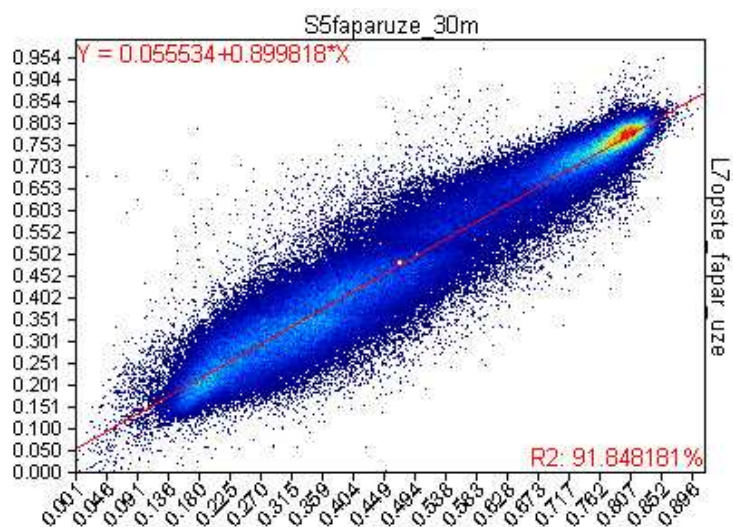
У експерименту су извршена упоређења карата биофизичких параметара добијених из података Landsat 7 ETM+ сензора из 23.06.2007. године и SPOT 5 сензора из 01.07.2007. Извршена је линеарна регресија вредности биофизичких параметара и генерисане су карте разлика вредности параметара.



Слика П 47. LANDSAT 7 снимак колор композиција 4-5-3

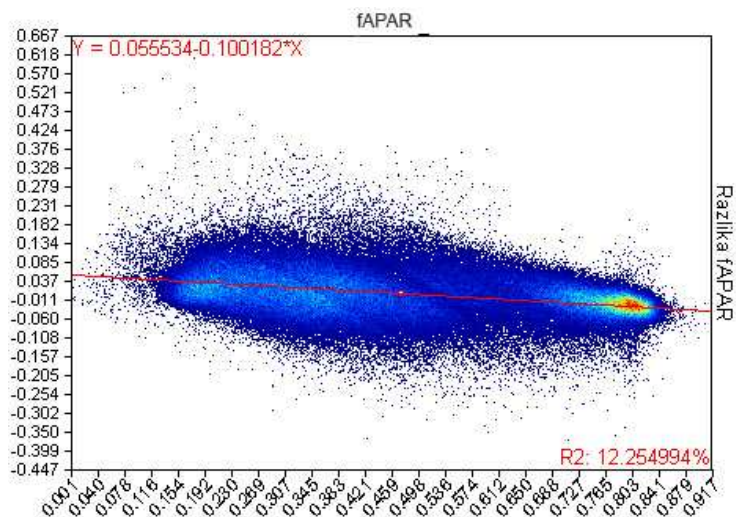


Слика П 48. Карта разлике fAPAR

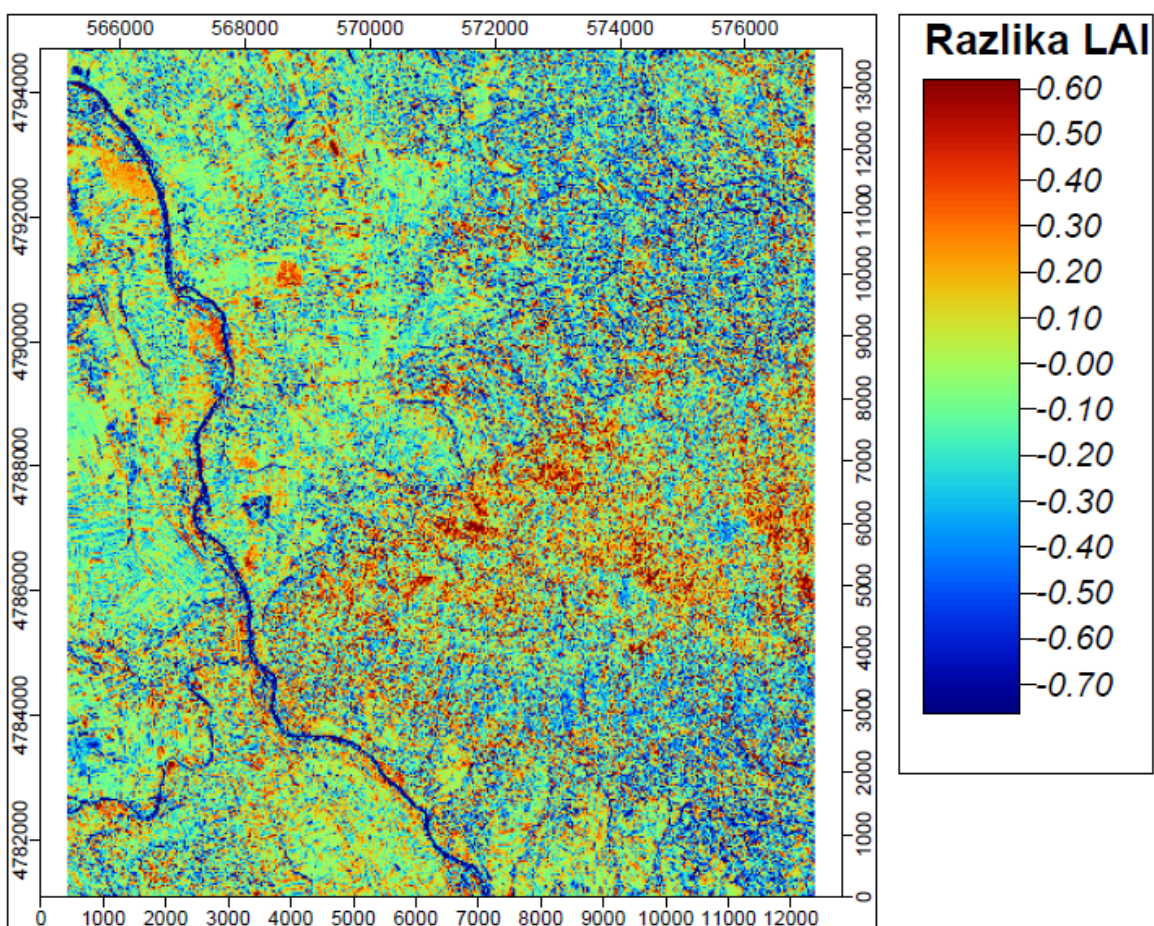


Слика П 49. График и једначина линеарне регресије за fAPAR

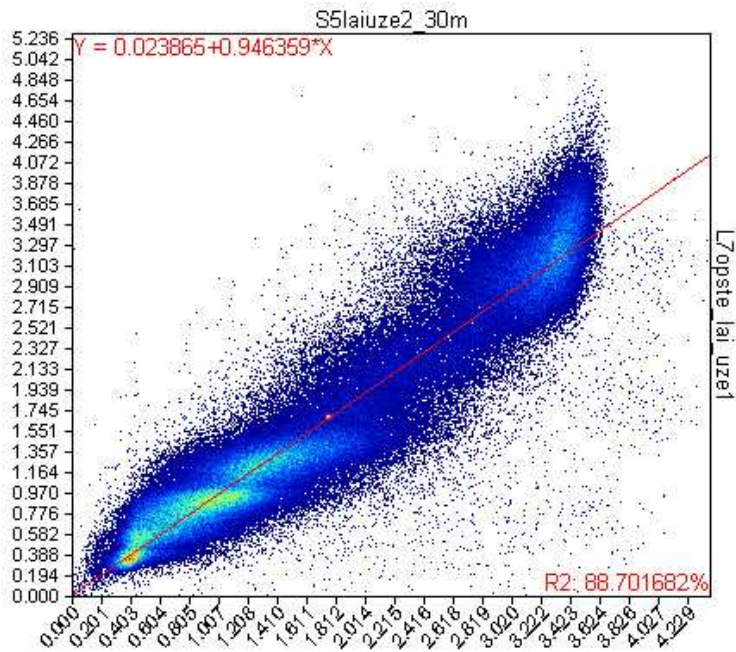




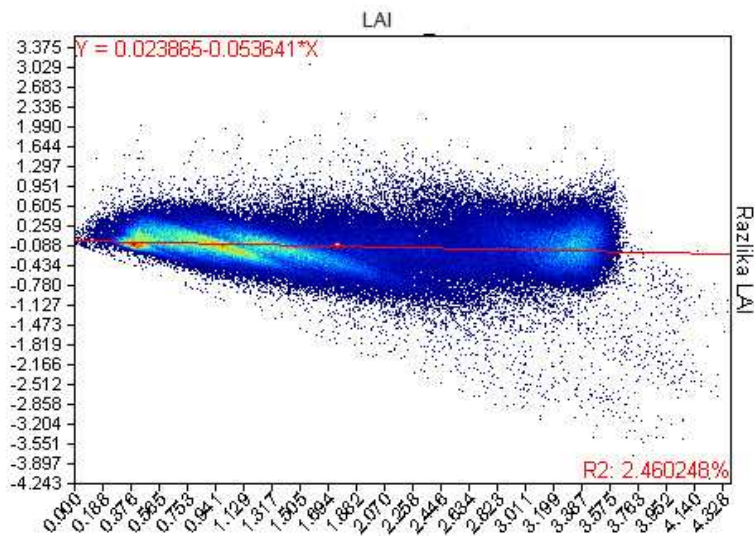
Слика П 50. График зависности разлике fAPAR од вредности параметра



Слика П 51. Карта разлике LAI

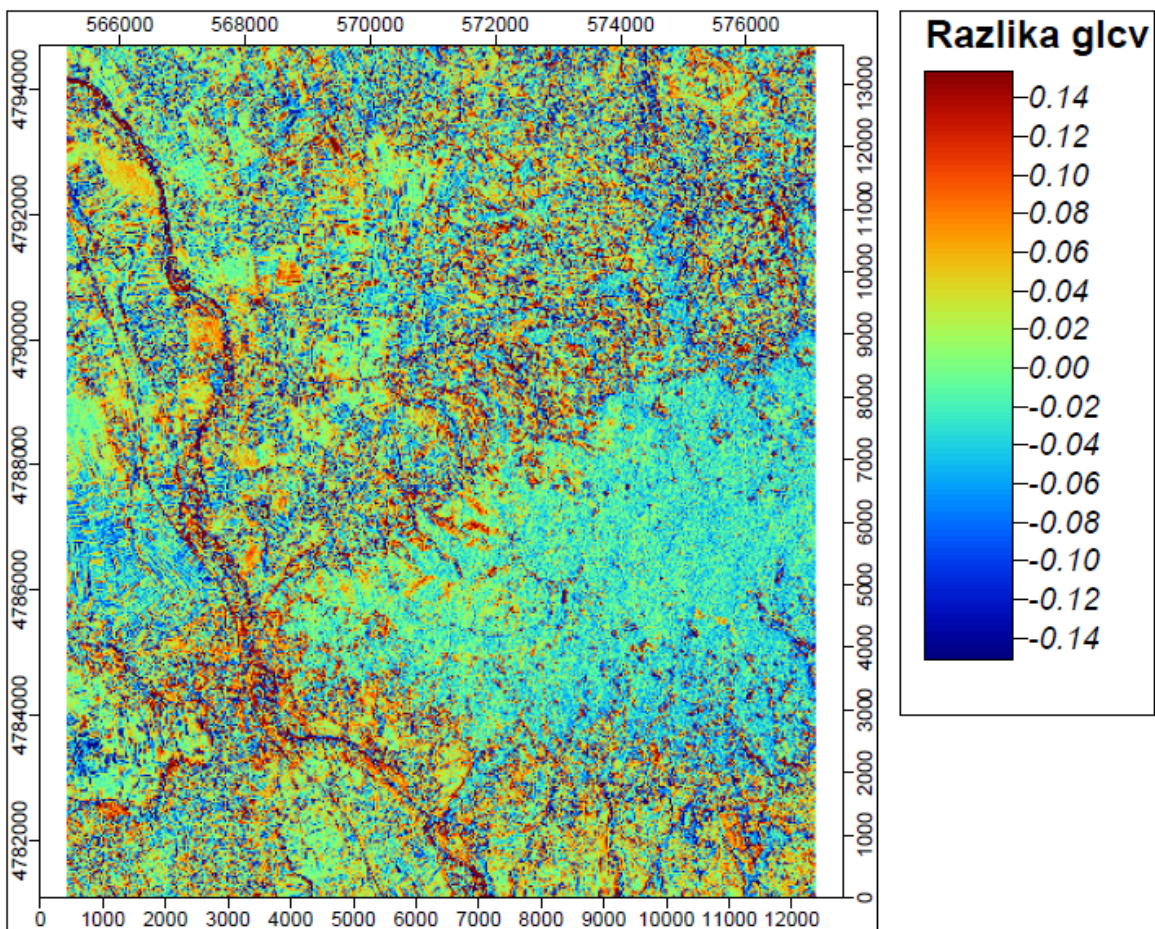


Слика П 52. График и једначина линеарне регресије за LAI

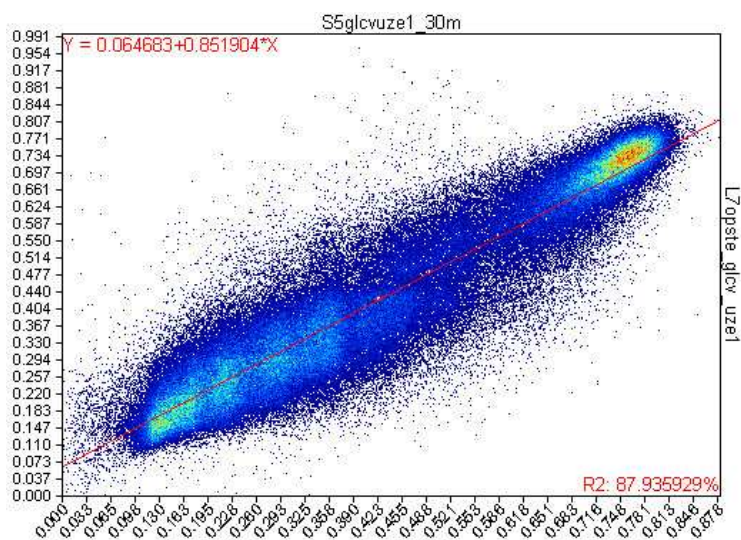


Слика П 53. График зависности разлике LAI од вредности параметра



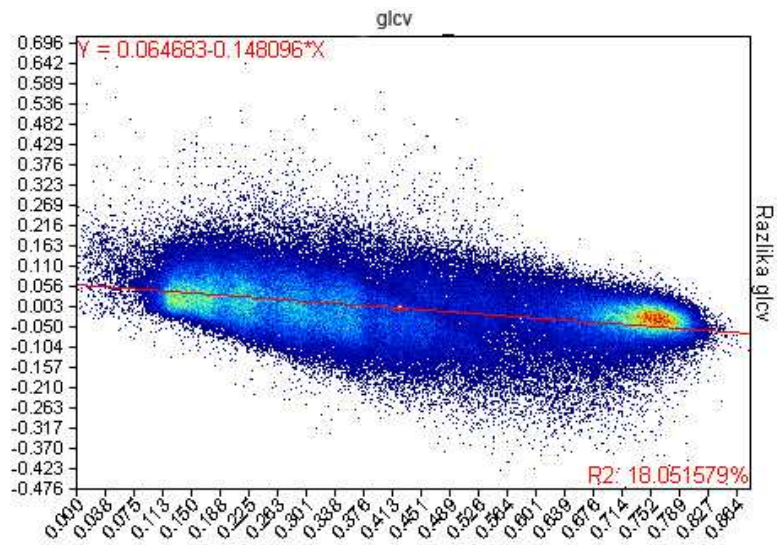


Слика П 54. Карта разлике glcv

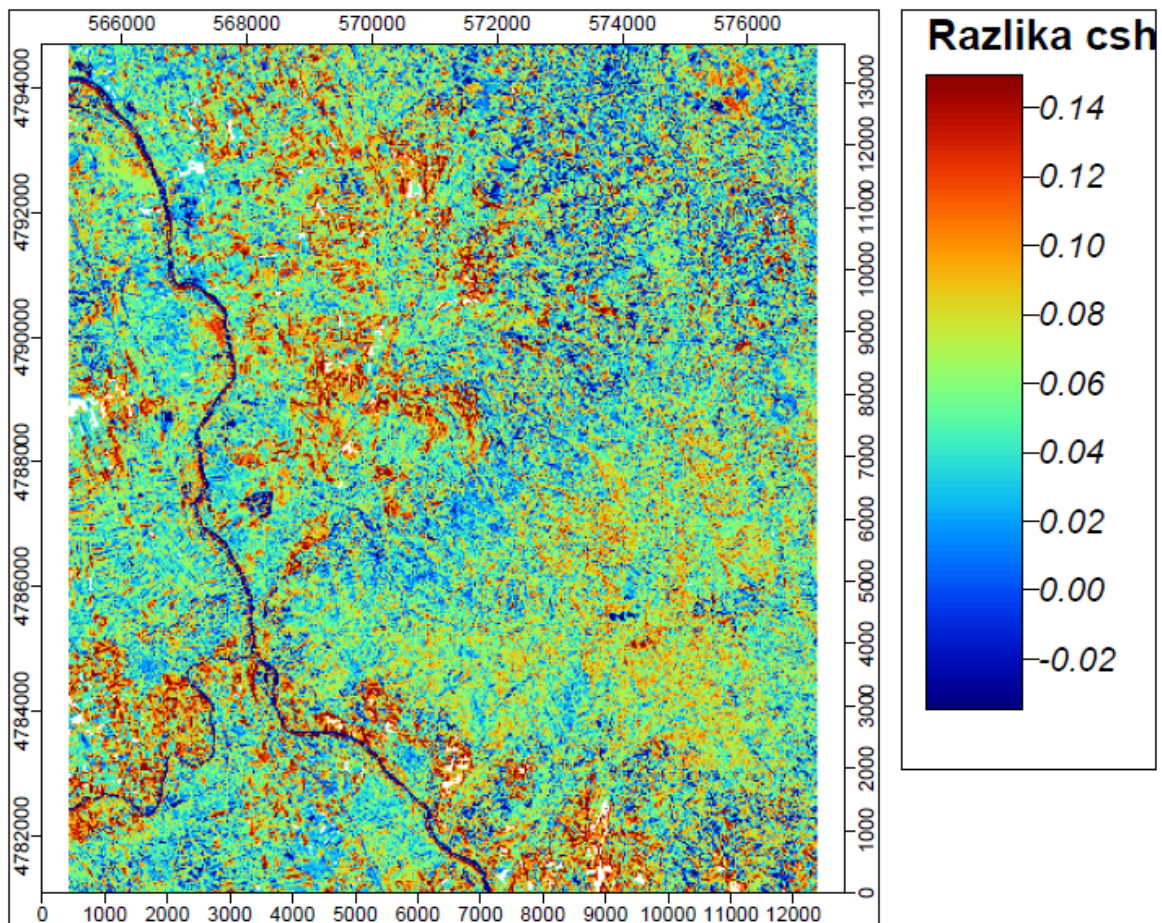


Слика П 55. График и једначина линеарне регресије за glcv

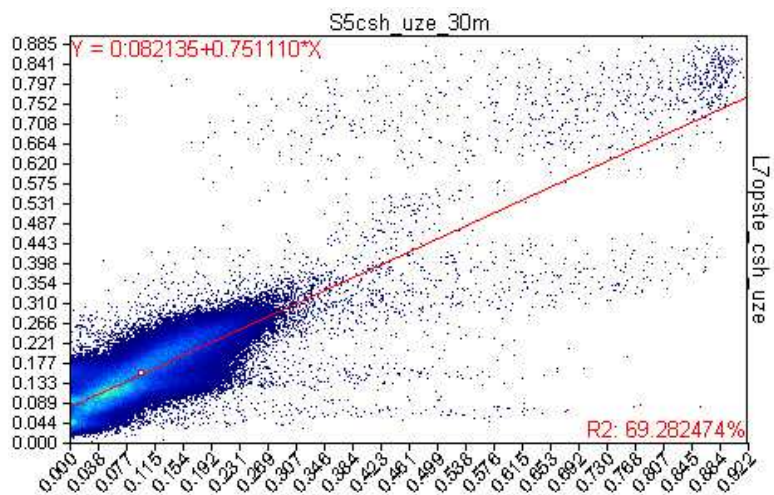




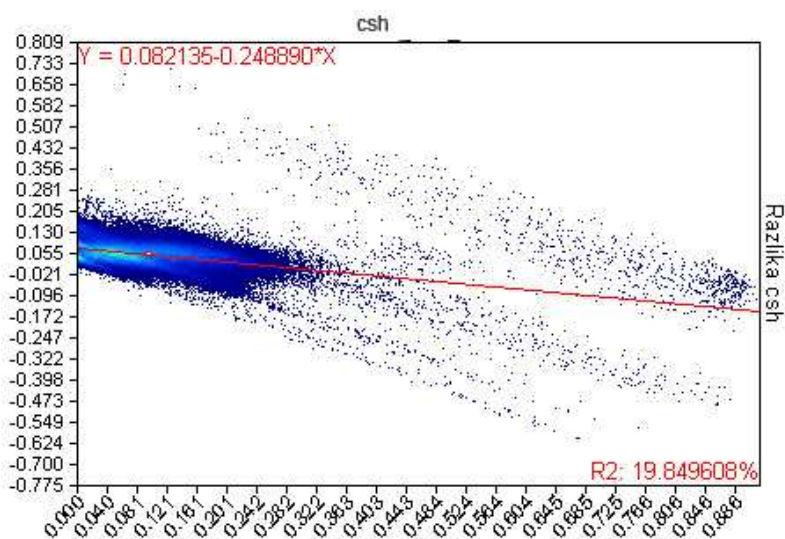
Слика П 56. График зависности разлике glcv од вредности параметра



Слика П 57. Карта разлике csh



Слика П 58. График и једначина линеарне регресије за glcv



Слика П 59. График зависности разлике csh од вредности параметра

# ИНДЕКС

## СЛИКЕ

Слика 2-1 FAO LCCS класификациони систем.....	33
Слика 3-1. Компоненте зрачења код даљинске детекције соларне рефлексije (преузето из Schowengerdt (1997)) .....	43
Слика 3-2. а) Геометрија директне соларне ирадијансе на земљину површ (прузето из Schowengerdt (1997)), б) Концепт бидирекционе рефлексije (преузето из Schott (2007)) .....	44
Слика 3-3. Геометријски опис једног елемента детектора оптичког сензора (Прузето из Schowengerdt (1997)) .....	48
Слика 4-1. Графикон зависности рефлексije воде са 0.5g/l минерала Монтморилонита од таласне дужине (преузето из USGS спектралне библиотеке 06, Clark et al., 2007) .....	58
Слика 4-2. Графикон зависности рефлексije воде са 16.5g/l минерала Монтморилонита од таласне дужине (преузето из USGS спектралне библиотеке 06, Clark et al., 2007) .....	58
Слика 4-3. Графикон зависности рефлексije воде са присуством алги од таласне дужине (преузето из USGS спектралне библиотеке 06, Clark et al., 2007) .....	59
Слика 4-4. Хистограм рефлексije у 5. каналу снимка 187-30: а) на целом опсегу; б) увећани приказ левог краја хистограма .....	61
Слика 4-5. Хистограм рефлексije у 4. каналу снимка 187-30: а) на целом опсегу; б) увећани приказ левог краја хистограма .....	61
Слика 4-6. Хистограм рефлексije у 4. каналу снимка 187-30: а) на целом опсегу; б) увећани приказ левог краја хистограма .....	62
Слика 4-7. Апсолутне разлике спектралне рефлексije за Landsat ETM+ снимке 187-30 и 187-29 у 4 каналу у случају: а) када атмосферска корекција није примењена; б) када је примењена атмосферска корекција. ....	62
Слика 4-8. Кумулативни хистограми апсолутне разлике спектралне рефлексije за Landsat ETM+ снимке 187-30 и 187-29 у 4 каналу у случају: а) када атмосферска корекција није примењена; б) када је примењена атмосферска корекција. ....	63
Слика 4-9. График зависности грешке оцене $L_{haze}$ на грешку калибрације рефлексije у 3., 4. и 5. каналу Landsat 7 за екстремне вредности $d$ (при фиксној вредности зенитног угла Сунца) .....	64
Слика 4-10. График зависности грешке оцене $L_{haze}$ на грешку калибрације рефлексije у 3., 4. и 5. каналу Landsat 7 за различите вредности висине Сунца (при фиксној вредности $d$ ).....	64

Слика 4-11. Геометрија осветљености поврине Земље (слика преузета из Wu et al., 2004).....	66
Слика 4-12. Карта и хистограм разлике топографски коригованог и некоригованог 4. канала снимка 187-29 у случајевима: а) косинусне корекције, б) <i>Minnaert</i> корекције, и в) С-корекције .....	73
Слика 4-13. Карта разлике максималних и минималних вредности сигнала у пикселу добијених из три различите методе топографске корекције: косинусне, <i>Minnaert</i> и С-корекције. ....	73
Слика 4-14. Хистограм разлике максималних и минималних вредности сигнала у пикселу добијених из три различите методе топографске корекције: косинусне, <i>Minnaert</i> и С-корекције .....	74
Слика 4-15. Карта и хистограм апсолутних разлика промене само атмосферски коригованих и топографски коригованих сигнала у 4. каналу између снимака 187-29 и 187-30.....	74
Слика 4-16. Веза између тачности Дигиталног Модела Висина (DEM), угла снимања и грешке позиционирања у метрима генерисане на орторектификованом снимку (преузето из Toutin, 2004).....	79
Слика 4-17. Грубе границе између релативно спектрално хомогених површина .	81
Слика 4-18. Проценти покривености пиксела једном од појава срачунати у једној секцији (преузето из Protic et al., 2012) .....	81
Слика 4-19. Илустрација <i>pixel-swapping</i> метода за груписање подпиксела који припадају циљаној појави: а) релано простирање појава преко 4 пиксела оригиналне величине, б) проценат циљане појаве у сваком оригиналном пикселу, с) груписање подпиксела који припадају циљаној појави (преузето из Protic et al., 2012).....	83
Слика 4-20. а) Груписање подпиксела који припадају циљној појави у оквиру једне 3x3 секције – нумеричке вредности представљају проценат заступљености појаве у оригиналном пикселу, б) Гранична линија циљне појаве (преузето из Protic et al., 2012) .....	83
Слика 4-21. Просторна интерполација: а) крстићи представљају центре пиксела излазног снимка, док су тачке центри пиксела оригиналног снимка препројектовани у координатни систем излазног снимка; б) вредност податка новог пиксела је тежинска средина вредности оригиналних пиксела према површини оригиналног пиксела у оквиру новог. (преузето из Galbraith et al., 2003) .....	87
Слика 4-22. Упоређивање функција интерполације: <i>Nearest neighbor</i> , линеарне, кубне конволуције и sinc.....	88
Слика 4-23. Хистограми R, NIR и SWIR1 канала за 4 метода интерполације: <i>Nearest neighbor</i> - плава линија, <i>Cubic convolution</i> - црвена линија, <i>Bilinear</i> - љубичаста линија, <i>Sinc8</i> - плава зелена линија.....	91
Слика 4-24. Хистограми разлике максималних и минималних интерполованих DN вредности за R, NIR и SWIR1.....	93

Слика 5-1. Средња рефлексија лишћа ( $\pm 1\sigma$ ) (пуне линије) и трансмисија (испрекидане линије) за: А) дрвенасте биљке, В) зељасте биљке. (преузето из Asner, 1998) .....	109
Слика 5-2. А) Средина ( $\pm 1\sigma$ ) сувог лишћа (пуне линије) и трансмисија (испрекидане линије); В) средина ( $\pm 1\sigma$ ) рефлексије грања дрвенастих биљака. (преузето из Asner, 1998) .....	110
Слика 5-3. Рефлексија вегетације у зависности од LAI (средњи угао лишћа је $45^\circ$ ): А) LAI=1.5; В) LAI=6; С) разлика између највише и најниже рефлексије за оба случаја. (преузето из Asner, 1998) .....	111
Слика 5-4. Зависност рефлексије вегетационог покривача од LAI при средњем углу лишћа MLA=5.0 (преузето из Asner, 1998) .....	112
Слика 5-5. Ефекат смањења средњег угла лишћа (MLA) на рефлексију вегетационог покривача, симулирано са LAI=5.0 и оптичким особинама лишћа из слике 5-1 (преузето из Asner, 1998) .....	113
Слика 5-6. Разлике у рефлексији четири вегетационе врсте на нивоу лишћа (лево) и на нивоу вегетационог покривача при истим LAI и земљаном позадином (десно) (преузето из Darvishzadeh et al., 2008a) .....	114
Слика 5-7. Утицај грања на рефлексију вегетационог покривача (SAI-„steam area index“ је индекс који описује количину грања): А) у случају ниских вредности LAI, В) високих вредности LAI. С) Варијација рефлексије вегетационог покривача услед варијације рефлексије грања (за податке из слике 2) (преузето из Asner, 1998) .....	115
Слика 5-8. А) Зависност рефлексије вегетационог покривача од промене удела сувог лишћа од 0% до 100% код травнате вегетације; В) Одговарајуће вредности првог извода. (преузето из Asner, 1998) .....	116
Слика 5-9. Веза између рефлексије вегетације и голог земљишта у позадини у црвеном (лево) и блиском инфрацрвеном каналу (десно) за различите вредности LAI за житарице и траве (преузето из Gao et al., 2000) .....	117
Слика 5-10. Положај линије земљишта и различитих NDVI и PVI изо-линија у RED-NIR спектралном простору (преузето из Jackson and Huete, 1991) .....	121
Слика 5-11. Вегетационе изолиније (преузето из Qi et al., 1994) .....	122
Слика 5-12. Зависност LAI од NDVI (лево) и SAVI (десно) за три типа земљане позадине (преузето из Gao et al., 2000) .....	124
Слика 5-13. Зависност fAPAR од NDVI (лево) и SAVI (десно) за три типа земљане позадине (преузето из Gao et al., 2000) .....	125
Слика 5-14. Веза између NDVI/SAVI и LAI широколисних усева у зависности од рефлексије земљане позадине (zero, dark, bright) и различитих процената зеленог покривача (25%, 50% и 90%) (преузето из Gao et al., 2000) .....	127
Слика 5-15. Веза између NDVI/SAVI и fAPAR широколисних усева у зависности од рефлексије земљане позадине (zero, dark, bright) и различитих степена покривености крошње (25%, 50% и 90%) (преузето из Gao et al., 2000) .....	127



Слика 5-16. Веза између NDVI/SAVI и LAI у зависности од рефлексије земљане позадине (zero, dark, bright) и различитих степена покривености крошње (25%, 50% и 90%) (преузето из Gao et al., 2000).....	128
Слика 5-17. Веза између NDVI/SAVI и fAPAR у зависности од рефлексије земљане позадине (zero, dark, bright) и различитих степена покривености крошње (25%, 50% и 90%) (преузето из Gao et al., 2000).....	129
Слика 5-18. Зависност вегетационих индекса од покривености вегетацијом (%) (преузето из Qi et al., 1994).....	129
Слика 5-19. (преузето из Qi et al., 1994).....	130
Слика 5-20. Везе између NDVI и LAI за различите типове вегетације према (преузето из Colombo et al., 2003).....	132
Слика 5-21. Упоредбе коефицијента одређености за различите вегетационе индексе и различите типове вегетације (преузето из Colombo et al., 2003).....	132
Слика 5-22. Основни PROSAIL модел (преузето из geoland2, 2010a).....	135
Слика 5-23. Побољшани PROSAIL модел коришћен за генерисање биофизичких параметара високе резолуције у оквиру Geoland 2 пројекта (преузето из geoland2, 2010a).....	139
Слика 5-24. Спектрални потписи неколико различитих врста конструктивног бетона у VIS-NIR-SWIR региону (график је генерисан према подацима из Johns Hopkins University Spectral Library).....	153
Слика 5-25. Спектрални потписи неколико различитих врста вештачких материјала: асфалт (црна), бакарни кров (црвена), <i>terra cotta</i> цигла (зелена) и конструктивни бетон (плава) у VIS-NIR-SWIR региону (график је генерисан према подацима из Johns Hopkins University Spectral Library).....	154
Слика 5-26. График зависности рефлексије од таласне дужине зрачења и концентрације сусендованих честица одређене: а) <i>in situ</i> (Ritchie et al., 1976) и б) у лабораторијским условима (Lodhi et al., 1998).....	158
Слика 6-1. Пример разлика у релативном спектралном одговору између IKONOS, Landsat 7 ETM+, MODIS и AVHRR9 сензора у црвеном (лево) и блиско-инфрацрвеном каналу (десно), (преузето из Fleming, 2006).....	169
Слика 6-2. Локална пројекција ћелија грида у ETRS-LAEA пројекцији и то: 25x25 m (зелени полигон), 100x100 m (жути полигон) на локално равну површину Земље. Зелена тачка представља пројекцију центра ћелије грида 25x25 m. Црвене тачке представљају хипотетичке центре пиксела LANDSAT снимака од 25 m...	179
Слика 6-3. Структура грида са резолуцијама ћелија на различитим нивоима.....	181
Слика 6-4. Систем хијерархије објеката (преузето из Benz et al., 2004).....	184
Слика 6-5. Односи између објеката у референтном гриду.....	185
Слика П 1. Распоред и локације контролних тачака на снимку.....	217
Слика П 2. Распоред и локације контролних тачака на снимку.....	219

Слика П 3. Карта локација PIF тачака. У позадини је LANDSAT 7 снимак 187-030, колор композиција 4-5-3 .....	222
Слика П 4. Аеро-фото снимци PIF тачака.....	224
Слика П 5. График линеарне рефресије за 3. канал .....	225
Слика П 6. График линеарне рефресије за 4. канал .....	227
Слика П 7. Област са пољопривредним типом пејзажа која је коришћена у експерименту (RGB колор композиција: NIR-SWIR-R).....	228
Слика П 8. График и једначина линеарне регресије за LAI и карта разлика вредности параметра .....	229
Слика П 9. График и једначина линеарне регресије за glcv и карта разлика вредности параметра .....	229
Слика П 10. Област са шумско-природним типом пејзажа која је коришћена у експерименту (RGB колор композиција: NIR-SWIR-R).....	230
Слика П 11. График и једначина линеарне регресије за LAI и карта разлика вредности параметра .....	230
Слика П 12. График и једначина линеарне регресије за glcv и карта разлика вредности параметра .....	231
Слика П 13. График и једначина линеарне регресије за fAPAR и карта разлика вредности параметра .....	231
Слика П 14. График и једначина линеарне регресије за csh и карта разлика вредности параметра .....	231
Слика П 15. Карта разлика chl карата добијених са и без коришћења спектралних особина земљишта.....	232
Слика П 16. График и једначина линеарне регресије за chl (S5konf1bp представља параметар добијен без коришћења спектра земљишта, а S5konf2bp са коришћењем спектра земљишта) .....	233
Слика П 17. Карта разлика csh карата добијених са и без коришћења спектралних особина земљишта.....	233
Слика П 18. График и једначина линеарне регресије за csh (S5konf1bp представља параметар добијен без коришћења спектра земљишта, а S5konf2bp са коришћењем спектра земљишта) .....	234
Слика П 19. Карта разлика fAPAR карата добијених са и без коришћења спектралних особина земљишта .....	234
Слика П 20. График и једначина линеарне регресије за fAPAR (S5konf1bp представља параметар добијен без коришћења спектра земљишта, а S5konf2bp са коришћењем спектра земљишта) .....	235
Слика П 21. Карта разлика glcv карата добијених са и без коришћења спектралних особина земљишта .....	235



Слика П 22. График и једначина линеарне регресије за glcv (S5konf1bp представља параметар добијен без коришћења спектра земљишта, а S5konf2bp са коришћењем спектра земљишта) .....	236
Слика П 23. Карта разлика LAI карата добијених са и без коришћења спектралних особина земљишта .....	236
Слика П 24. График и једначина линеарне регресије за LAI (S5konf1bp представља параметар добијен без коришћења спектра земљишта, а S5konf2bp са коришћењем спектра земљишта) .....	237
Слика П 25. Карта разлика scv карата добијених са и без коришћења спектралних особина земљишта.....	237
Слика П 26. График и једначина линеарне регресије за scv (S5konf1bp представља параметар добијен без коришћења спектра земљишта, а S5konf2bp са коришћењем спектра земљишта) .....	238
Слика П 27. Снимак првог подручја - ROI1 (извор Google Earth).....	239
Слика П 28. Снимак другог подручја - ROI2 (извор Google Earth) .....	240
Слика П 29. График и једначина линеарне регресије за fAPAR на подручју ROI1 .....	240
Слика П 30. Карта разлике fAPAR на подручју ROI1 .....	241
Слика П 31. График и једначина линеарне регресије за fAPAR на подручју ROI2 .....	241
Слика П 32. Карта разлике fAPAR на подручју ROI2 .....	242
Слика П 33. График и једначина линеарне регресије за glai на подручју ROI1 .	242
Слика П 34. Карта разлике glai на подручју ROI1 .....	243
Слика П 35. График и једначина линеарне регресије за glai на подручју ROI2.	243
Слика П 36. Карта разлике glai на подручју ROI2 .....	244
Слика П 37. График и једначина линеарне регресије за glcv на подручју ROI1	244
Слика П 38. Карта разлике glcv на подручју ROI1.....	245
Слика П 39. График и једначина линеарне регресије за glcv на подручју ROI2	245
Слика П 40. Карта разлике glcv на подручју ROI2.....	246
Слика П 41. График и једначина линеарне регресије за wcv на подручју ROI2	246
Слика П 42. Карта разлике wcv на подручју ROI2.....	247
Слика П 43. График и једначина линеарне регресије за csh на подручју ROI1 .	247
Слика П 44. Карта разлике csh на подручју ROI1 .....	248
Слика П 45. График и једначина линеарне регресије за csh на подручју ROI2 .	248
Слика П 46. Карта разлике csh на подручју ROI2 .....	249
Слика П 47. LANDSAT 7 снимак колор композиција 4-5-3.....	250
Слика П 48. Карта разлике fAPAR.....	251

Слика П 49. График и једначина линеарне регресије за fAPAR.....	251
Слика П 50. График зависности разлике fAPAR од вредности параметра.....	252
Слика П 51. Карта разлике LAI.....	252
Слика П 52. График и једначина линеарне регресије за LAI .....	253
Слика П 53. График зависности разлике LAI од вредности параметра .....	253
Слика П 54. Карта разлике glcv.....	254
Слика П 55. График и једначина линеарне регресије за glcv .....	254
Слика П 56. График зависности разлике glcv од вредности параметра.....	255
Слика П 57. Карта разлике csh .....	255
Слика П 58. График и једначина линеарне регресије за glcv .....	256
Слика П 59. График зависности разлике csh од вредности параметра .....	256

## ТАБЕЛЕ

Табела 4-1. Статистика разлике атмосферски некоригованих снимака Landsat ETM+ 187-30 и 187-29.....	60
Табела 4-2. Вредности минималних рефлексија (рефлексија „тамног објекта“) коришћених за атмосферску корекцију.....	61
Табела 4-3. Положаји Сунца за снимке коришће не у експерименту .....	71
Табела 4-4. Статистике разлика коригованих и некоригованих вредности сигнала за три методе топографске корекције: косинсуне, Minnaert и C-корекције. ....	72
Табела 4-5. Опис извора геометријских дисторзија (преузето из Toutin, 2004).....	76
Табела 4-6. Координате контролних тачака коришћених за оцену тачности.....	86
Табела 4-7. RMSE вредности из контролних тачака за оцену тачности .....	86
Табела 4-8. R канал.....	90
Табела 4-9. NIR канал.....	90
Табела 4-10. SWIR1 канал .....	91
Табела 4-11. Статистика разлика МАКС-МИН (DN) .....	92
Табела 4-12. Статистика стандардне девијације DN вредности из 4 метода интерполације .....	92
Табела 4-13. Максималне вредности разлика МАКС-МИН и стандардних девијација изражене у TOA рефлексијама .....	93
Табела 5-1. Садржај угљеника, азота и воде и њихових једињења у листовима (преузето из Asner, 1998) .....	108
Табела 5-2. Полиноми трећег степена као веза LAI- VI (DN-сирове вредности; RAD- зрачење на сензору, радиометријска калибрација; TOA- рефлексија на врху	

атмосфере, и SUR-површинска рефлексија, атмосферска корекција) Извор: Turner et al., (1999).....	131
Табела 5-3: Параметри функција везе између LAI и VI према истраживањима Chaurasia et al. (2006).....	131
Табела 5-4. Параметри PROSAIL модела.....	136
Табела 5-5. Преузето из Richter et al. (2012) .....	137
Табела 5-6. RMSE вредности оцене LAI и Chl по типовима усева и за два типа инверзије PROSAIL модела. Преузето из Vuolo et al. (2010).....	138
Табела 5-7. Мере несигурност биоф. параметара одређених у побољшаном PROSAIL моделу .....	140
Табела 5-8. Упоредивање биофизичких параметара за општу и пољопривредну, односно шумску вегетацију.....	143
Табела 5-9. Упоредивање биофизичких параметара добијених са и без коришћења података о спектралним особинама локалног земљишта у PROSAIL моделу.....	144
Табела 5-10. Статистике разлика биофизичких параметара за експериментално подручје ROI1 .....	145
Табела 5-11. Статистике разлика биофизичких параметара за експериментално подручје ROI2 .....	146
Табела 5-12. Карактеристике снимака коришћених у експерименту.....	146
Табела 5-13. Статистике упоређивања биофизичких параметара .....	148
Табела 5-14. Класификација вештачких површина.....	152
Табела 6-1. Карактеристике различитих сателитских сензора .....	166
Табела 6-2. Коефицијенти међусобне калибрације различитих сензора .....	169
Табела 6-3. Координате ободних тачака апстрактне ћелије грида.....	178
Табела 6-4. Испитивање линеарних деформација.....	178
Табела П 1 Области спектралних зрачења за LANDSAT 7 ETM+ (извор LANDSAT 7 Science Data Users Handbook) .....	214
Табела П 2 Средње соларне егзоатмосферске ирадијансе за LANDSAT 7 ETM+ (извор LANDSAT 7 Science Data Users Handbook) .....	214
Табела П 3 Растојање Земља – Сунце у астрономским јединицама (извор LANDSAT 7 Science Data Users Handbook) .....	215
Табела П 4 Величине за апсолутну калибрацију 3., 4. и 5. канала снимка 187-29 .....	215
Табела П 5 Величине за апсолутну калибрацију 3., 4. и 5. канала снимка 187-30 .....	215
Табела П 6 Величине за апсолутну калибрацију 3., 4. и 5. канала снимка 186-29 .....	216

Табела П 7 Величине за апсолутну калибрацију 3., 4. и 5. канала снимка 186-30 .....	216
Табела П 8 Извештај о резидуалима .....	218
Табела П 9 Извештај о резидуалима .....	220
Табела П 10 Рефлексије и разлике рефлексија у 4. каналу .....	222
Табела П 11 Рефлексије и разлике рефлексија у 3. каналу .....	223

## БИОГРАФИЈА АУТОРА

Драгутин Протић рођен је 18. 06. 1974. године у Београду. Осмогодишњу школу и природно-математичку гимназију завршио је у Београду. По завршеној средњој школи уписао је Грађевински факултет у Београду-Одсек за геодезију. Дипломирао је у фебруару 2001. године. Током редовних студија постигао је средњу оцену 8.00, а дипломски рад из предмета Тематска картографија одбранио је са оценом 10 (десет).

Године 2001. уписао се на последипломске студије на Грађевинском факултету-Одсеку за геодезију, смер Картографија. Током ових студија постигао је средњу оцену 10.00. У децембру 2007. године, одбранио је магистарску тезу под насловом «Унапређење CORINE методологије за картирање земљишног покривача».

Од фебруара 2001. године ради на Грађевинском факултету-Институту за геодезију као инжењер сарадник. 24. 04. 2003. године изабран је у звање асистента-приправника за ужу научну област Геодетска картографија. Од 2005. године, у својству техничког менаџера учествује у имплементацији CORINE пројекта картирања земљишног покривача у Србији и Црној Гори.

Научна и стручна активност кандидата усмерена је ка развоју метода интерпретације података даљинске детекције и ГИС-а у картографији и развојем инфраструктура и модела просторних података. До сада је учествовао у два домаћа научна пројекта финансирана од стране Министарства науке Републике Србије. Активно учествује у FP7 пројекту HELM посвећеном хармонизацији европског мониторинга земљишног покривача, а од 2012. године координатор је иновационих пилот пројеката у Србији iSCOPE и eEnvPer финансираних од Европске Комисије кроз CIP-ICT-PSP програм.

Драгутин Протић има значајан број објављених научних и стручних радова објављених у домаћим и страним часописима и излагања на конференцијама. Коаутор је монографије „CORINE картирање земљишног покривача“ објављене 2009. године на српском и енглеском језику.

Прилог 1.

## Изјава о ауторству

Потписани Драгутин Протић

број индекса \_\_\_\_\_

### Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

„КВАНТИТАТИВНО КАРТОГРАФСКО МОДЕЛИРАЊЕ ЗЕМЉИШНОГ  
ПОКРИВАЧА“

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

**Потпис докторанда**

У Београду, 2.7.2013. године



---

Прилог 2.

## Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Драгутин Протић

Број индекса \_\_\_\_\_

Студијски програм \_\_\_\_\_

Наслов рада „КВАНТИТАТИВНО КАРТОГРАФСКО МОДЕЛИРАЊЕ ЗЕМЉИШНОГ  
ПОКРИВАЧА“

Ментор В. проф. др Иван Несторов, дипл. инж. геод.



Потписани \_\_\_\_\_

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

**Потпис докторанда**

У Београду, 2.7.2013. године



\_\_\_\_\_

Прилог 3.

## Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

„КВАНТИТАТИВНО КАРТОГРАФСКО МОДЕЛИРАЊЕ ЗЕМЉИШНОГ ПОКРИВАЧА“

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
- 3. Ауторство – некомерцијално – без прераде**
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

**Потпис докторанда**

У Београду, 2.7.2013. године



---



1. Ауторство - Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

**3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.**

4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. Ауторство – без прераде. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.