

# Lähemalt kaugseirest

Sissejuhatus

Mait Lang  
[lang@aaai.ee](mailto:lang@aaai.ee)  
2014



TARTU OBSERVATOORIUM  
eesti kosmosekeskus



Euroopa Liit  
Euroopa Sotsiaalfond



Eesti tuleviku heaks



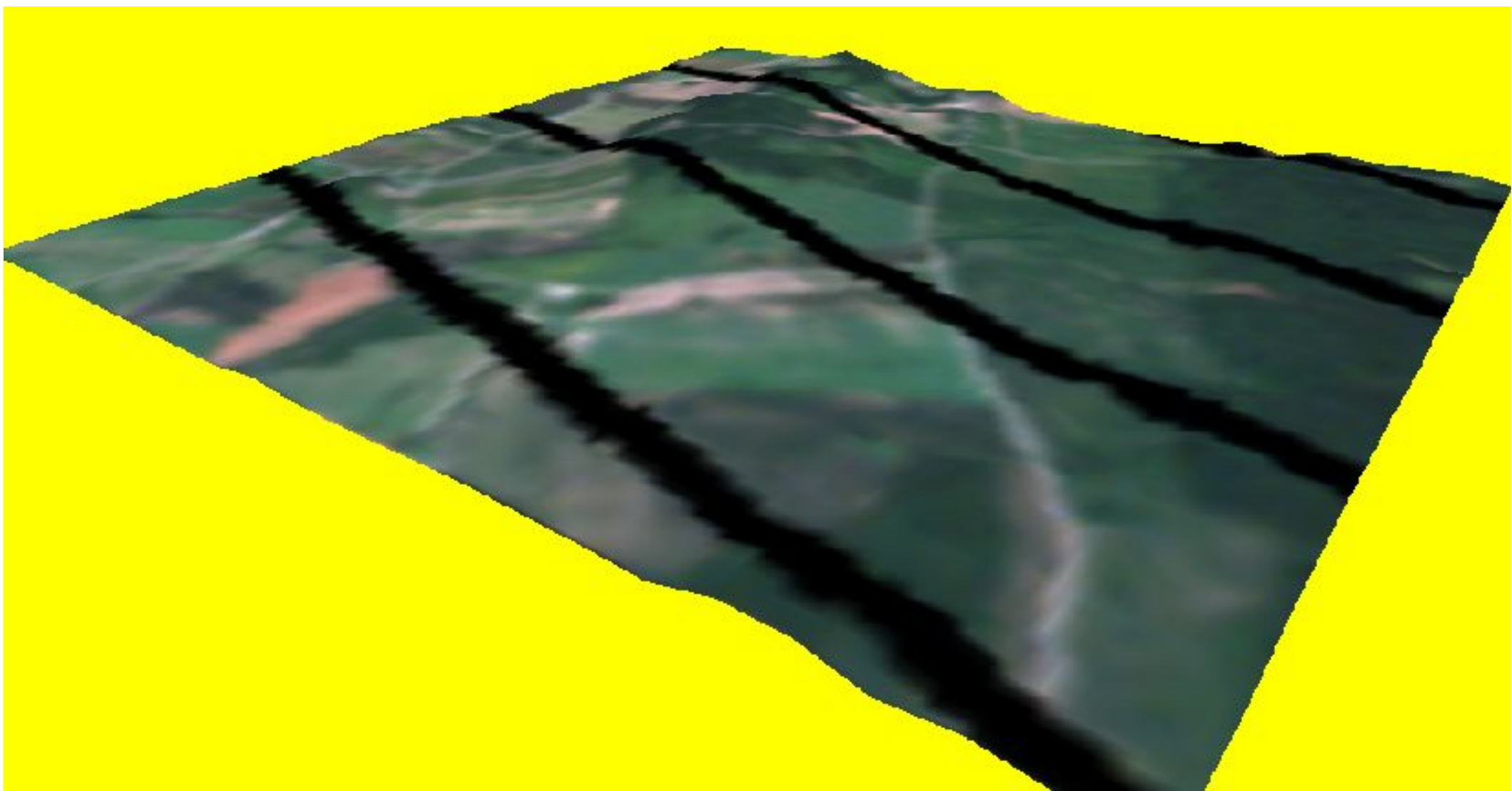
**Eesti Maaülikool**  
Estonian University of Life Sciences

Loengu koostamisel on kasutatud erinevaid eesti ja inglisekeelseid allikaid. Osa materjalist on ligipääsetav Interneti kaudu.

- Remote Sensing Tutorial (RST) (<http://rst.gsfc.nasa.gov/>)
- RST ([http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/index\\_e.php](http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/index_e.php))
- RST (<http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/rsmain.htm>)
- Wikipedia ([http://en.wikipedia.org/wiki/Remote\\_sensing](http://en.wikipedia.org/wiki/Remote_sensing))
- RST (<http://bubl.ac.uk/Link/r/remotesensing.htm>)
- Ülevaade (<http://earthobservatory.nasa.gov/Library/RemoteSensing/>)
- Euroopa Kosmoseagentuur (<http://www.esa.int>)
- NASA (<http://www.nasa.gov>)

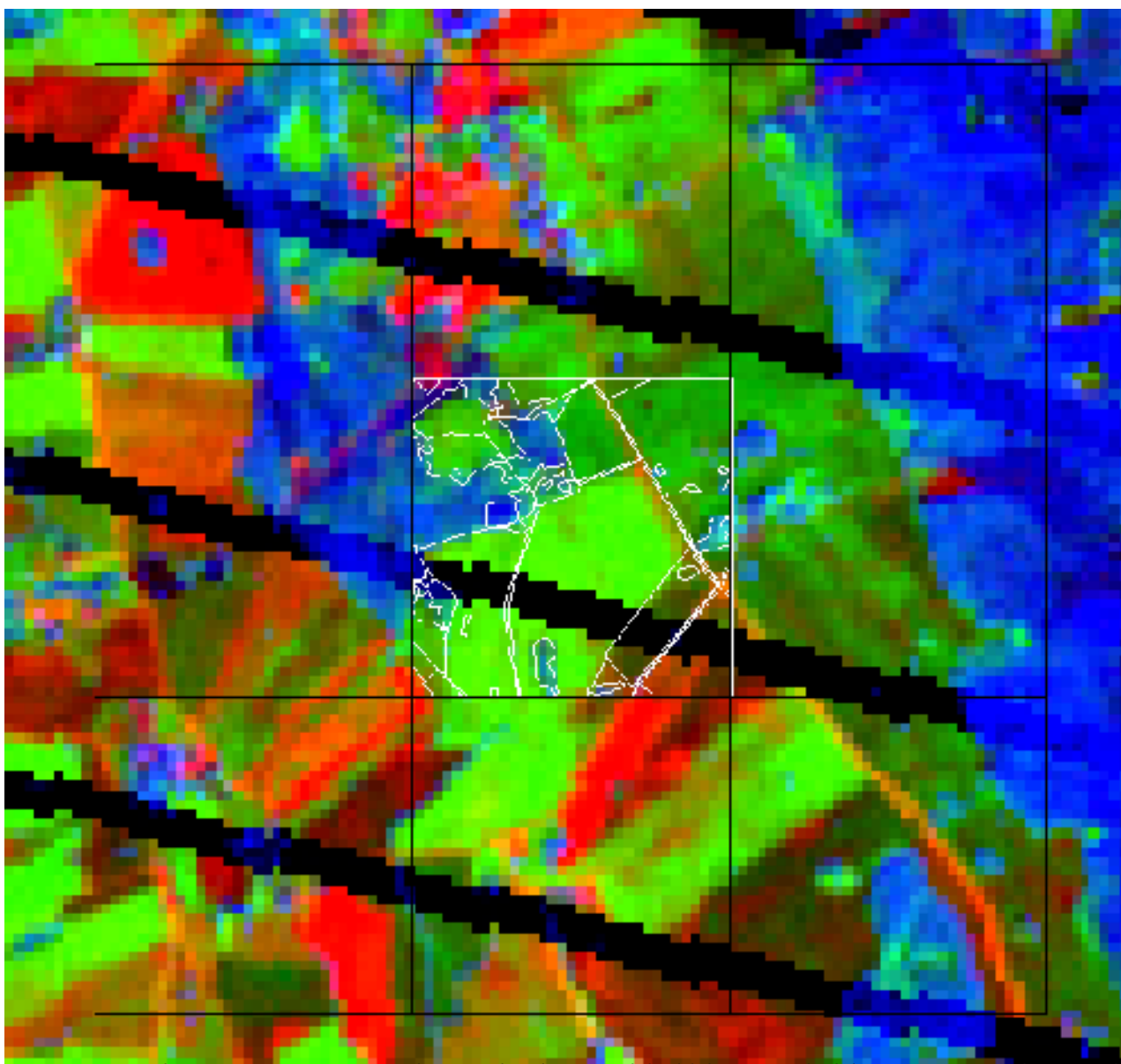
Loengu koostamisel on kasutatud erinevaid eesti ja inglisekeelseid allikaid. Osa materjalist on ligipääsetav Interneti kaudu.

- Remote Sensing Tutorial (RST) (<http://rst.gsfc.nasa.gov/>)
- RST ([http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/index\\_e.php](http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/index_e.php))
- RST (<http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/rsmain.htm>)
- Wikipedia ([http://en.wikipedia.org/wiki/Remote\\_sensing](http://en.wikipedia.org/wiki/Remote_sensing))
- RST (<http://bubl.ac.uk/Link/r/remotesensing.htm>)
- Ülevaade (<http://earthobservatory.nasa.gov/Library/RemoteSensing/>)
- Euroopa Kosmoseagentuur (<http://www.esa.int>)
- NASA (<http://www.nasa.gov>)



Vaade Emumäele kagust. Kujutis on koosneb satelliidi Landsat-7 ETM+ SLC-off moodis ülesvõttelt (29. juuni 2010) nähtava spektripiirkonna kanalite põhjal tehtud valevärvipildist ning Maa-ameti topolidariga ALS50-II lennukilt saadud maapinna kõrguse infost. Ala suurus on veidi üle 3x3 km.





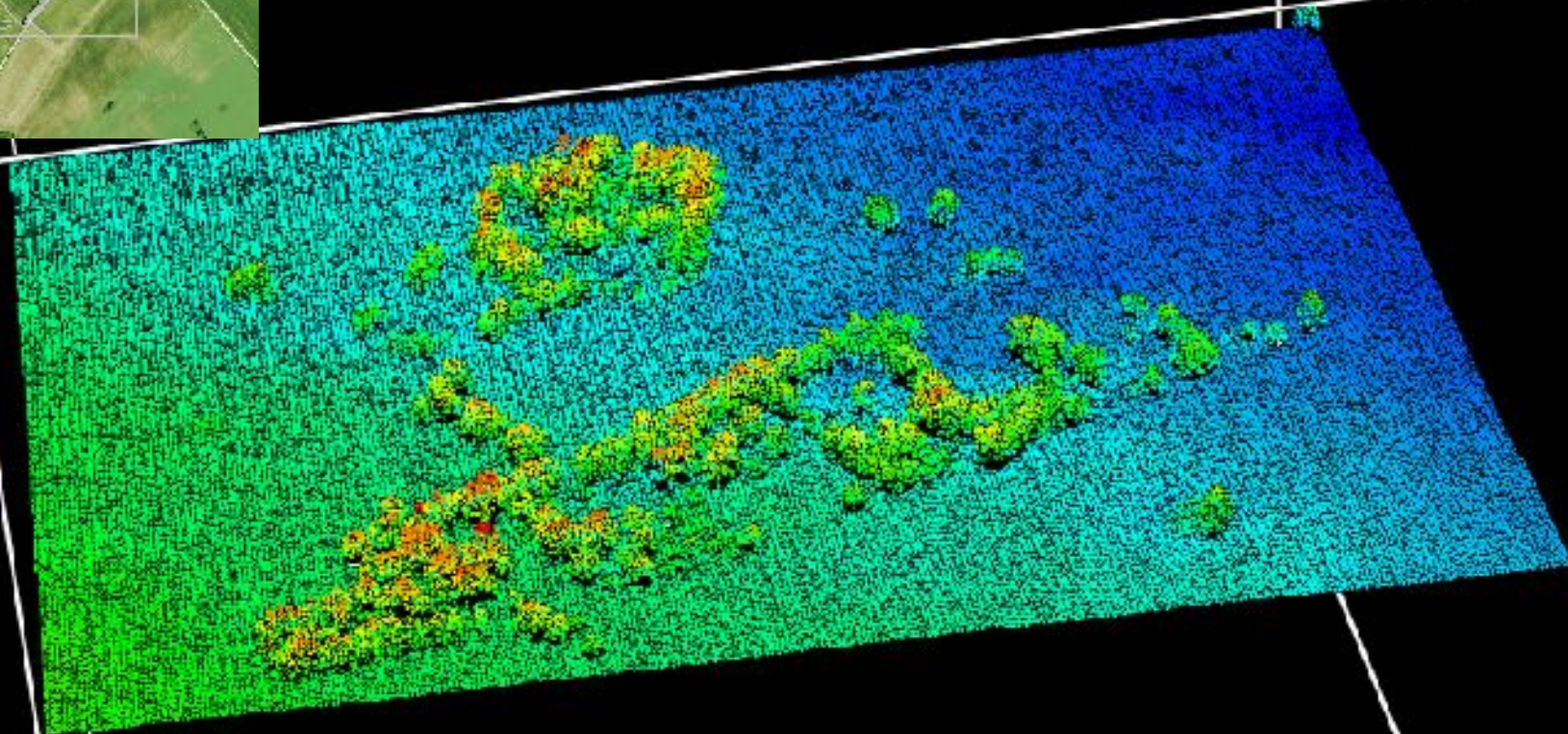
Ortofoto, ((C) Maa-amet)  
EBONE seireruudust EE04,  
kus on peamiselt põllumajanduslikud alad ja loodes veidi metsa.

Vaade Emumäele ülalt. Pildil on kilomeetrivõrk. Keskel on EBONE projekti maapealse seire ala. Valevärvipildil on värvisignaalid võetud järgmiselt: Landsat-7 ETM+ SLC-off moodis ülesvõttelt (29. juuni 2010) punase spektripiirkonna kanal - punane ja lähiinfrapunane kanal -roheline ning Maa-ameti topolidari ALS50-II andmetest arvutatud kõrgus maapinnast - sinine.



- FNW L JAH I colkit - tempdatxyz

Mon3



EBONE seireruudu EE04 idaküljel ja itta jääva ala kohta Maa-ameti toolidari ALS50-II abil saadud kõrgusinfo esitatuna värviliselt - sinine madalam, punane kõrgeim.







# Teemad

- Ilusad pildid, elektromagneetiline kiirgus ja spekter
- Sensorid ja seadmed
- Elektromagnetkiirguse mõõtmine
- Piksel ja rasterpilt
- Objekti spektraalne signatuur
- Lihtsamad pilditöötlusvõtted



**Kaugseire** on meetod eemal (peamiselt Maal) asuvate objektide kohta info saamiseks mittekontaktsete meetoditega, peamiselt **elektromagnetkiirguse** abil.

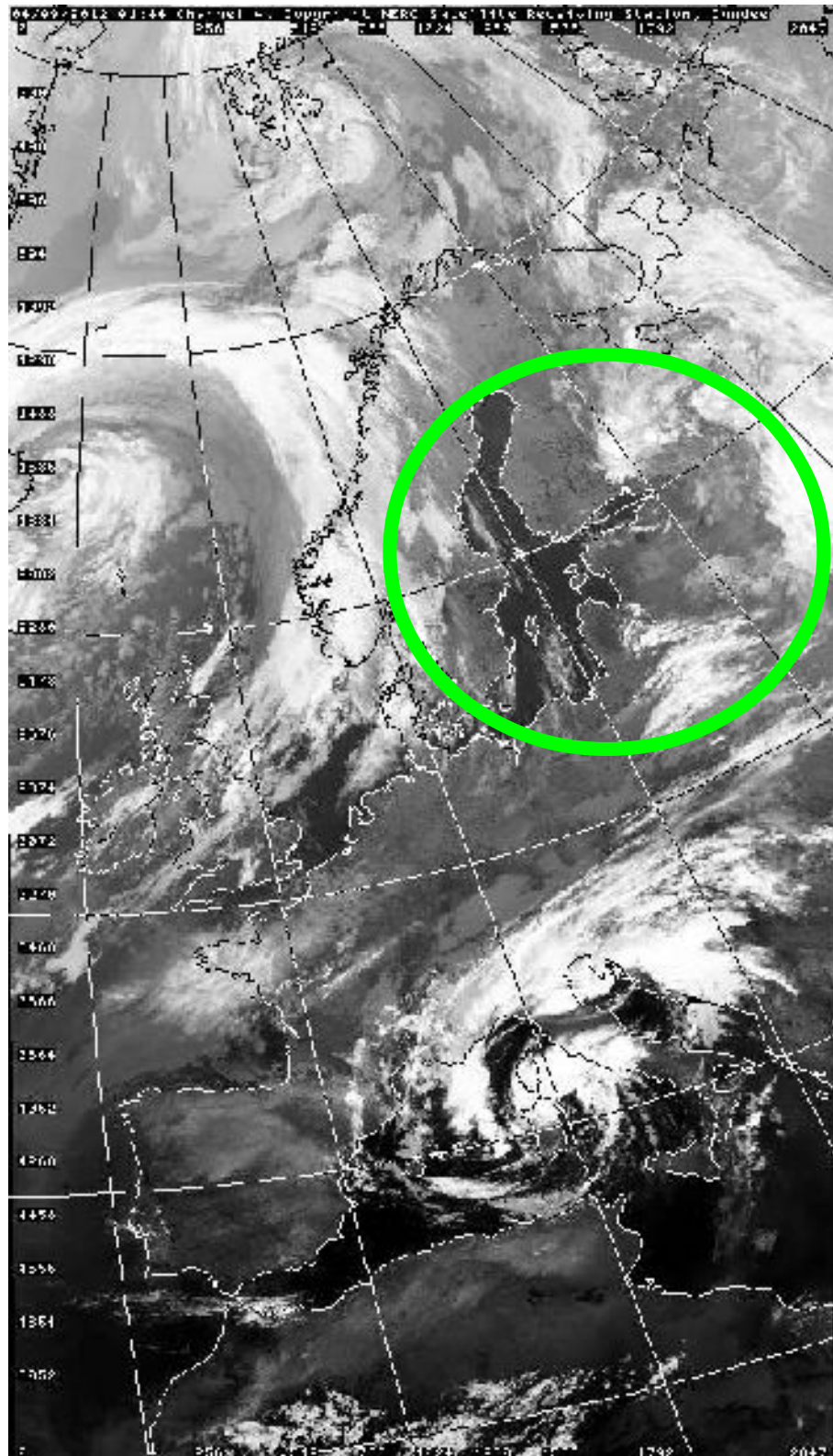
Satelliitidelt ja lennukitelt digitaaltehnikaga abil, aerofotod on kaasaegse kaugseire eelkäijaks.

Kaugseirel on rakendused ka näiteks kaasaegses meditsiinis, kus kasutusele on võetud praktiliselt samasugused meetodid.



Euroopa





NOAA AVHRR-4  
Soojuskiirguse piirkond

GMT 01:44 04.09.2012

<http://www.sat.dundee.ac.uk/>

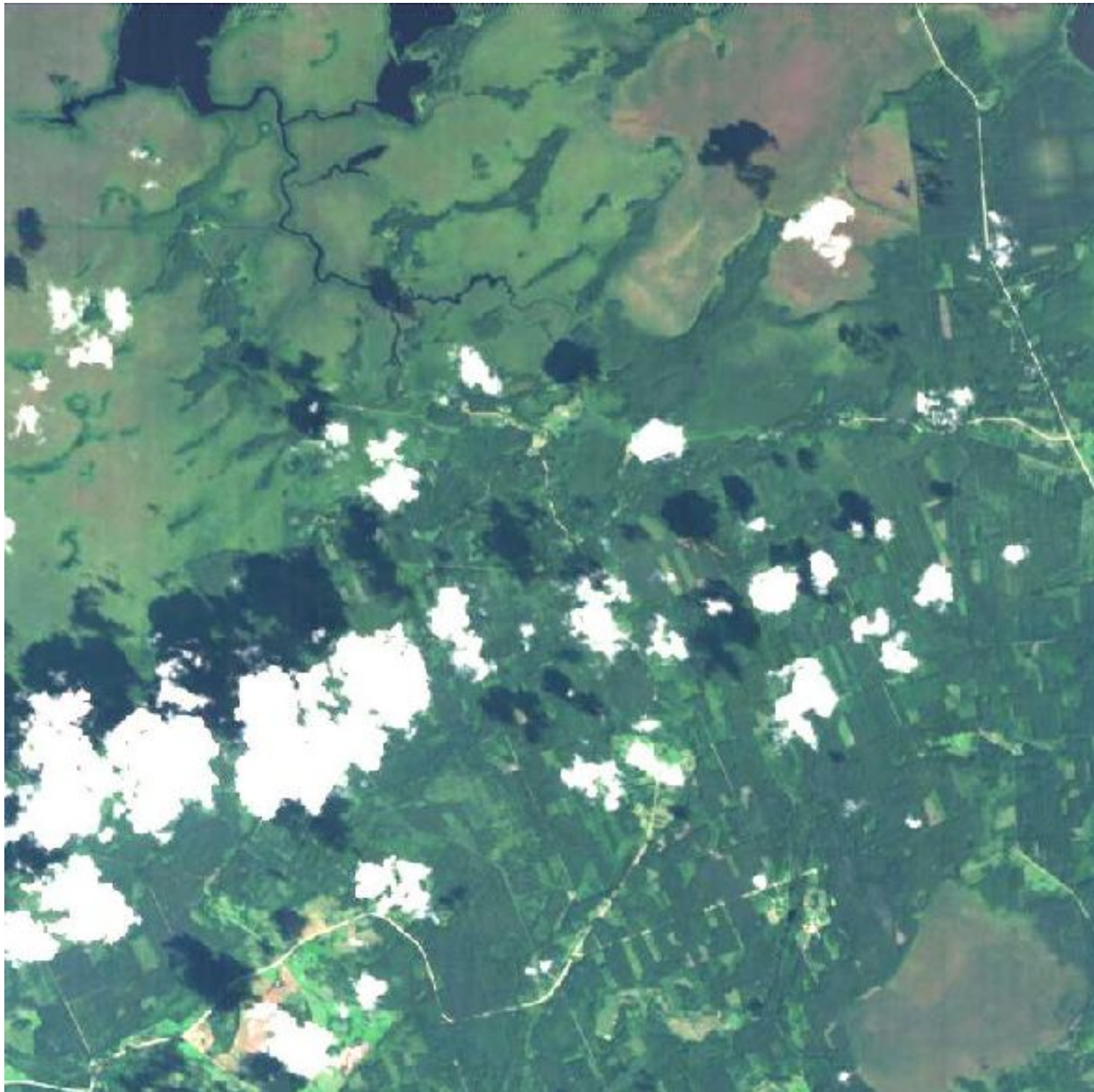


Ülevaade Emajõe  
Suursoo aladelt

SPOT-4 HRVIR  
05. juuli 2008

<http://sirius.spotimage.fr>





Ülevaade  
Järveljalt

CHRIS PROBA

21. juuli, 2009



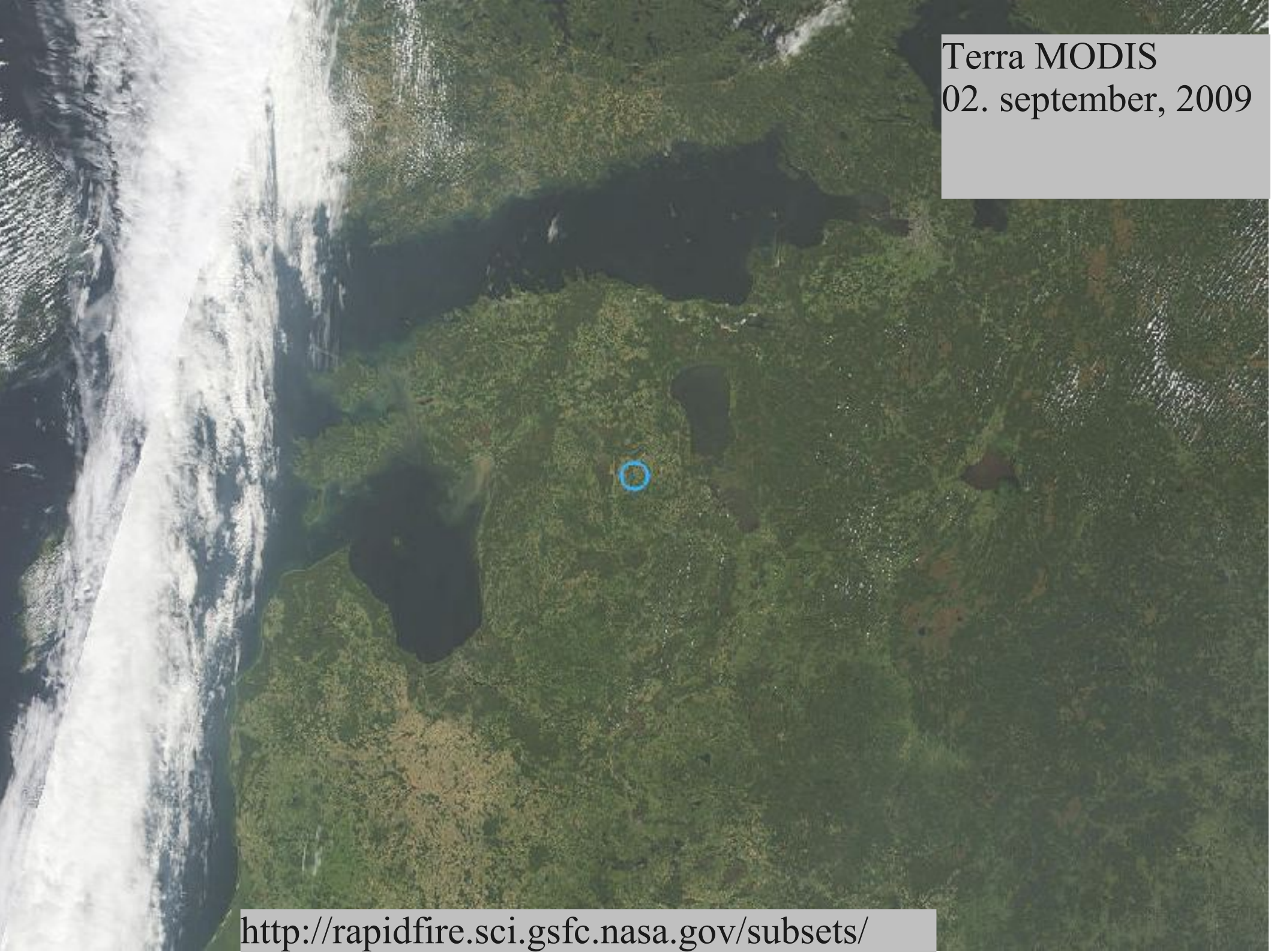


Landsat-5 TM  
27. august, 2011

<http://glovis.usgs.gov/>



Terra MODIS  
02. september, 2009



<http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets/>



A satellite image showing a large fire in a forested area. The fire is visible as a dark, irregular shape in the center-left of the image. The surrounding forest is shown in shades of green and brown. The image is a false-color composite, with the fire appearing dark and the forest in various shades of green and brown. The image is oriented vertically, with the top of the image at the top of the frame.

Terra MODIS  
02. september, 2012  
Valevärvipilt

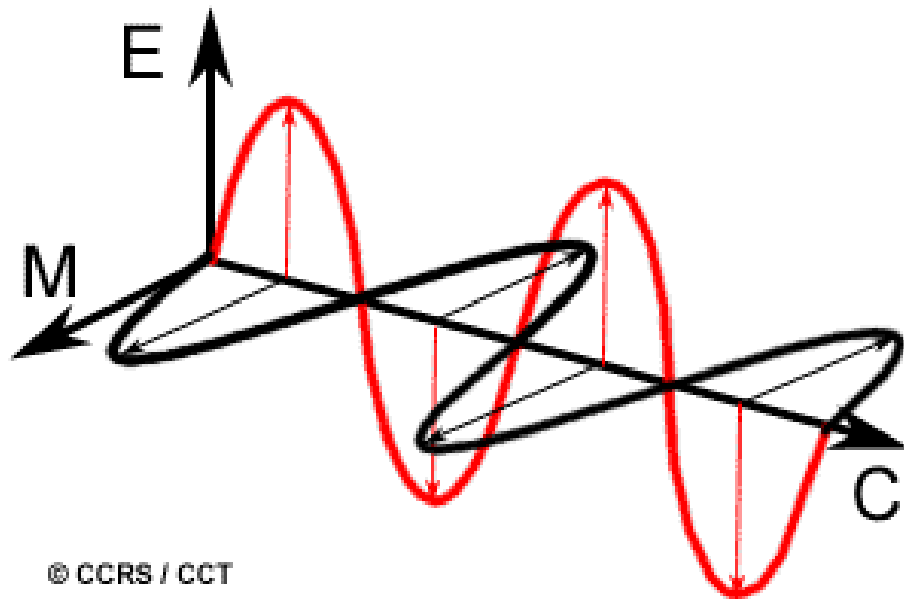
<http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets/>



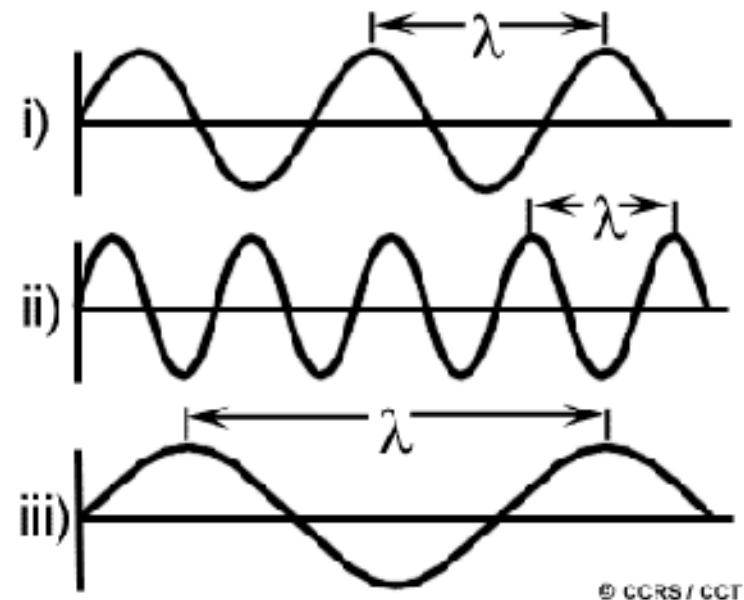
... objektidelt lähtunud või peegeldunud valgus ning muu elektromagneetiline kiigus (energia) võimaldab nähtusi tunnetada ...

Kõrvalseisja tunnetaks soojust. Silmaga on näha kollakaspunast valgust.

# EM kiirgus, lained



© CCRS / CCT



© CCRS / CCT

[http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/chapter1/02\\_e.php](http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/chapter1/02_e.php)

Elektromagnetkiirguse omadused sõltuvad lainetusteooriale tuginedes lainepikkusest  $\lambda$ , mis on seotud võnkesagedusega  $\nu$

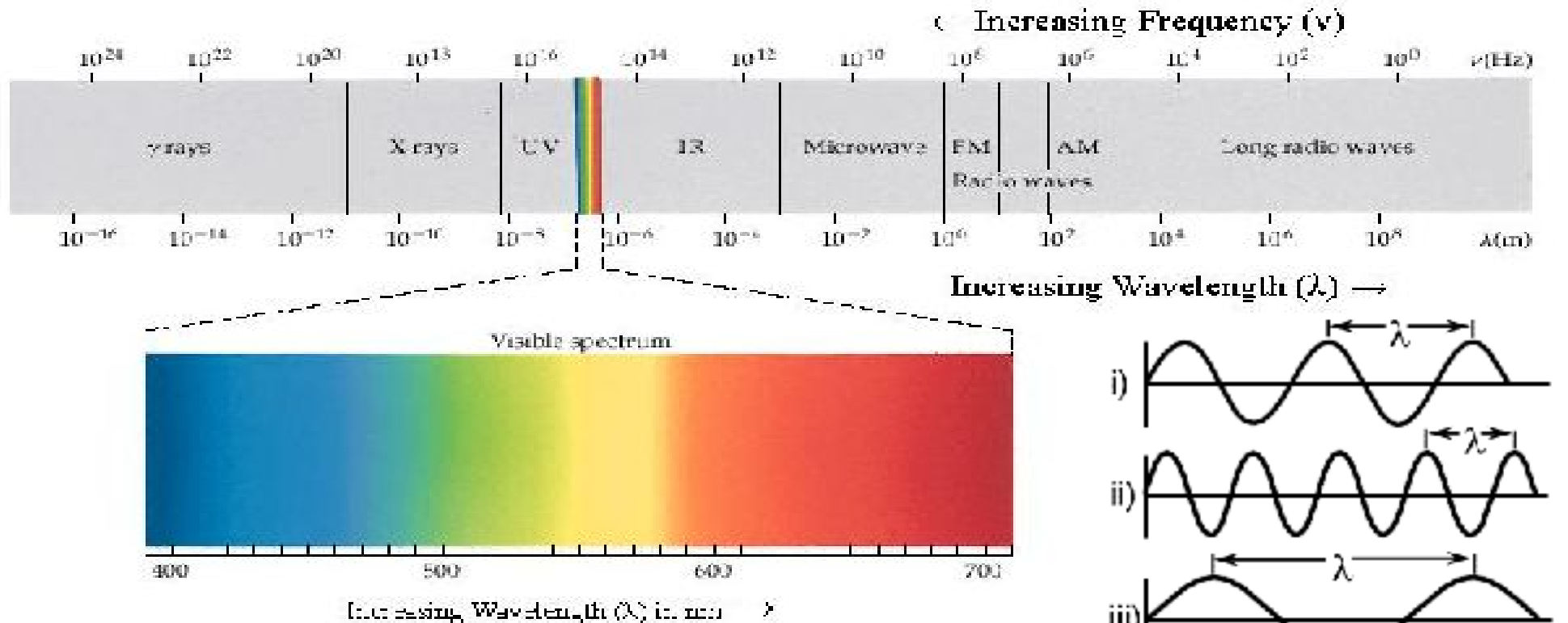
$$\lambda \nu = c$$

kus  $c=3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$  on EM kiirguse (sh valguse) levimise kiirus vaakumis.



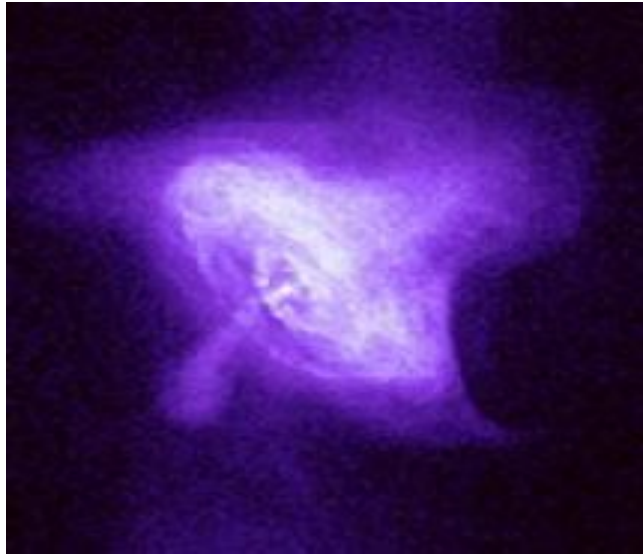
# EM kiirguse spekter

Kuna EM kiirgus võib olla erinevate omadustega sõltuvalt võnkesagedusest või, mis teeb sama välja, lainepikkusest, siis parema ülevaate saamiseks on lainepikkuste vahemikele, kus EM kiirguse omadused on tuntavalt sarnased, antud nimed. Kõiki EM võimalikke võnkesagedusi koos vaadeldes saame **EM kiirguse spektri**.



# Supernoova

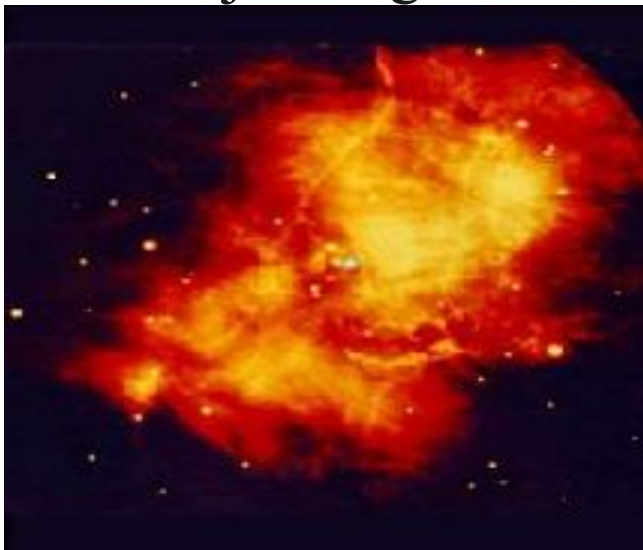
Röntgenkiirgus



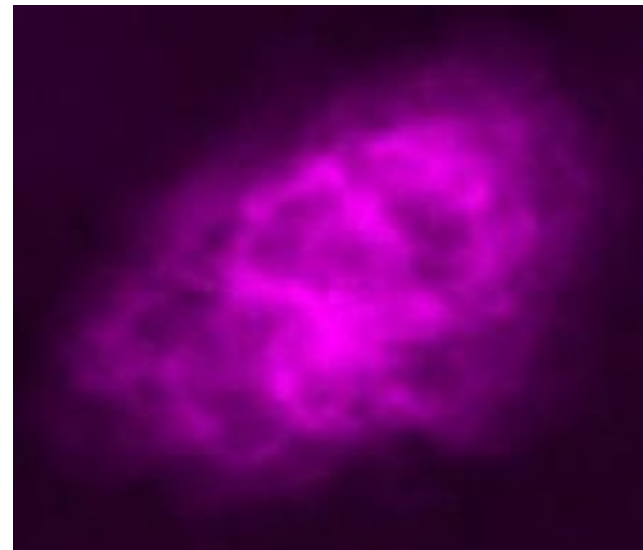
Nähtav kiirgus



Soojuskiirgus



Raadiolained







Kuidas seda kõike mõõta?



# Mõõdetakse kiirguse energiat spektri erinevates osades







Signaali ei ole  
Pilt on must  
Väärtus = 0

Signaal on maksimumis

Pilt on valge

Väärtus = max



# Erinevad looduslikud objektid



Mida "tihedam" on objektilt lähtunud kiirgusvoog ( $\text{W m}^2$ ), seda suurem on objekti heledus vaadeldavas spektripiirkonnas.

Kuidas seda mõõta? Kiirgusdetektoriga, mille takistus või tekkiv pinge sõltub pealelangeva energia hulgast.

# Erinevad looduslikud objektid



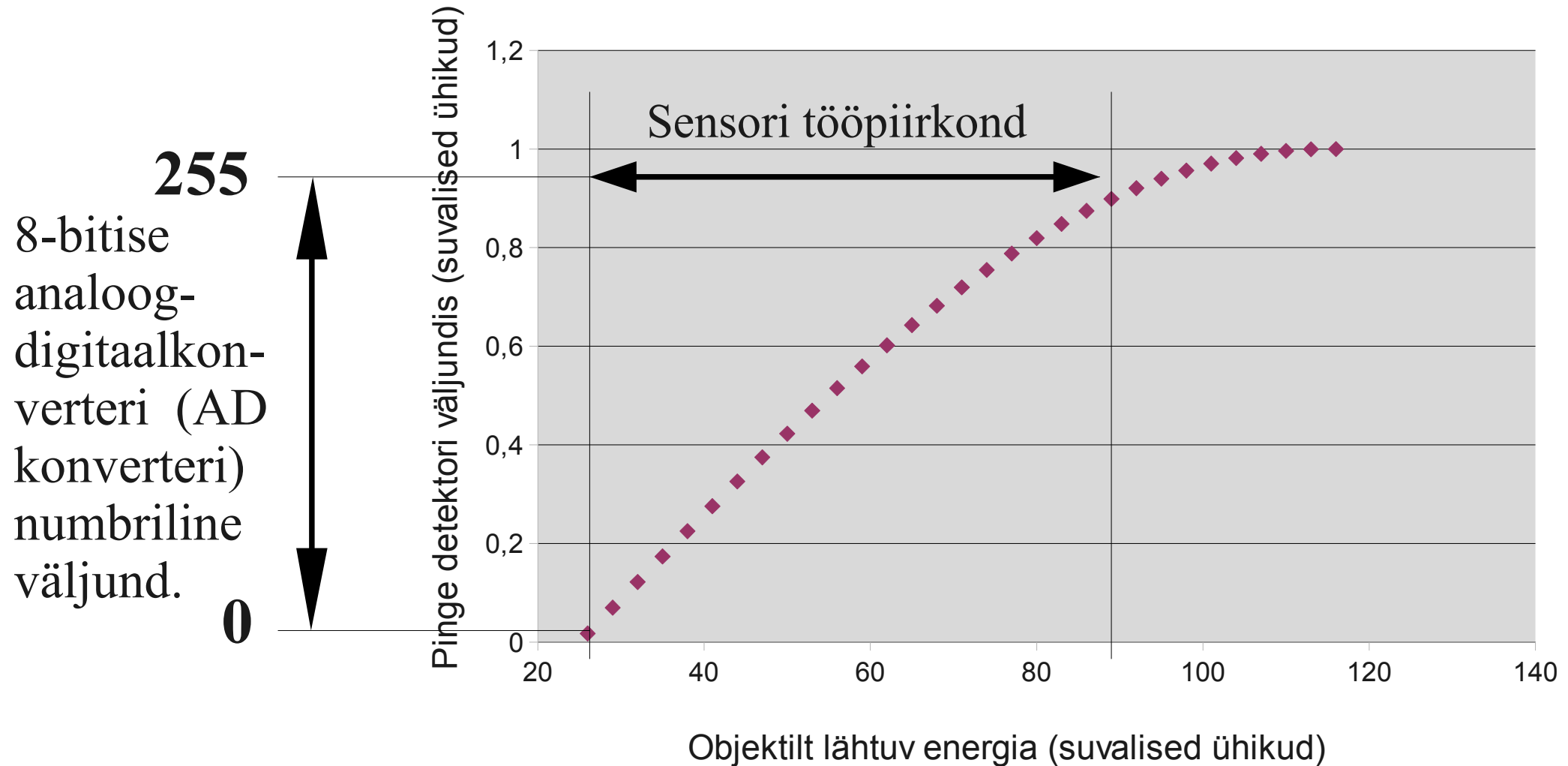
Mida "tihedam" on objektilt lähtunud kiirgusvoog ( $\text{W m}^2$ ), seda suurem on objekti heledus vaadeldavas spektripiirkonnas.

Kuidas seda mõõta? Kiirgusdetektoriga, mille takistus või tekitatav pinge sõltub pealelangeva energia tugevusest.





# Sensoris registreeritud energia teisendamine numbriliseks infoks



Samal põhimõttel käib näiteks ka heli salvestamine failidesse või CD plaadile.

# Punktmõõtmine

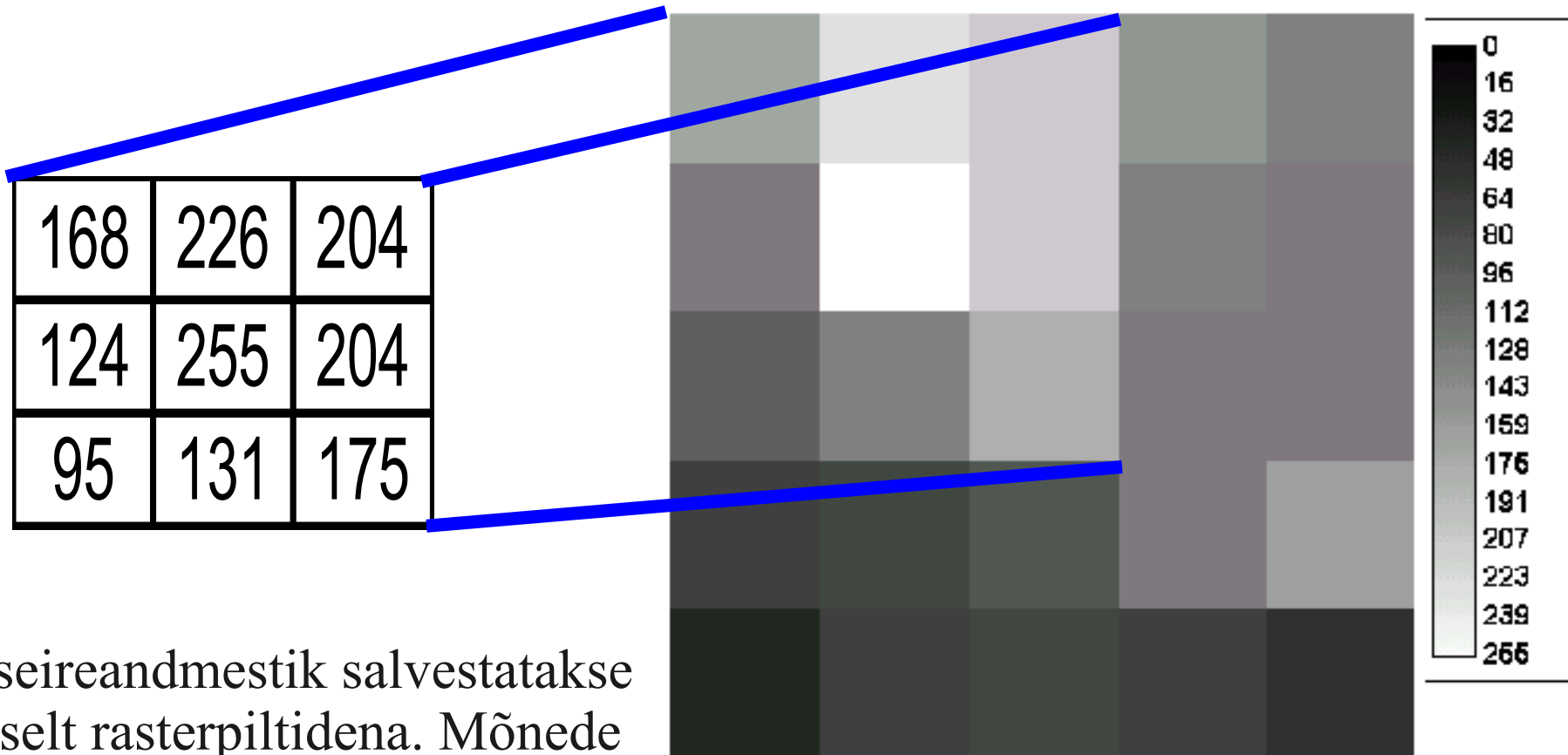
Oletame, et mingi ala on jagatud võrdseteks osadeks ning iga osa iseloomustatakse mõõdetud tunnuse (heleduse) keskväärtusega.

168	226	204
124	255	204
95	131	175

Seades igale väärtusele vastama halltooni (0=must ; 255=valge), saame pildi.



# Rasterpildid



Kaueseireandmestik salvestatakse tavaliselt rasterpiltidena. Mõnede seadmete (lidar) väljundiks on 3D koordinaatide vektor.

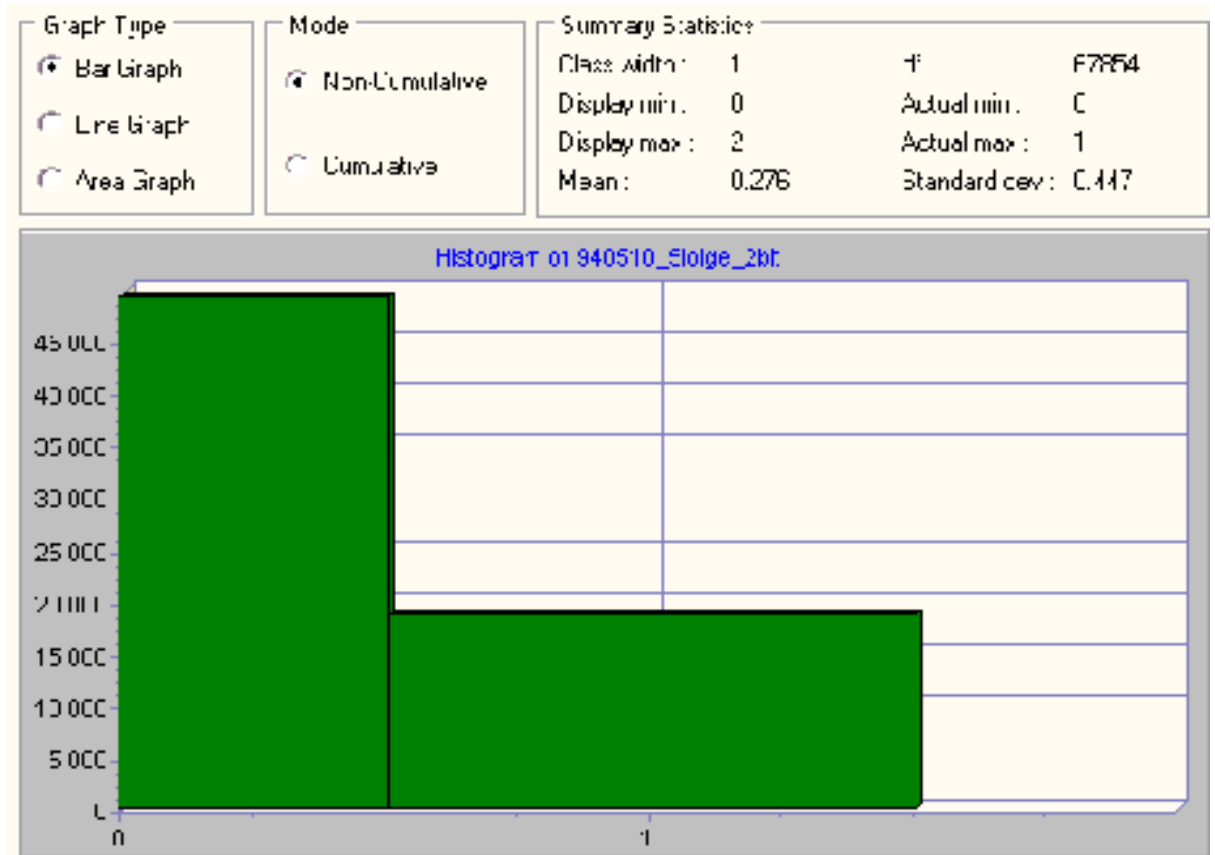
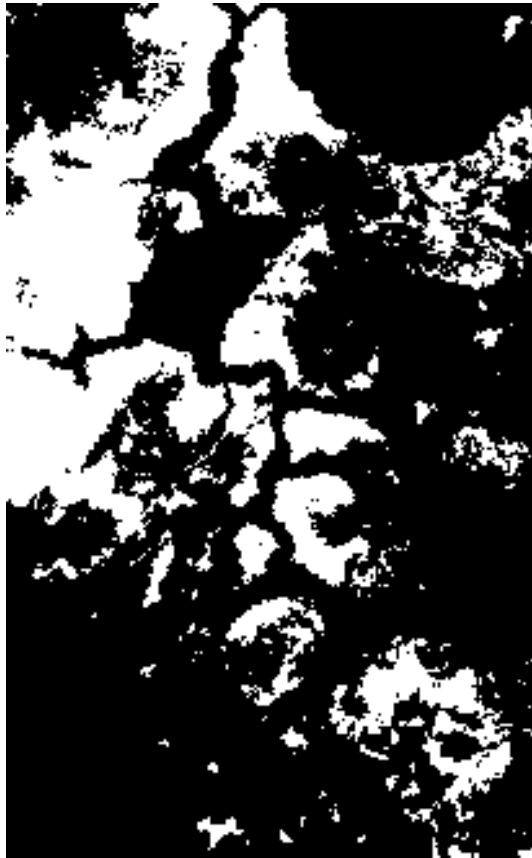
Rasterpildi igale elementaariosakesele – pikslile vastab mingi kindel numbriline väärtus, mis on üldjuhul AD muunduri väljundväärtus vastavalt vaadeldaval alal registreeritud signaali tasemele. Sobiva värvilahenduse pildi (andmekihi) esituseks valib kasutaja.

# EM kiirgust registreerivate kaugseireseadmete karakteristikuid



# Radiomeetriline lahutusvõime

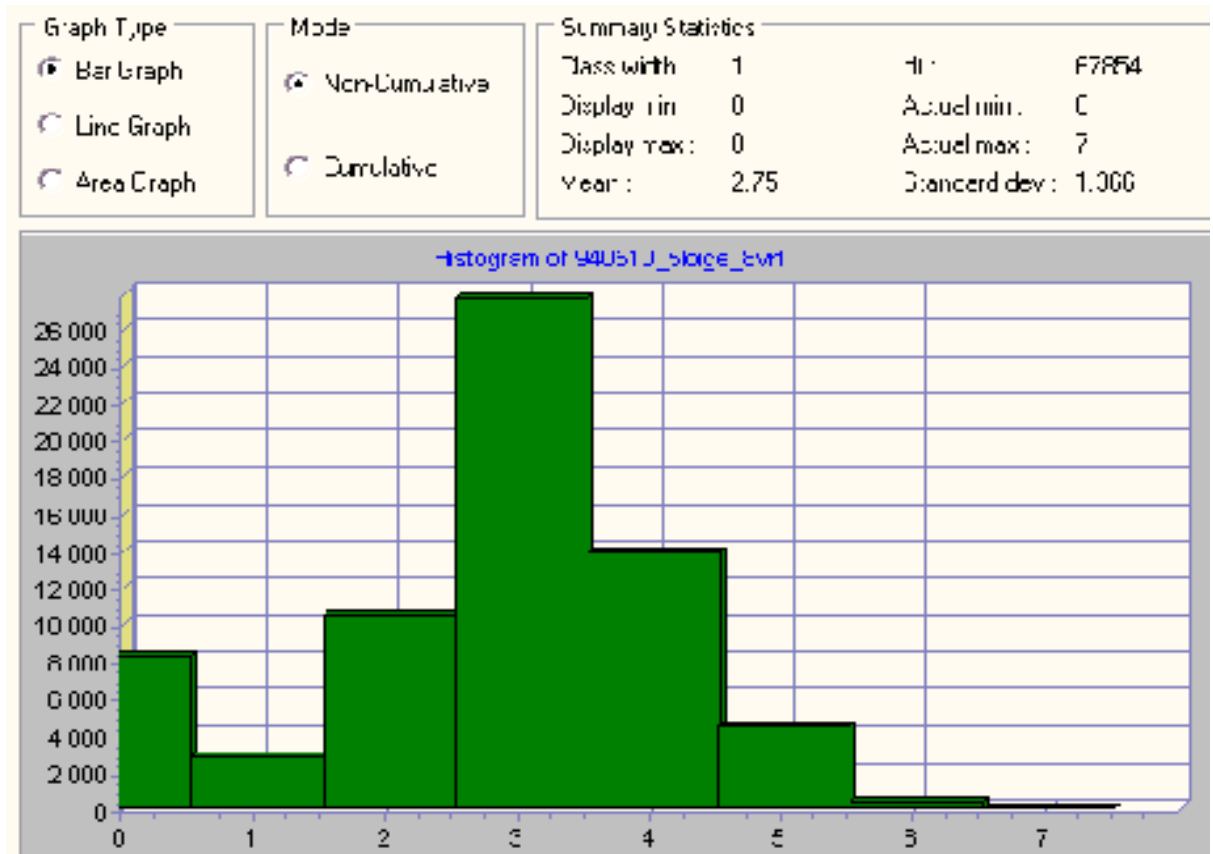
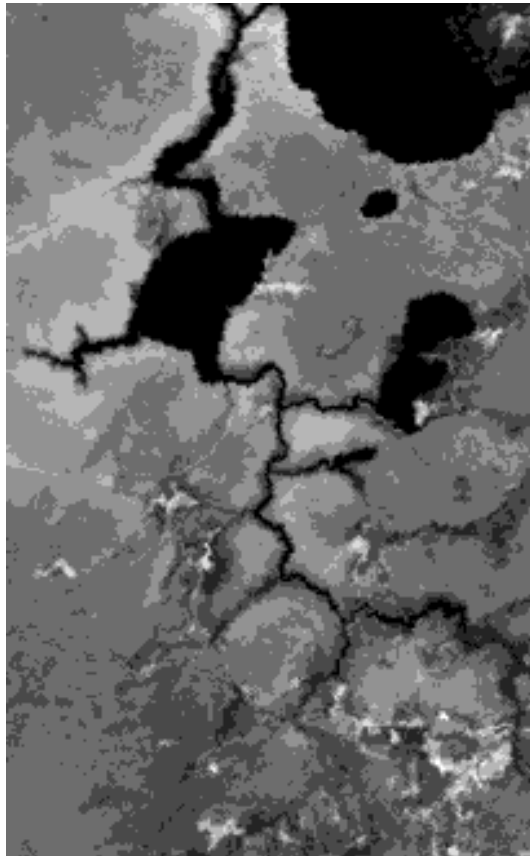
Radiomeetriline lahutusvõime näitab kui hästi saab seadmega kogutud andmete alusel eristada lähedase heledusega objekte.



Emajõe suursoo Kalli ja Leegu järvede ümbrusest. Eristatud on ainult kahte heleduste taset.

# Radiomeetriline lahutusvõime

Suurem radiomeetriline lahutusvõime saavutatakse sensori tundlikkuse tõstmise ning täpsema AD muunduri kasutamisega.

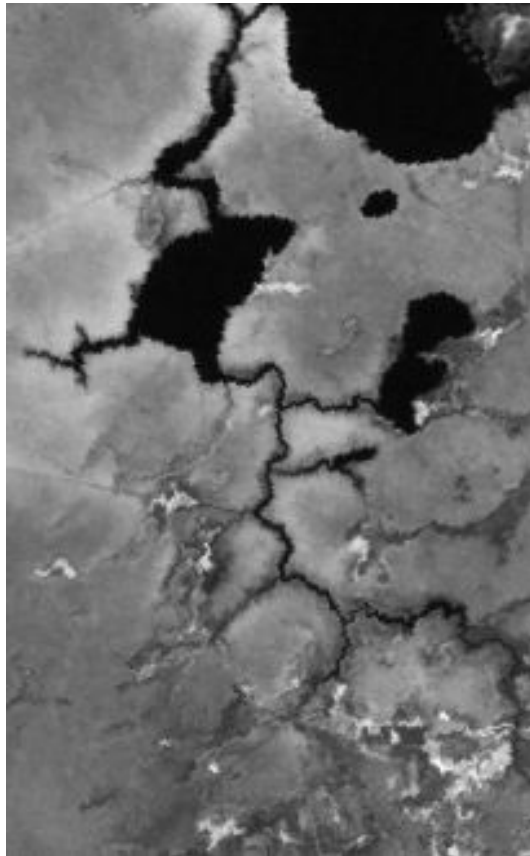


Emajõe suursoo Kalli ja Leegu järvede ümbrusest. Eristatud on kaheksa heleduste taset.



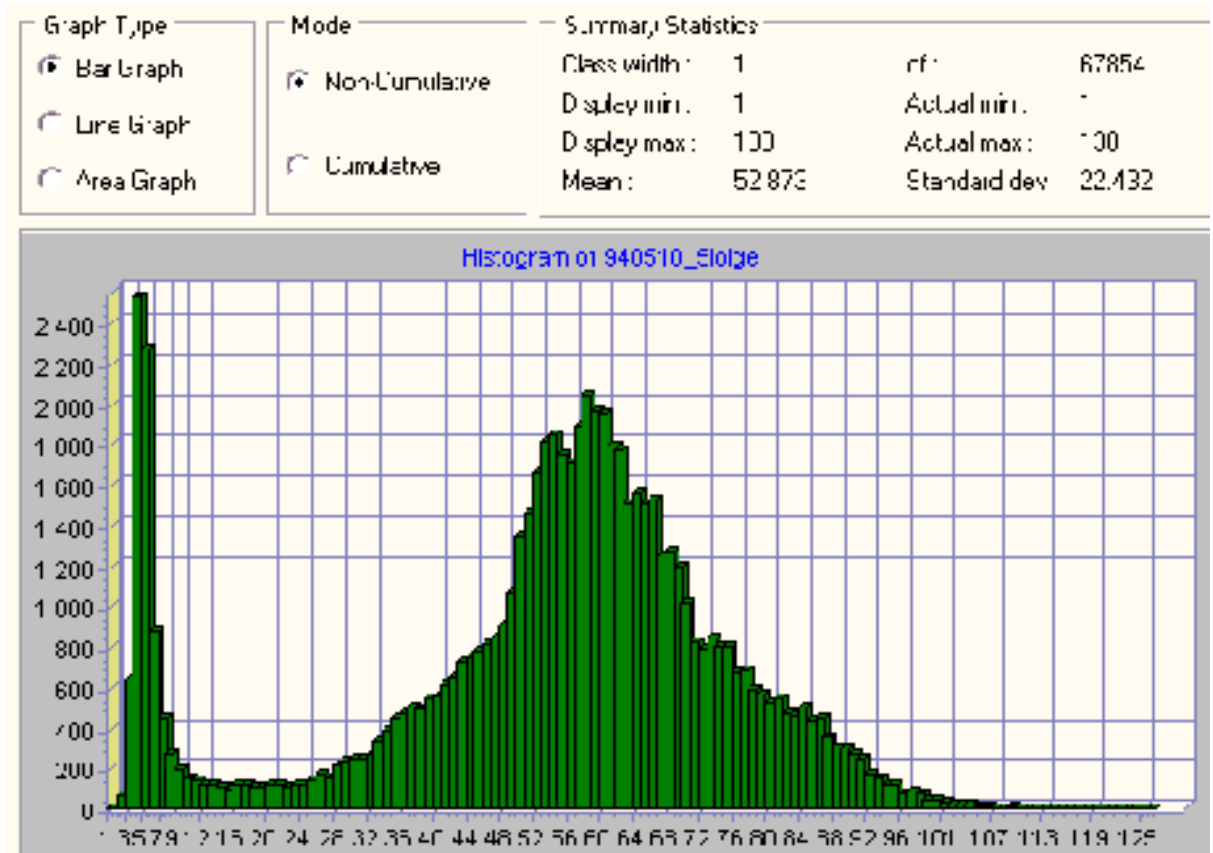
# Radiomeetriline lahutusvõime

Suurem radiomeetriline lahutusvõime saavutatakse sensori tundlikkuse tõstmise ning täpsema AD muunduri kasutamisega.



Landsat TM5 10. mai 1994

Emajõe suursoo Kalli ja Leegu järvede ümbrusest. Kujutis on salvestatud skaalas, kus on 0-255 erinevat võimalikku heleduse taset.



# Ruumiline lahutusvõime

Ruumilist lahutusvõimet on defineeritud väga erinevatel viisidel.

Näiteks fotograafias antakse ruumiline lahutusvõime kahe eristatava joone omavahelise kaugusena.

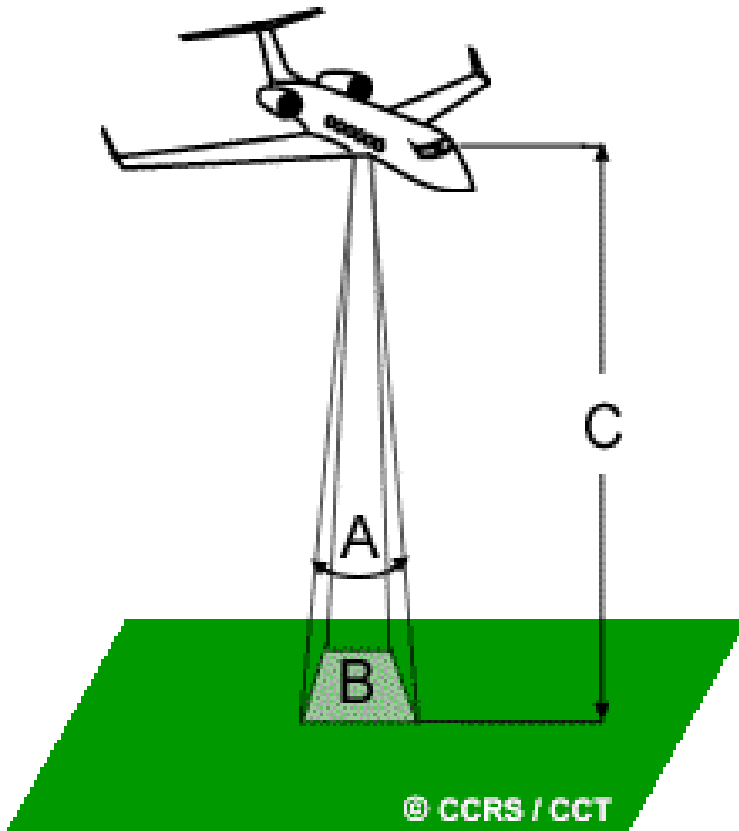
Paberfotode sisseskanneerimisel antakse näiteks skanneerimis-tihedus dpi (*dots per inch*) - punkti tolli kohta.

Rasterpiltidel *võib* ruumilist lahutusvõimet üldjuhul vaadelda kui vastavat ala maapinnal, mida piksel katab. Geomeetrilise korrektsiooni käigus võib tulemuseks saadud andmetes ruumiline lahutusvõime muutuda.

Kaugseires sõltub tulemuseks saadud andmestiku ruumiline lahutusvõime paljudest teguritest.



# Ruumiline lahutusvõime



[http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/chapter2/03\\_e.php](http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/chapter2/03_e.php)

Igal seadmel on optikaga määratud kindel avanurk (**A**), mis, arvestades kaugust (**C**) objektist, määrab seadmele aja **B** jooksul nähtava ala suuruse. Seda ala kutsutakse hetkevaateväljaks (*Instantaneous Field of View*).

Hetkevaateväljas salvestatud signaal on tavaliselt ühe piksli väärtuseks pildil.

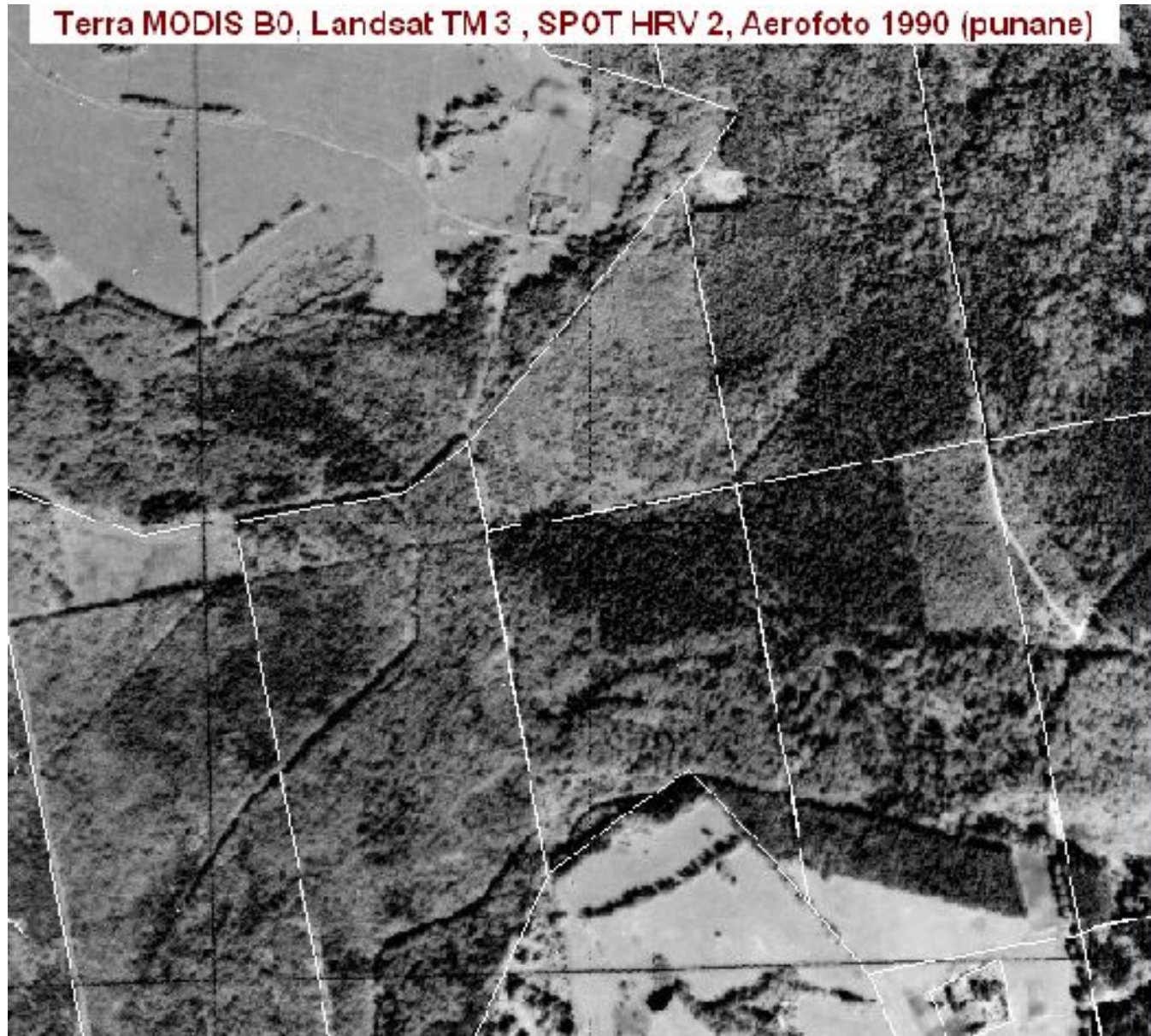
# Ruumiline lahutusvõime

Metsakorralduse tarbeks 1990ndal aastal tehtud värviliselt **aerofotolt** eraldatud punase värvuse signaal hallskaalas. Fotel olev ala asub Rõkas ja sellest põhja poole.

Kujutisele on lisatud metsakvartalite piirid.

Eristatavad on üksikud puud, varjud, teed, kraavid jne.

Peale skanneerimist on piksli suuruseks u 0,8 m maapinnal.





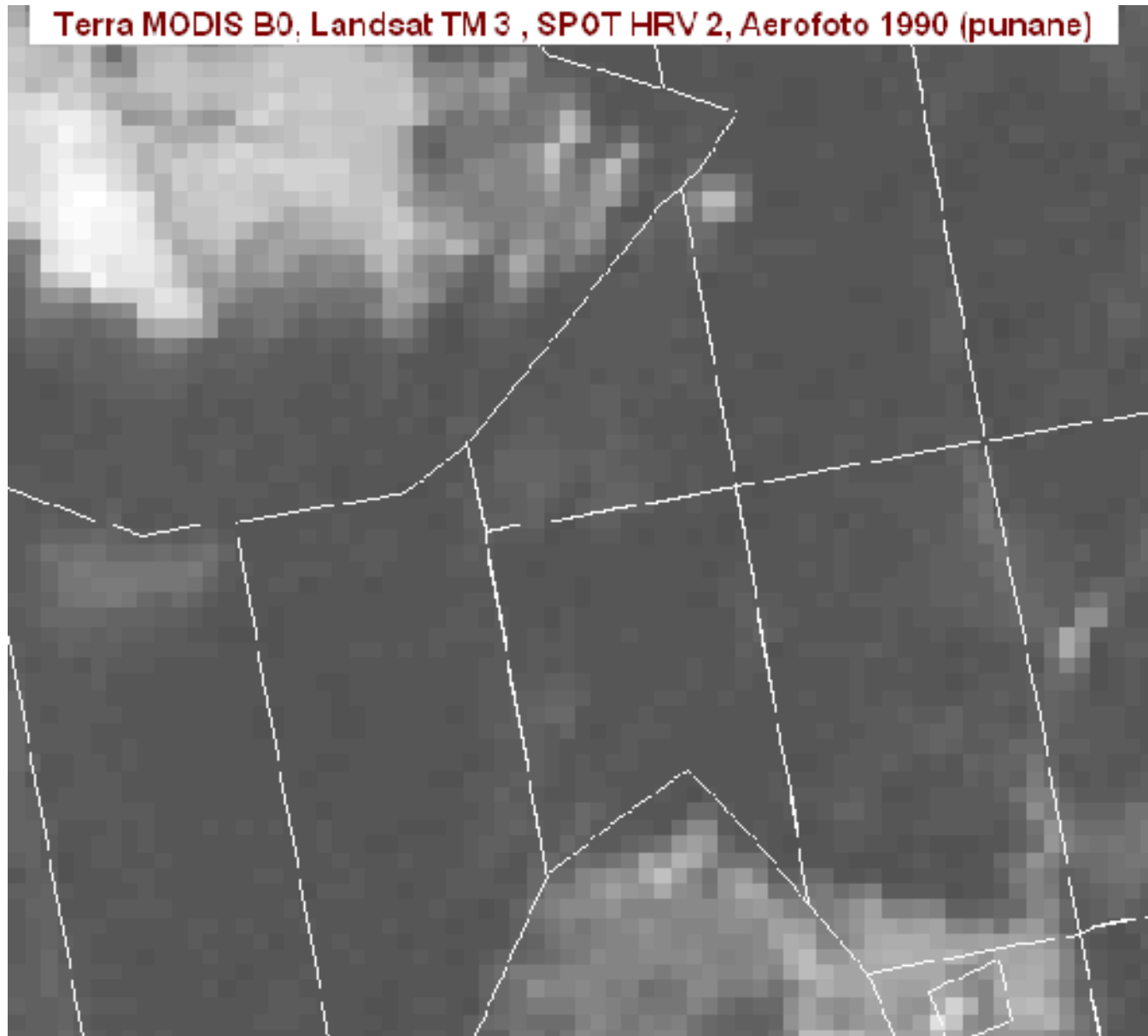
# Ruumiline lahutusvõime

SPOT HRV 2 kanali  
(punane spektripiirkond)  
pilt, mis on tehtud 1992.  
aastal 24. juulil samast  
alast.

Kujutisele on lisatud  
metsakvartalite piirid.

Eristatavad on näiteks  
suuremad heledad  
niidetud heinamaad ja  
metsaeraldised.

Piksli suuruseks 20 m  
maapinnal.



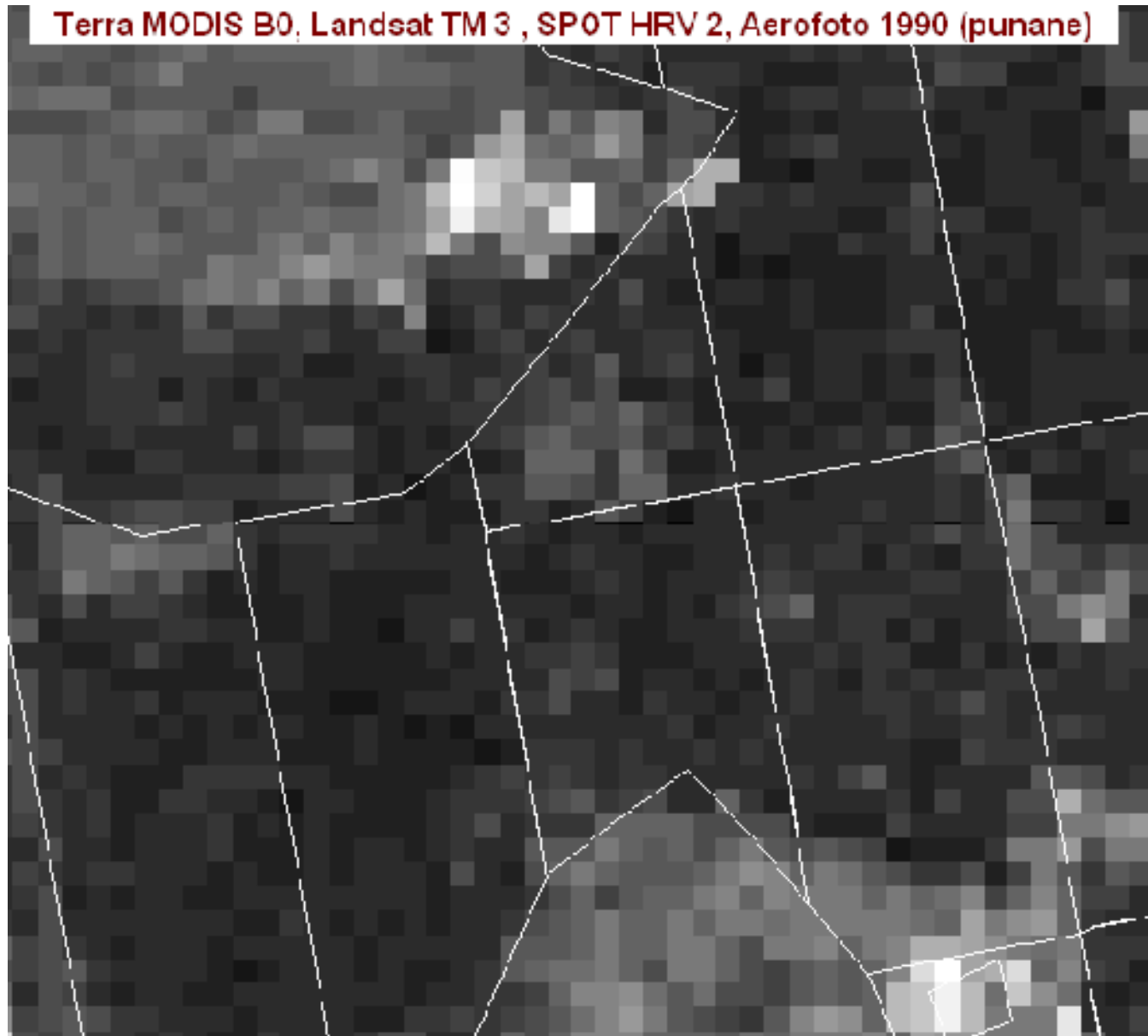
# Ruumiline lahutusvõime

Samast alast 27. mail 1992 tehtud Landsat TM ülesvõtte samuti punases spektripiirkonnas (3. kanal)

Kujutisele on lisatud metsakvartalite piirid.

Maikuu lõpu pildil on rohi tavaliselt lopsakas, ja punases kanalis on heinamaad tumedamad, kui peale niitmist suvel.

Piksli suuruseks 30 m maapinnal.





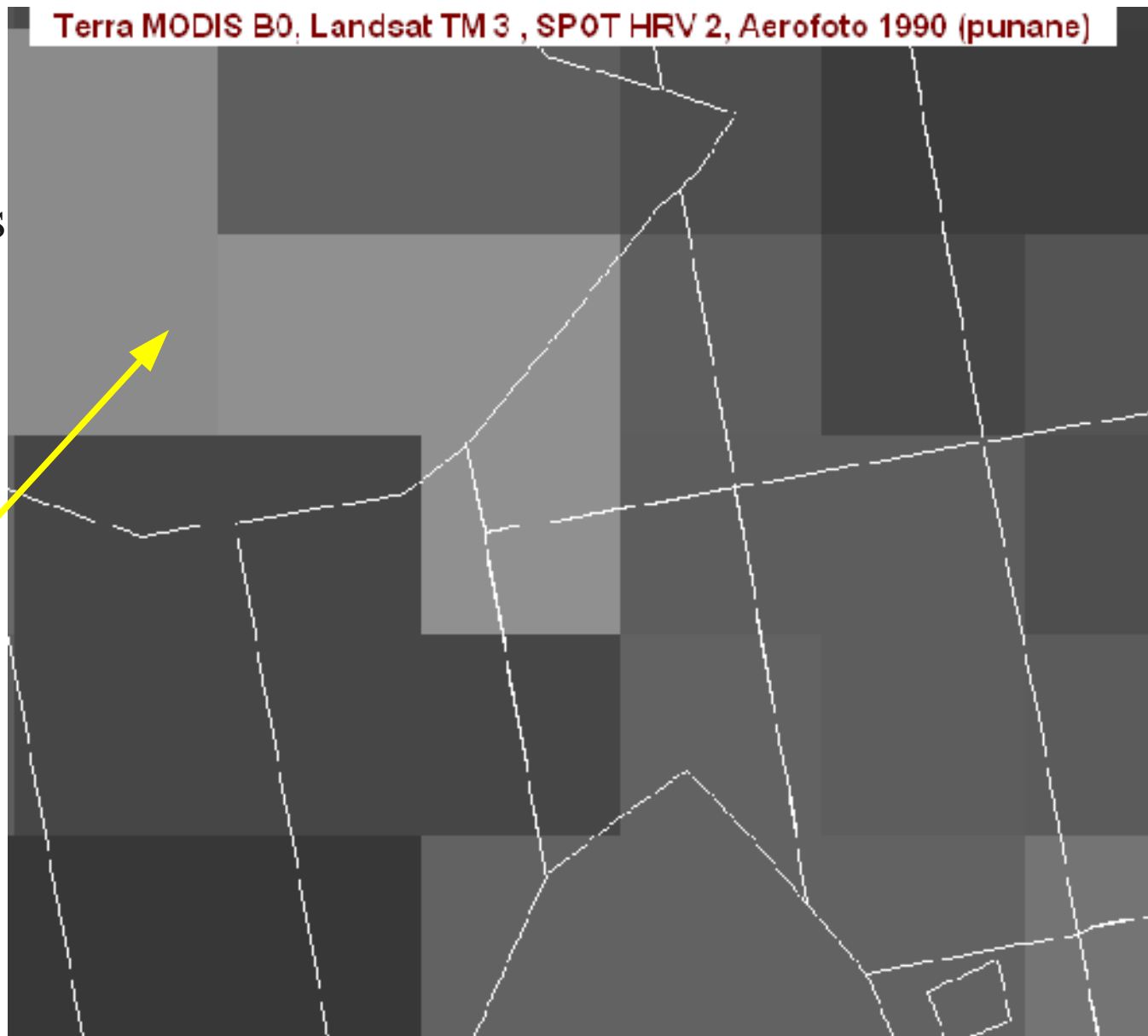
# Ruumiline lahutusvõime

Samast alast 10. juunil 2000 tehtud Terra MODIS ülesvõte samuti punases spektripiirkonnas (1. kanal).

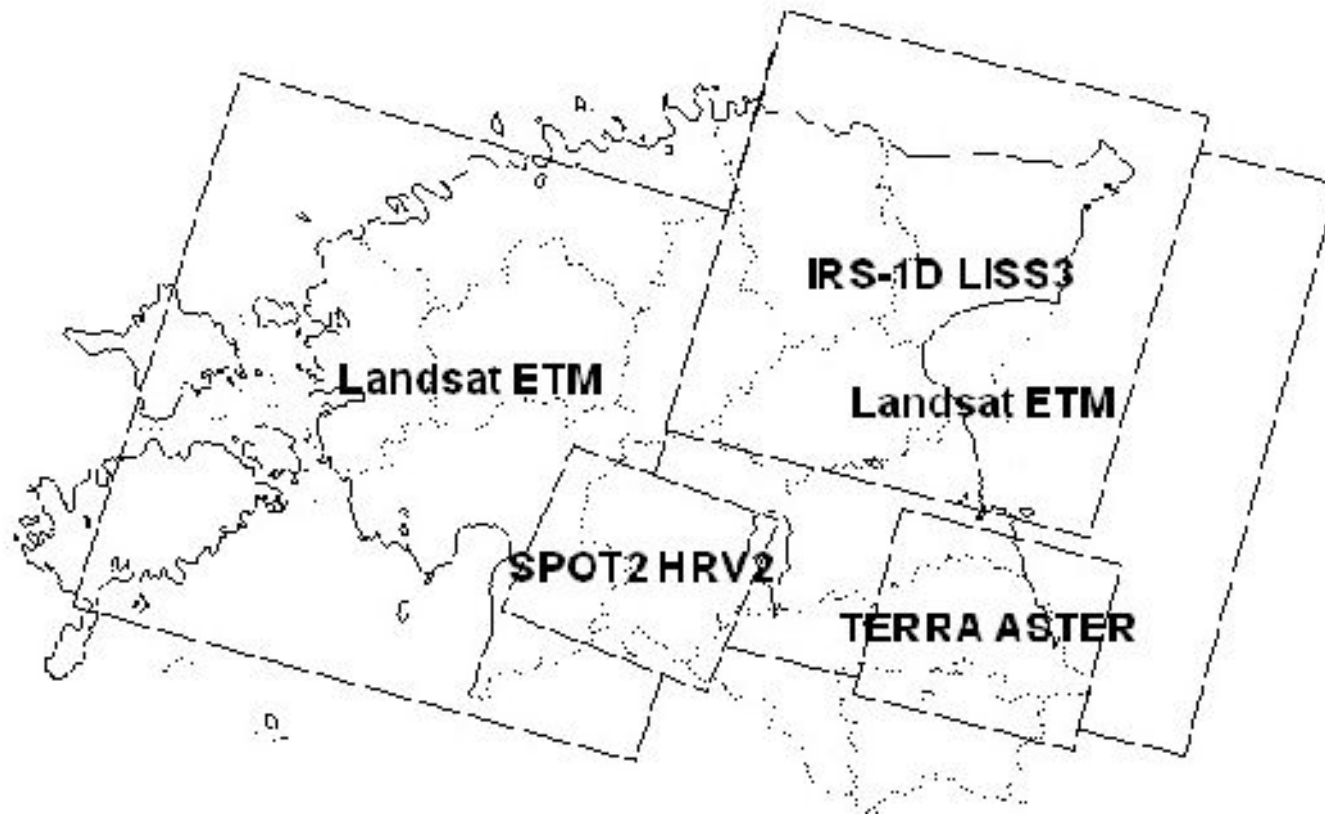
Kujutisele on lisatud metsakvartalite piirid, mille suhtes kujutis on veidike nihkes.

Heinamaadest ja põldudest koosnev lagendik mahub paarile pikslile.

Piksli suuruseks on 250 m maapinnal.



# Ruumiline lahutusvõime



Landsat ETM+, IRS-1D LISS, SPOT2 HRV, Terra ASTER kaadriraamid.

Üldiselt kehtib seos: parema ruumilise lahutusvõimega pildid katavad korraka väiksemat ala maapinnal.



# Spektraalne lahutusvõime

Pankromaatne ülesvõtte - tundlik laiiale spektripiirkonnale (taval. nähtav valgus).



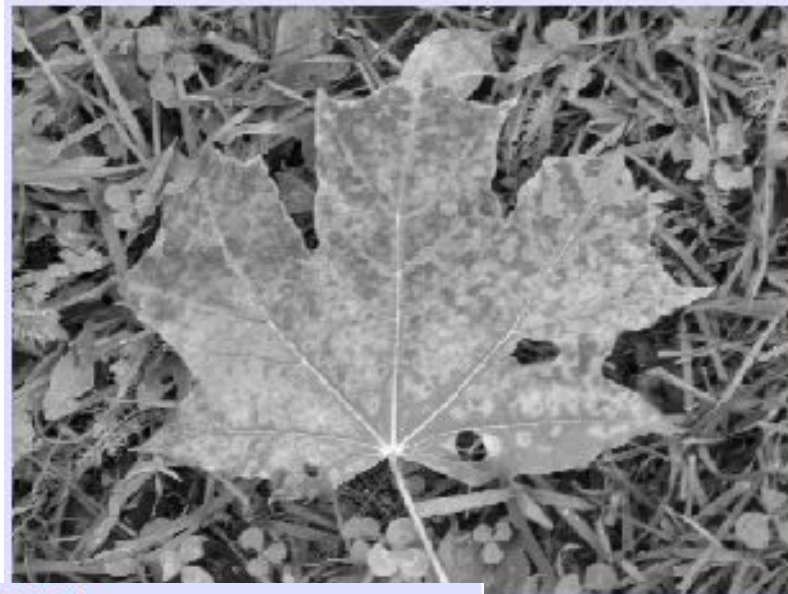
# Spektraalne lahutusvõime

Kolme kanaliga vastuvõtja andmestik.

Sinine kanal



Roheline kanal



Punane kanal



Kolmest põhivärvist saab koostada värvilise kujutise.



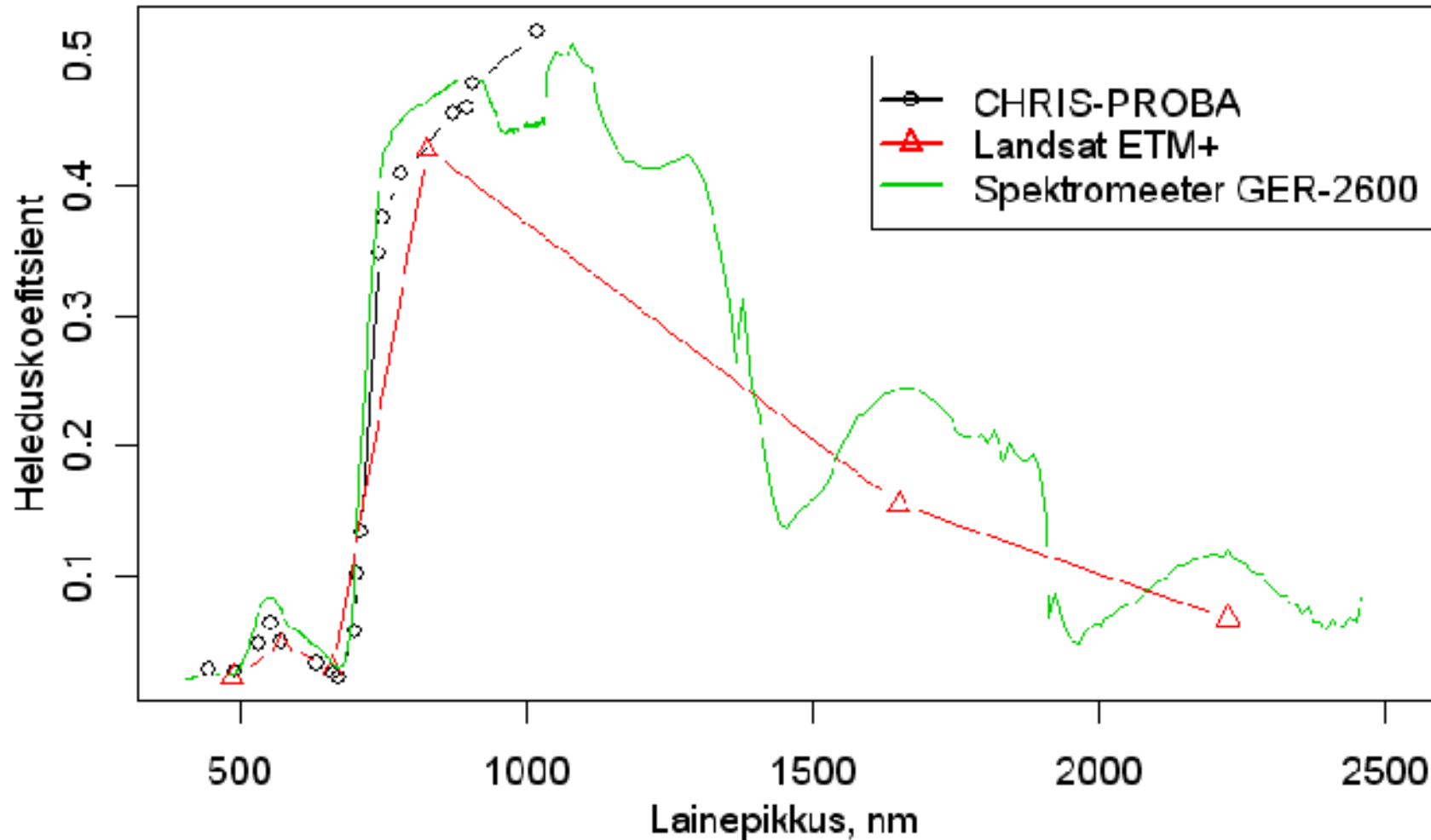
# Spektraalne lahutusvõime

Kolme kanaliga vastuvõtja andmestikust koostatud värviline pilt.





# Spektraalne lahutusvõime



Spektromeetriga GER-2600 mõõdetud spekter on omane lopsakale rohule. CHRIS PROBA ja Landsat ETM+ näitena on eelmisel slaidil toodud eraldise (JS266-2) heledused.

# Turba- ja mineraalmuld



Vt. ka

<http://www.aai.ee/bgf/ger2600/index.html>

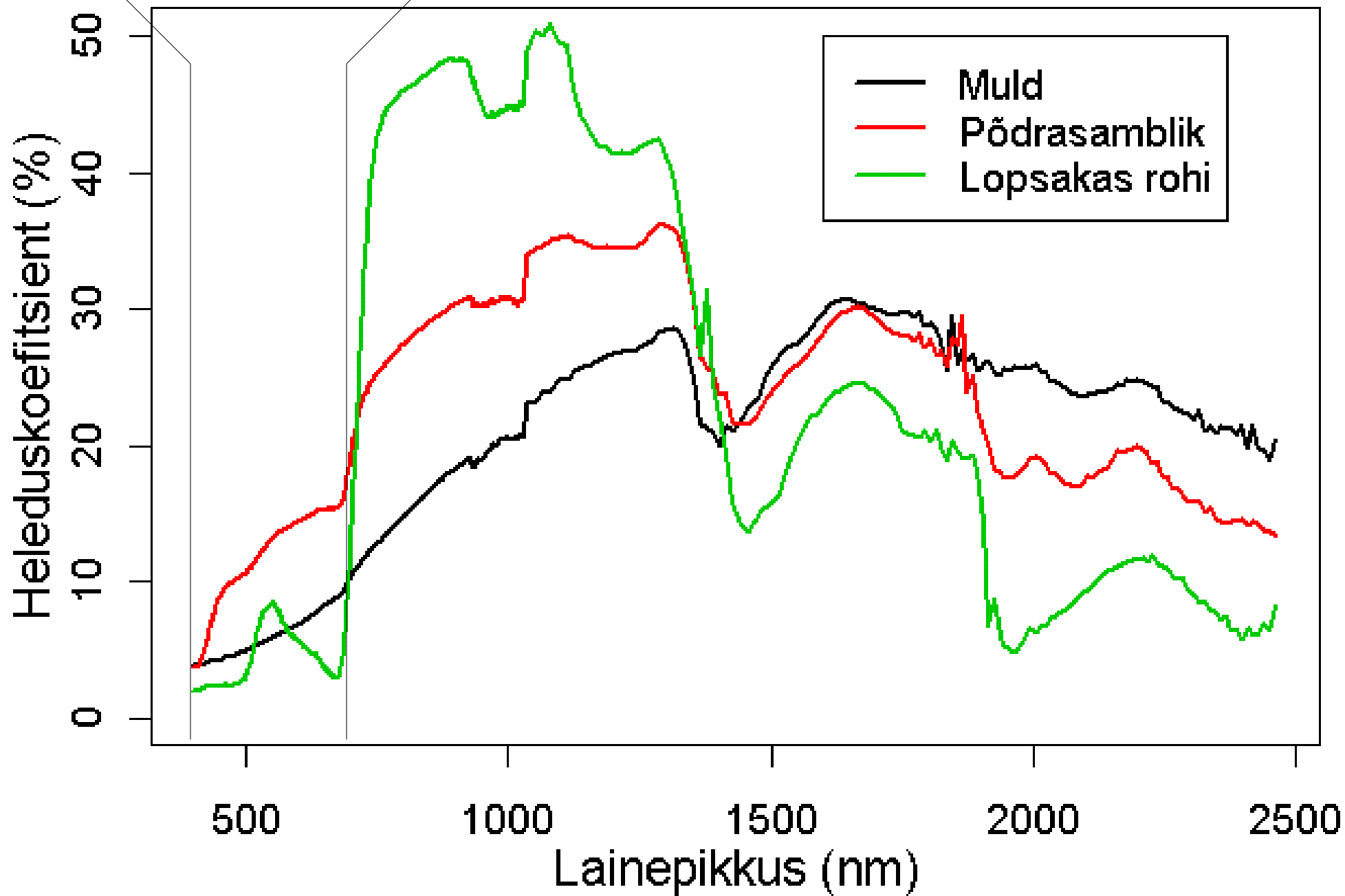
## Lopsakas rohi



## Kuivanud männiokastega põdrasamblik

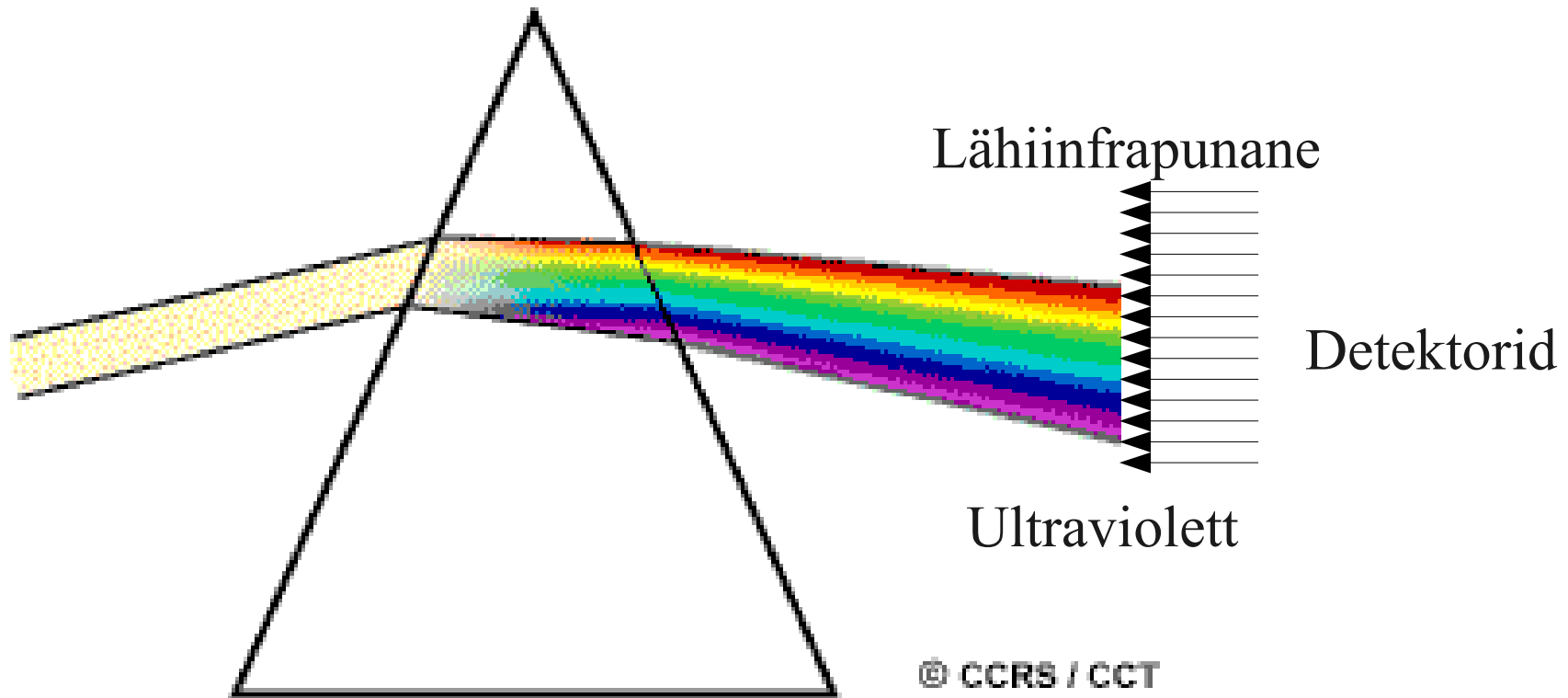


Spektri nähtav osa





# Multispektraalsed skannerid



[http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/chapter1/03\\_e.php](http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/chapter1/03_e.php)

Vaadeldavalt alalt hetkevaateväljast läbi sisendoptika sisenenud kiirgus lahutatakse erinevateks spektriosadeks ja saadud signaal juhitakse detektoritele. Iga detektor salvestab signaali vastavas kanalis, milles lõpuks kujuneb vastava spektripiirkonna kujutis. Iga kanali signaali võib esitada ekraanil näiteks hallskaala palletiga näitemaks signaali tugevust.

# Ribaskanner

A: pööratav peegel

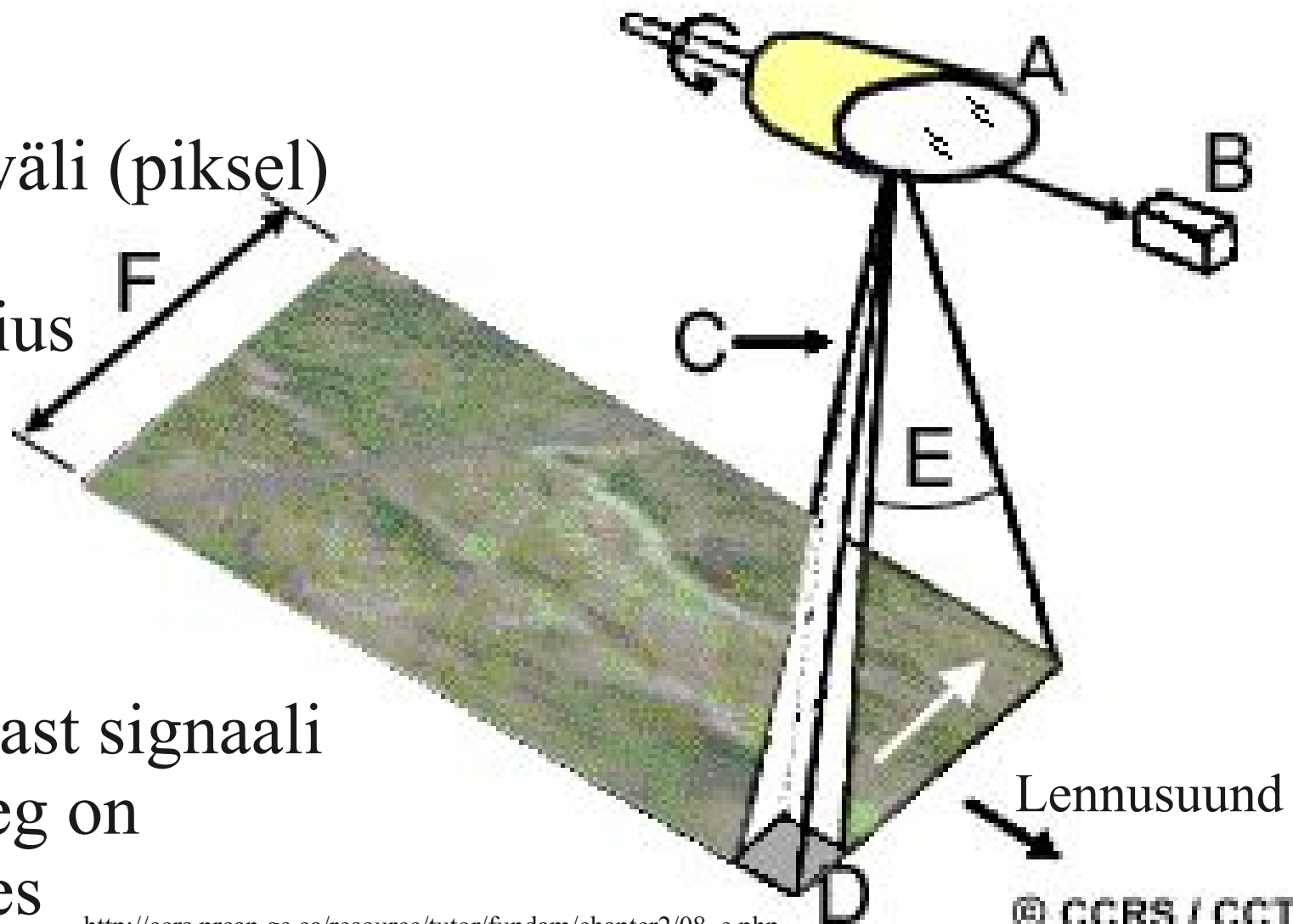
B: detektorid

C: Avanurk

D: Hetkevaateväli (piksel)

E: Vaatenurk

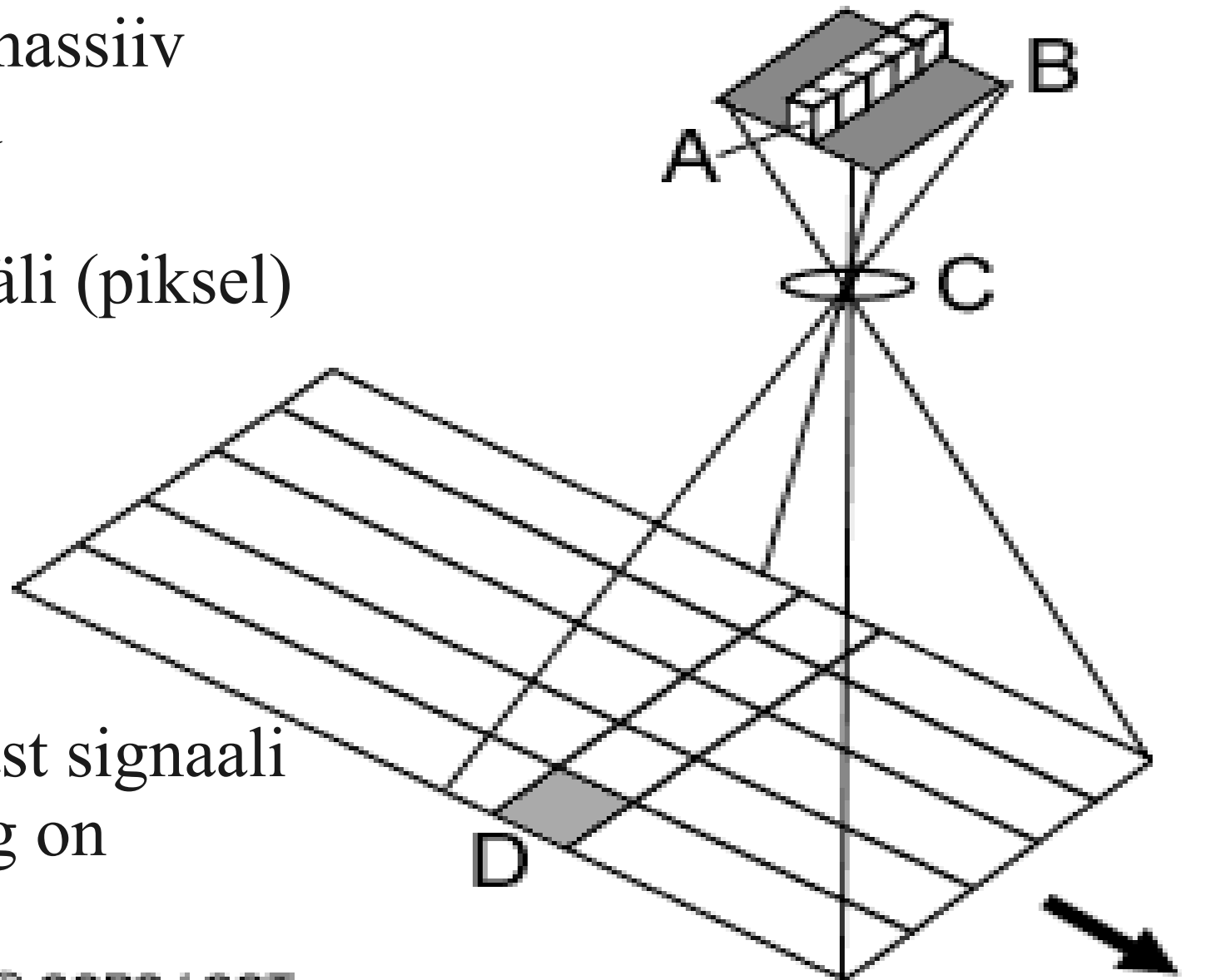
F: Pildivälja laius



Hetkevaateväljast signaali salvestamise aeg on mikrosekundites

# Jadaskanner

- A: Detektorite massiiv
- B: Fokaaltasand
- C: Sisendoptika
- D: Hetkevaateväli (piksel)



Hetkevaateväljast signaali salvestamise aeg on millisekundites.

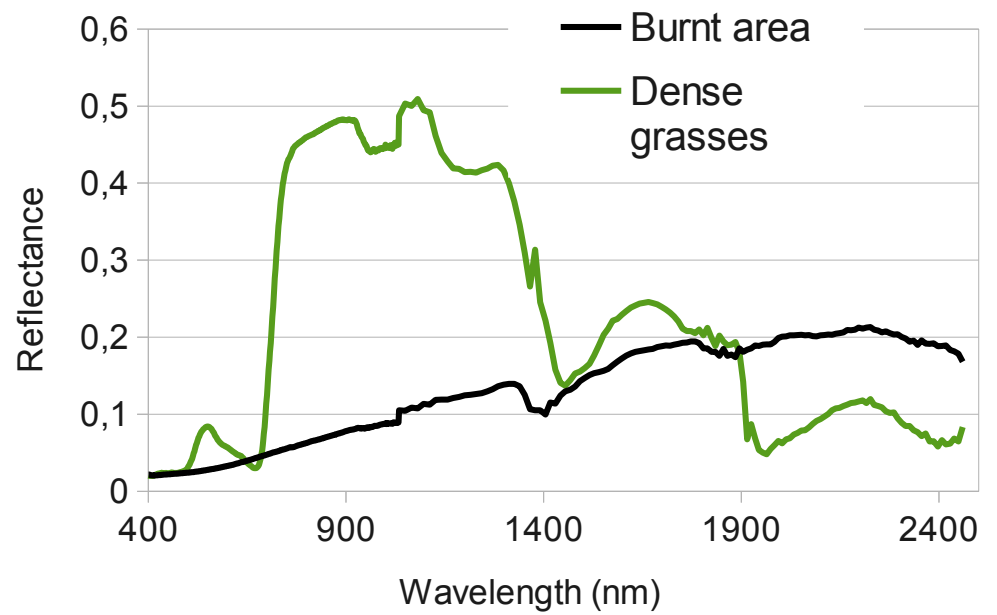




# Kuidas seda kasutada?

Lihtsamad pilditöötlusvõtted







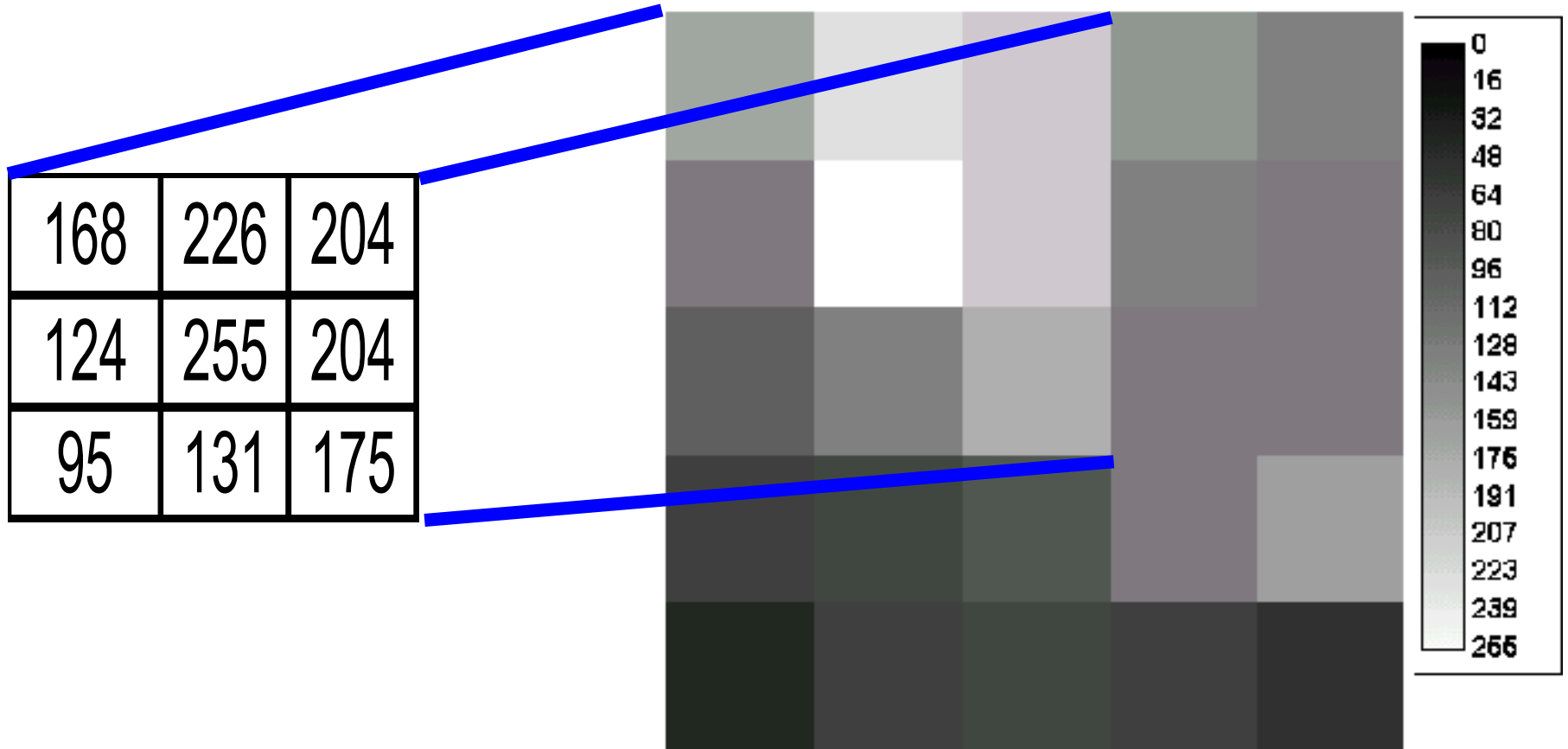


Erinevad maakasutusviisid  
ja maakattetüübid



# Multispektraalsete piltide töötlemine

## Numbrilised meetodid



Meetodeid on on palju ning neid tuleb pidevalt juurde.

# Kaardialgebra

- Nii iseseisvalt kui teiste protseduuride osana. Uute tunnuste tuletamiseks.

- Liitmine

- Lahutamine

- Korrutamine

- Jagamine

168	226	204
124	255	204
95	131	175

 $\pm$ 

68	26	204
224	25	204
100	131	217

 $=$

- Loogikaoperatsioonid (päringud)

- Muud aritmeetilised tehted

$=$ 

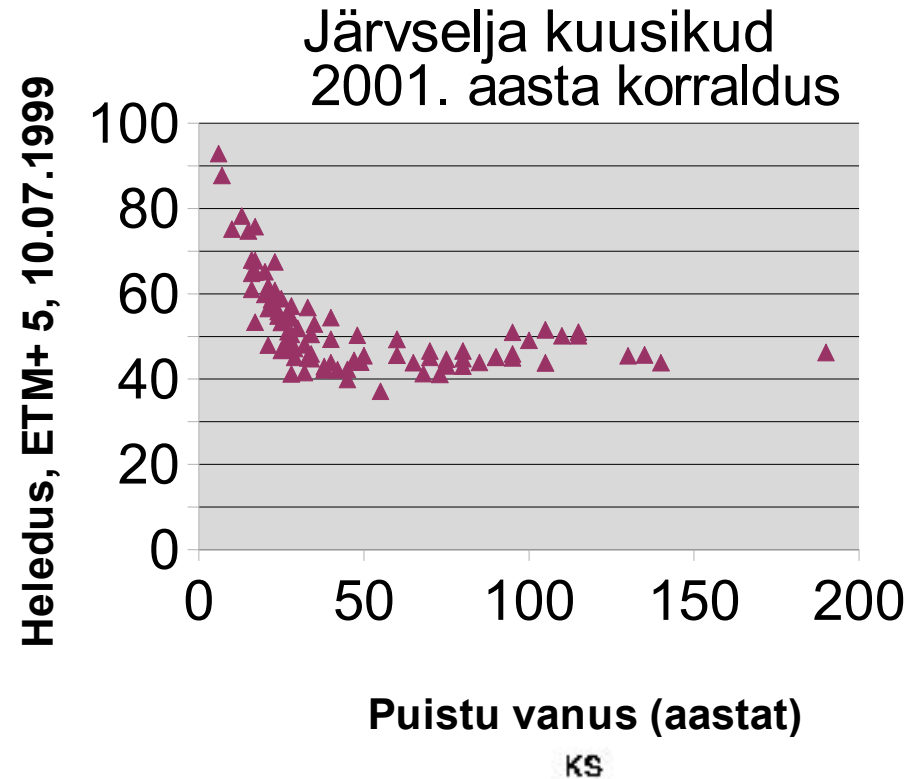
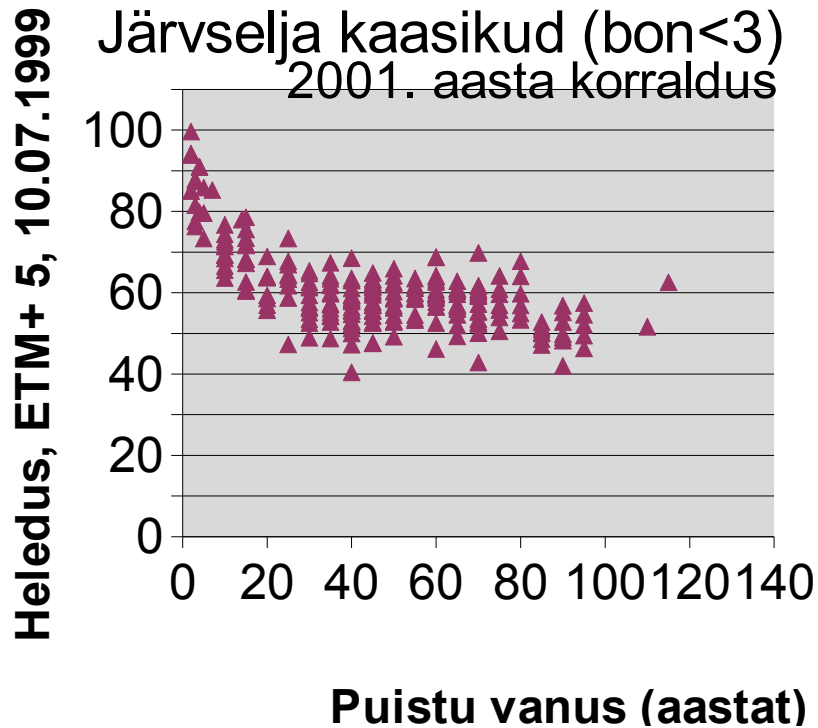
2,47	8,69	1
0,55	10,2	1
0,95	1	0,81



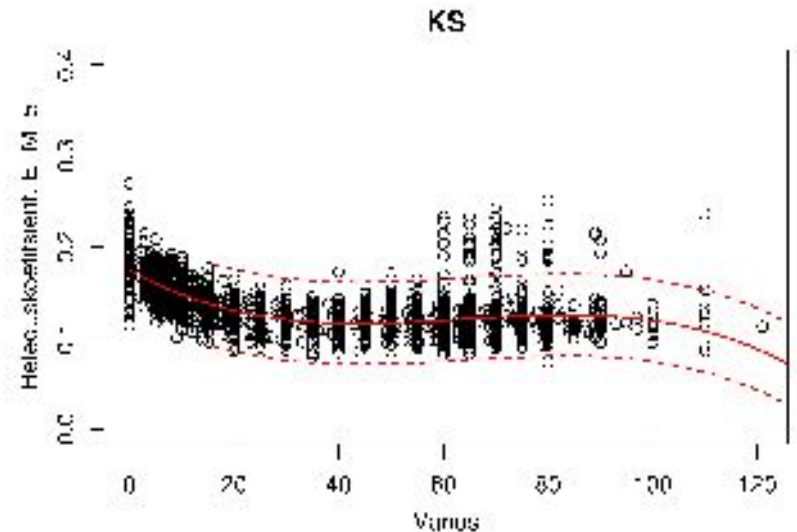
# Regressioonanalüüs spektraalsete heleduste ning olemasolevate tärkandmete seoste uurimiseks

- Eeldab, et meid huvitavad objektid on pildil piiritletud (näiteks digitaalse kaardi abil)
- Kui meid huvitav tunnus on seotud spektraalse heledusega pildil, siis on võimalik teisendada pilt selle tunnuse rasterkaardiks.
- Kasutatakse näiteks tüvemahu, lehepinnaindeksi, klorofüllü, katvuse jne. proovialadel mõõdetud info laiendamiseks pildi ulatuses.

# Mets satelliidipildil – puistu vanus



Lähendades vanuse ja heleduse seose sobiva matemaatilise mudeliga saame kasutada kaardialgebra ning pildiarvutust metsade vanuse kaardi koostamiseks satelliidipildi järgi.



# ... ja siit edasi tuleb

## Multispektraalsete satelliidipiltide töötlemine

- Klassifitseerimine
  - Etteantud nivoodega
  - Õpetava valimita
  - Õpetava valimiga
  - Segmenteerimine
  - kNN : *k-Nearest Neighbour*. k-lähima naabri meetod.
  - närvivõrgud ...
- Pilvede ja lumikatte eristamine.
- Peakomponendid
- Muutuste analüüs (heleduste ajaliste erinevuse analüüs)
- Aegread
- **Veahinnangute koostamine produktile**



Fragment Terra MODISe pildist  
valevärvikujutisena. 2. september, 2009



Sissejuhatuse lõpp