

**Ajavahemiku 2002-2005 lageraidesarnaste muutuste kaardistamine
satelliidipiltidelt**

Keskkonnainvesteeringute keskuse 2005. aasta metsanduse programmi projekti nr 33
aruanne

Tartu Observatoorium

Mait Lang

Margarete Jürjo

Tõnu Lükk

Tõravere 2005

Sisukord

Sisukord	2
Sissejuhatus	3
Materjal ja meetodika	4
Satelliitpildid.....	4
Maskid.....	8
Raiekohtade kaardi tuletamine piltidelt	8
Tulemused ja arutelu	15
Viited	20
Lisad	21
LISA I Raiekaartide andmebaasi struktuur.....	21
LISA II Raiete kaardid CD plaadil	21

Sissejuhatus

Usaldusväärne ülevaade raietest kui ühest enim metsade olemist muutvast tegurist on oluline osa riigi tasandil jätkusuutliku metsanduse strateegilisel planeerimisel. Mitmekanaliline tagasiside metsades toimuvast majandustegevusest annab võimaluse hinnata kehtestatud mängureeglite ning paralleersetel infokogumisviiside toimivust. Enimkasutatavateks meetoditeks raiete kohta info kogumisel on viimastel aastatel kujunenud metsateatiste süsteem, statistiline metsainventuur ning numbriliste satelliitpiltide analüüs. Kõigil kolmel kanalil on häid külgi ning ka puuduseid. Metsateatiste süsteem on pidevalt toimiv ja seadusandlusega täpselt reguleeritud info kogumise kord metsades toimuvast majandustegevusest. Praktika on siiski näidanud, et teatiste põhjal laiaulatuslike järelduste tegemisel võib saada nihkega hinnangu, kuna paljude toimingute kohta teatised puuduvad. Analüüsi teeb keerukaks ka ühtse digitaalse andmebaasi puudumine. Proovitükkidel põhineva statistilise metsainventuuri (SMI) mõõtmistulemustest saadavad hinnangud on üldjuhul objektiivsed, kuigi nende suhteline viga raiete osas jääb kahjuks proovitükkide vähesuse tõttu tavaliselt üle 25% 95%-lise usaldusnivoo juures. Lisaks saame SMI andmete põhjal ainult keskmised hinnangud riigi või siis äärmisel juhul maakonna tasandil. Numbriliste satelliidipiltide aegridade analüüs võimaldab saada tulemuseks digitaalsed raiete kaardid, mida saab analüüsida ja kasutada tänapäevaste haldamise vahenditega (GIS). Probleemseteks kohtadeks on piltide olemasolu ja kvaliteet ning tõik, et nõrga raiekraadiga raiete puhul muutub puistu heledus üsna raskesti ennustatavalt ning sellisid raideid on keeruline muutuse signaalis olevast müra eristada. Siiski ei ole hetkel satelliidipiltide kasutamisele Eestis ühtki teist tõsiseltvõetavat meetodit, mille tulemuseks oleks raiekohtade raaltöödeldav kaart ja mis ei sõltuks oluliselt metskorralduse andmetest või ei nõuaks suuremahulist visuaalset analüüsi.

Käesoleva projekti eesmärgiks oli koostada heleduse poolest lageraietele sarnanevate alade kaardid ajavahemiku 2002- 2005 kohta. Kuigi optimaalne oleks koostada raiete kaardid igal aastal, on siin takistuseks sobivate pilvevabade piltide olemasolu. Olulise erinevusena võrreldes varasemate sarnaste projektidega, kus kasutati ainult suviseid pilte (Lang jt, 2002; Lang ja Lükk, 2004), tuli seekord kasutada 2002. aasta suviseid pilte ning 2005. aasta varakevadisi lumikattega pilte. Niivõrd erinevate omadustega piltide võrdlemine nõudis mõnevõrra ka meetoodika muutmist. Siiski olid probleemid lahendatavad ning saadud kaartide esialgne kontrollimine näitas, et tulemus on oma tehnilistelt näitajatelt võrreldav varasemate kaartidega.

Seekord on kaardil ka Võrumaa ja osa Valgamaast, mis varasemates projektides on jäänud analüüsist välja, kuna kasutatud pildid neid alasid lihtsalt ei katnud. Tulemuseks saadud kaardid on digitaalsel kujul MapInfo TAB vektorvormingus.

Materjal ja meetodika

Satelliitpildid

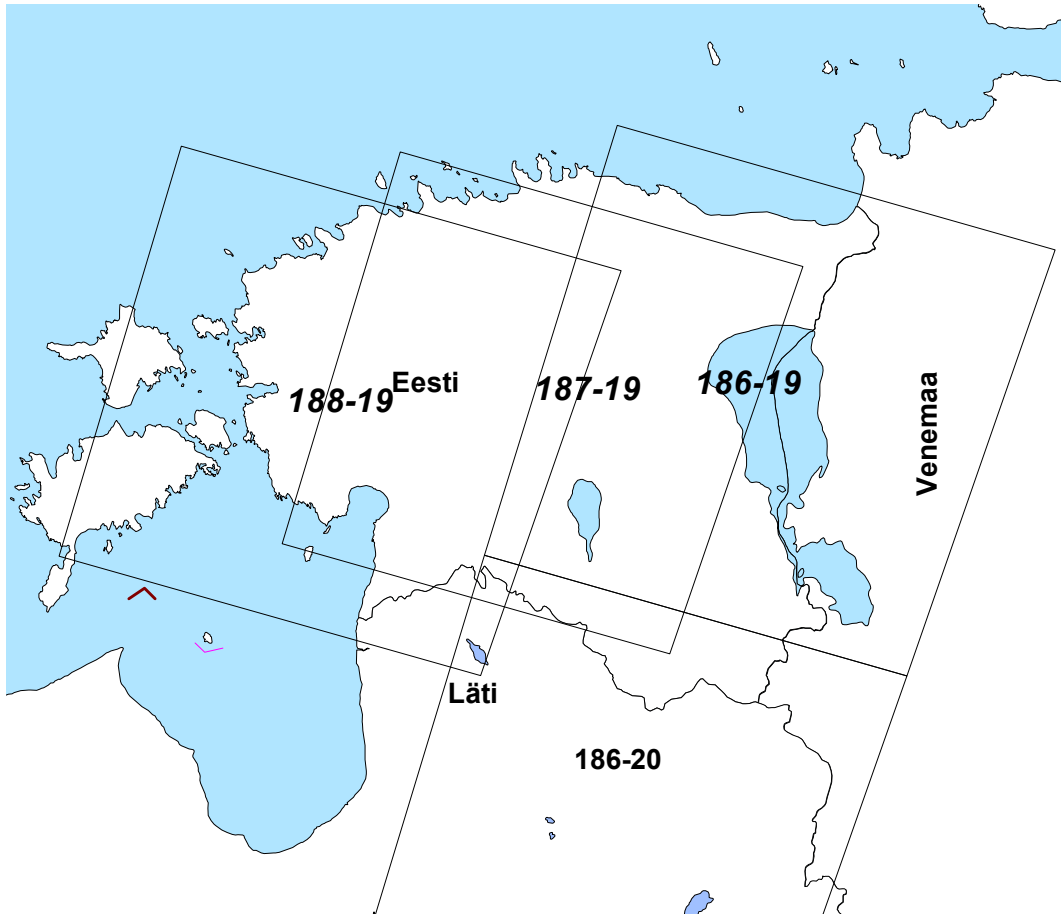
Analüüsiks kasutati skannerite Landsat-5 Thematic Mapper (TM) ning Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper (ETM+) pilte. Kuna ETM+ alates 31.maist 2003 tehnilise rikke tõttu rivist väljas (USGS, 2005), siis 2005. aasta piltidena oli kasutada ainult tänaseks peaaegu juba 20 aastat vana Landsat-5 TM pilte. Pildid teisendati Eesti põhikaardi koordinaatsüsteemi L-EST'92. Satelliitpiltidest annavad ülevaate tabel 1 ning joonised 1 ja 2. Kaadri 186-19 jaoks kombineeriti 2002. aasta liitpildiks erinevatel kuupäevadel tehtud ülesvõtete pilvevabad osad (joonis 2).

Tabel 1. Kasutatud piltide geomeetrilise korrektsiooni iseloomustus ja kaadri 186-19 2002. aasta liitpildi nummerdus

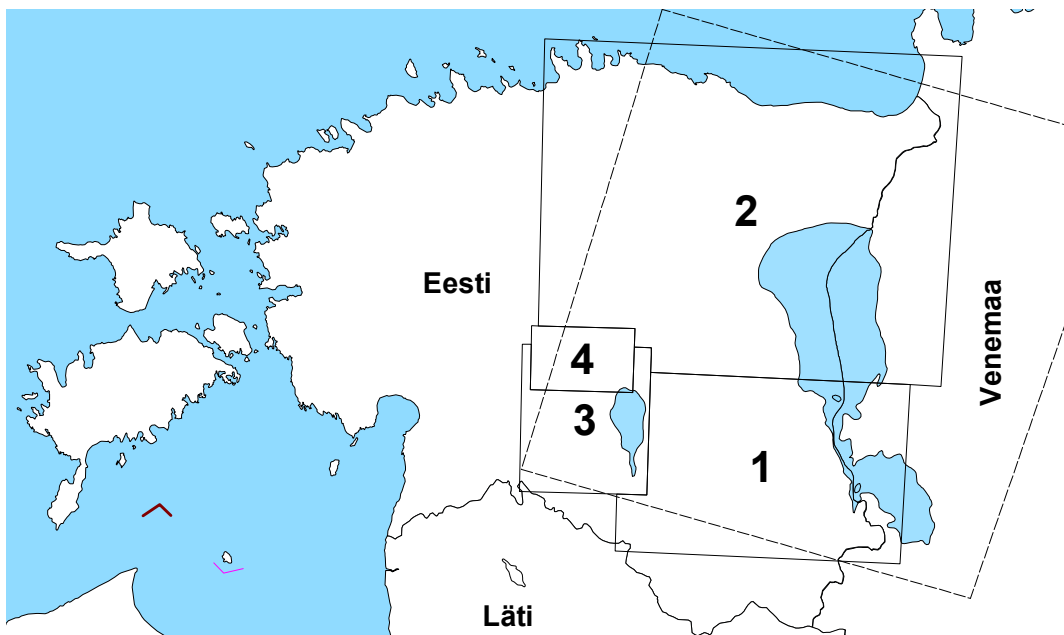
Skanner	Pilt		Punktide arv	Teisendus-funktsioon*	Jääkviga RMS (pikslit)	Ala liitpildil
	Kaader	Kuupäev				
ETM+	186-19	31.05.2002	270	2	0,36	1
ETM+	186-19	18.07.2002	231	2	0,36	2
ETM+	186-19	19.08.2002	127	2	0,39	3
ETM+	187-19	10.08.2002	182	2	0,29	4
TM	186-19	24.02.2005	28	1	0,31	-
ETM+	186-20	19.08.2002	625	4	-	-
TM	186-20	24.02.2005	31	1	0,32	-
ETM+	187-19	10.08.2002	18	1	0,33	-
TM	187-19	03.03.2005	31	1	0,33	-
ETM+	188-19	29.05.2002	26	1	0,29	-
TM	188-19	14.06.2005	25	1	0,22	-

* Koordinaatide teisendamise funktsioon: 1- lineaarne, 2- 2. astme polünoom, 3- 3. astme polünoom, 4- projektsiooni teisendus Delaunay triangulatsiooni kasutades.

Kaadrite 186-19 ja 186-20 piltidel raiete kaardistamist segavaid pilvi praktiliselt ei olnud. Kaadri 188-19 aladel olid siiski pildi kirde ja põhjaosas suuremad pilvemassiivid ning mõningad rümpilved pildi keskosas ning ka Saaremaa kohal (joonis 3). Kirde- ja põhjaosas pilvedega kaetud aladel raiete kaardistamiseks kasutati kaadri 187-19 pilte (joonis 4).

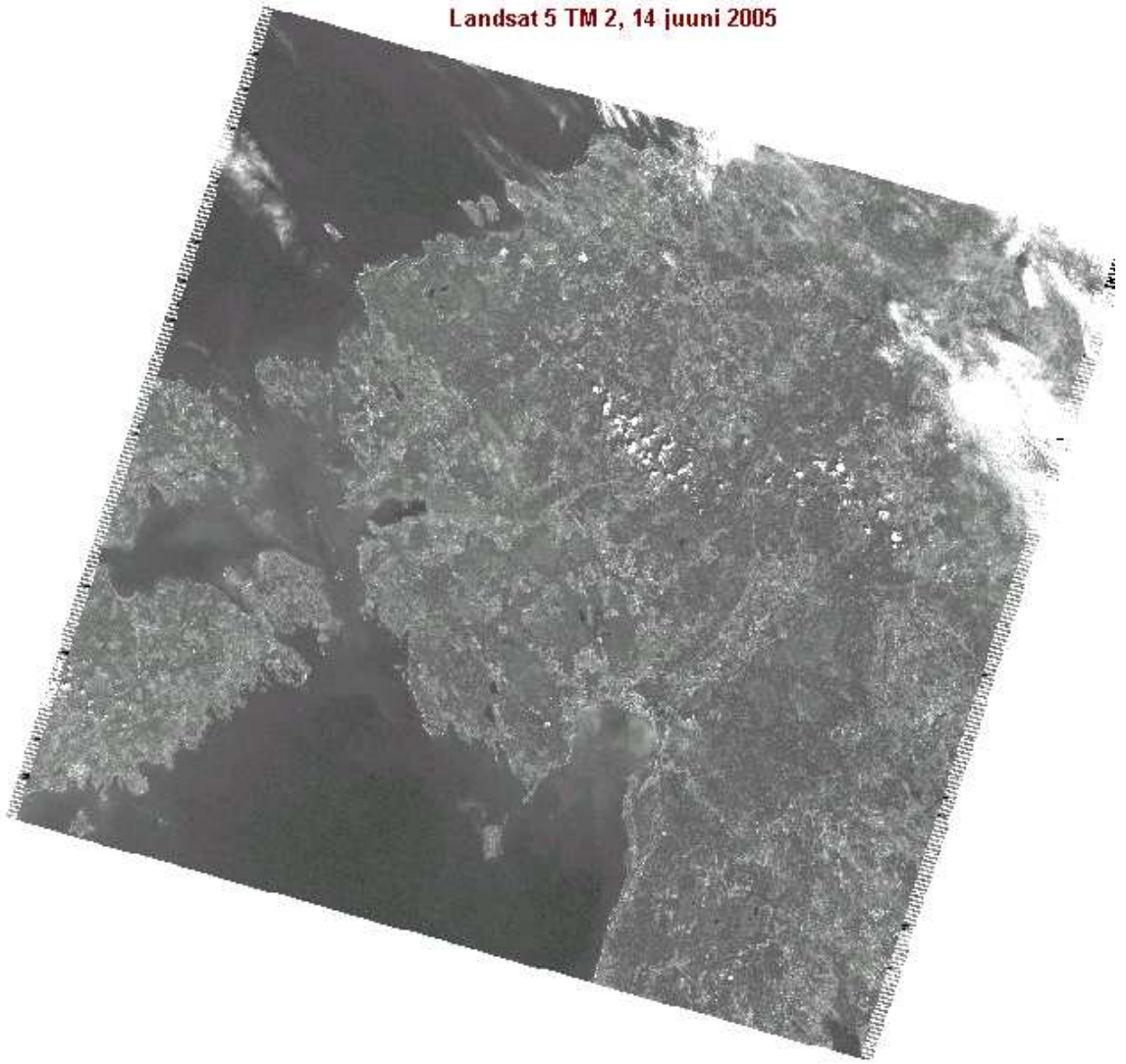


Joonis 1. Analüüsis kasutatud satelliitpiltide kaadrite 186-19, 186-20, 187-19 ja 188-19 raamid



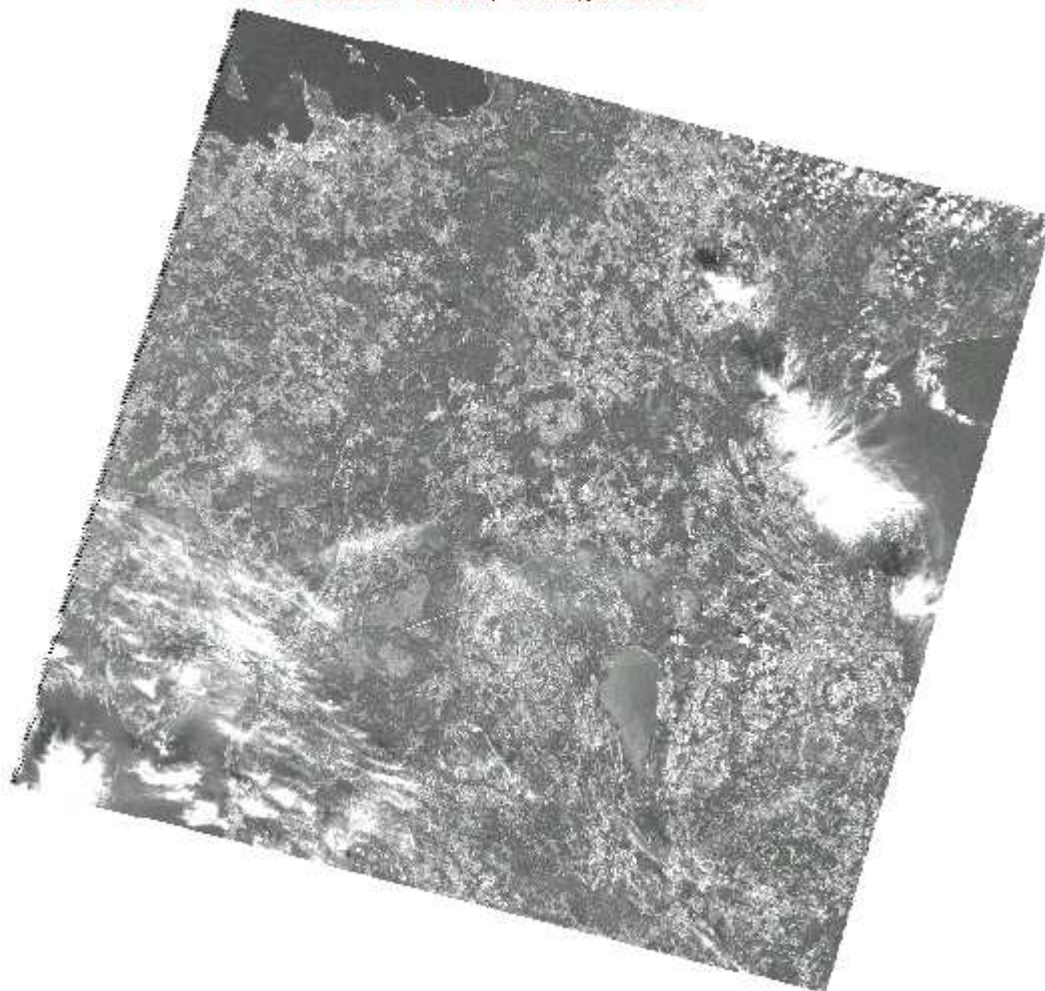
Joonis 2. Kaadri 186-19 alal 2002. aasta liitpildi osade piirid, nummerdus ja katkendjoonega kaadri 186-19 raam

Landsat 5 TM 2, 14 juuni 2005



Joonis 3. Kaadri 188-19 alal 2005. aasta 14 juuni Landsat-5 Thematic Mapperi pildi teise kanali (roheline) kujutis hallskaalas. Kujutisel on näha heledad pilvedega kaetud alad pildi kirde ja põhjaosas ning rünpilvede võõnd pildi keskel. Rünpilvi on ka Saaremaal

Landsat 7 ETM 2, 10/August/2002



Joonis 4. Kaadri 187-19 alal 2002. aasta 10 augusti Landsat-7 ETM+ pildi teise kanali (roheline) kujutis hallskaalas. Kujutisel on näha heledad pilvedega kaetud alad pildi kirde ja edelaosas, kuid kaadril 188-19 (joonis 3) olev pilvine ala Tallinnast ida poole on pilvedeta

Maskid

Metsamask

Urmas Petersoni (2003) koostatud kogu Eesti kohta käivat digitaalset metsakaarti korrigeeriti Eesti baaskaardi ((C) Maaamet) looduslike alade kihiga (alles jäeti ainult need metsamaski metsaalad, mis jäid baaskaardi looduslike alade sisse). Saadud metsakaardist tehti Boole'i pilt (metsaalade väärtuseks 1, muu ala 0).

Pilvemask

Lageraiealade otsimisel arvati tööstlusest välja pilvede ja pilvevarjude alla jäävad alad. Pilvemaski saamiseks digitaliseeriti käsitsi (kuna heleduse järgi ei ole talvistelt piltidelt võimalik heledaid pilvi eristada) iga kaadripaari jaoks 2. ja 4. kanali põhjal pilvede ja pilvevarjudega kaetud alad. Digitaliseerimise järel tehti pilvemaski ümber 60 m puhver, et välistada raskemini eristatavate servaalade väljajäämist pilvemaskist. Pilvemask teisendati rasterkaardiks, millest omakorda tehti Boole'i pilt (pilvedega ja pilvevarjudega kaetud ala sai väärtuseks 1, pilvevaba ala 0).

Kaadriraamid

Erinevate aastate samad kaadrid võivad olla üksteise suhtes natuke nihkes. Et analüüsida ainult mõlema aasta (2002 ja 2005) kattuvaid alasid, digitaliseeriti neile ühised kaadriraamid. Kaadriraamiga lõigati ära ka Landsat 5 2005. aasta piltide defektiga servad.

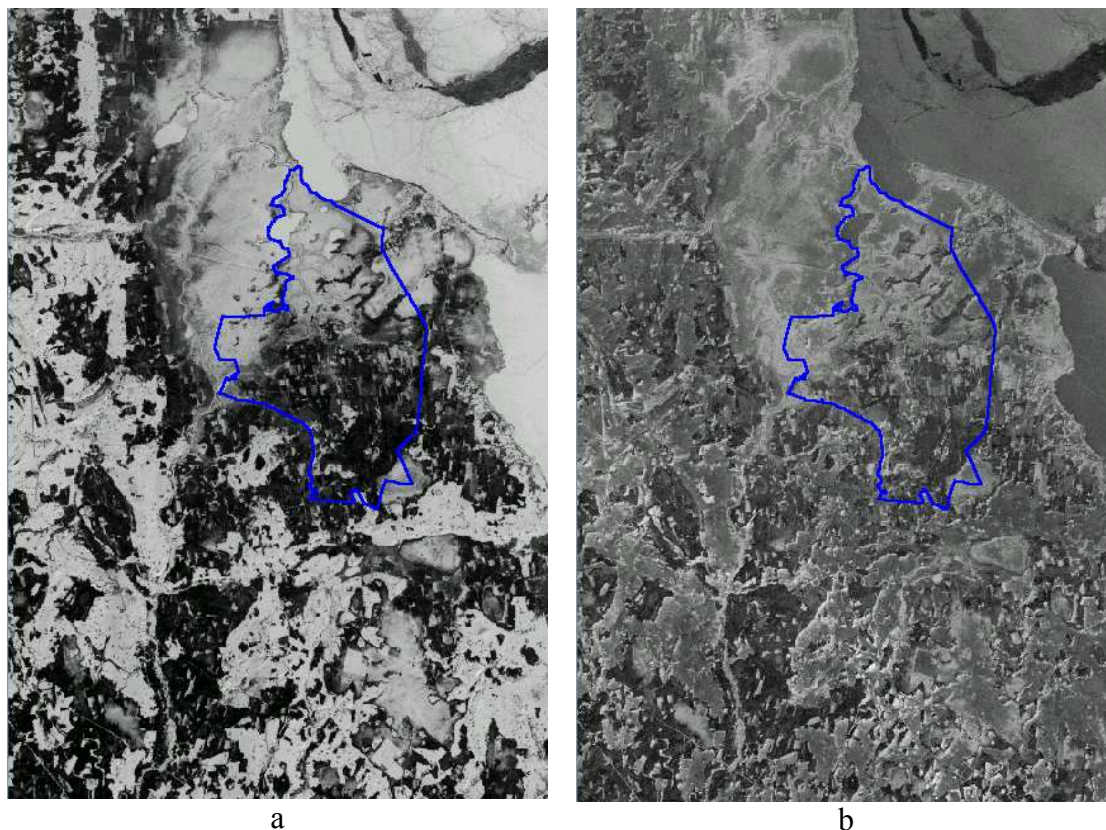
Kaadriraamid rasteriseeriti ja saadi Boole'i pilt (kaadriraami sisse jääv ühise ala väärtus 1, kaadrist välja jääv ala 0).

Raiekohtade kaardi tuletamine piltidelt

Pilditöötamise meetodika on põhimõtteliselt sama, mis varasemates projektides (Lang jt, 2002; Lang ja Lükk, 2004). Siiski tuli tulenevalt kasutada olevatest piltidest teha mõningaid muudatusi. Kuna 2005. aastaks oli võimalik ainult kaadriks 188-19, mis katab läänepoolse osa Eestist, saada pilt ajast, kus lehestiku võib lugeda praktiliselt välja arenenuks, tuli Eesti ida- ja lõunaosas kasutada kevadtalviseid lumikattega pilte. Kuigi lumikattega pilte on edukalt kasutatud nii metsade kaardistamiseks, kui ka muutuste seireks (Peterson, 2003), on nendeks katsetes kõik kasutatud pildid olnud lumikattega. Erinevate vegetatsiooniperioodide pilte ei muutuste seireks ei ole siiani kasutatud.

Muutuste leidmiseks järjestikustelt piltidelt peame teadma, mis põhjustab heleduse muutust ja kuidas tekib meid huvitavate objektide heledus. Joonisel 5a ja 5b on toodud näide talvisest lumikattega Landsat TM pildist. Osajooniselt 5b on näha, et viienda kanali (mida suviste piltide puhul olemegi kasutanud) kujutis on oluliselt erinev spektri nähtavas osas tehtud ülesvõttest - viiendas kanalis jää ja lumi on tumedad. Selle põhjuseks on asjaolu, et viies kanal asub vee neeldumisriba servas (Mather, 1994) ning kõik, mis vett sisaldab, sh ka lumi on pildil tume. Siiski saab lumikattega piltidelt kasutada nähtava

spektripiirkonna kanaleid, kus lumi ja jää on meile harjumuspäraselt valged, ehk siis peegeldavad suure osa langevast kiirgusest tagasi, ning seetõttu on suhteliselt heledamad ka alad, kus puid on hõredamalt. Seega peame omavahel võrdlema suvepiltidelt võetud viiendat kanalit ning talvepiltidelt võetud nähtava piirkonna kanalit.



Joonis 5. Lumi on spektri nähtavas osas (a, Landsat TM 3 (punane) 11.03.1993) hele, spektri keskmises infrapunases osas (b, Landsat TM 5 11.03.1993), kus asub ka Landsat TM 5 kanal on lume heledus raskesti ennustatav, kuna vesi on selles kanalis kõige olulisem neeldumist põhjustav aine. Osajoonistel a ja b on kantud SA Järvselja Õppe- ja Katsemetskonna välispiir. Kirdes on Peipsi järv, kus jääs on suured lahvandused (lahtine vesi on must) ja idast paistab täielikult jääga kaetud Lämmijärv

Selleks, et heleduse muutus oleks lihtsasti tõlgendatav, tuleb kasutada muutuse sisu hästi edasiandvat skaalat - teoreetiliselt muutusteta alad peaksid saama muutuste pildil, mis on kahe järjestikuse pildi aritmeetiline vahe, nullilähedase väärtuse. Objektide heledus pildil sõltub paljudest teguritest nagu Päikese kõrgus ja seega kogu kiirgusenergia hulk, atmosfääriolud, skanneri sensori tundlikkuse muutumine ajas jne. Kuigi on olemas mitmeid programme ning meetodeid selliste mõjude pildilt kõrvaldamiseks, on need keerulised ning nõuavad tavaliselt paljude lisaparameetrite nagu näiteks atmosfääris oleva aerosooli koostis, hindamist. Raietest tekkiva heleduse muutuse järgi raiealade kaardistamiseks on kasutatud lihtsamat võtet nn suhtelist kaliibrimist, kus leitakse eeldatavalt muutumatutena püsinud objektide heleduse seos kahe pildi vahel ning pildi pikslite väärtusi võrreldakse selle seose abil ennustatud heledusega (Olsson, 1994).

Muutuste pildi leidmiseks kasutati järgmist eeskirja, kus iga piksli muutus ΔH leiti vastavalt

$$\Delta H = H_2 + bH_1 - a, \text{ kus} \quad (1)$$

H_2 : etalonpuistute eeldatav heledus pildil 2;

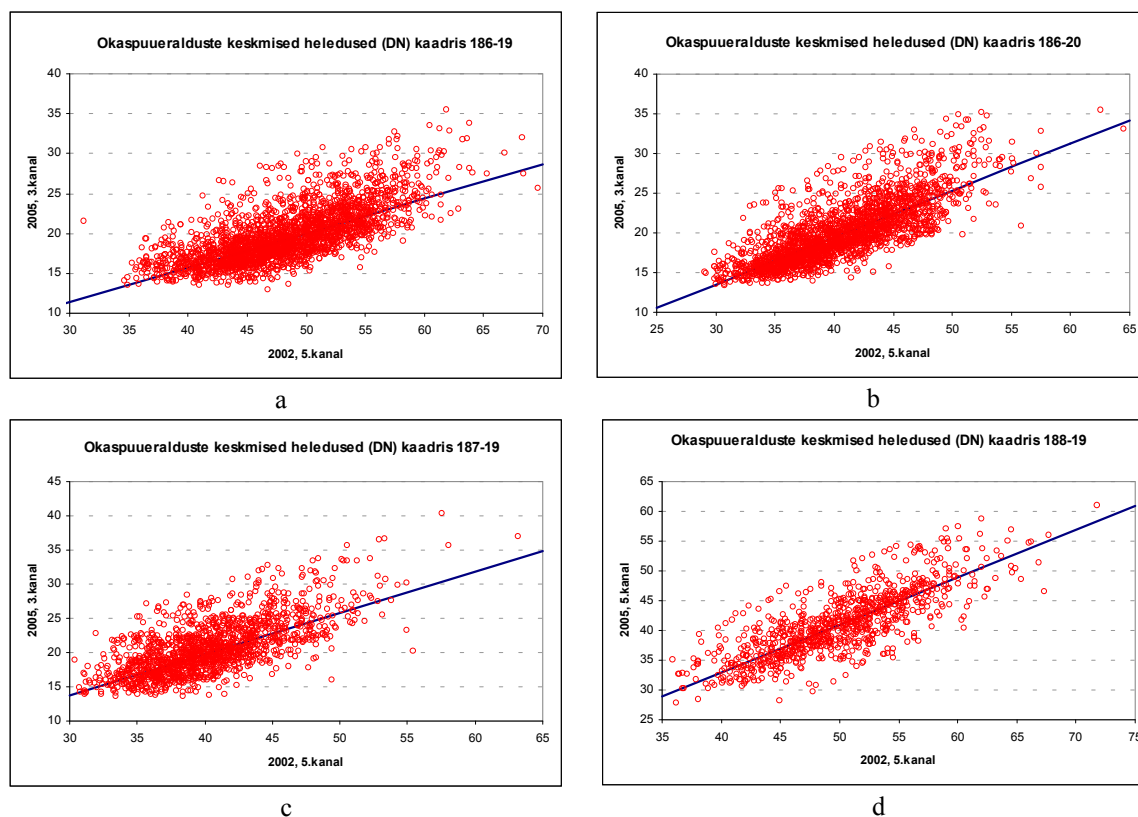
H_1 : etalonpuistute heledus pildil 1;

a, b : suhtelise kaliibrimise vabaliige ja tõusukordaja.

Metsaregistrist (http://www.metsad.ee/mets_reg/index.htm) valiti satelliitpiltide suhtelise kaliibrimise jaoks puistud, millel on okaspuu osakaal I rinde koosseisus on üle 65%, vanus ≥ 40 aastat, pindala $\geq 2,5$ ha, I rinde täius $\geq 0,65$, kasvukohatüüp ei ole raba, madal soo ja siirdesoo. Võrrandi (1) parameetrite hinnangud on tabelis 2 ning joonisel 6 on toodud piltide heleduste suhteliseks kaliibrimiseks kasutatud okaspuupuistute heleduste seosed pildipaaride kaupa.

Tabel 2. Piltide suhtelise kaliibrimise jaoks leitud lineaarse robustse regressioonivõrrandi vabaliikmed (a) ja tõusukordajad (b) ning lähendi headuse hinnang- keskmine absoluuthälve d digitaalnumbrites (DN)

Kaader	Okaspuupuistute arv kaadris	Pilt 1 / kanal	Pilt 2 / kanal	b	a	d (DN)
186-19	2305	19.08.2002/ 5	24.02.2005/ 3	-1,49	0,43	1,85
187-19	1493	10.08.2002/ 5	03.03.2005/ 3	-4,24	0,60	2,19
188-19	888	29.05.2002/ 5	14.06.2005/ 5	0,92	0,80	2,57
186-20	2163	19.08.2002/ 5	24.02.2005/ 3	-4,18	0,59	1,81

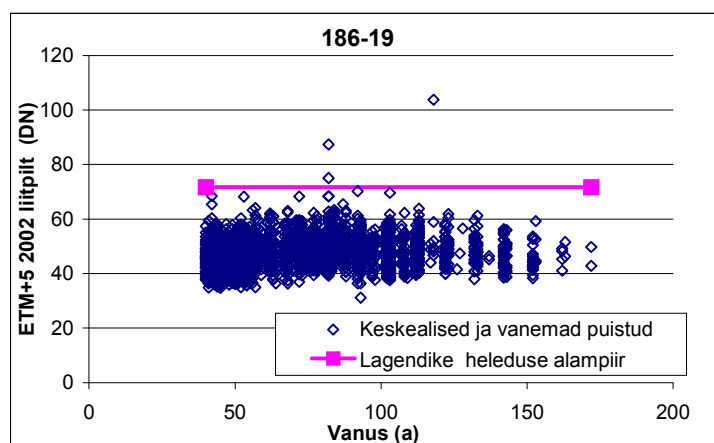


Joonis 6. Satelliidipiltide kaliibrimiseks kasutatud puistute heleduste seosed analüüsis kasutatud pildipaaridele kaadritel 186-19 (a), 186-20 (b), 187-19 (c) ja 188-19 (d)

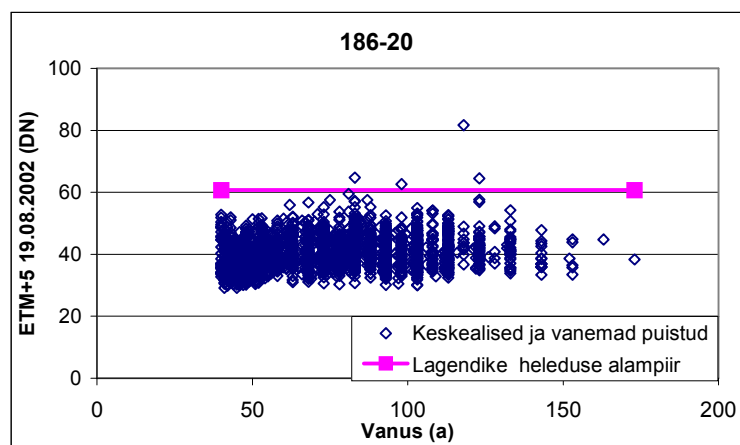
Muutuste pildi kontrollimisel selgus, et kui paaris oli varasem pilt suvisest sesoonist hilisem pilt lumikattega, siis aladel, mis esimese pildi tegemise ajal olid juba lagedad, tekkis lageraidega võrreldav heleduse muutus. Põhjuseks on asjaolu, et lumi on niivõrd hele, et isegi juhul, kui ka varasemal pildil oli vaadeldav ala lage ning seetõttu üsna hele, saame paljudel juhtudel signaali muutuse, mis viitab justkui raiele. Varasemal pildil olevate lagendike ja noorendike eemaldamine on võimalik varasema pildi heleduse järgi. Tuleb leida selline heleduse nivoo, mis võimalikult hästi eristaks noorendikud ning meid huvitavad puistud. Kuna puistu heledus on pidev tunnus ning sõltub paljudest aspektidest on leitav eristusnivoo teatavat laadi kompromiss, kuna liiga madala nivoo kasutamisel filtreeritakse andmebaasist välja ka vanemad puistud, liiga kõrge nivoo puhul jääb raiete kaardile palju müra. Noorendike ja varasemal pildil lagedate alade leidmiseks võrdlesime varasemalt pildilt arvatud lageraidealade keskmist heledust piltide suhteliseks kaliibrimiseks kasutatud puistute heleduste vanusereaga kaardritele 186-19 186-20 ja 187-19 (joonised 7, 8 ja 9) ning tegime visuaalse analüüsi saadud maskidele, et hinnata valitud nivoo sobivust. Kaadri 186-19 liitpildil ja kaadril 187-19 osutus sobivaks heleduse nivoo $2002lagendike_keskmine-standardhälve$, kaadri 186-20 sobis nivoo $2002lagendike_keskmine-0,5*standardhälve$ (tabel 3).

Tabel 3. 2002. aasta lagendike heleduste statistikud ning lagendike maski koostamiseks kasutatud heleduse nivoo

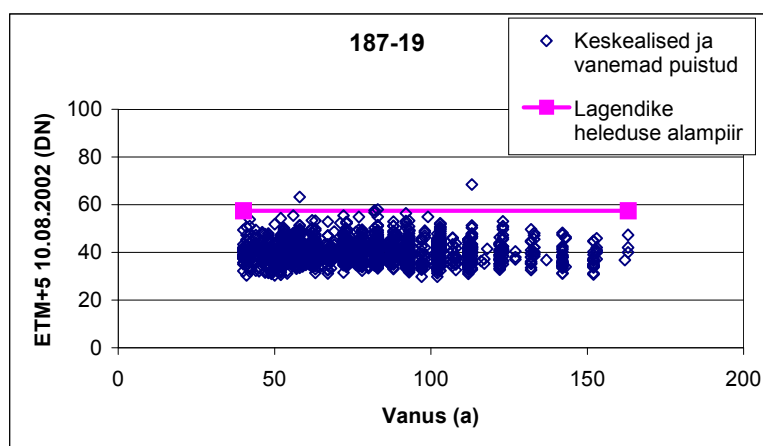
Kaader	Kuupäev	Kanal	2002. aasta raiealade		
			Keskmine (DN)	Standardhälve (DN)	Kasutatud eristusnivoo (DN)
186-19	liitpilt	5	87,3	16,0	71,3
186-20	19.08.2002	5	74,2	26,9	60,7
187-19	10.08.2002	5	74,3	16,8	57,5



Joonis 7. Kaadril 186-19 olevate keskealiste okaspuupuistute heledused vanuse järgi ning varasemate 2002. aasta lagendike eristusnivoo



Joonis 8. Kaadril 186-20 olevate keskealiste okaspuupuistute heledused vanuse järgi ning varasemate 2002. aasta lagendike eristusnivoo



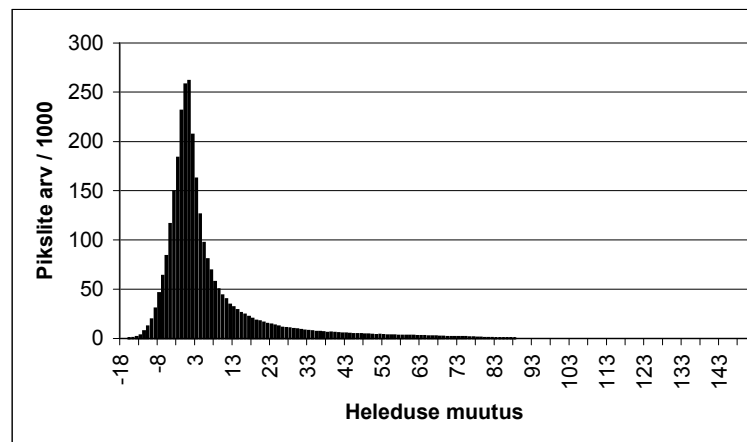
Joonis 9. Kaadril 187-19 olevate keskealiste okaspuupuistute heledused vanuse järgi ning varasemate 2002. aasta lagendike eristusnivoo

Kuigi raiekraad on heleduse muutusega tavaliselt hästi korreleeritud, siis nõrgemate harvenduste puhul korrelatsioon kahaneb. Lageraidetaolisi muutuseid saab aga käsitleda JAH/EI tunnusena, kuna heleduse muutus on piisavalt suur ning nähtus ise üldiselt hästi tunnetatav. Muutuse tõlgendaja ülesandeks jääb leida heleduse muutus, mida saaks veel klassifitseerida kui lageraiet. Kasutatud on mitmeid lähenemisi alates lihtsalt mingi jäiga diskrimineerimisnivoo rakendamisest (Peterson, 2003), kuni suhteliselt keerukate klassifitseerimis- ja segmenteerimisprotseduuride ning töötlusskeemideni (Saksa jt, 2003), on end õigustanud ka üsna lihtne hägusel loogikal põhinev eristusvõtte (Uiga jt, 2003), mida kasutasime ka eelnevates projektides (Lang jt, 2002; Lang ja Lükk, 2004). Heleduse muutuse kaliibrimiseks kasutatakse valikut näidisalasid, mille pindala on teada. Teisendades heleduse muutuse piksli lagedaks raiumise tõenäosuseks sobitatakse iteratiivse algoritmi (2) abil heleduse teisendusese parameetreid seni, kuni teadaoleva pindala ning rasterpildilt arvutatud pindala erinevused on kõige väiksemad.

$$\left(\sum S_{ref} - \sum S_{sat}\right)^2 \rightarrow \min, \text{ kus:} \quad (2)$$

S_{ref} näidisala pindala takseerandmete alusel;
 $S_{sat} = \sum S_{pix} p_{pix}$ näidisala pindala satelliitpildilt hinnatuna;
 S_{pix} ühe piksli pindala;
 $p_{pix} = 1 - \cos^2\left(\frac{\pi(x - a_k)}{2(b_k - a_k)}\right)$ piksli lagedaks raiumise tõenäosus heleduse muutuse järgi e. *fuzzy* funktsioon. (juhul kui $x > b$, siis $p=1$ ja kui $x \leq a$, siis $p=0$);
 a_k, b_k tõenäosustele 0 ja 1 vastavad heleduse muutuse väärtused;
 x heleduse muutus digitaalnumbrites.

Heleduse muutuse kaliibrimiseks teisendati esmalt muutuste pildid esialgseteks raiete kaartideks võttes lageraiete lageraidesarnaste muutuste eristusnivooks muutuse +23DN nagu soovitab Uiga (2003). Joonis 10 kujutab pikslite heleduste muutuste sagedusjaotusest kaadril 186-20. Umbes 10% pikslite heledus on kasvanud 23 ja rohkem DN. Muutuste piltide visuaalsel kontrollimisel selgus, et enamasti on lageraidealade muutus oluliselt suurem kui +23 DN, mis sobib seega üsna esmase raiete kaardi koostamiseks. Saadud kaardilt otsiti riigimetsade eraldiste vektorkihist alasid, mis ilmselgelt olid raiutud analüüsitaval ajavahemikul eraldise piiride järgi. Tabelis 4 on kaliibrimisalade arv kaadril, alade keskmine pindala ning kogupindala vektorkaardi järgi.



Joonis 10. Muutunud pikslite (mets) jagunemine muutuse suuruse järgi kaadril 186-20. Suurema muutusega kui +23DN on peaaegu 10% pikslitest

Tabel 4. Heleduse muutuse kaliibrimiseks esialgselt raiete kaardilt valitud alade arv analüüsitud satelliitpildidel

Kaader	Arv	Keskmine pindala (ha)	Kogupindala (ha)
186-19	116	3,5	409,5
186-20	78	2,6	206,9
187-19	70	3,1	218,7
188-19	116	2,5	285,0

Heleduse muutuse lageraidetõenäosuseks teisendamise eeskirja (2) parameetrite a_k ja b_k väärtused on tabelis 5. Kuna sobitatakse pindala, siis võib eeldada, et saadud kaartidelt on võimalik pindala ka hinnata. Pindalahinnangu vea teadasaamiseks korraldati 1000 *bootstrap* katset, kus igas katses võeti kaliibrimisaladest tagasipanekuga juhuslik valim ning valimi alusel saadud a_k ja b_k väärtuste järgi arvutati rasterpildilt pindala. Katsete tulemusena saadud pindalade vektorile arvutati standardhälve, mida võib käsitleda tegelikult eksisteeriva valimi standardviga (Sokal ja Rohlf, 1994). Tabelis 5 toodud a_k ja b_k väärtusi kasutades teisendati heleduse muutuste pildid raiete rasterkaartideks. Pindalahinnangu viga ei hõlma võimalikke süstemaatilisi nihkeid, mis võivad tekkida maskide vigadest servades. Servades olevate pseudolageraidealade tõttu tekib tavaliselt kogupindala hinnangusse väike positiivne süstemaatiline viga, mida on kvantitatiivselt üsna raske hinnata. Tabelis 5 on ka keskmine raiealadel tekkinud heleduse muutus (DN). Keskmise heleduse muutuse järgi ning parameetrite a_k ja b_k hinnangute põhjal võib oletada, et tulemuseks saadaval raiete kaardil on lisaks lageraietele ka palju selliseid alasid, kus välja on raiutud vähem, kui lageraide definitsioon (täius < 0,3) ette näeb. Siiski ei saa kvantitatiivset hinnangut anda enne, kui tehtud välikontroll vähemalt sajal heleduse muutuse poolest eristusnivoo alumise piiri lähedale jääval alal.

Tabel 5. Näidisalade alusel võrrandile (2) leitud parameetrite a_k ja b_k hinnangud ning 1000 *bootstrap* katse alusel hinnatud kogupindala hinnangu viga 95%-lise usaldusnivoo juures

Kaader	a_k	b_k	Keskmine muutus raiealadel (DN)	Pindalahinnangu viga %
186-19	28,17	37,17	56,08	2,54
186-20	24,63	32,30	52,46	2,46
187-19	27,77	36,43	66,44	3,08
188-19	14,34	22,53	33,88	2,01

Raiete kaartidele jäeti alles alad, mis koosnesid vähemalt neljast (kaardil 186-20 ei arvestatud kokkupuuteid diagonaalsuunas rohkete servades tekkinud piklike pseudoraiealade tõttu) või viiest kõrvuti olevast pikslist. Pindalaliselt tähendab see, et kõige väiksemad heleduse poolest lageraietega sarnanevad alad on kaartidel kas 0,36 (kaardil 186-20) või 0,45 ha. Alla nelja või viie piksli suurused muutunud alad on enamasti müra kui vaatleme lageraidesarnaseid muutusi. Väiksema heleduse muutuse analüüsil, näiteks harvendusraiate eristamisel on väikseim usaldusväärselt eristatav ala suurem kui lageraidesarnaste muutuste korral.

Subjektiivse eskperthinnangu alusel valiti raiete kaardilt objekte ning kontrolliti need looduses üle. Tähelepanu pöörati neile objektidele, mille kohta tekkik kahtlus, kas tegemist on tegeliku raiealaga, servamõju tagajärjel või muul põhjusel (näiteks noorendik, mis läbis varasema pildi järgi seatud heledate alade filtri) raiekaardile jõudnud alaga.

Kuna Eestis kasutatakse praktikas põhiliselt vektorandmestikul töötavaid geoinfopakette, siis viimase sammuna teisendati rasterkaardid vektorvormingusse. Hõlbustamaks kaartide kasutuselevõttu konverteeriti andmed ka Mapinfo TAB failivormingusse. Saadud kaardid on kaasas aruande lisana.

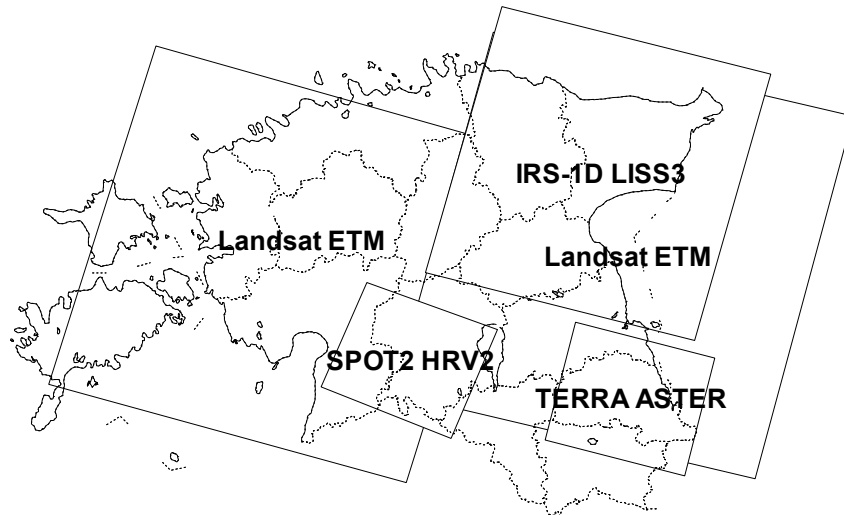
Tulemused ja arutelu

Numbrilisel kujul pilte, milleks on ka satelliitpildid, võib ette kujutada andmebaasi andmekihtidena. Kui vektorvormingus andmestiku, nagu tavapäraselt on metsaeraldise piirid metsakorralduse andmestikus, kasutamine on üsna laialt levinud, siis rasterandmete rakendused piirduvad tavaliselt kihi (näiteks ortofoto) kaardile taustapildiks lisamisega. Vektorandmestiku eeliseks võrreldes rasterandmetega on paljudel juhtudel oluliselt väiksem andmemah. Lisaks on rasterandmete töötlemiseks tarvis spetsiaalseid GIS programme - näiteks MapInfos, mis on Eestis üsna levinud kaardiandmete haldamise vahend, rasterandmestiku töötlemist standardlahendusena kaasas ei ole. Rasterkujul andmete üks põhilisi omadusi on ühe rasti elemendi ehk piksli suurus looduses. Iga pikslile vastab andmetes mingi numbriline väärtus. Satelliitpiltide puhul tekib iga pildi jaoks niipalju rasterkihte, kui on sensoril kanaleid (ehk mitut erinevat värvi, mis võivad olla ka väljaspool inimsilma tundlikkuse ala, võimaldab konkreetne seade eristada). Satelliitpiltide puhul on oluline ka see, kui mitut erinevat heleduse taset suudab sensor eristada - tavaliselt 128, 256, 1024. Konkreetse rakenduse tarbeks tuleb seega valida pildid, millel on piisav ruumiline lahutusvõime, mis on tehtud selektromagnetkiirguse spektri selles osas (värv), kus meid huvitavad tunnused objektide heledusele olulist mõju avaldavad ning millel on piisavalt heleduse eristuse nivoosid, et heleduse muutus ka rasterpildile salvestatud numbrites kajastuks. Ühe lisakomponendina tuleb muidugi arvestada ka piltide maksumust ruutkilomeetri kohta.

Raiete kaardistamiseks Eestis on hinna ja kvaliteedi suhtelt kõige sobivamaks osutunud Landsat-5 TM ning Landsat-7 ETM+ pildid. Kahjuks on Landsat-7 ETM+ alates 31. maist 2003 tehnilise rikke tõttu rivist väljas (USGS, 2005), ning vähemalt esialgu ei ole lähiajal plaanis sarnast satelliiti orbiidile saata. Landsat-5 TM on aga oma esialgselt planeeritud elueast töötanud juba viis korda kauem ning piltide kvaliteet (eriti radiomeetriline tundlikkus) kahaneb. Alternatiiviks oleks kasutada satelliitide SPOT seeria satelliitide (SPOT-4 ja SPOT-5) pilte. SPOT pildid on väiksemad (joonis 11) kuid nende ruumiline lahutusvõime on parem (20 m multispektraalsetes kanalites), aga samas on pildid ka kallimad. Näiteks maskab üks SPOT-4 pilt keskmiselt 2700 eurot, Landsat-5 TM pilt aga 1500 eurot.

Landsat TM ja Landsat ETM+ piltide ruumiline lahutusvõime on raiete kaardistamiseks sobivates kanalites 30m. See määrab ka, kui väikesi häilusid on võimalik usaldusväärselt kaardistada. Kahte satelliidiülesvõtet ei õnnestu kunagi ideaalselt teineteise kohale sobitada ja heleduste erinevuste pildil, mis saadakse kaht pilti omavahel lahutades, tekib seetõttu näiteks teede äärde ja muude maastikul esinevate kontrastsete servade ligidale piksleid, millele saadakse suur signaali muutus. Põhjuseks on lihtsalt see, et ühel pildil on pikslist enamus olnud näiteks heledal heinamaal ja teisel pildil tumeda metsa kohal. Samas võib heleduse muutus tekkida ka sellest, et metsas on toimunud puistu heledust mõjutavad muutused. Üksikute piksli korral ei ole lihtsal viisil usaldusväärselt võimalik otsustada, kas tegemist on raidega või mitte. Uurimine on näidanud, et alates sellest, kui vähemalt viis (neli) kõrvuti olevad piksli on sarnase suure heleduse muutusega, siis võime muutuste pildilt leitud ala lisada (lage) raidealade hulka. Seega 30m suuruste piksli korral on kõige väiksemaks usaldusväärselt eristatava ala suuruseks 0,36...0,45 ha. Teisel varasemad kogemused näidanud, et juba 30 meetrise läbimõõduga ala lagedaks

raiumine mõjutab oluliselt rohkem kui ühte pikslit, kuna tavaliselt ei satu raideala ainult ühe piksli peale. Seega võib arvata, et raiete kaardil olevad nelja kuni viie piksli suurusel alad vastavad looduses palju väiksematele aladele. Siiski on praktiliselt võimatu kaardilt kõrvaldada servades tekkivaid väikeseid pseudoraidealased, kuna on ka servas võib olla tegelikult raie või tormikahjustus (viimane on üsna tavaline). Kasutades näiteks SPOT pilte, mille piksli suurus on 20m, kahaneks servaeffektist tulenev müra raiete kaardistamise jaoks oluliselt, kuna pilte saab täpsemalt üksteise suhtes paika panna. SPOT piltidel esindaks viie piksli suurune grupp maapinnal ala suurusega 0,2 ha.



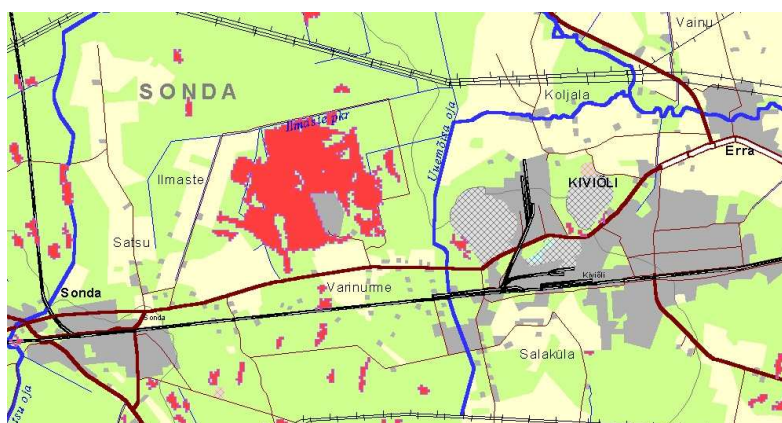
Joonis 11. Mõnede metsanduslikeks rakendusteks sobivate satelliitskannerite pildiväljade suurused maapinnal

2004. aastal kontrollisid Keskkonnainspeksiooni metsaspetsialistid eelmise kahe projekti (Lang jt, 2002; Lang ja Lükk, 2004) tulemusena saadud raiete kaartidelt juhuslikult valitud 667 ala ja selgus, et peamiselt väikeste (enamasti 4..6 pikslit) pseudolageraidealade pindala oli 8% kogu valimi pindalast. Viga esines peamiselt Metsamaski (Peterson, 2003) vigade tõttu kirde ja läänepoolsetes servades ning nurkades tekkinud pseudoraiealade pindala oli sealhulgas 5% kogu valimi pindalast kaardil. Seekord filtreerisime metsamaski omakorda baaskaardi ((C) Maa-amet) looduslike alade kihiga ning seetõttu on eeldatavalt metsamaskist tulenev pindala hinnangu nihe väiksem. Oluline oleks lähiajal uuemaid ja parema ruumilise lahutusvõimega satelliidipilte kasutades täpsustada metsade kaarti (metsamaski).

Käesolevas projektis kasutasime pildipaarides koos suviseid ning kevadtalviseid lumikattega pilte. Kuna lumikattega pildid olid 2005. aastast ehk hilisemad siis lahutades hilisemast pildist varasema, tekkis raidega sarnane heleduse muutus ka aladel, mis olid varasemal pildil tegelikult juba lahedad või siis üsna hõredad. Seetõttu oli tarvis seada andmetele filter, mis eemaldaks alad, mis olid varasemal pildil lagedad. Filtermaski tekitamiseks klassifitseerisime varasema pildi heleduse järgi kaheks: lage ala ja mets. Eristusnivoo püüti valida sellisel, et võimalikult palju varasema pildi lagedaid alasid eemaldada ning teisalt mitte kustutada alasid, mis on vana, aga näiteks hõre ja heledam

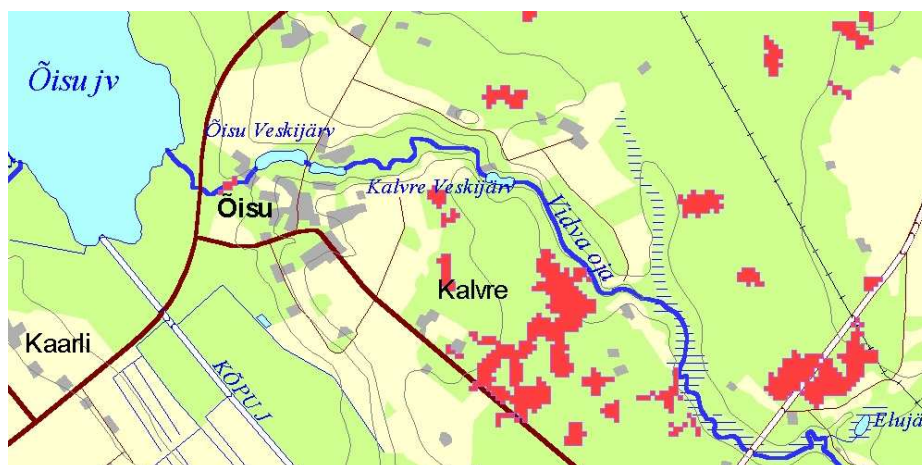
mets. Arvatavasti jäi siiski kaardile ka alasid, kus tegelikult raiutud ei olnud. Sellised alad esinevad suurema tõenäosusega näiteks hõredates metsades, eriti soometsades ning varasematel tormikahjustustega aladel. Näiteks Emajõe-Suursoos on mitu sellist pseudoraieala.

Tulemusena valminud Mapinfo vormingus kaartidelt saab lihtsalt päringuid teha pindala (väli *Pindala* andmetabelis) järgi, et leida näiteks suured langid. Näiteks Sonda lähedale rajatava Põhja-Kiviõli põlevkivikarjääri aladelt on raiutud mets 211 hektaril (joonis 12). Ühe näitena on joonisel 13 Õisu lähedal olev 30 ha suurune raieala mis looduses koosneb loodetavasti eraldiseisvatest lankidest. Rõuge vallas on näiteks tuua 71 ha suurune lagedaks raiutud ala riigikaitsemaal (joonis 14).



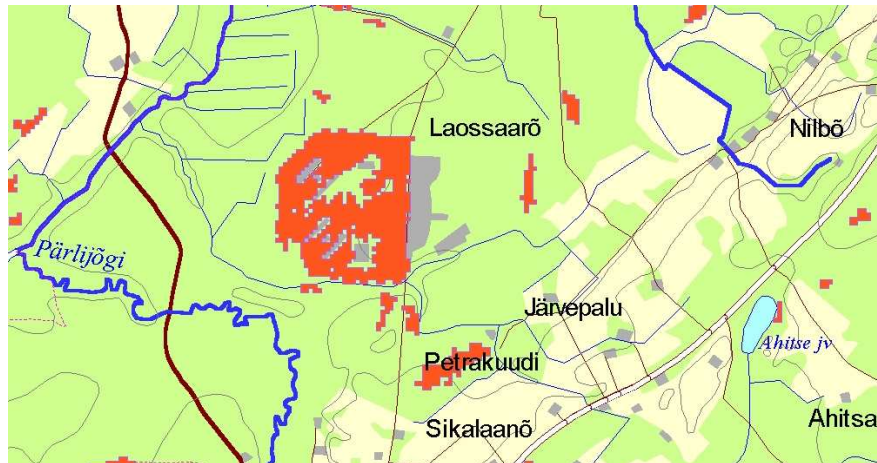
M 1 : 100000

Joonis 12. Põhja-Kiviõli põlevkivikarjääri alal on mets maha raiutud. Lageraidealad on tähistatud punasega. Taustaks on Eesti baaskaart



M 1 : 50000

Joonis 13. Suhteliselt suured langid Õisu lähedal. Lageraidealad on tähistatud punasega. Taustaks on Eesti baaskaart



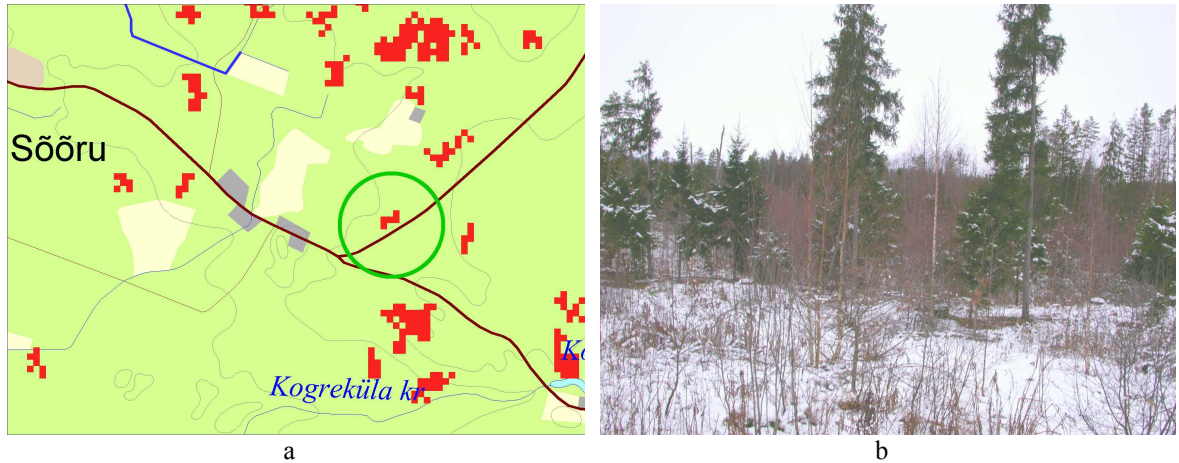
M 1 : 50000

Joonis 14. Suur lageraidealala Rõuge vallas. Lageraidealad on tähistatud punasega. Taustaks on Eesti baaskaart

Lõpuks mõned näited välikontrollil saadud kogemustest ning soovitused raiete kaartide kasutamiseks ning võimalike pseudolageraidealade tubaseks äratundmiseks. Joonisel 15 on kaardile tekkinud ala Saadjärve ääres Kukulinnas. Tegelikult on seal hoopis roostik. Valehäire tekkimise põhjuseks on siin esmajoones Baaskaardi viga. Osajoonisel 15a oleval kaardil Saadjärve ning kaardil oleva raieala kõrvalt mööduv tee on küll õigel kohal, aga tee ja järve vahel rohelisega näidatud looduslik ala (Baaskaardi kohaselt) on tegelikult roostik. Raiealast kirdesse liikudes kulgeb aga tee peale Vedule suunduvat haru praktiliselt järve äärest, samas kui kaardilt lugedes peaks seal olema 100m laiune looduslik ala. Ringiga märgitud raiealast kagusse jääva raieala on tegelikult üleujutatud surev hõre sookaasik. Eristumise põhjuseks on see, et suvepildil on TM viiendas kanalis vee tõttu sellised alad tumedad aga talvepildil paistab hõredast metsast hästi läbi lumi ja jää. Selliste alade eemaldamiseks tulnuks rasterkaarti filtreerida mõne varasema talvepildi järgi tehtud filtriga.

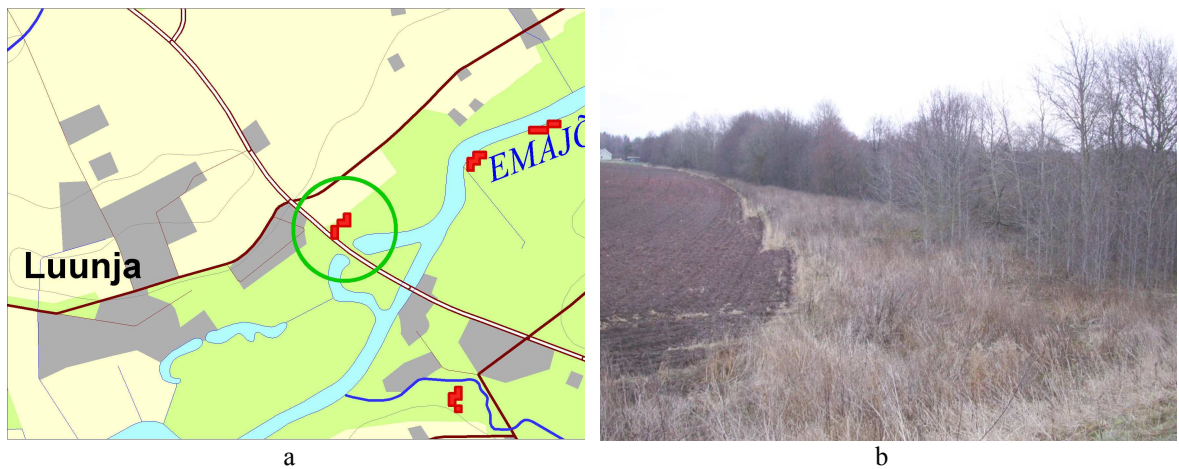


Joonis 15. Rohelise ringiga on tähistatud kaardil olev raieala (a) ning foto (b) samast alast, mis näitab et tegemist on hoopis roostikuga



Joonis 16. Rohelise ringiga on tähistatud kaardil olev raideala (a) ning foto alast (b)

Joonisel 16a on rohelise ringiga tähistatud üks Jõgevamaal Pala vallas Sõõru küla lähedal olev pindala poolest kõige väiksem (viis pikslit) lubatud muutuseala. Kohapeal selgus, et tegemist ongi raidealaga. Seega on üsna tõenäoline, et ka paljud teistest miinimumsuurusega raidealadest on ka tegelikult raidealad. Siiski on neist üsna paljud ka lihtsalt müra, millest raidealade eristamine meile kasutada olnud andmestike abil ei ole kahjuks võimalik. Seega jäeti kaardile alles ka üsna väikesed alad, mis võivad olla müra, aga kasutajale jääb alati võimalus sellised alad pindala järgi kaardilt välja jätta.



Joonis 17. Rohelise ringiga on tähistatud Emajõge ületava silla lähedal olev raideala (a) ning foto samast alast (b)

Joonisel 17a ja 17b on näide serva, heleda naabruse ning metsamaski vea koosmõjust. Küntud põllu ning jõeäärse metsa vahele jääb umbes 40m laiune söötis riba. Lumi on siledal põllul hele ning see mõjutab nii segupikslid kui ka naabruses olevaid lähemaid pikslid (kuigi oluliselt vähem). Lisaks oleks pidanud see söötis ala vähemalt metsamaski järgi olema mittemets. Arvatavasti on pseudoraiealad ka kaks Kirdepoole Emajõe äärde jäävat objekti.



Joonis 18. Rohelise ringiga on tähistatud Veriora vallas Leevi lähedal olev raideala (a) ning foto samast alast (b)

Joonisel 18a ja 18b on toodud ala, mis nii kaardil kui ka looduses osutub raidealaks. Samas on Jõeveere lähedal olev väike raiet kaardil olev ala, mis jääb Baaskaardi järgi ka tee peale pseudoraideala.

Kokkuvõtteks võib öelda järgmist. Suviste ning talviste piltide võrdlemisel tehtud raiete kaardid sisaldava praktiliselt sarnaselt suvi-suvi pildipaaride võrdlusel saadud raiete kaartidele raiealaid, mille tagajärjel tekkiv heleduse muutus viitab lageraietele ning mis on rasterkaardi järgi suuremad kui 4-5 pikslit (0,36 ...0,45 ha). Talvetingimuste iseärasuste tõttu võib kaartidel olla pseudoraidealaid eriti hõredates soo, lammi jms metsades. Kasutatud numbriliste kaartide vigade tõttu võib olla kaartidel pseudoraidealaid, mis tegelikkuses on hoopis näiteks roostikud või madalad lammialad. Lisaks võib olla raiete kaardil raie märgitud kohta, mis kohapeal osutub viljakal kasvukohal kasvavaks 3-5 m kõrguseks lehtpuuenamusega noorendikuks - viga tekkib sellest, et vanuse kasvades puistu heledus kahaneb kiiresti aga puistuomaselt ning osad sellised puistud olid tumedamad kui kasutatud heledate alade filtreerimisnivoo. Seega on kaardi kasutajatele soovitus võimalusel enne välikontrolli kasutada olemasolevaid kaarte (näiteks www.maaamet.ee oleva avalik kaarditeenus või takseerandmed) ning kontrollida, kas tegemist võib olla pseudoraidealaga. Kui objekt selgub, et tegu ei ole serva, hõreda soometsa vms, siis on väljavalitud objekt suure tõenäosusega ka looduses tegelikult raiutud puistu. Teisalt selgus välikontrolli tulemusena, et ka väikesed raiete kaardil olevad alad on tihti viited raietele.

Viited

- Lang, M., Lükk, T., Uiga, R., 2002. Lageraiete kaardistamine satelliidi Landsat TM piltidelt. KIK 2001 aasta projekti nr 39 lõpparuanne. Tartu Observatoorium. Tõravere. Trükkis avaldamata.
- Lang, M., Lükk, T., 2004. Ajavahemikel 1992...1993 ja 2000...2002 tehtud lageraiete kaardistamine Landsat TM ja Landsat ETM piltidelt. SA Keskkonnainvesteeringute Keskus 2002. aasta metsanduse programmi projekti 14/3 lõpparuanne. Tartu Observatoorium, Tõravere. Trükkis avaldamata.
- Mather, P. M., 1994. Computer processing of remotely sensed images. An introduction. 351 lk. John Wiley & Sons, New York.

- Olsson H. 1994. Monitoring of local reflectance changes in boreal forest using satellite data. Remote Sensing Laboratory, Swedish University of Agricultural Sciences, Report 7, Umeå, Dissertation.
- Peterson, U. 2003. Forest Mapping for Eastern Baltic region with Landsat Thematic Mapper winter images. Research for Rural Development. Conference proceedings held in Jelgava, Latvia on 21-24 May 2003. Jelgava: Latvian University of Agriculture.
- Saksa, T., Uuttera, J., Kolström, T., Lehikoinen, M., Pekkarinen, A., Sarvi, V. 2003. Clear-cut detection in boreal forest aided by remote sensing. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18(6): 537-546.
- Sokal R. R., Rohlf F. J. 1994. *Biometry The Principles and Practice of Statistics in Biological Research*. 3rd ed., 887pp. W. H. Freeman Company.
- Uiga, R., 2003. Raiete avastamine satelliidipiltidelt ning harvendusraie kraadi ja heleduse muudu seose leidmine. Magistritöö. 51 lk. Eesti Põllumajandusülikool. Tartu
- Uiga, R, Lang, M., Lükk, T., 2003. Raiete kaardistamine kosmosepiltidelt. EPMÜ Metsandusteaduskonna toimetised nr 36: 142-161. Tartu.
- USGS, 2005. Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Võrguleht <http://eros.usgs.gov/products/satellite/landsat7.html>.

Lisad

LISA I Raiekaartide andmebaasi struktuur

Väljanimi	Tüüp	Selgitus
Ala_Id	Integer	Eristatud raieala ID ühe kaadri piires.
Algaeg	Date	Varasema sateliitpildi ülesvõtte tegemise kuupäev.
LoppAeg	Date	Hilisema sateliitpildi ülesvõtte tegemise kuupäev.
Kaader	Character (6)	Satelliidipiltide kaadri number <i>World Reference System</i> WRS süsteemis.
Toenaosus	Decimal(4,2)	Keskmine lagedaks raiumise tõenäosus heleduse muutuse järgi ala kohta keskmisena.
Pindala	Decimal(5,1)	Ala pindala hektarites.

LISA II Raiete kaardid CD plaadil

Tulemuseks saadud raiete kaardid on aruandega kaasasoleval CD-l.