

Satelliittikuvien mosaikoinnin parantaminen ilmakehäkorjauksen avulla

Erikoistyö
Teknillinen korkeakoulu
Maanmittausosasto
Espoo, helmikuu 2005
Kati Tahvonen

Sisällys

1	JOHDANTO.....	3
2	SATELLIITTIKUVIEN MOSAIKOINTIIN LIITTYVÄT HAASTEET	4
3	ILMAKEHÄKORJAUKSEN TEOREETTINEN TAUSTA.....	6
3.1	SMAC –ALGORITMIN PÄÄPERIAATTEET.....	6
3.2	ILMAKEHÄN OPTISEN PAKSUUDEN ESTIMOINTI	8
4	TYÖN KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS	9
4.1	TUTKIMUSALUE.....	9
4.2	TUTKIMUKSESSA KÄYTETTÄVÄ AINEISTO.....	10
4.2.1	<i>Satelliittikuvat.....</i>	<i>10</i>
4.2.2	<i>Muut aineistot.....</i>	<i>11</i>
4.3	KUVIEN ILMAKEHÄKORJAUS.....	11
4.3.1	<i>Optisen paksuuden estimointi.....</i>	<i>11</i>
4.3.2	<i>Varsinainen ilmakehäkorjaus.....</i>	<i>13</i>
4.4	KUVIEN MOSAIKOINTI.....	14
4.4.1	<i>Korjaamattomien kuvien mosaikointi.....</i>	<i>15</i>
4.4.2	<i>Ilmakehäkorjattujen kuvien mosaikointi.....</i>	<i>17</i>
5	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTELMÄT.....	21
	LÄHDELUETTELO	22

1 Johdanto

Suuria alueita tarkasteltaessa yksittäiset tarkan resoluution satelliittikuvat eivät riitä kattamaan koko aluetta. Automaattisen luokittelu halutaan silti laskea monessa tapauksessa koko alueelle kerrallaan, jotta luokittelussa tarvittavan maastoaineiston määrää voidaan vähentää. Siksi yksittäisiä kuvia yhdistellään usein yhtenäisiksi laajemman alueen kattaviksi kuvamosaiikeiksi. Vaikka karttaprojektioon oikaistut kuvat sopisivatkin geometrisesti toisiinsa, yksittäisten kuvien rajat voivat näkyä hyvin jyrkästi kuvien erilaisista radiometrisistä ominaisuuksista johtuen. Eräs keino parantaa kuvien radiometristä yhteensopivuutta on vähentää ilmakehän vaikutusta kunkin yksittäisen kuvan osalta. Tämä voidaan tehdä laskemalla kuville ilmakehäkorjaus.

Tämä työ tehdään osana Corine –projektia, jonka tarkoituksena on tuottaa Euroopan alueelta vuoden 2000 tilannetta kuvaava maankäyttöluokitus. Suomen ympäristökeskus (SYKE) vastaa tulkinnasta Suomen osalta. Tulkinnassa käytetään automaattisia luokittelualgoritmeja, minkä vuoksi kuvamosaiikkien on oltava yhtenäisiä ja pikseliarvojen vastattava mahdollisimman hyvin kohteen todellisia reflektanssiarvoja.

Tutkimuksen tarkoituksena on tehdä tutkimusalueen kuville ilmakehäkorjaus valmiita rutiineja käyttäen. Lisäksi ilmakehäkorjatuista kuvista tehdään kuvamosaiikki. Mosaiikoinnin onnistumista verrataan visuaalisesti korjaamattomien kuvien mosaiikkiin. Työssä keskitytään tarkastelemaan vain kuvamosaiikin radiometrisen laadun parantamiseen.

Tämän erikoistyön luvussa kaksi perehdytään hieman tarkemmin satelliittikuvien mosaiikointiin liittyviin haasteisiin. Luvussa kolme esitellään työssä käytettävän ilmakehäkorjauksen teoreettinen tausta. Myös ilmakehän optisen paksuuden estimoinnin teoriaa käsitellään. Luku neljä esittelee työn käytännön toteutusta. Tutkimusalueen ja käytettävän aineiston kuvauksen jälkeen perehdytään ilmakehäkorjauksen suorittamiseen käytännössä. Lopuksi kerrotaan, kuinka kuvat mosaikoitiin. Viidennessä luvussa esitellään työn tulokset ja johtopäätelmät.

2 Satelliittikuvien mosaikointiin liittyvät haasteet

Mikäli satelliittikuvista halutaan tulkita suuria alueita kerrallaan, joudutaan usein tulkitsemaan yhtä aikaa useita eri aikoina otettuja kuvia. Radiometrisesti yhtenäisen kuvapinnan muodostamiseen liittyy kuitenkin monia ongelmia. Optisten satelliittikuvien osalta pilvisyystilanne on usein suurin yksittäinen ongelma. Pilvettömiä satelliittikuvia saadaan hyvin harvoin samalta päivältä koko tutkittavalta alueelta. Siksi alueellisesti kattavan kuvamosaiikin muodostamiseksi joudutaan valitsemaan eri päivinä otettuja kuvia. Vaikka kuvilla ei olisikaan pilviä, poikkeavat eri aikoihin otettujen kuvien värisävyt – ja siten myös mitatut reflektanssiarvot – toisistaan. Tämä johtuu mm. auringon ja mittauskohteen välisen kulman vaihtelusta eri vuodenaikoina, kuvausgeometriasta, ilmakehän erilaisista ominaisuuksista eri päivinä sekä kasvukauden eri vaiheista.

Auringon ja mittauskohteen väliset kulmat sekä kuvausgeometria ovat yleensä tiedossa ja niiden vaikutus voidaan hallita laskennallisoin keinoin. Kasvukauden eri vaiheista johtuvaa kohteiden erilaisuutta taas on mahdotonta korjata. Sen sijaan ilmakehän ominaisuuksien vaihtelusta johtuvaa reflektanssiarvojen vaihtelua pyritään korjaamaan monella eri tavalla. Korjausten avulla pyritään tilanteeseen, jossa muodostettu mosaiikki olisi homogeeninen ja kertoisi mahdollisimman luotettavasti kohteen heijastusominaisuuksista.

Yksinkertaisimmillaan kuvamosaiikin yksittäisten kuvien rajat voidaan häivyttää lähiympäristön pikseleiden arvoja keskiarvoistamalla (Plesea & Jacob 2000). Myös kuvien kirkkausarvoja ja kontrastia säätämällä voidaan vähentää yksittäisten kuvien rajoja (Plesea & Jacob 2000). Kuvia säätämällä voidaan saada visuaalisesti homogeeninen mosaiikki, mutta samalla voidaan hukata arvokasta tietoa kuvien reflektanssiarvoista. Shimabukuro et al. (2002) luettelevatkin muita ratkaisuja mosaikoinnin parantamiseksi. Kuvien histogrammiarvojen yhteensovituksen lisäksi mm. kuvien välisten regressioiden laskenta ja kuvien skaalaaminen tunnettujen kohteiden reflektanssiarvojen avulla tulevat kyseeseen. Lentokoneesta otettujen ilmakuvien mosaikoinnissa on käytetty mm. lineaarista mallia, jolla kuvien välisillä rajoilla samanlaisten maastokohteiden histogrammit pyritään sovittamaan toisiinsa pienimmän neliösumman menetelmällä (Roivas 2000).

Edellä kuvatut menetelmät tuottavat usein visuaalisesti tarkasteltuna hyviä lopputuloksia. Mikäli kuitenkin kuvilta halutaan mitata reflektanssiarvoja laajoilta alueilta, ei pikseliarvoja voi muuttaa pelkästään vierekkäisten, eri ajanhetkinä otettujen kuvien vaati-

malla tavalla. Sen sijaan arvioimalla ilmakehän vaikutuksen suuruutta kullakin kuvalla, saadaan estimoitua automaattisten tulkintamenetelmien kannalta mielenkiintoiset reflektanssiarvot. Luvussa kolme tutustutaan hieman tarkemmin tällaisten ilmakehäkorjausten teoreettiseen taustaan.

3 Ilmakehäkorjauksen teoreettinen tausta

Ilmakehä aiheuttaa monia ongelmia erityisesti optisen alueen kaukokartoituksessa: sähkömagneettisen säteilyn kulkua ilmakehän halki on vaikea ennustaa tarkasti. Lisäksi ilmakehä vaikuttaa eri tavalla eri aallonpituuksiin. Suurimmat säteilyn kulkuun vaikuttavat tekijät ovat ilmakehän partikkelien aiheuttama signaalin siroaminen tai sen absorpoituminen. Näiden vuorovaikutusmekanismien vaikutuksesta säteily heikkenee ilmakehän läpi kuljettaessa eivätkä siten kuvalta mitatut maan pinnalla olevien kohteiden reflektanssiarvot vastaa todellisia arvoja. Säteilyn heikkenemistä kuvaava suure on ilmakehän optinen paksuus (Atmospheric Optical Depth, AOD). (Vepsäläinen 1999, s. 24-29)

Ilmakehäkorjausten avulla pyritään pääsemään eroon edellä mainituista ilmakehän vaikutuksista. Menetelmät voivat olla joko empiirisiä tai teoreettisia. Näistä jälkimmäiset perustuvat matemaattisiin malleihin, jotka pyrkivät mallintamaan mahdollisimman tarkasti eri aallonpituuksilla värähtelevän säteilyn kulkua ilmakehässä. (Vepsäläinen 1999, s. 35-39)

Seuraavassa perehdytään hieman tarkemmin tässä tutkimuksessa käytettävään teoreettiseen SMAC –algoritmiin (a Simplified Method for the Atmospheric Correction). Sen jälkeen kerrotaan, kuinka säteilyn kulusta oleellisesti kertovaa ilmakehän optista paksuutta voidaan estimoida suoraan satelliittikuvilta.

3.1 SMAC –algoritmin pääperiaatteet

SMAC –algoritmi on matemaattinen malli, jonka avulla voidaan laskea satelliittikuvien ilmakehäkorjaus. Rahman ja Dedieu (1994) kehittivät mallin erityisesti suurten kuvien nopeaa käsittelyä varten. Niinpä algoritmi on jonkin verran yksinkertaisempi ja siten nopeampi kuin monet sitä edeltävät tarkat matemaattiset mallit. SMAC –algoritmissa kullekin satelliittikuvan kanavalle lasketaan yksi keskiarvoistettu arvo sen sijaan että jokainen aallonpituus käsiteltäisiin erikseen.

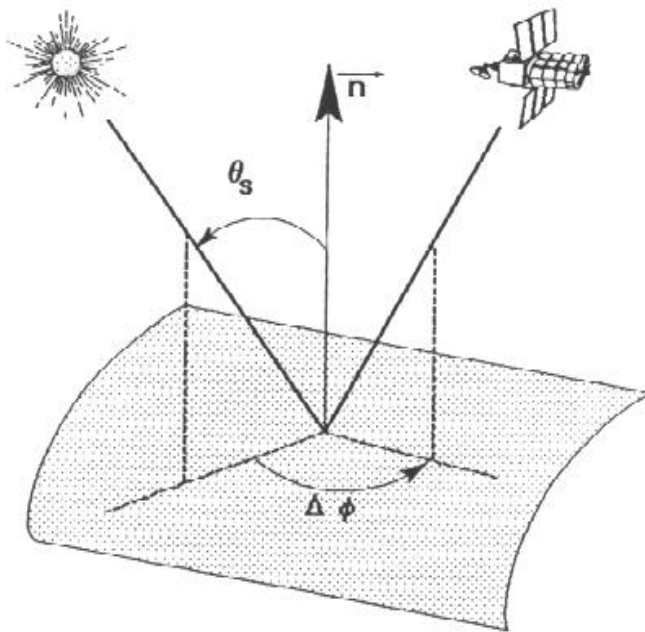
SMAC –algoritmi mallintaa säteilyn kulkua ilmakehässä laskemalla seuraavat suureet:

- Kaasujen vaikutus säteilyn kulkuun
- Ilmakehän albedo, eli ilmakehähästä heijastuneen säteilyn suhde siihen saapuneeseen säteilyyn
- Ilmakehän kokonaissiirto

- Molekyylien ja aerosolien aiheuttama ilmakehän reflektanssi

Yllä lueteltujen suureiden laskennassa tarvitaan tietoja kunkin kuvan ominaisuuksista ja erityisesti tietoja kuvanottohetkellä vallinneista ilmakehän olosuhteista. Auringon atsimuutti- ja zeniittikulmat (kts. kuva 3.1) saadaan suoraan satelliittikuvan tietojen perusteella. Kuvien yhteydessä ilmoitetaan yleensä kulmien arvot kuvan keskipisteessä. Näitä arvoja voidaan käyttää sellaisenaan koko kuvan alueella (Lampila 2000).

Ilmakehän yleistä tilaa voidaan kuvata erityisillä ilmakehämalleilla, joiden avulla estimoidaan vesihöyryn, otsonin ja muiden kaasujen pitoisuudet sekä eri ilmakehakerrosten paine ja lämpötila. Niiden lisäksi voidaan käyttää myös aerosolimallia, jonka avulla määritellään näiden ilmakehän suurimpien hiukkasten kokojakauma ja niiden optiset ominaisuudet. Ilmakehän tarkempaa ja erityisesti kuvanottohetken tilanteen paremmaksi kuvaamiseksi voidaan lisäksi määritellä ilmakehässä vallitseva vesihöyry- ja otsonipitoisuus. Tärkein yksittäinen ilmakehän tilaa kuvaava suure matemaattista ilmakehäkorjausta tehdessä on kuitenkin ilmakehän aerosolien optinen paksuus. (Rahman & Dedieu 1994; Härmä 2003, s. 33; Tahvonen 2003, s. 11)



Kuva 3.1 Auringon atsimuutti- ja zeniittikulmat. θ_s vastaa auringon zeniittikulmaa, $\Delta\phi$ kuvaa instrumentin ja auringon välistä atsimuuttikulmaa. (Rahman & Dedieu 1994)

3.2 Ilmakehän optisen paksuuden estimointi

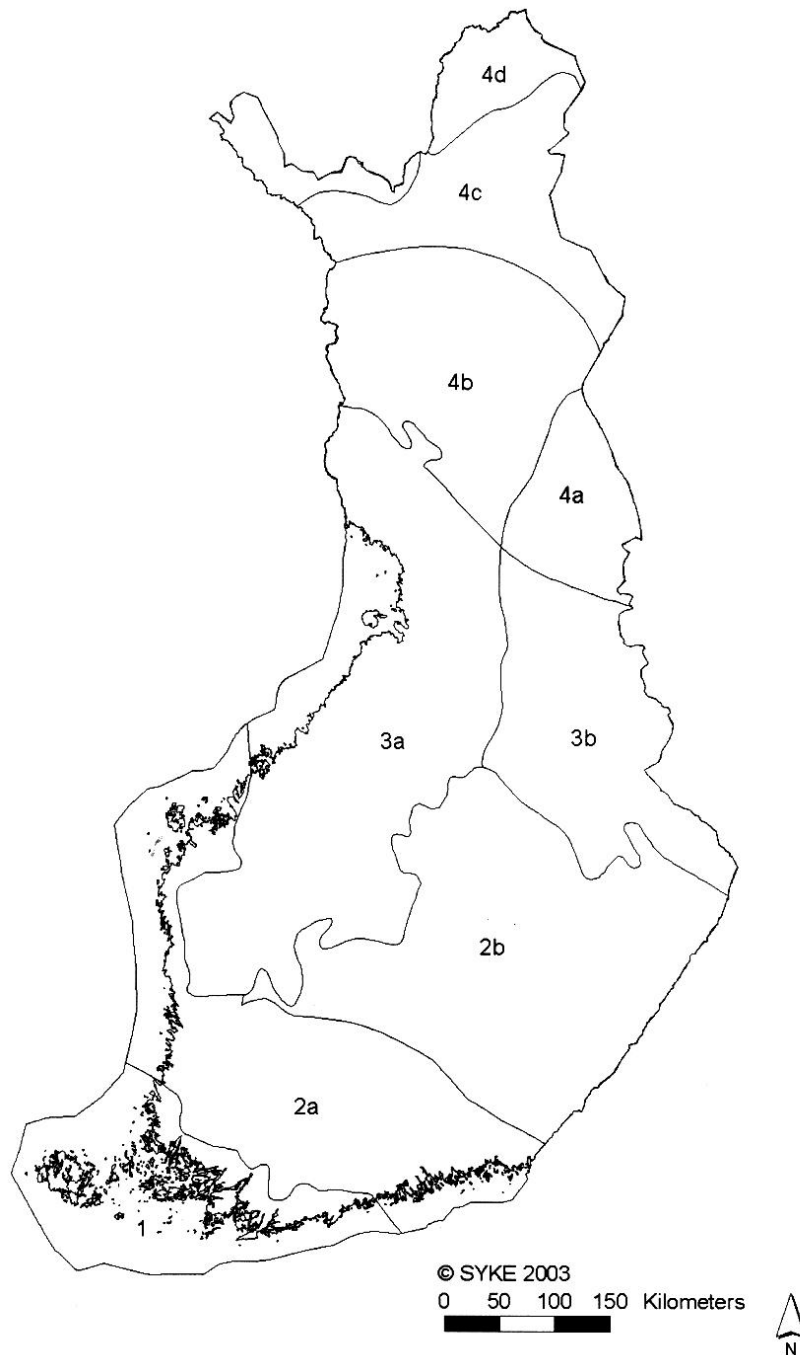
Ilmakehäkorjauksen onnistumisen kannalta on välttämätöntä tuntea paikalliset ilmakehän ominaisuudet kuvanottohetkellä. Usein koko kuva-alan kattavien tietojen saaminen ei ole mahdollista, sillä meteorologisten havaintoasemien verkko ei ole riittävän tiheä. Erään ratkaisun ongelmaan tuo ilmakehän optisen paksuuden estimointi suoraan korjattavalta satelliittikuvalta.

Kaufman et al. (1997) kuvaavat menetelmän, jonka mukaisesti optisen paksuuden estimointi on mahdollista. Menetelmä perustuu punaisen ja sinisen aallonpituusalueiden reflektanssiarvojen vertaamiseen infrapunakanavaan. Tutkimuksen mukaan tiheän kasvillisuuden yläpuolella aerosolit vaikuttavat säteilyn kulkuun voimakkaasti näkyvän valon alueella, kun taas infrapuna-alueella niiden vaikutus on melko pientä. Näin ollen ilmakehän vaikutusta voidaan estimoida näitä kanavia vertailemalla. Tutkimuksessa arvioidaan, että tiheiden mäntypuumetsien kohdalla punaisen ja infrapunakanavan reflektanssien suhteen pitäisi olla 0,38, mikäli ilmakehän vaikutusta ei oteta huomioon. Kaufman et al. (1997) toetavat myös, että mikäli ilmakehäkorjauksessa optisen paksuuden arvoksi asetetaan nolla, vastaa infrapunakanavan reflektanssiarvot melko hyvin maanpinnan tasossa mitattuja reflektanssiarvoja. Sinisen ja punaisen kanavan osalta arvot vastaavat ilmakehän yläpuolella mitattuja arvoja. Käyttämällä optisen paksuuden arvona nollaa, kuvilta on siis Kaufmanin et al. (1997) mukaan mahdollista laskea suoraan optisen paksuuden arvo ja käyttää sitä syötetietona varsinaista ilmakehäkorjausta laskettaessa.

4 Työn käytännön toteutus

4.1 Tutkimusalue

Tämän työn tutkimusalueena on Itä-Suomessa sijaitseva kasvillisuusvyöhyke 2b, kts. kuva 4.1. Alueelta löytyy paljon runsaspuustoisia metsiä, jotka ovat ilmakehän optisen paksuuden laskemisen kannalta oleellisia, kts. kohta 3.2.



Kuva 4.1 Suomen kasvillisuusvyöhykkeet. Tämän tutkimuksen mielenkiinnon kohteena on vyöhyke 2b.

4.2 Tutkimuksessa käytettävä aineisto

4.2.1 Satelliittikuvat

Tässä tutkimuksessa käytettävät satelliittikuvat ovat Landsat ETM –instrumentilla otettuja kuvia. ETM –kuvissa on 7 monokromaattista, kapean aallonpituusalueen kattavaa kanavaa ja yksi pankromaattinen laajan aallonpituusalueen kattava kanava. Tässä tutkimuksessa pankromaattinen ja lämpökanava jätettiin huomioimatta. Taulukossa 4.1 on listattu kanavien aallonpituusalueet sekä kanavien numerot.

Landsat ETM -instrumentin ominaisuuksia			
kanavan nro	resoluutio (m)	aallonpituus, (µm)	
1	30	0,450-0,515	sininen
2	30	0,525-0,605	vihreä
3	30	0,630-0,690	punainen
4	30	0,750-0,900	NIR (lähi-infra)
5	30	1,55-1,75	mid-IR (keski-infra)
6	30	10,40-12,50	lämpö
7	30	2,09-2,35	IR
8	15	0,520-0,900	pan

Taulukko 4.1 Landsat ETM -instrumentilla otettujen kuvien ominaisuudet. (Lillesand & Kiefer 2000, s. 415)

Tutkimusalueelle osuvia ETM –kuvia on tässä tutkimuksessa yhteensä 14. Kuvat on otettu 31.7.1999-30.7.2002 välisenä aikana ja niitä valittaessa on pyritty saamaan mahdollisimman pilvettömiä kuvia. Taulukossa 4.2 on listattu käytössä olevien kuvien ominaisuuksia.

Käytettävien kuvien ominaisuuksia					
Nimi	row/path	päivä	zeniittikulm.	atsimutikulm.	AOD, ka
Imatra	186/17	10.6.2000	39,6	160,2	0,225831
Keitele	189/16	31.7.1999	45,6	161,1	0,154565
Kotka	187/18	6.7.2001	39,2	155,7	0,244471
Kuopio	188/16	27.6.2002	40,7	159,9	0,177694
Lappajärvi	191/16	15.9.1999	60,3	167,0	0,305026
Lieska	186/16	29.6.2001	40,8	159,7	0,278151
Oulujärvi	188/15	26.7.2000	45,8	162,1	0,165003
Päijänne	188/17	27.8.2000	52,5	162,0	0,21862
Puulavesi	187/17	2.8.1999	44,9	159,6	0,239887
Pyhäjärvi	190/15	30.7.2002	46,7	161,3	0,1521
Satakunta	191/17	15.9.1999	59,1	165,7	0,284684
Suvasvesi	187/16	6.7.2001	41,4	159,4	0,163998
Tampere	189/17	4.7.2001	40,1	157,6	0,223277
Tampere2	189/17	2.5.2000	42,6	160,9	0,298681

Taulukko 4.2 Tutkimuksessa käytettävien ETM -kuvien ominaisuuksia. Viimeisessä sarakkeessa on ilmakehäräjauksen yhteydessä laskettu estimaatti ilmakehän optiselle paksuudelle.

Kaikki käytettävät kuvat ovat valmiiksi orto-oikaistuja. Lisäksi pilvet on tunnistettu manuaalisesti ja poistettu kuvilta. Näin ollen kuville ei tarvitse tehdä mitään esiprosessointivaiheita ennen ilmakehäkorjausta ja sen jälkeistä mosaikointia.

4.2.2 Muut aineistot

Satelliittikuvien lisäksi tässä työssä käytettiin myös muita aineistoja. Ilmakehän optisen paksuuden estimoinnissa tarvittavat tiedot tummista alueista, so. tiheistä havupuumetsistä, saatiin maankäyttö- ja puustotulkinnasta, joka luokittelee Suomen metsiä. Tummiaksi alueiksi määriteltiin kaikki metsät, joiden puuston kokonaistilavuus on suurempi kuin $200\text{m}^3/\text{ha}$.

Mosaikointivaiheessa tarvitaan lisäksi tutkimusalueen rajaamiseksi kasvillisuusvyöhykkeen rajat digitaalisessa muodossa. Aineisto on Suomen ympäristökeskuksesta.

4.3 Kuvien ilmakehäkorjaus

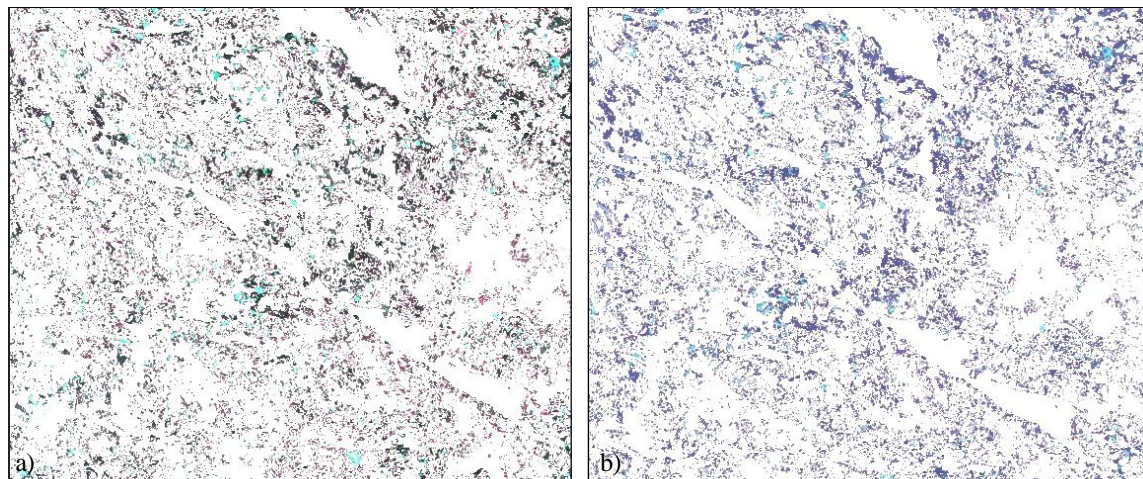
Kuvien ilmakehäkorjaus tehtiin SMAC –algoritmia käyttäen siten, että kuvanottohetkellä vallitsevia ilmakehän ominaisuuksia arvioitiin estimoimalla satelliittikuvalta optista paksuutta, kts. kohta 3.2. Ilmakehäkorjausta varten tarvittiin syötteeksi tiedot instrumentin kunkin kanavan radianssiarvoista histogrammin alku- ja loppupäässä. Näiden avulla raakakuvalle tehdään radiometrinen korjaus, jonka tuloksena saadaan kohteiden radianssiarvot. Lisäksi tarvitaan kunkin kuvan atsimuutti- ja zeniittikulmista sekä arviot ilmakehässä vallitsevasta otsoni- ja vesihöyrypitoisuudesta. Optisen paksuuden arvot estimoitiin suoraan kuvilta.

Kuvien ilmakehäkorjaus tehtiin kolmessa eri vaiheessa. Aluksi alkuperäiseltä kuvalta laskettiin kuva, joka kalibroitiin, mutta jossa ilmakehän vaikutus, s.o. optinen paksuus jätettiin huomioimatta. Tältä kuvalta laskettiin optisen paksuuden arvo tummien kohteiden avulla. Tulokseksi saatua optista paksuutta käyttäen saatiin laskettua ilmakehäkorjaus alkuperäiselle kuvalle. Seuraavassa käydään lävitse tarkemmin nämä vaiheet.

4.3.1 Optisen paksuuden estimointi

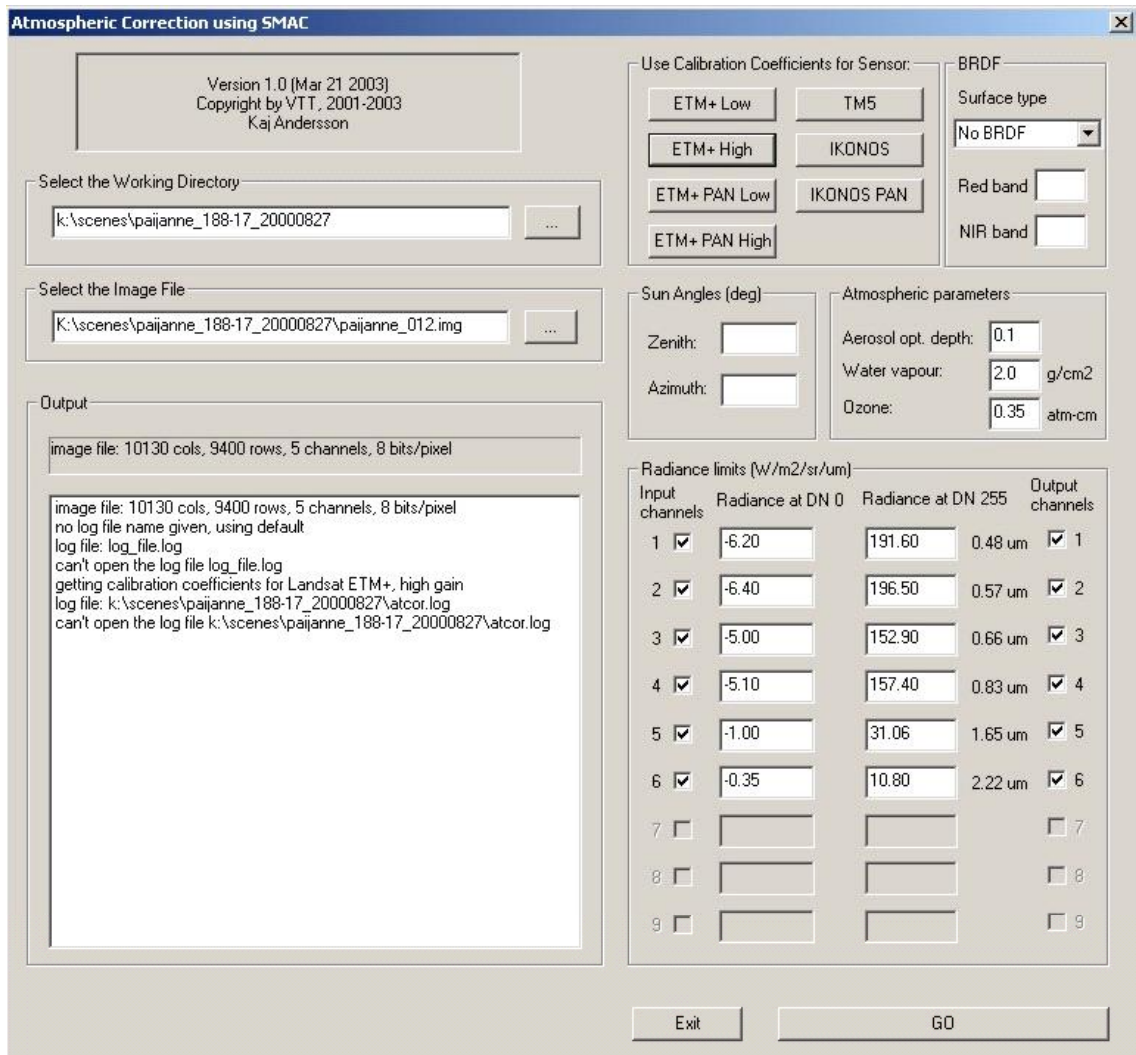
Optisen paksuuden estimoimiseksi lasketaan aluksi kuva, jossa kuva kalibroidaan muuten, mutta ilmakehän vaikutus jätetään kokonaan huomioimatta. Kohdan 3.2 mukaisesti optisen paksuuden suuruutta voidaan estimoida vertailemalla punaisen aallonpituusalueen kanavien arvoja keski-infrapuna-alueen kanaviin runsaspuustoisten alueiden kohdalla.

Käytännössä edellä kuvattu laskenta aloitetaan laskemalla alkuperäisistä satelliittikuvis- ta kuva, jossa on vain tummat kohteet muiden alueiden saadessa arvon nolla. Tämä tehdään tilansäästösyistä. Kuvassa 4.2a on esimerkki tällaisesta kuvasta.



Kuva 4.2 a) Alkuperäinen kuva, jossa vain SLAM -aineistosta poimitut tummat alueet. b) SMAC -algoritmin avulla kalibroitu kuva, jossa optisen paksuuden arvo on jätetty huomioimatta. Tämän kuvan avulla arvioidaan optisen paksuuden arvo kuvan alueella.

Tummia alueita kuvaavan kuvan avulla lasketaan kuva, jossa ilmakehän vaikutus jätetään huomioimatta, kts. 4.2b. Tämä tapahtuu laskemalla SMAC – ilmakehänkorjaus sitten, että optisen paksuuden arvoksi asetetaan nolla. Ilmakehänkorjauksen laskemiseksi käytössä oli Valtion Teknillisen Tutkimuskeskuksen (VTT) tekemä ohjelma. Kuvassa 4.3 on esitetty kuva tämän ohjelman käyttöliittymästä. Optisen paksuuden lisäksi vaadittavat muut arvot annetaan ohjelmalle kuten varsinaista ilmakehänkorjausta laskettaessa. Tässä työssä vesihöyryn määränä käytettiin kaikille kuville arvoa 2 g/cm^2 ja otsonin määränä 0.35 atm-cm . Nämä luvut vastaavat standardi-ilmakehässä olevia arvoja. Kunkin kuvan zenitti- ja atsimuuttikulmat on esitetty taulukossa 4.2. Kanava- ja kuvakoh- taiset kalibrointitiedot saatiin suoraan satelliittikuvien mukana seuranneesta metadatas- ta.



Kuva 4.3 Ilmakeh orjauksen laskemisessa käytetyn ohjelman käyttöliittymä.

Estimaatti kuvalla vallitsevasta optisesta paksuudesta saadaan kohdassa 3.2 esitellyn periaatteen mukaisesti vertailemalla punaisen ja infrapunakanavan saamia arvoja tummien alueiden kohdalla SMAC –algoritmilli kalibroidulta kuvalla (kts. kuva 4.2b) laskettuna. Tässä tutkimuksessa koko kuvan alueelta laskettiin optisen paksuuden keskiarvo, jota käytettiin varsinaisen ilmakeh orjauksen laskennassa.

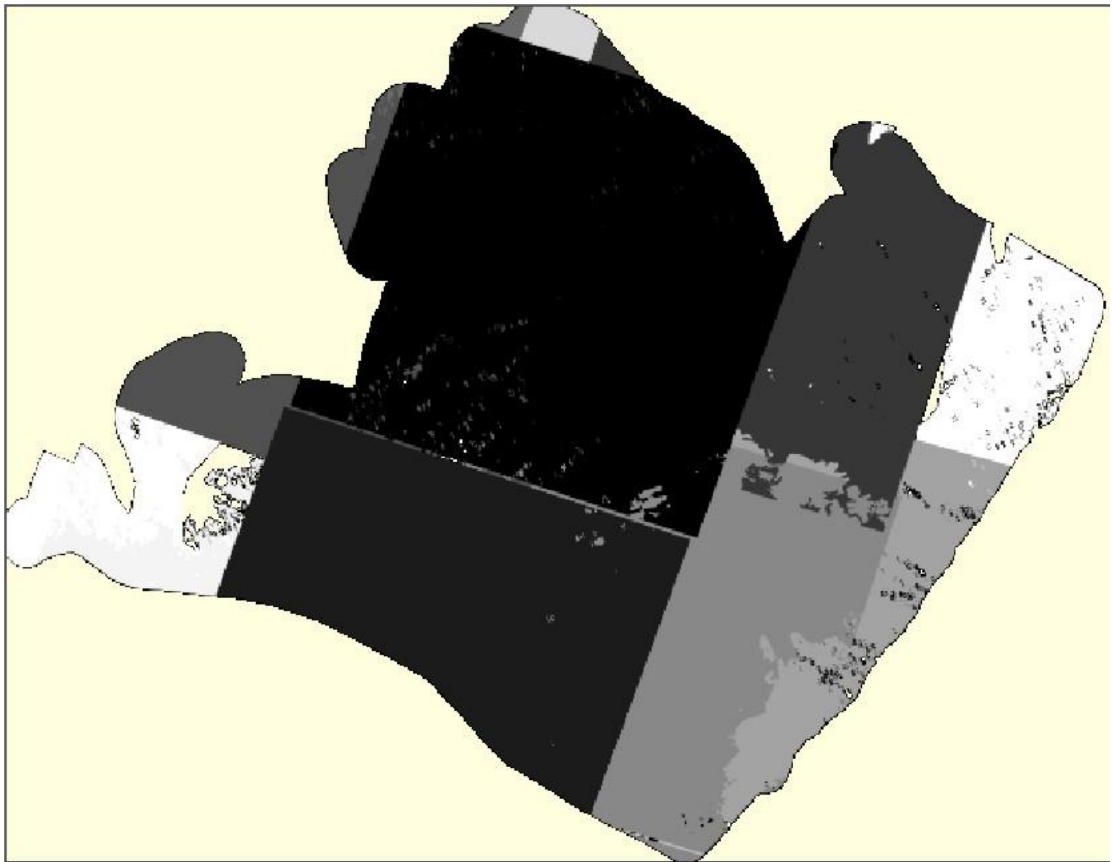
4.3.2 Varsinainen ilmakeh orjaus

Varsinainen ilmakeh orjaus tehd n alkuperäiselle kuvalle käyttäen edellisessä kohdassa estimoitua optisen paksuuden arvoa. Muut tarvittavat parametrit säilyvät samoina kuin ensimm aisell  kerralla SMAC –algoritmi  käytettäessä. Tässä tutkimuksessa käytettävistä Landsat ETM –kuvista korjattiin vain kanavat 2,3,4,5 ja 7 (kts. taulukko 4.1).

4.4 Kuvien mosaikointi

Kuvien mosaikointi tehtiin käyttämällä *Erdas Imagine* -ohjelmistoa ja erityisesti *Modeler* -ohjelmaa. Ensimmäinen mosaiikki laskettiin alkuperäisiä, korjaamattomia kuvia käyttäen. Toinen kuvamosaiikki tehtiin edellä (kts. kohta 4.3) esitetyllä tavalla ilmakehäkörjatuista kuvista. Molemmat mosaiikit laskettiin käyttämällä samaa kuvien järjestystä. Järjestys valittiin priorisoimalla pilvettömiä, suuren osan tutkimusalueesta kattavia ja mahdollisimman keskellä kasvukautta otettuja kuvia. Myös optisen paksuuden pieniä arvoja eli ilmakehän vähäistä aerosolimäärää suosittiin. Ilmakehäkörjauksen yhteydessä lasketut kuvakohtaiset optisen paksuuden arvot on esitetty taulukossa 4.2.

Kuvassa 4.4 on esitetty, missä järjestyksessä kuvat ovat mosaiikissa. Taulukosta 4.3 näkee kuvan eri harmaasävyjen vastaavuuden tutkimuksessa käytettäviin kuviin verrattuna. Päijänteen ja Kuopion tutkimusalueelle osuvat pilvettömät alueet on käytetty kokonaisuudessaan. Muista kuvista mosaiikissa on vain pienempiä osia.



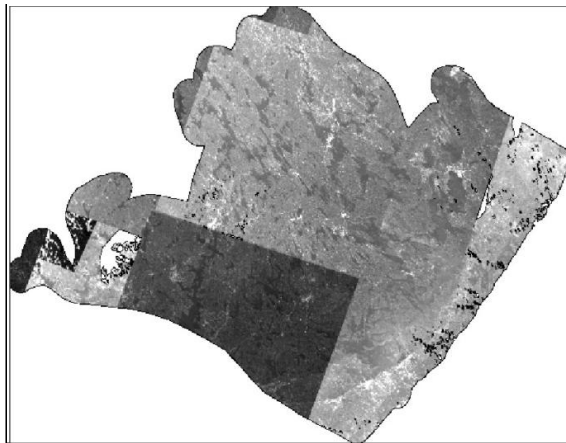
Kuva 4.4 Mosaikoinnissa käytettävä kuvien järjestys. Tausta on merkitty kuvaan keltaisella.

	Kuopio
	Päijänne
	Suvasvesi
	Keitele
	Pyhäjärvi
	Puula
	Imatra
	Kotka
	Oulujärvi
	Tampere
	Lieksa
	Tampere2
	Satakunta

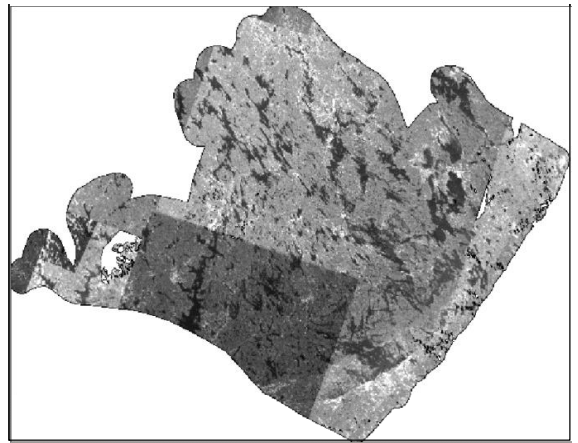
Taulukko 4.3 Kuvan 4.4 värien selitykset.

4.4.1 Korjaamattomien kuvien mosaikointi

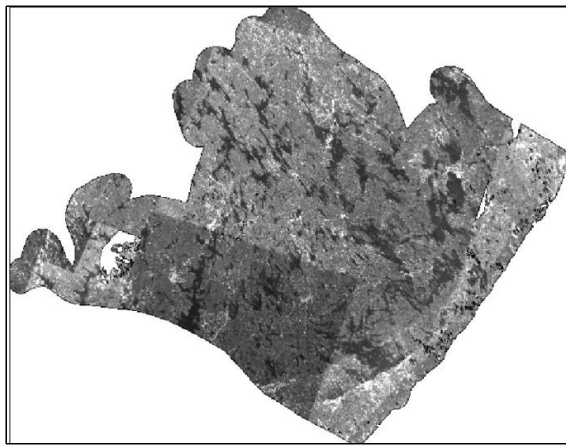
Kuvassa 4.5 näkyy mosaikointi alkuperäisten, korjaamattomien kuvien osalta. Tulokset on esitetty kanavittain. Erilaiset kuvien väliset erot korostuvat eri kanavien mosaiikeissa. Päijänteen kuva näyttäisi aiheuttavan erityisen suuria ongelmia, erityisesti kanavan 1 mosaiikissa (sininen). Kanavan 4 (lähi-infrapuna-alue) kuvamosaiikissa se ei kuitenkaan erotu yhtä selvästi muihin kanaviin verrattuna.



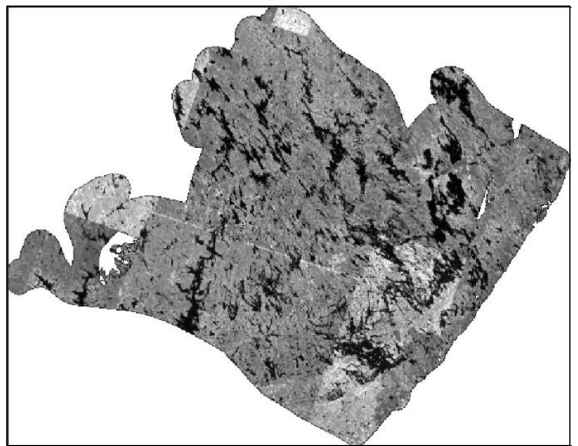
a) kanava 1



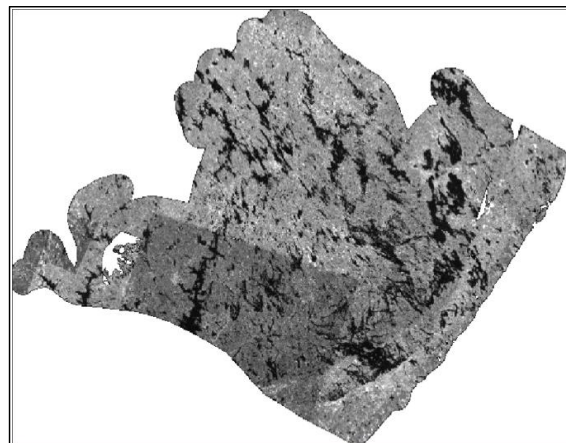
b) kanava 2



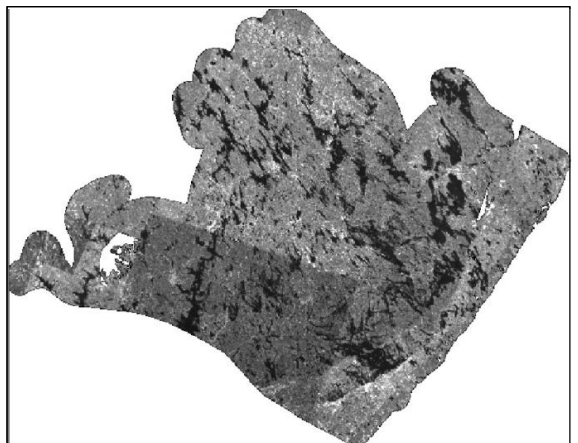
c) kanava 3



d) kanava 4



e) kanava 5

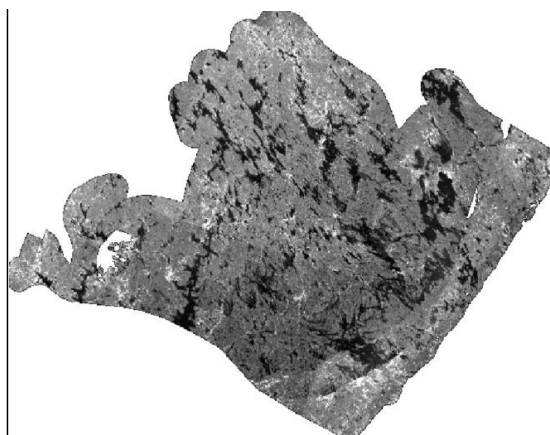


f) kanava 7

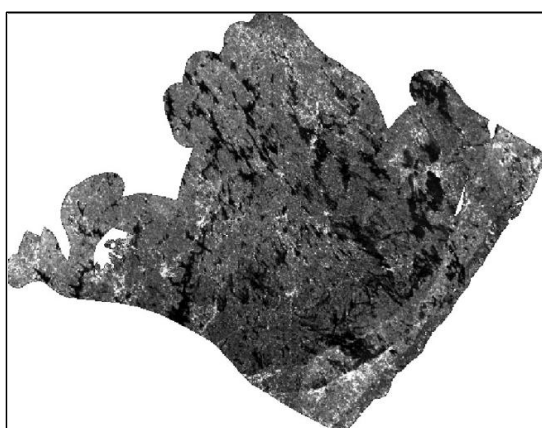
Kuva 4.5 Alkuperäisistä, korjaamattomista kuvista laskettu kuvamosaiikki. (©JRC, ©ESA, ©Metria, ©SYKE)

4.4.2 Ilmakehäkorjattujen kuvien mosaikointi

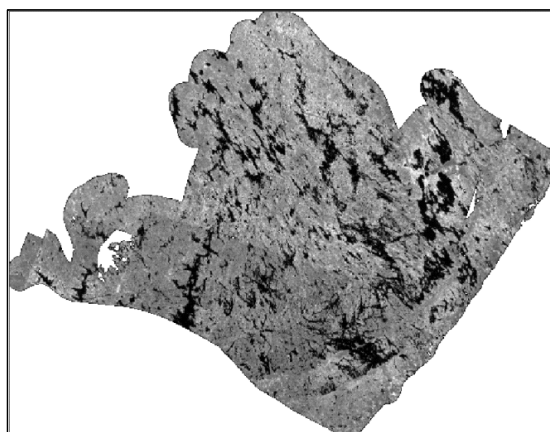
Ilmakehäkorjattujen kuvien mosaikki näyttää paljon paremmalta alkuperäisistä kuvista laskettuun mosaikkiin verrattuna, kts. kuva 4.6. Erityisesti kanavan 3 (punainen) osalta eri kuvien välisiä rajoja ei juuri näy. Päijänteen kuva tuottaa kuitenkin ongelmia myös tässä mosaikissa. Lähemmässä tarkastelussa löytyy myös muita ongelmatapauksia.



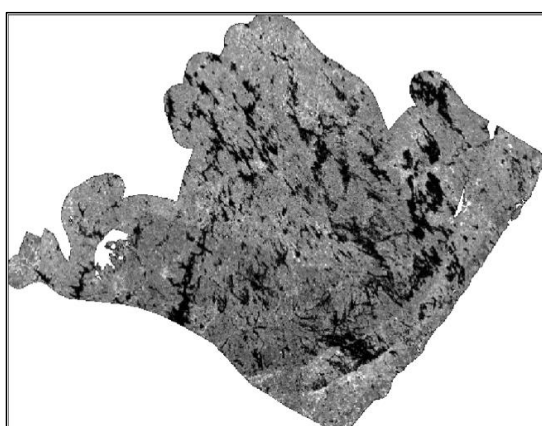
a) kanava 2



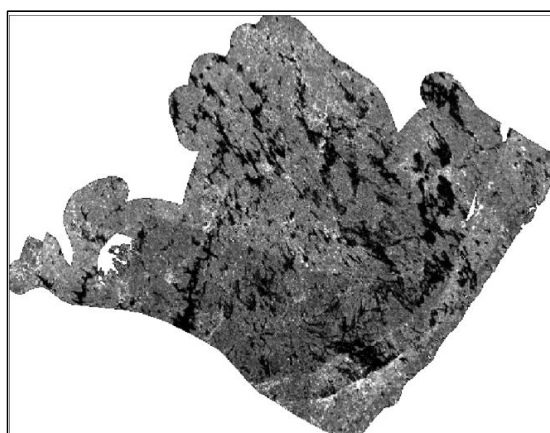
b) kanava 3



c) kanava 4



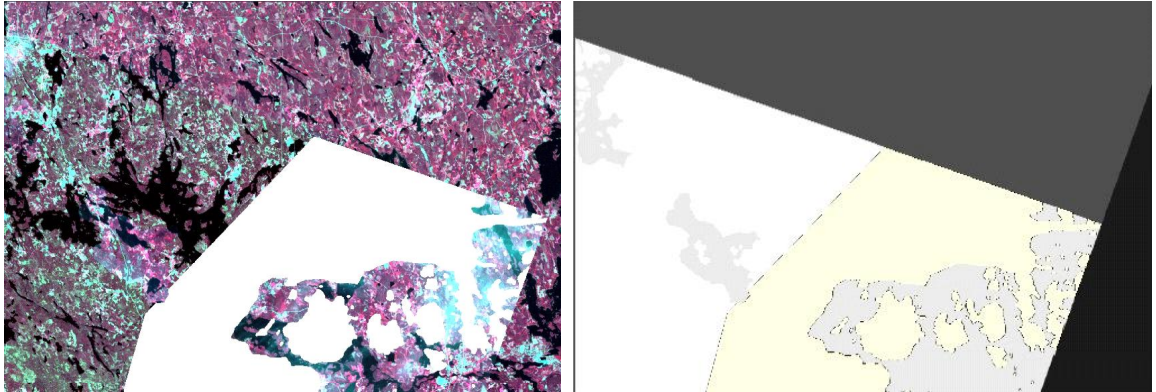
d) kanava 5



e) kanava 7

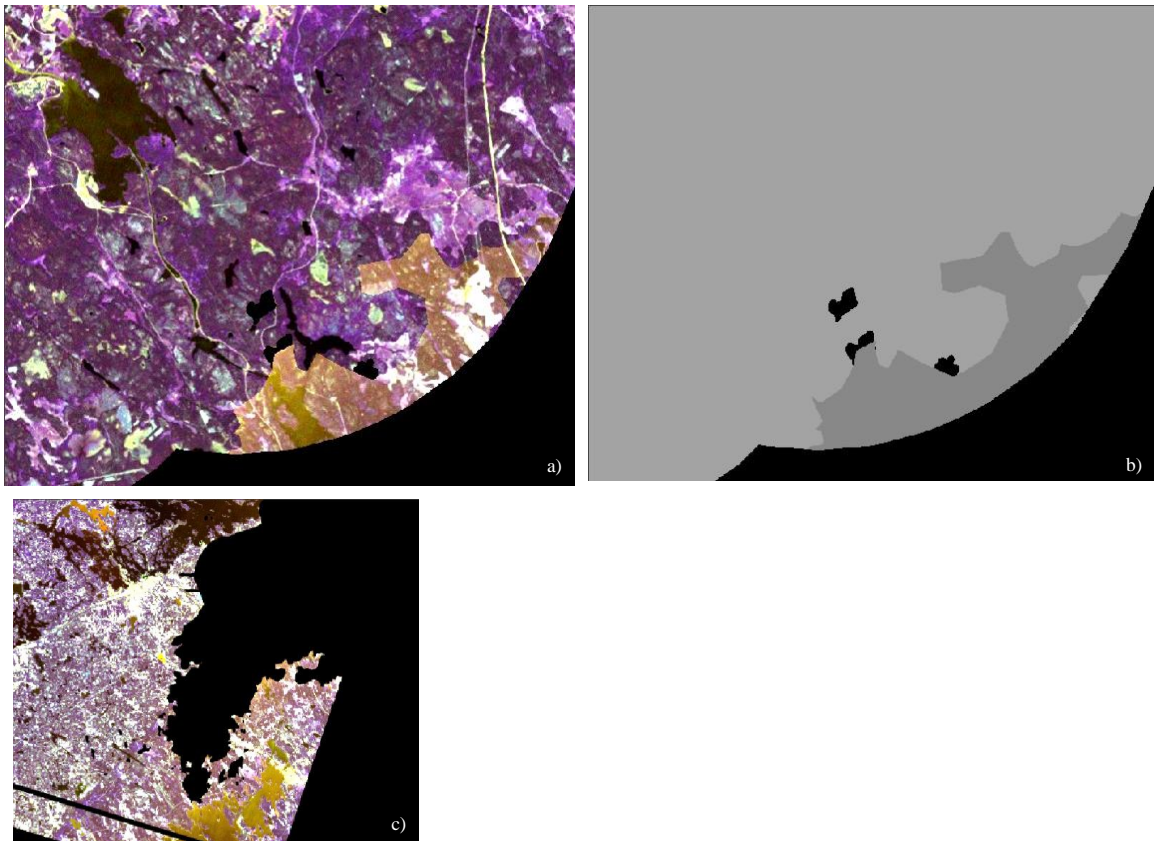
Kuva 4.6 Ilmakehäkorjatuista kuvista laskettu kuvamosaiikki. (©JRC, ©ESA, ©Metria, ©SYKE)

Suurimmaksi yksittäiseksi ongelmaksi osoittautui se, että varsinaisten pilvien lisäksi myös niiden välittömässä läheisyydessä olevien alueiden optinen paksuus tuntuisi olevan muita kuvan alueita suurempi. Hyvä esimerkki tällaisesta tapauksesta on esitetty kuvassa 4.7. Siinä Tampereen kovalta pilvet on maskattu liian tarkasti. Koko pilvisen alueen maskaaminen reilusti pois olisi tuottanut kokonaisuuden kannalta paremman lopputuloksen.



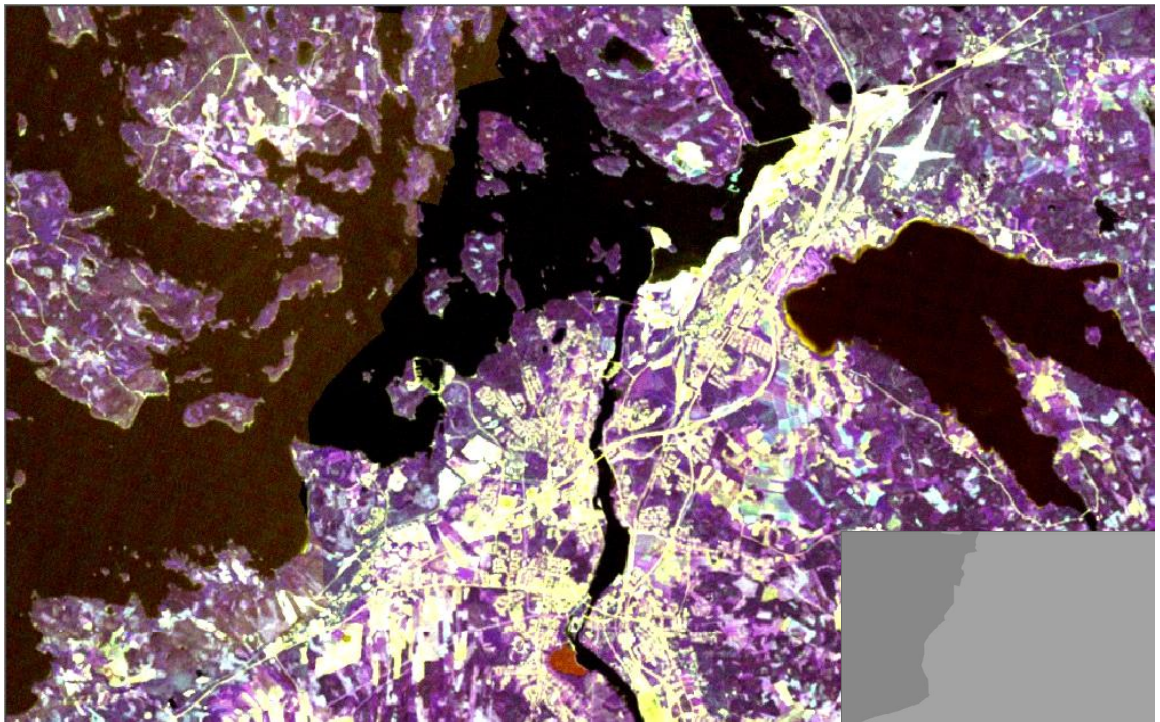
Kuva 4.7 Esimerkki pilvien lähellä olevista ongelmista. Vasemmalla kuvamosaiikki on esitetty kanavien 4,3 ja 2 kombinaationa. Oikealla metadata mosaiikissa olevista kuvista, kts. taulukko 4.3. (©JRC, ©ESA, ©Metria, ©SYKE)

Toinen ongelmatapaus liittyy yhdellä yksittäisellä kuvalla esiintyviin erilaisiin optisen paksuuden arvoihin. Tällaisissa tapauksissa koko kuvalle laskettu keskiarvo ei välttämättä ole paras mahdollinen ratkaisu. Esimerkki kuvalla vaihtelevasta optisen paksuuden arvoista näkyy kuvassa 4.8. Siinä toinen mosaiikin kuvista poikkeaa huomattavasti toisesta, suuremman alan kattavasta kuvasta. Tässä kohdassa nämä ilmakehäkorjatut kuvat eivät sovi yhteen, mutta lännempänä samojen kuvien raja on miltei huomaamaton. Kuvassa 4.8c on esitetty pala yksittäisestä kuvasta. Siitä ilmenee, että ongelmia tuottava alue on lähellä pilveä.



Kuva 4.8 Esimerkki yksittäisen kuvan alueella vaihtelevan optisen paksuuden tuottamista ongelmista. a) lähikuva ilmakehäkorjatusta mosaiikista, kanavat esitetty järjestyksessä 2,3,4. b) Yksittäisten kuvien rajat osoittava kuva. Musta on taustaa, vaaleanharmaa on Puulaveden kuva ja tummempi harmaa Imatran kuva. c) lähikuva Puulaveden kuvasta. Tämä osoittaa, että ylemmissä kuvissa näkyvä alue on pilven reuna-alueita. Kuvissa a) ja c) on käytetty kanavakombinaatiota 2,3,4. (©JRC, ©ESA, ©Metria, ©SYKE)

Mosaiikin alueelta löytyi myös hyviä osoituksia siitä, että vaikka ilmakedäkorjatut kuvat tuntuivat muutoin sopivan hyvin yhteen, kuvanottohetkien välinen ero aiheutti selviä rajoja kuvien välille. Kuvassa 4.9 on esimerkki tilanteesta, jossa Puulaveden ja Imatran kuvien välillä on selvä ero. Puulaveden kuva on otettu 2.8.1999 kun taas Imatran kuva on otettu alkukesästä, 10.6.2000. Kuvassa näkyy selvästi kuvien välinen raja vesistön kohdalla, maa-alueiden osalta ero on pienempi. Ero selittyy sillä, että vesistöt ovat alkukesästä kirkkaampia kuin loppukesästä.



Kuva 4.9 Eri vuodenaikoina otettujen kuvien välinen ero jää näkyviin. Kuvassa näkyy Imatran kaupunki ja Saimaa sen itäpuolella. Saimaalla veden sameus on muuttunut kahden kuvanottohetken välisenä aikana. Oikealla alakulmassa näkyy kuvien välisen rajan sijainti. Tummanharmaa alue vastaa Puulaveden kuvaa (2.8.1999), vaaleanharmaa Imatran kuvaa (10.6.2000). Satelliittikuvassa on esitetty kanavakombinaatio 2,3,4. (©JRC, ©ESA, ©Metria, ©SYKE)

5 Tulokset ja johtopäätelmät

Tässä tutkimuksessa satelliittikuville tehtiin ilmakehäkorjaus niiden yhteensovittamisen eli mosaikoinnin parantamiseksi. Tarkoituksena oli estimoida maanpinnan todellisia reflektanssiarvoja ja näiden arvojen avulla muodostaa mahdollisimman yhtenäinen kuvamosaiikki tutkimusalueelta. Kullekin kuvalle erikseen laskettu ilmakehäkorjaus perustui ilmakehän optisen paksuuden estimoimiseen suoraan korjattavalta kuvalta.

Ilmakehäkorjauksen laskeminen vähensi selvästi yksittäisten kuvien rajojen näkymistä kuvamosaiikissa. Tutkimuksessa selvisi kuitenkin monia seikkoja, jotka huomioonottamalla ilmakehäkorjaus tuottaisi paremman lopputuloksen. Etenkin pilvien poistamisessa ennen ilmakehäkorjauksen suorittamista tulisi olla erityisen tarkkana. Monissa tapauksissa pilvien lähettyvillä on vesihöyryä enemmän kuin pilvettömillä alueilla, minkä vuoksi kuvalta estimoidut reflektanssiarvot eivät vastaa todellisia arvoja. Optisen paksuuden arvo voi myös vaihdella 180x180 km –kokoisen satelliittikuvan alueella, eikä koko kuvan alueelta laskettu keskiarvo välttämättä vastaa ilmakehän ominaisuuksia kaikkialla kuvan alueella. Parempaan lopputulokseen voitaisiin päästä, mikäli optisen paksuuden arvot estimoitaisiin erikseen kuvan eri alueille ja muodostettaisiin optista paksuutta kuvaava pinta. Tässä tutkimuksessa ilmakehässä olevan otsonin tai vesihöyryn määrää ei pyritty arvioimaan. Esimerkiksi vesihöyryn määrän arvioiminen sää-tietojen perusteella olisi voinut parantaa keskikesällä helteiseen aikaan otettujen kuvien yhteensopivuutta mosaiikin muiden kuvien kanssa.

Kasvukauden eri vaiheita ja muita vuodenajan vaihteluun liittyviä ongelmia ei voida ratkaista ilmakehäkorjauksen avulla. Tähän on syytä kiinnittää huomiota jo valittaessa mosaikoitavia kuvia. Suomen oloissa pilvettömien optisten kuvien löytäminen peräkkäisiltä vuosilta voi kuitenkin olla hankalaa. Sen vuoksi eri vuodenaikoina otettuja kuvia joudutaan joskus käyttämään.

Mosaikoinnin onnistuminen on paljolti kiinni kuvien järjestyksestä: päällimmäiseksi tulisi valita pilvetön kuva, joka poikkeaa muista kuvista mahdollisimman vähän. Sopivan mosaikointijärjestyksen löytäminen on usein iteratiivinen prosessi, jossa punnitaan kunkin kuvan hyvät ja huonot ominaisuudet sekä lasketaan tarvittaessa kuvien ilmakehäkorjaus uusilla parametreilla.

Lähdeluettelo

(Campbell 2002)

Campbell J.B. Introduction to Remote Sensing. *Taylor & Francis, NY 2002*. ISBN 0-415-28294-2.

(Härmä 2003)

(ed.) Härmä P. 2003. CORINE Land Cover 2000 and Image 2000 in Finland, Phase I, Report.

(Kaufman et al. 1997)

Kaufman Y.J., Wald A.E., Remer L.A., Gao B-C., Li, R-R., Flynn L. The MODIS 2.1 – μm Channel – Correlation with Visible Reflectance for Use in Remote Sensing of Aerosol. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 35, No. 5, pp. 1286-1298.

(Lampila 2000)

Lampila J. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, maanmittausosasto, Espoo 2000.

(Lillesand & Kiefer 2000)

Lillesand T.M., Kiefer R.W. 2000. Remote Sensing and Image Interpretation. *John Wiley & Sons*. ISBN 0-471-25515-7.

(Plesea & Jacob 2000)

Plesea L, Jacob J. 2000. Building Large Scale Mosaics from Landsat Data. *Geographic Information Systems, Proceedings of the 8th ACM international symposium on Advances in geographic information systems*.

(Rahman & Dedieu 1994)

Rahman H., Dedieu G. 1994. SMAC: a simplified method for the atmospheric correction of satellite measurements in the solar spectrum. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 15, No. 1, pp. 123-143.

(Roivas 2000)

Roivas V. Ortokuvamosaiikin radiometrinen tasaaminen lineaarisella mallilla. Erikoistyö, Teknillinen korkeakoulu, maanmittausosasto, Espoo 2000.

Luettavissa internetissä (vierailtu viimeksi 27.1.2005):

http://ns.foto.hut.fi/opetus/290/julkaisut/Vesa_Roivas/Sisallysluettelo.htm

(Tahvonen 2003)

Tahvonen K. Ilmakehäkorjauksista kaukokartoitusaineistojen käsittelyssä. Fotogrammetrian, kuvatulkinna ja kaukokartoituksen seminaari, Teknillinen korkeakoulu, kevät 2003.

Luettavissa internetissä (vierailtu viimeksi 7.1.2005):

<http://foto.hut.fi/opetus/270/esitelmat/2003/Tahvonen/esitelma/sisallys.html>

(Vepsäläinen 1999)

Vepsäläinen J. Atmospheric correction for water surface measurements of imaging spectrometer. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, maanmittausosasto, Espoo 1999.