

Keskkonna kaugseire I

Matti Mõttus (matti.mottus@aai.ee)

1. Sissejuhatus: kaugseire olemus ja meetodid 17.02
2. Kaugseire aparatuur, tooted, arengusuunad 3.03
3. Taimkatte kaugseire: indeksid ja algoritmid 10. 03
4. Vee kaugseire 17.03
5. **Muud kaugseirerakendused 24.03**
6. Seminar 31.03
7. Info leidmine ja kasutamine; kaugseire tulevik 07.04



Keskkonna kaugseire

Viies loeng: mitmesugust

Matti Mõttus (matti.mottus@aai.ee)

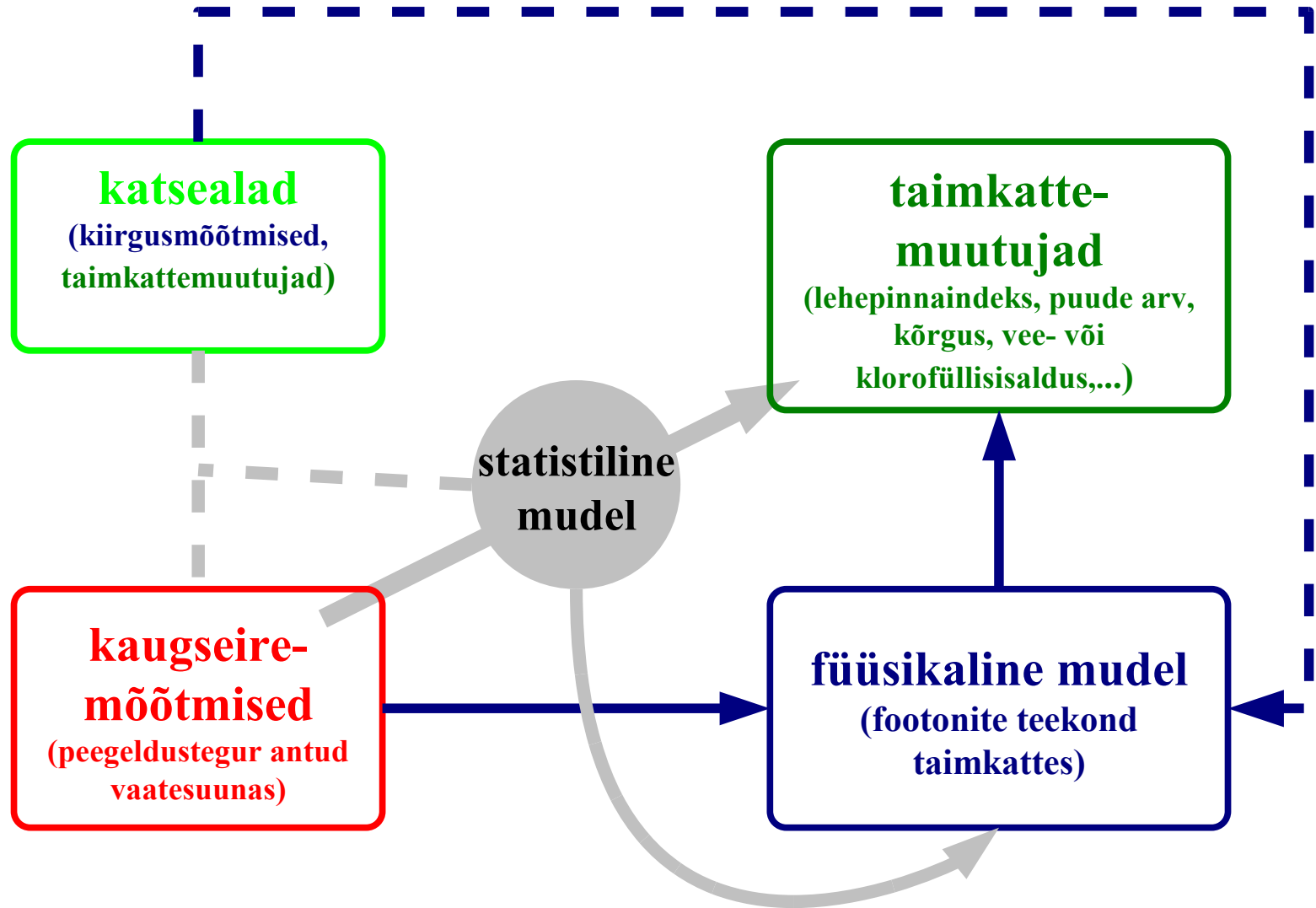
- Taimkatte kaugseirest veel
- Klassifitseerimine
- „BRDF efekt“
- Aegread
- Rakendused geoloogias
- Data assimilation
- **Seminar nädala pärast!**



Taimkate: eelnevast

- Optiline passiivne taimkatte kaugseire
- Milleks?
 - Globaalsed probleemid (global change)
 - Taimkatte tootmine
 - Maakasutuse muutus
 - Lokaalsed muutused
 - Metsanduslikud rakendused
 - Põllumajandus
 - Maakasutuse muutus
- Kuidas?
 - Indeksid
 - Empiirilised vs. füüsikalised meetodid

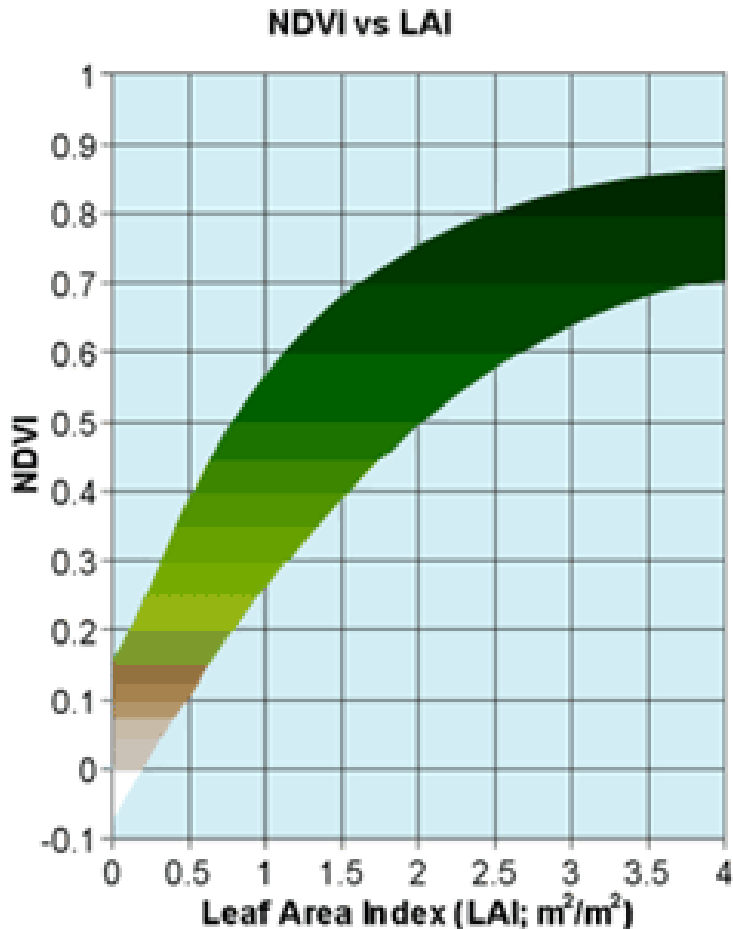
Empiirilised vs. füüsikalised meetodid



Empiirilised meetodid

- Indeksid
 - Lairibaindeksid (Landsat, SPOT)
 - Kitsaribaindeksid (pildipektroskoopia)
- Statistilised seosed
 - regressioonid
 - k-NN meetod
- Näitab reeglina põhjuslike seoste olemasolu

Normalized difference vegetation index (NDVI)



LAI ja NDVI

- väike NDVI: väike katvus
- suur NDVI: suur katvus, suur LAI
- muutumispiirkond: -1.0 – 1.0, tavaliselt 0.2 – 0.8.
- LAI – NDVI vahel ei olene ühene seos
 - oleneb taimestikutüübist

Füüsikalised meetodid

- Põhinevad füüsikalistel protsessidel taimkattes
 - Valgus = elektromagnetkiirgus, osake = footon
 - Optiline kaugseire: geomeetrilise optika lähend
 - Valgus mitmekordne hajumine taimkattes
 - Vajalik info taimkatte struktuuri kohta
 - Taimkatte täpne geomeetriline kirjeldamine võimatu
 - Mitmete lihtsustuste ja lähenduste kasutamine paratamatu
- Füüsikalise mudeli kasutamine eeldab statistilise sõltuvuse olemasolu
- Probleemiks tihti sisendparameetrite määramine
 - Lisaks optilisele (passiivsele, nadiir-) kaugseirele vajalik „abiinfo“
- Füüsikaline \leftrightarrow energia jäävus?

Monte Carlo arvutused

- the MC method is the method of constructing probabilistic models for real processes to estimate certain average characteristics, e.g., mathematical expectations, variances and **covariances** (Ross & Marshak, 1991)
- Suur mudelite perekond
- Kõiksugused taimkatted võimalikud
- Nõuab kiiret arvutit
- Täpne



Kahe voo lähendid ja SAIL

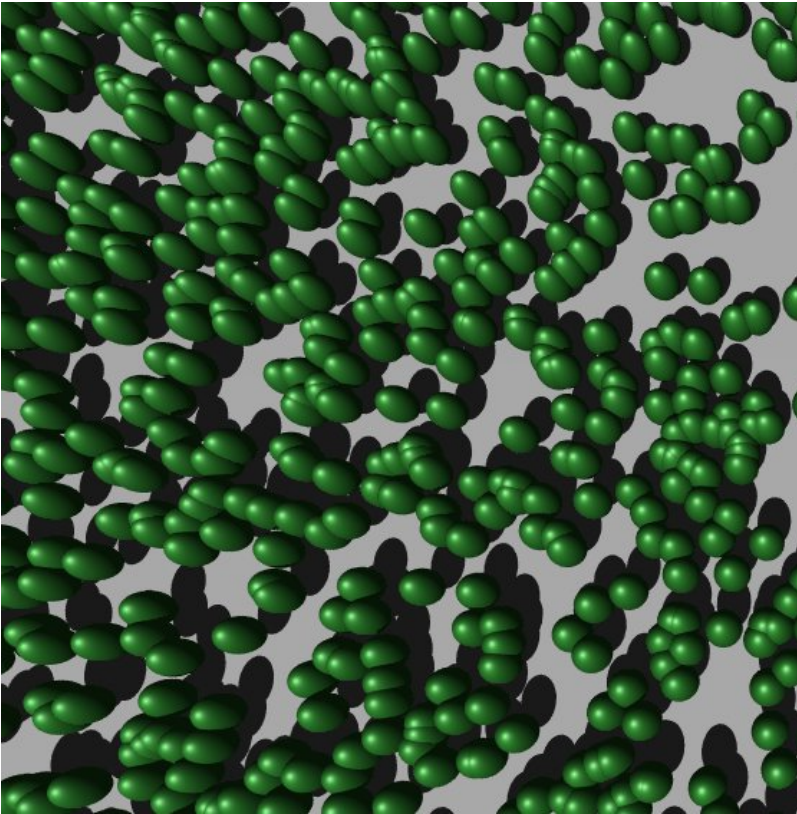
Scattering by Arbitrarily Inclined Leaves

- Kirkuse asemel arvutame voogusid
- voog üles, voog alla

$$\begin{aligned}\frac{d\Phi_-}{dz} &= -s\Phi_s + a\Phi_- - \sigma\Phi_+ \\ \frac{d\Phi_+}{dz} &= s'\Phi_s + \sigma\Phi_- - a\Phi_+ \\ \frac{d\Phi_s}{dz} &= k\Phi_s\end{aligned}$$

- analüütiline lahend
- lisame kaks voogu → SAIL (Verhoef, 1984)
 - Päikese suund
 - vaatesuund
- Kiire, täpne, kuid tihti mitterealistlik

Geomeetrisil-optilised mudelid



- (Metsa)taimestik koosneb puuvõradest
- 4 komponenti
 - valgustatud võra
 - varjutatud võra
 - valgustatud aluspind
 - varjutatud aluspind
- hübriidmudelid: lisame algoritmi komponentide heleduse füüsikaliseks arvutamiseks
- Kiire, täpne(?), realistlik(?)

Fotosüntees: fluorestsents

- Fluorestsents:
 - Klorofüllil poolt neelatud footonitest osa kiiratakse madalama energiaga tagasi
 - Kuni 3% signaalist fluorestsents
 - Otsene fotosünteesi mõõtmine kosmosest
- FLEX: Fluorescence explorer
 - ESA Technology demonstrator, lähiaastatel kosmosesse

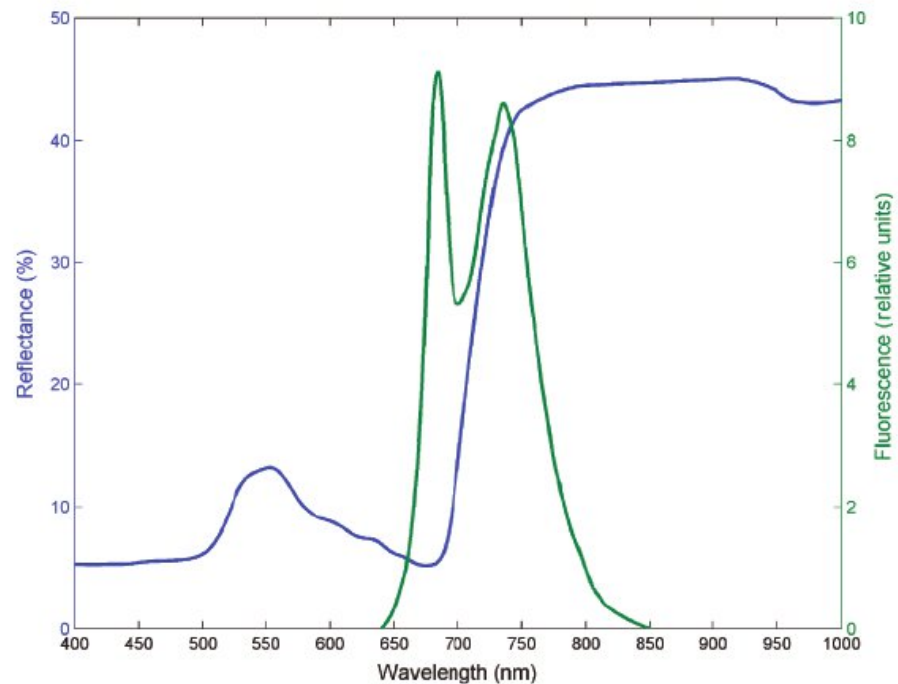


Fig. 4 Characteristic fluorescence emission spectrum with double-peaks at ~ 685 nm and ~ 740 nm. Superimposed is a characteristic reflectance spectrum. These spectra were generated with the FluorMOD software, a leaf and canopy reflectance model including fluorescence, developed by Zarco-Tejada *et al.* (2004) (<http://www.ias.csic.es/fluormod/>).

Klassifitseerimine

- **Multispektraalne satelliidipilt on punktiparv n -dimensionaalses ruumis**
 - Iga piksel on tõlgendatav kui punkt (vektor) heleduste (heleduskordajate) n -dimensionaalses ruumis, kus n on kasutatav spektraalkanalite arv
 - Punktiparve analüüsiks on kasutatavad kõik mitmemõõtmelise statistika meetodid
 - Selle üle, kas kahe piksli heledused on sarnased või erinevad, saab otsustada vastavate punktide kauguse järgi selles n -dimensionaalses ruumis. Alustuseks tuleb kokku leppida kauguse arvutamise eeskirjas
 - Lisaks kasutatavad nn geostatistika meetodid

Kaugus spektraaltunnuste ruumis

Eukleidiline kaugus punktide X_i ja X_j vahel

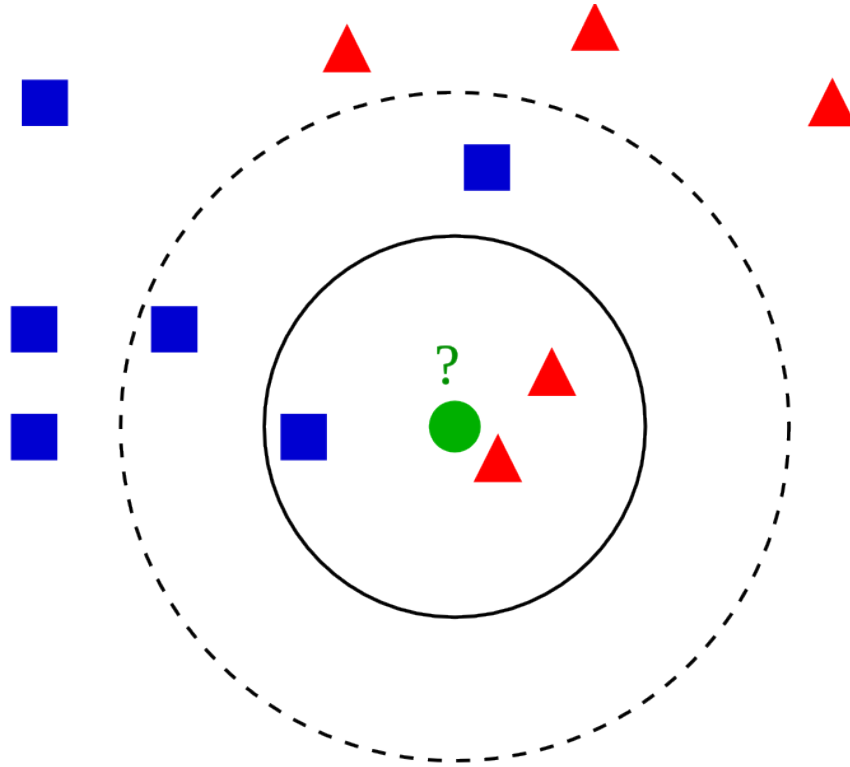
$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ki} - x_{kj})^2}$$

kus s_k on k -ndale kanalile vastav ruuthälve

Sageli kasutatakse nn. normeeritud Eukleidilist kaugust

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ki} - x_{kj})^2 / s_k^2}$$

k-NN meetod



Example of k-NN classification. The test sample (green circle) should be classified either to the first class of blue squares or to the second class of red triangles. If $k = 3$ it is classified to the second class because there are 2 triangles and only 1 square inside the inner circle. If $k = 5$ it is classified to first class (3 squares vs. 2 triangles inside the outer circle).

Spektraalne nurk (*spectral angle*)

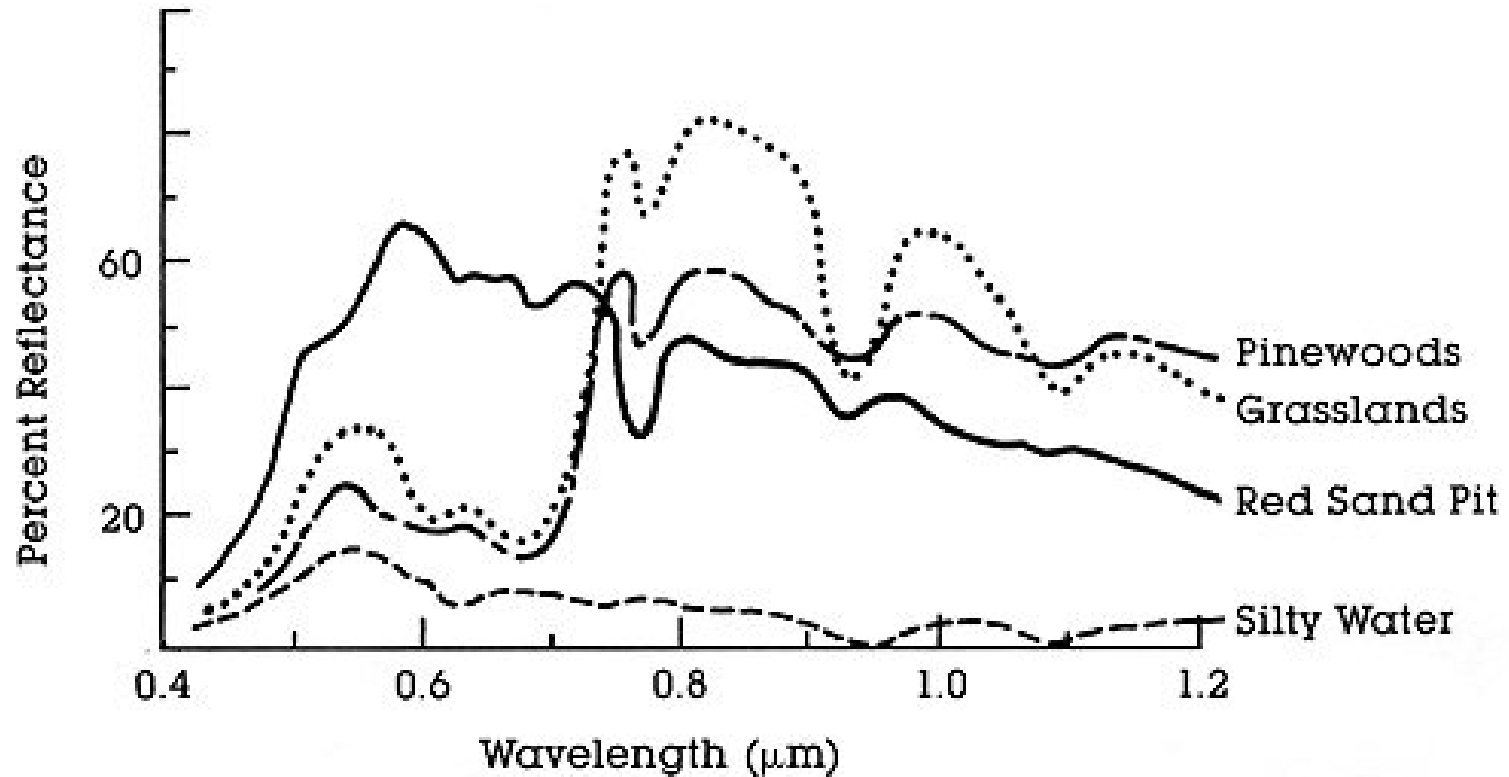
Vektorite vaheline nurk e. spektraalne nurk. Kujutame kaht punkti spektraaltunnuste ruumis kui vektoreid

$V_i = (x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_n})$ ja $V_j = (x_{j_1}, x_{j_2}, \dots, x_{j_n})$. Nende kahe vektori vaheline nurk ning selle koosinus iseloomustavad samuti kaugust punktide (vektorite) vahel:

$$\cos \theta_{V_i V_j} = \frac{V_i^T V_j}{\|V_i\| \|V_j\|}$$

kui skaleerida neid vektoreid mingi teguriga, siis see ei muuda spektraalset nurka. Nii saab omavahel võrrelda spektreid, mille ühikud erinevad (või erineb valgustatus).

Klassifitseerimine

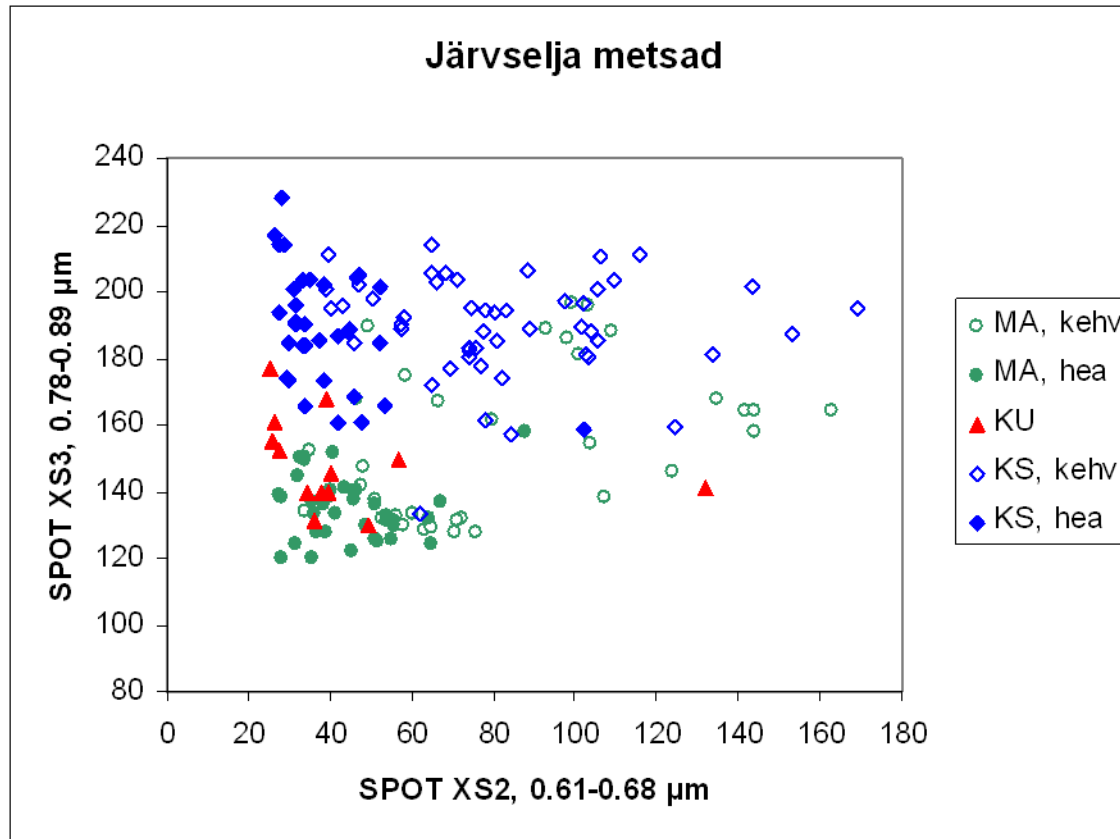


Spektraalsed signatuurid: erinevate klasside signatuurid peavad olema eristatavad (arvestades ka kasutatavaid spektrikanaleid)

Satelliidipiltide analüüsi meetodeid

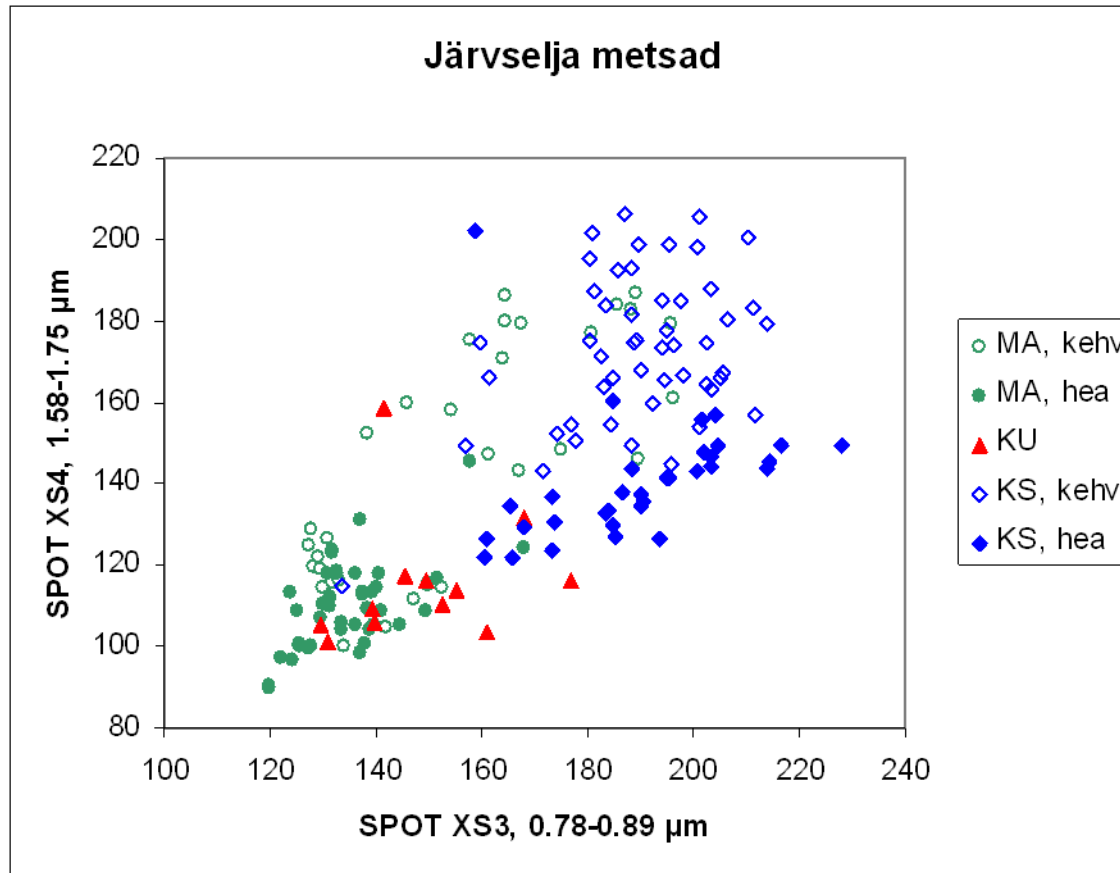
- Klassifitseerimine e. klasteriseerimine
 - Ilma õpetava valimita (Cluster, Isoclust)
 - Õpetava valimiga (Maxlike, Neural Net)
 - Pehme e. ähmane (fuzzy)
- Muutuste avastamine erineval ajal tehtud piltide võrdluse abil
 - Piltide lahutamine eelneva heleduste skaala ühtlustamisega
 - Peakomponentide analüüs. Muutunud alad tavaliselt suurema numbriga peakomponentides – reeglina domineerivad pildidel püsivad alad
 - Pikema-ajaliste trendide avastamine raskendatud

Metsa peegeldustegur



Tüüpiline korrelatsiooni-diagramm heledustele spektri punases ja lähedases infrapunases osas. Erinevad metsatüübid → klastrid

Metsa peegeldustegur

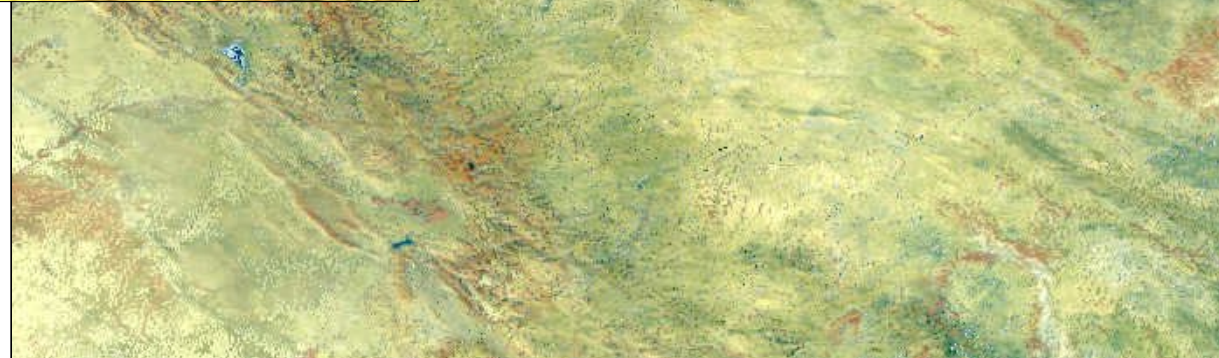
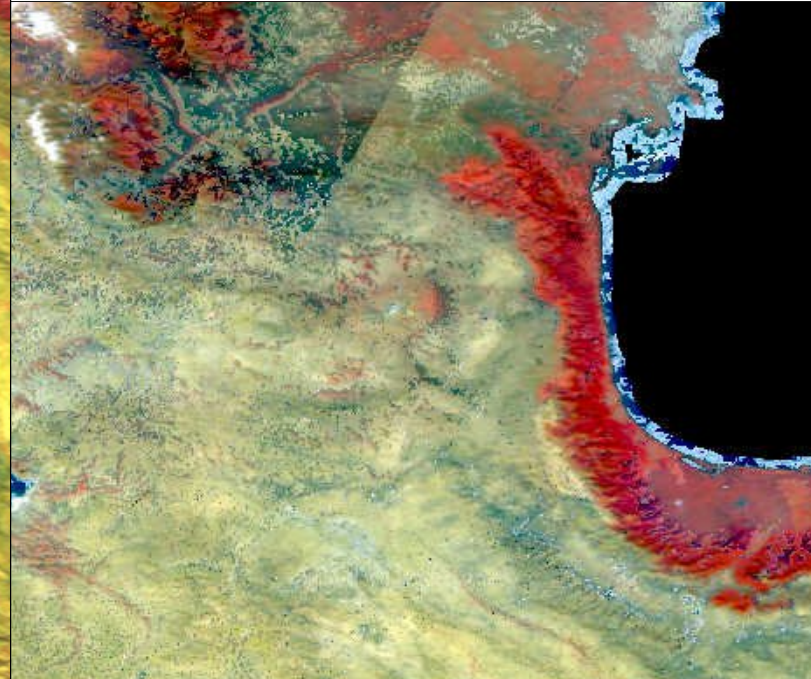
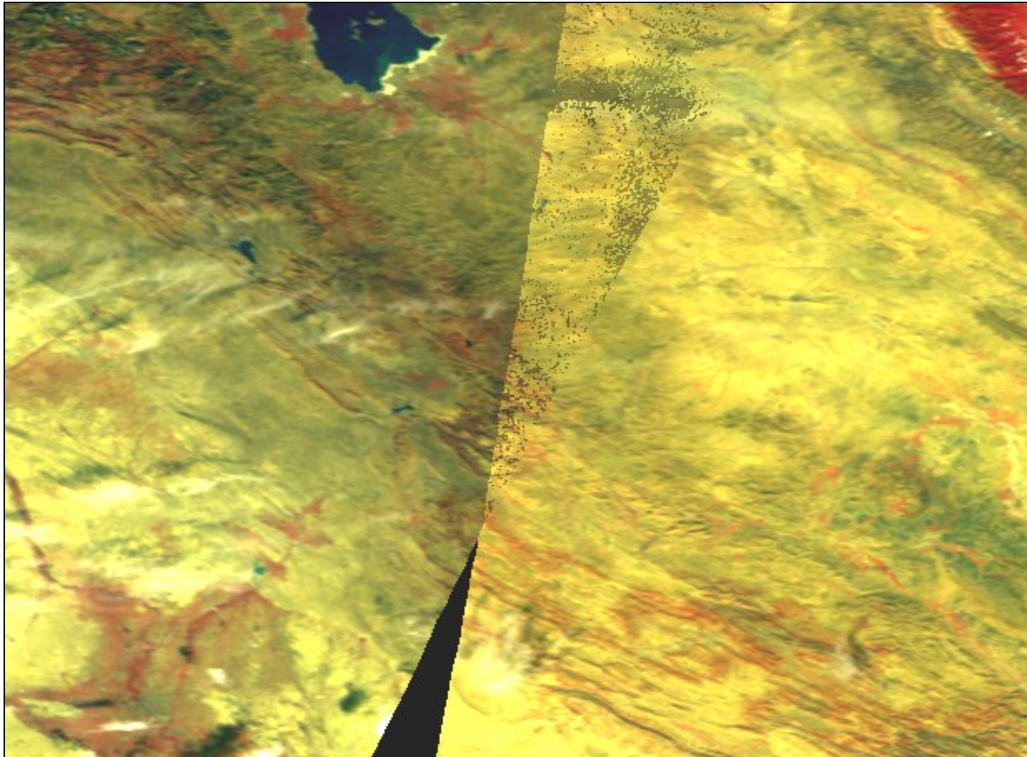


Tüüpiline korrelatsiooni-diagramm heledustele spektri lähedases ja keskmises infrapunases osas. Erinevad metsatüübid → klastrid

Peegelduse suunaefektid

- „BRDF efekt“
 - Erinevad kaugseiremõõtmised erineva vaategeomeetriaga
 - Ideaalne hajutaja, Lamberti pind: suunaefekte pole
 - Kõigil looduslikel materjalidel on suunaefektid
 - Efekt oleneb peamiselt materjali struktuurist
 - *BRDF correction*: suunaefekti korrigeerimine – infohulga vähendamine

Peegelduse suunaefektid



SPOT composite
Pärsia lahe piirkond

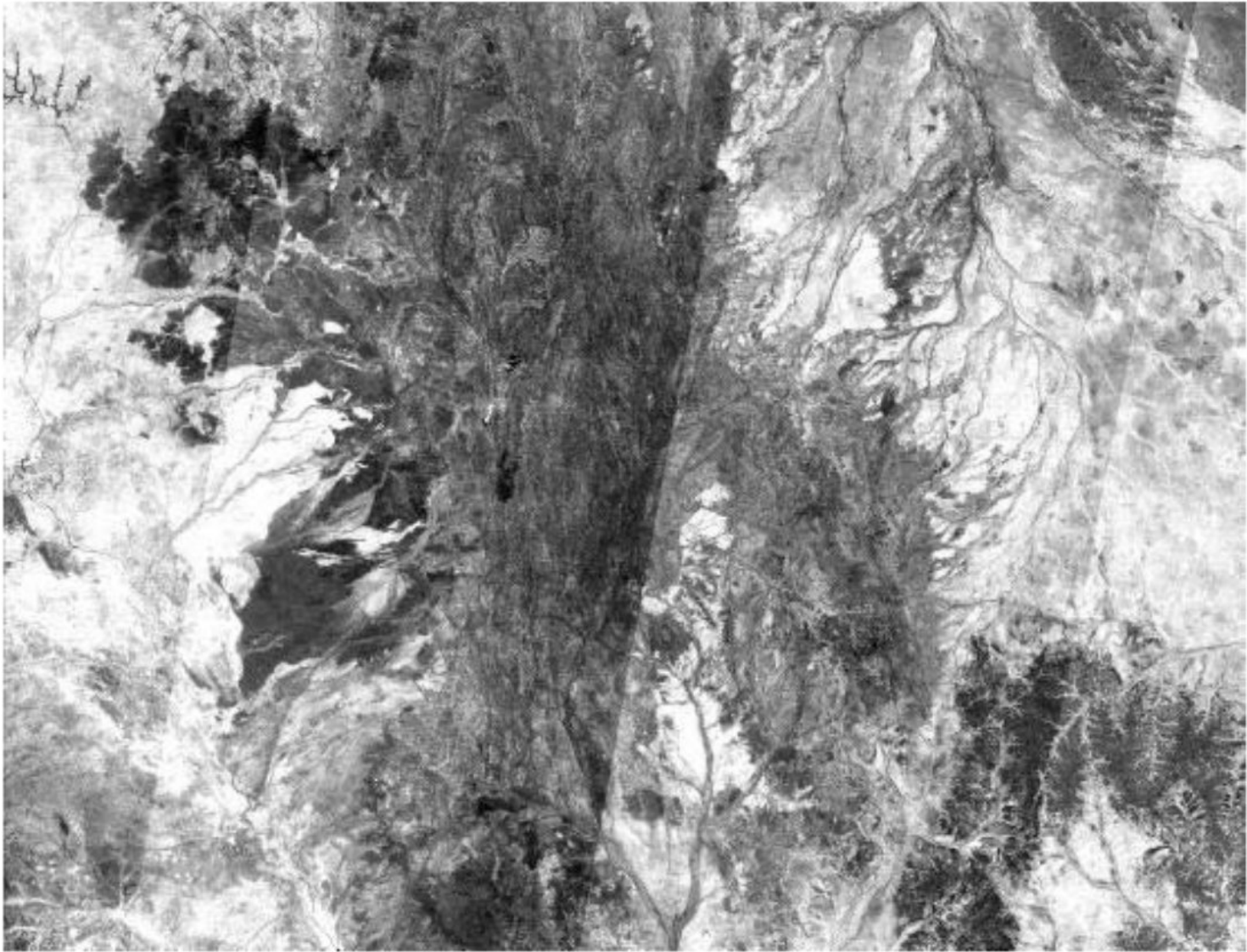
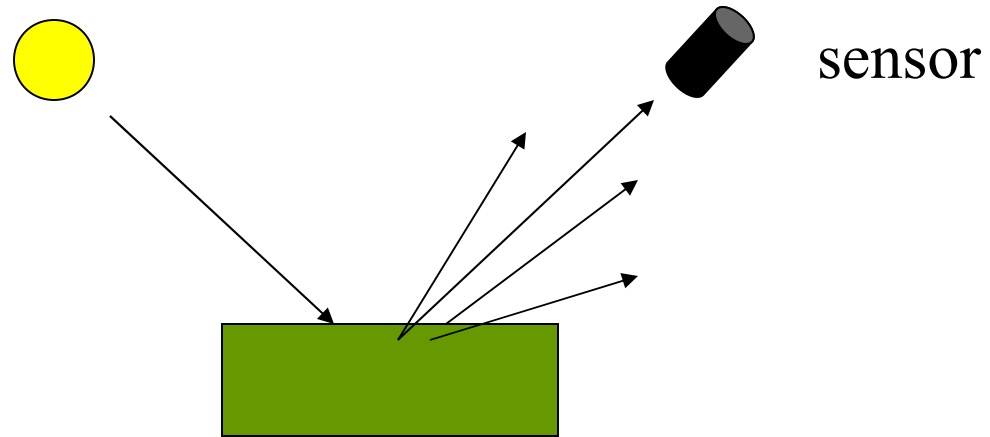


Figure 7: ETM+ band 1 TOA reflectance mosaic of four paths.

Hot Spot

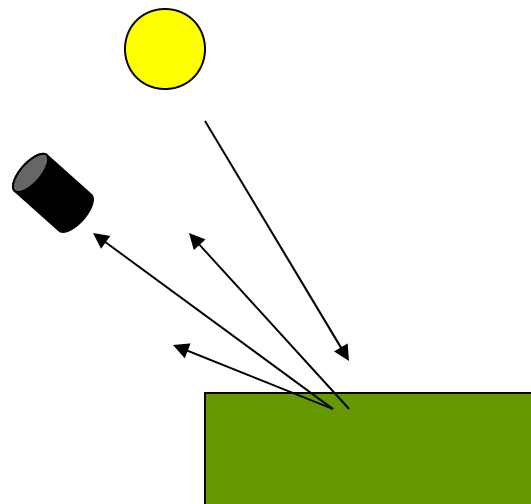


BRDF



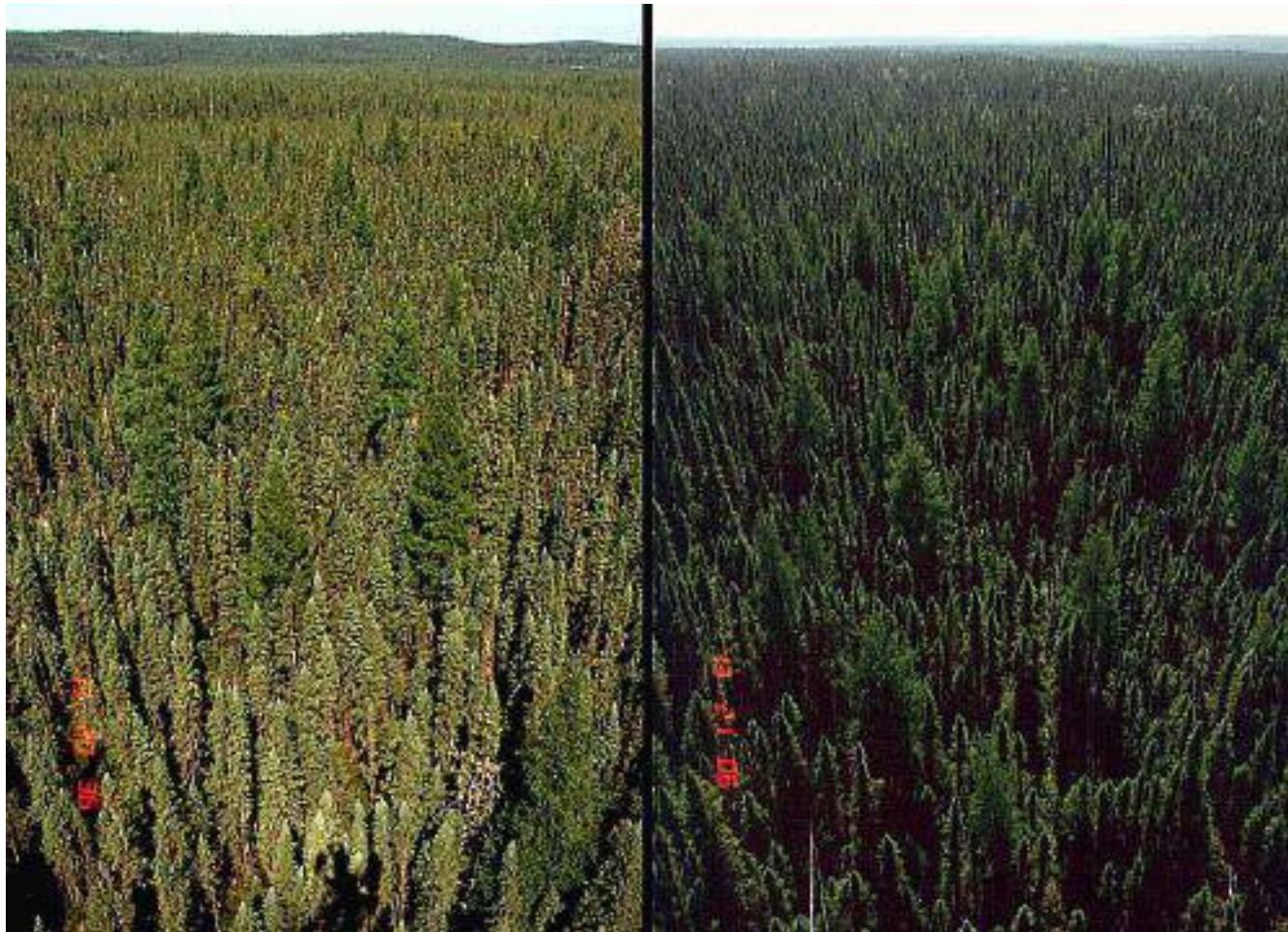
sensor

Forward scatter direction



Back scatter direction

BRDF



Backscatter direction

Forward scatter direction

BRDF

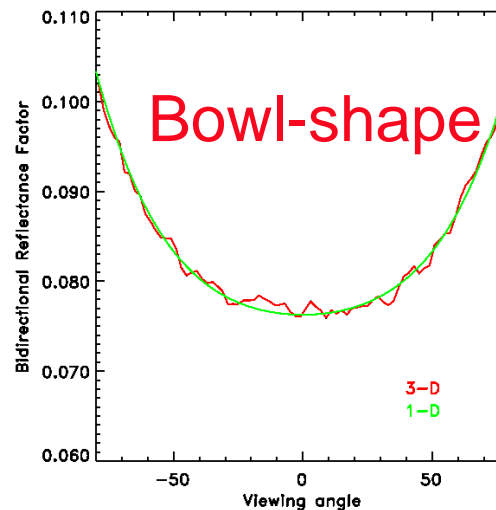
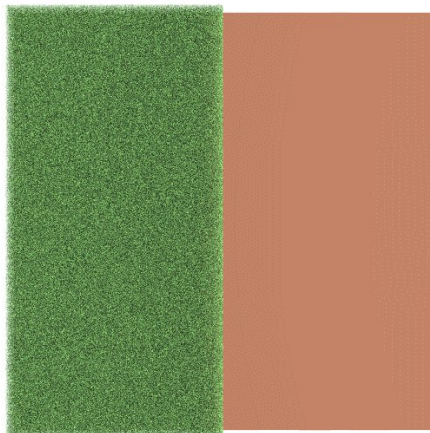


Backscatter direction

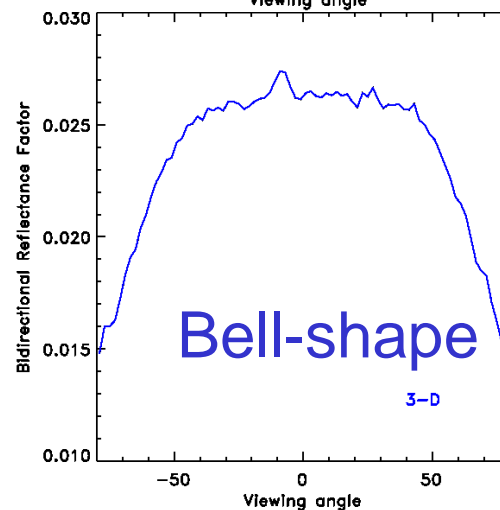
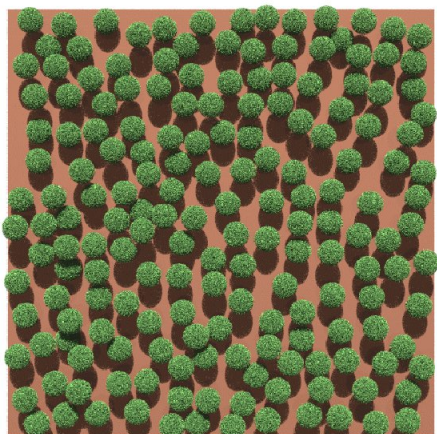
Forward scatter direction

Peegelduse suundolenevus

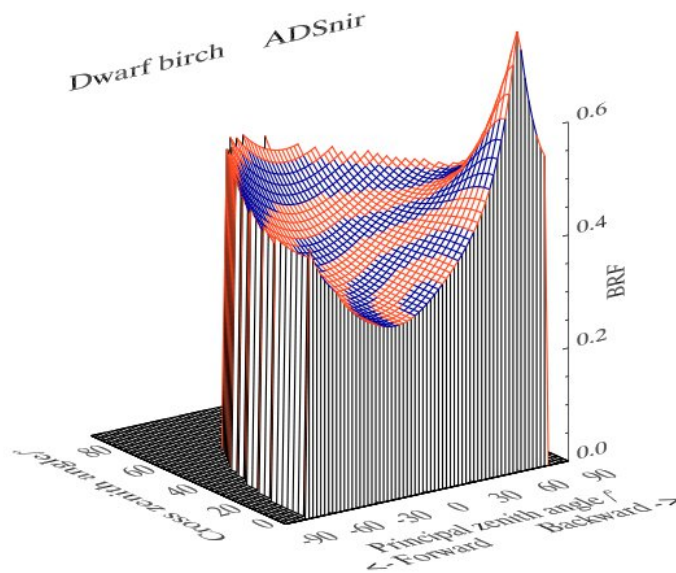
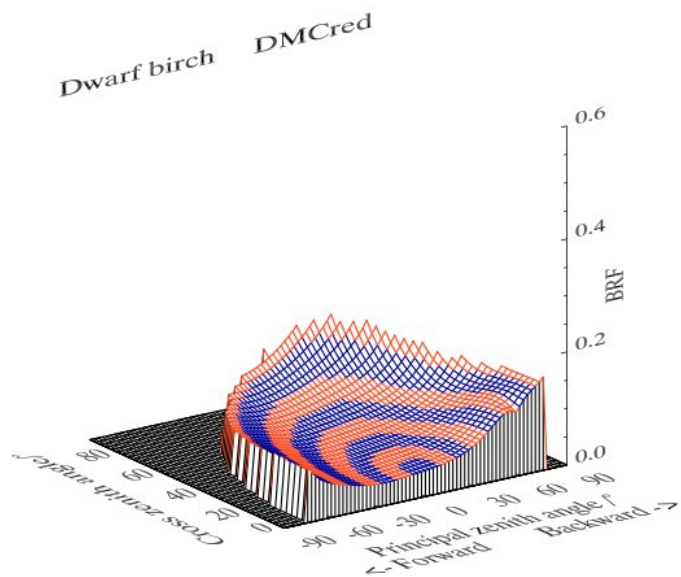
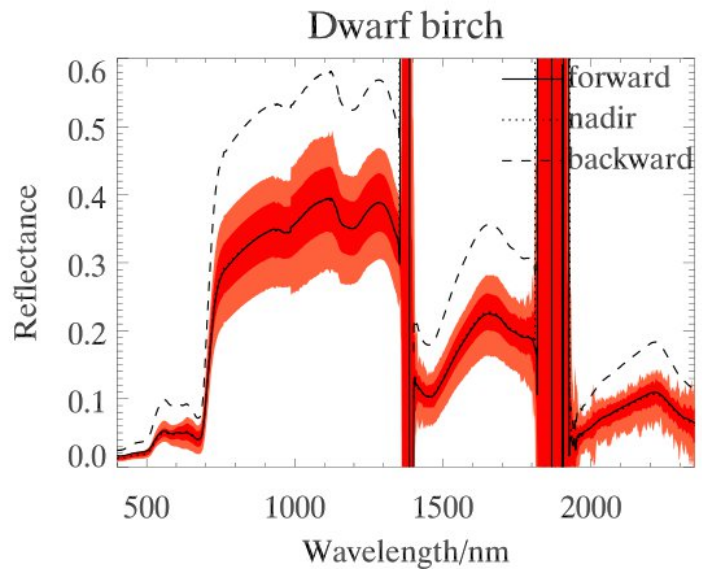
IPA



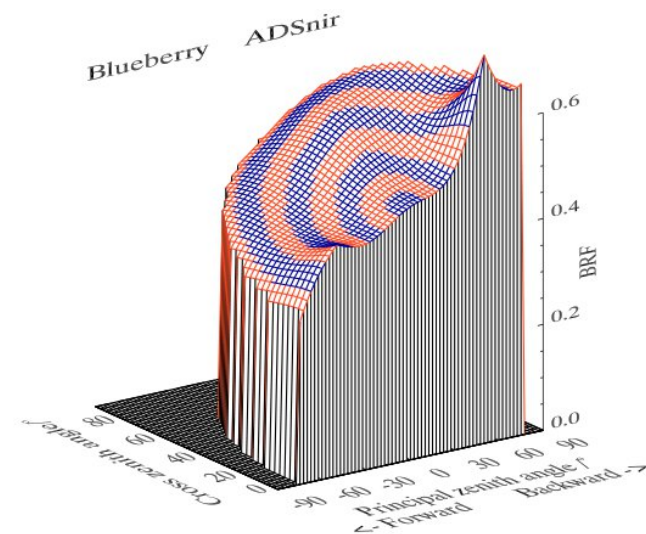
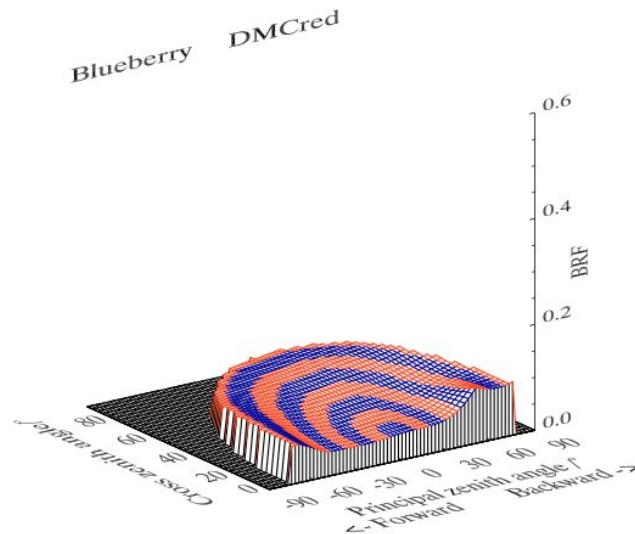
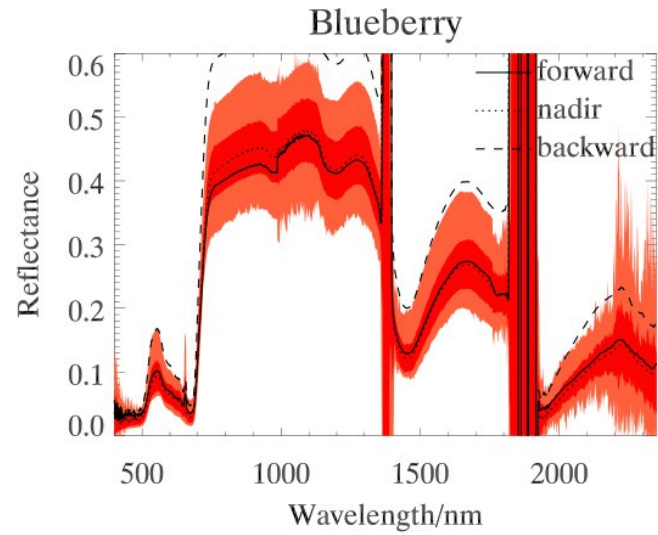
3-D



Homogeenne taimkate on heledam viltu vaadates (bowl-shape)
Kellukesekujuline BRDFi võib põhjustada 3D struktuur



Tegelikud BRDF mõõtmised punases ja lähedases infrapunases

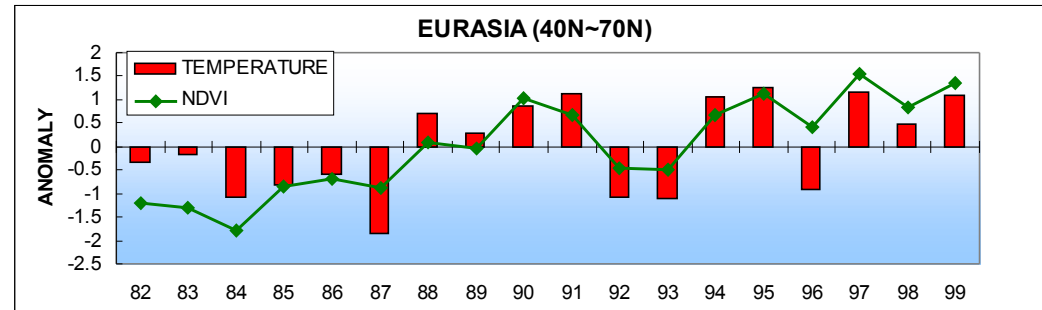
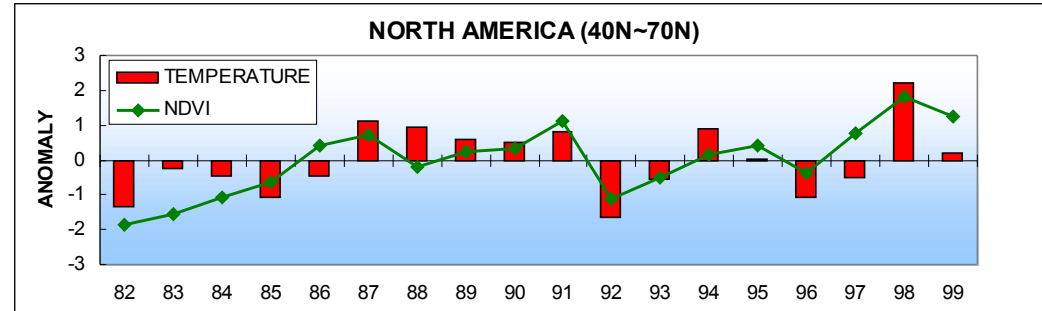
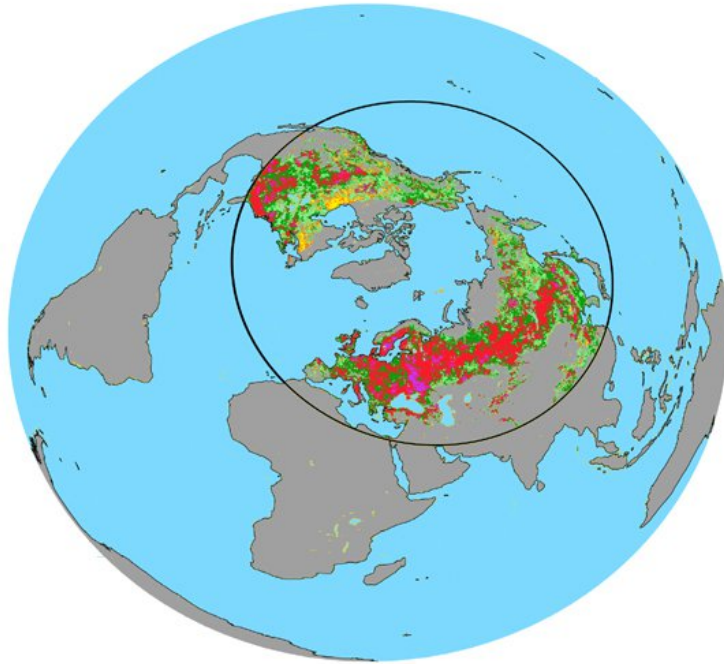


Tegelikud BRDF mõõtmised punases ja lähedases infrapunases

Aegread

- Keskkonna kaugseire algusest on 30 aastat
- Aegread
 - Pikaajalised trendid
 - Sesoonsed trendid
 - Muutuste detekteerimine

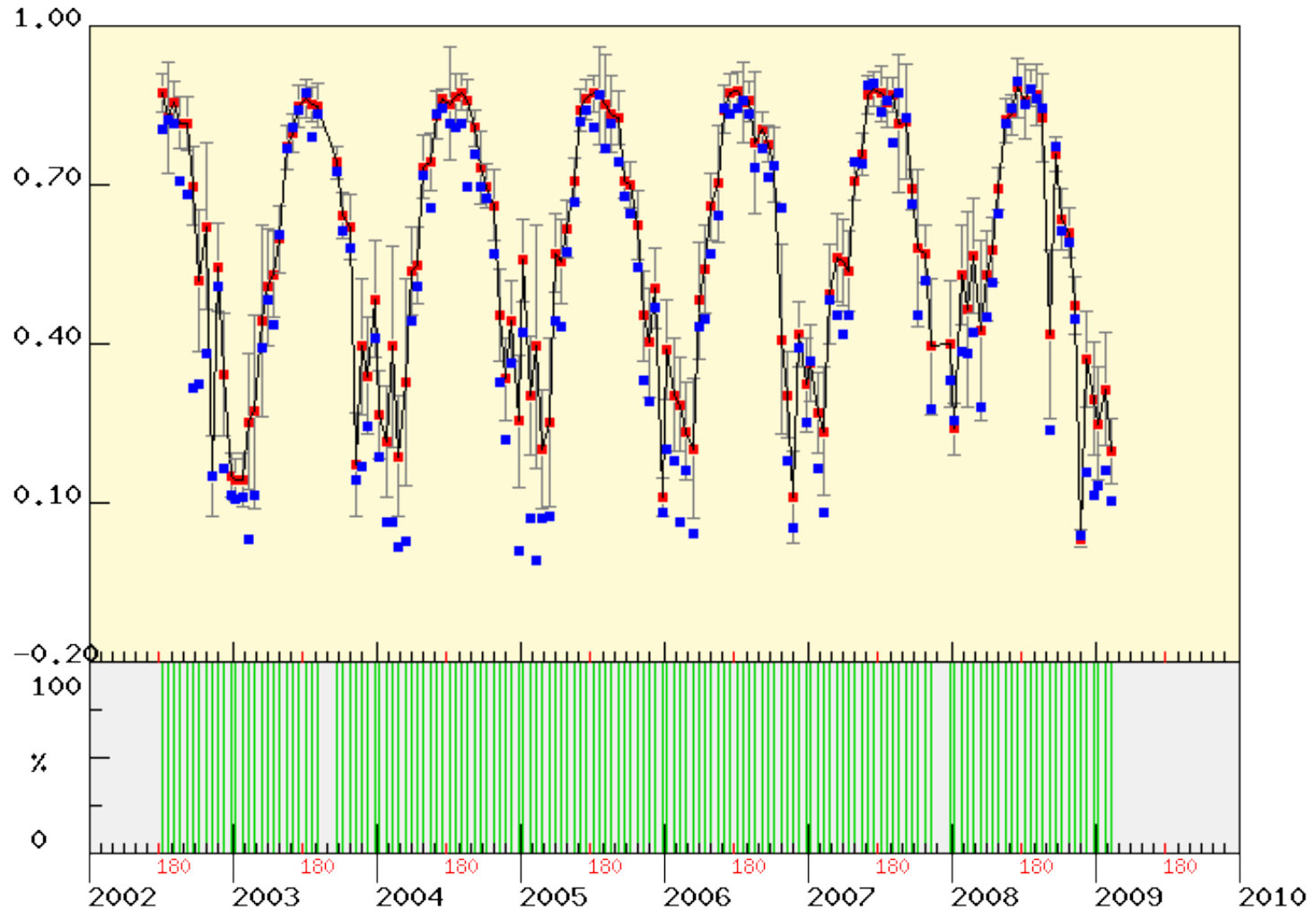
[1] Greening of the Northern Latitudes



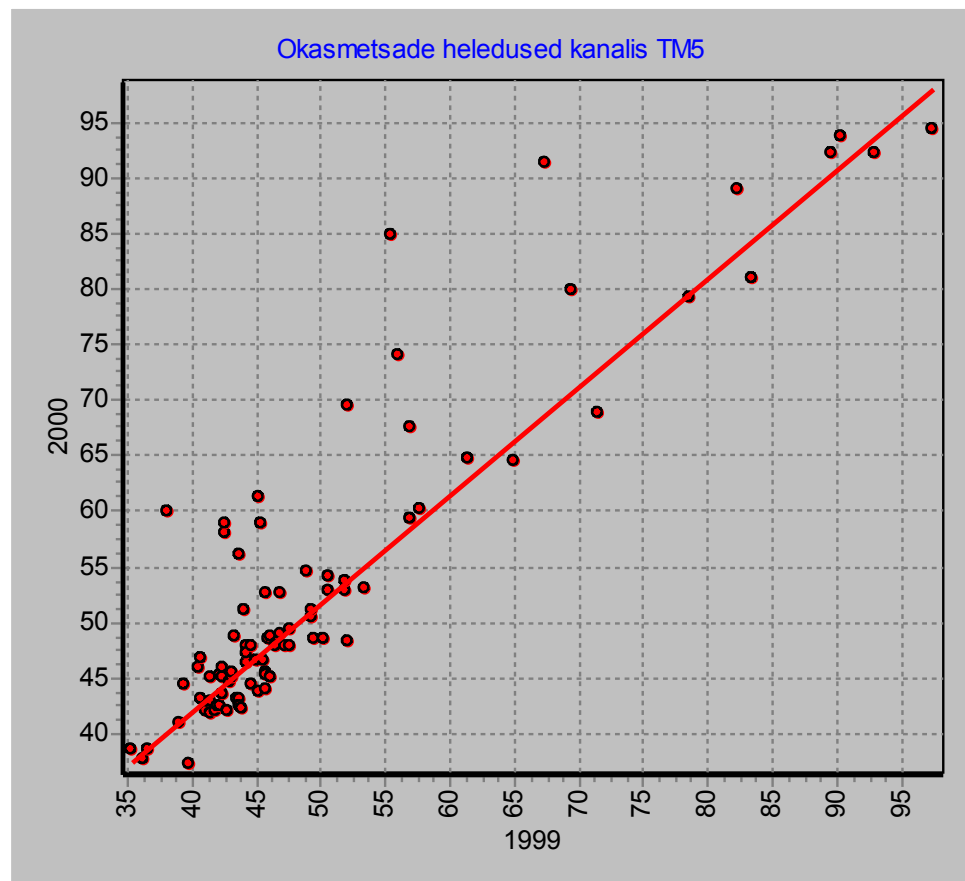
Analyses of satellite greenness index data sets indicate a significant **greening of the northern latitudes** since the early 1980s. This greening trend show a strong correlation with the pronounced warming of surface temperatures observed in these regions, and the spatio-temporal pattern of greening coincides with the major modes of global climate variability, namely, the El Nino Southern Oscillation and the Arctic Oscillation.

MODIS NDVI Raw/UnFiltered (Scaled)

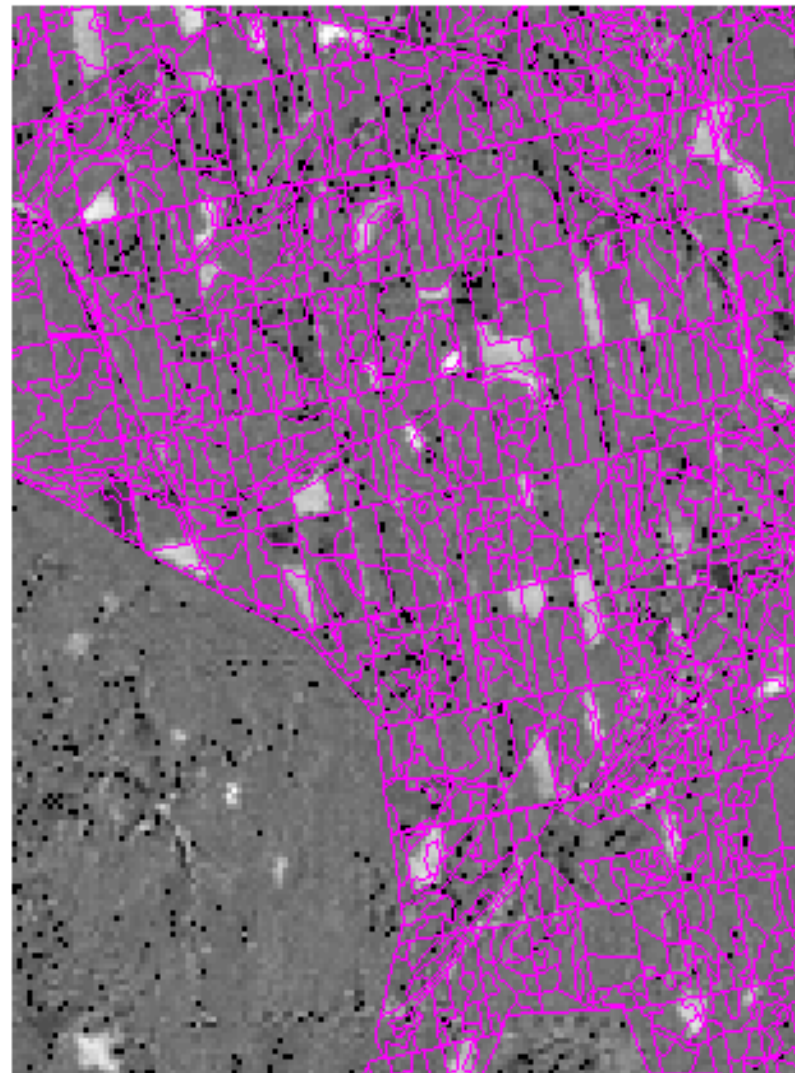
Järvelja



Lageraiete avastamine

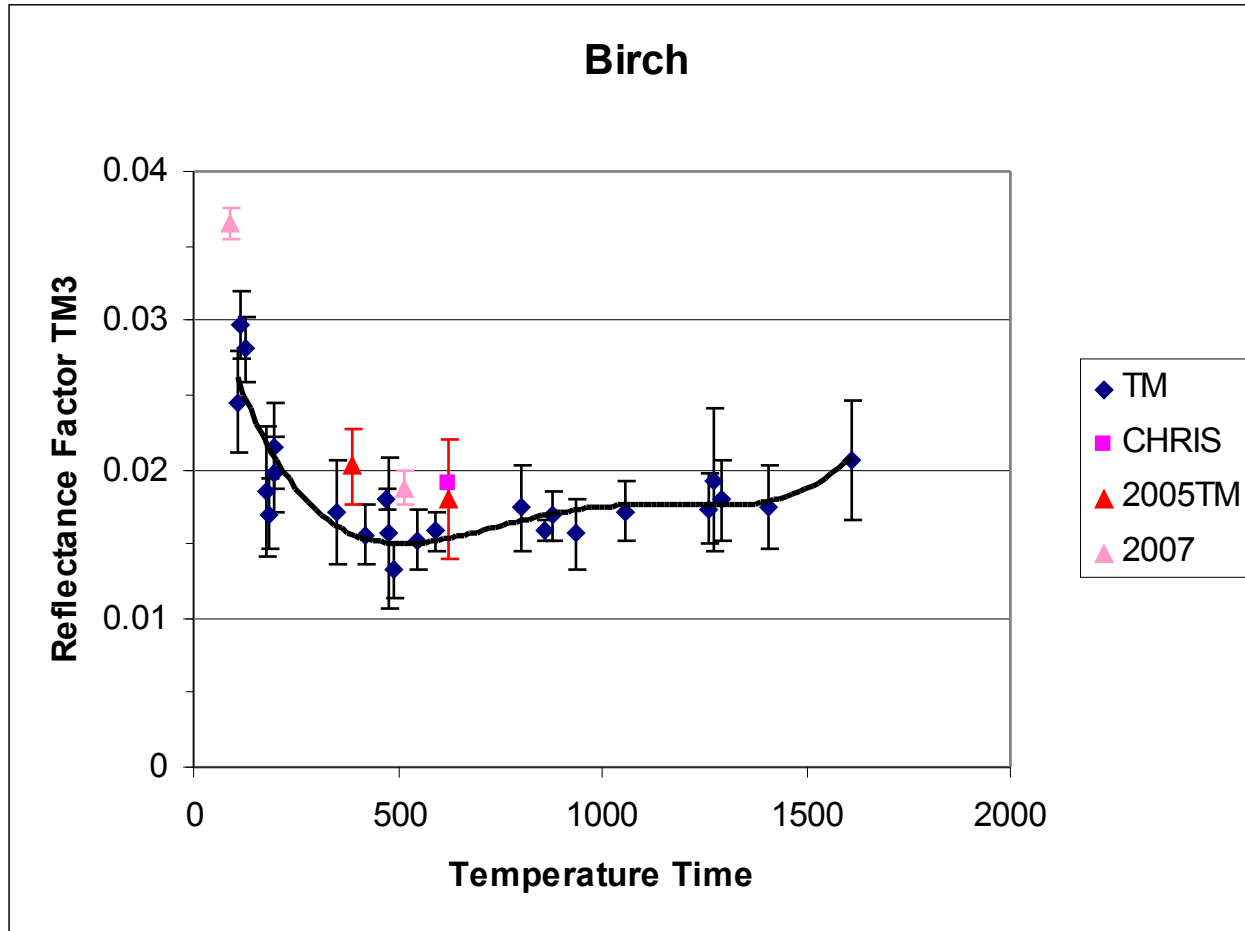


Järvelja, vahe 1997-1995, TM5



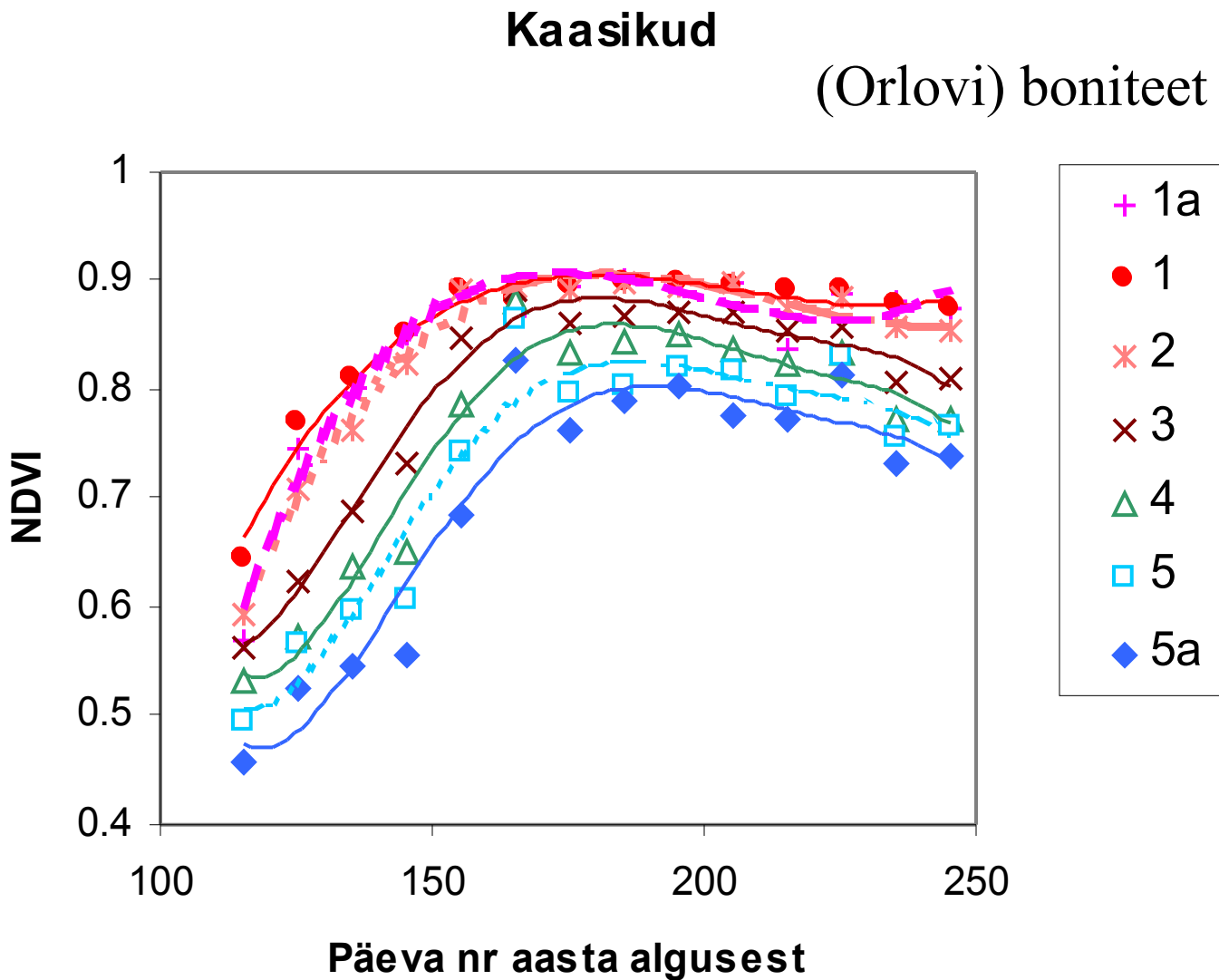
Regressiooniseos samade puistute heleduse vahel erinevatel aastatel. Raiatud puistud on muutunud oluliselt heledamaks. Eesti oludes sobivaim kanal keskmine infrapunane

Kaasiku heleduskordaja spektri punases piirkonnas fenoloogilise aja funktsioonina



Naadi kasvukoha-
tüüp, vanus 45 a,
I boniteet

Erineva boniteediga Järvelja kaasikute NDVI sesoonsed käigud



Selged erinevused NDVI sesoonsetes käikudes kehvema kasvukoha kaasikute vahel.

Vt. kevadise kasvu alguses ajanihet. Kehvades kaasikutes algab rohelisteks minek hiljem kui heades

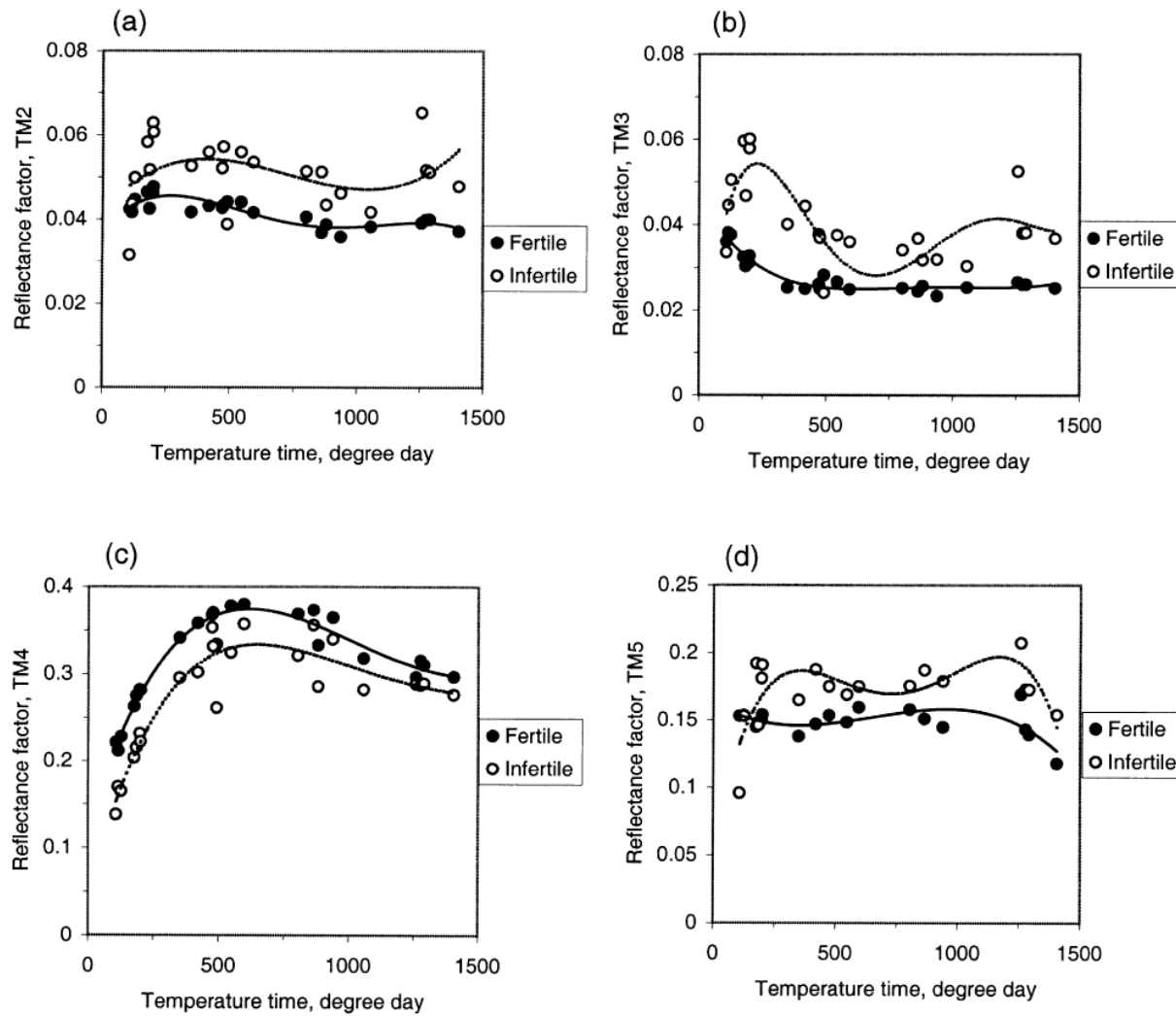


Fig. 3. Seasonal course of reflectance for fertile and infertile birch dominated forests from Järvelja. Spectral bands as in Fig. 1.

Calibration of time series of satellite images to study the seasonal course of forest reflectance

Tiit Nilson^{a,c}, Tõnu Lükk^a, Sandra Suviste^b, Heidi Kadarik^b,
and Alo Eenmäe^c

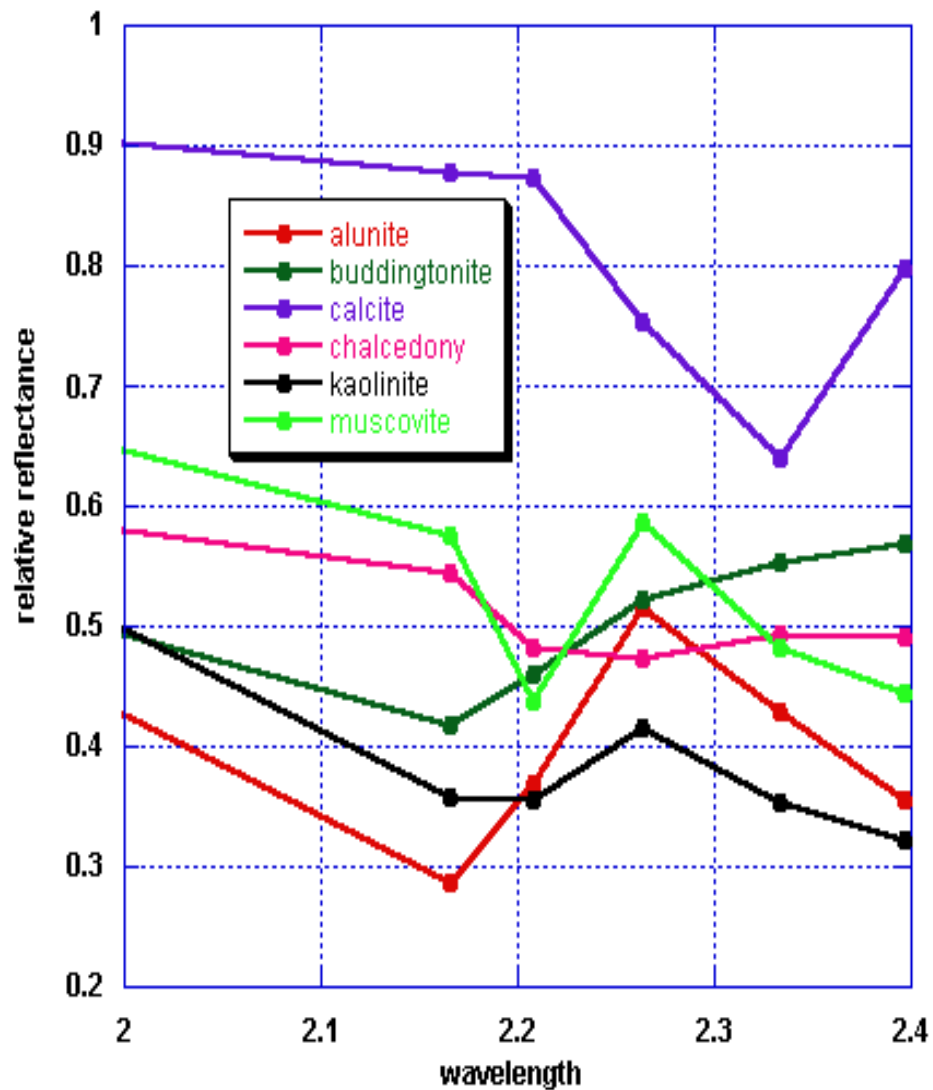
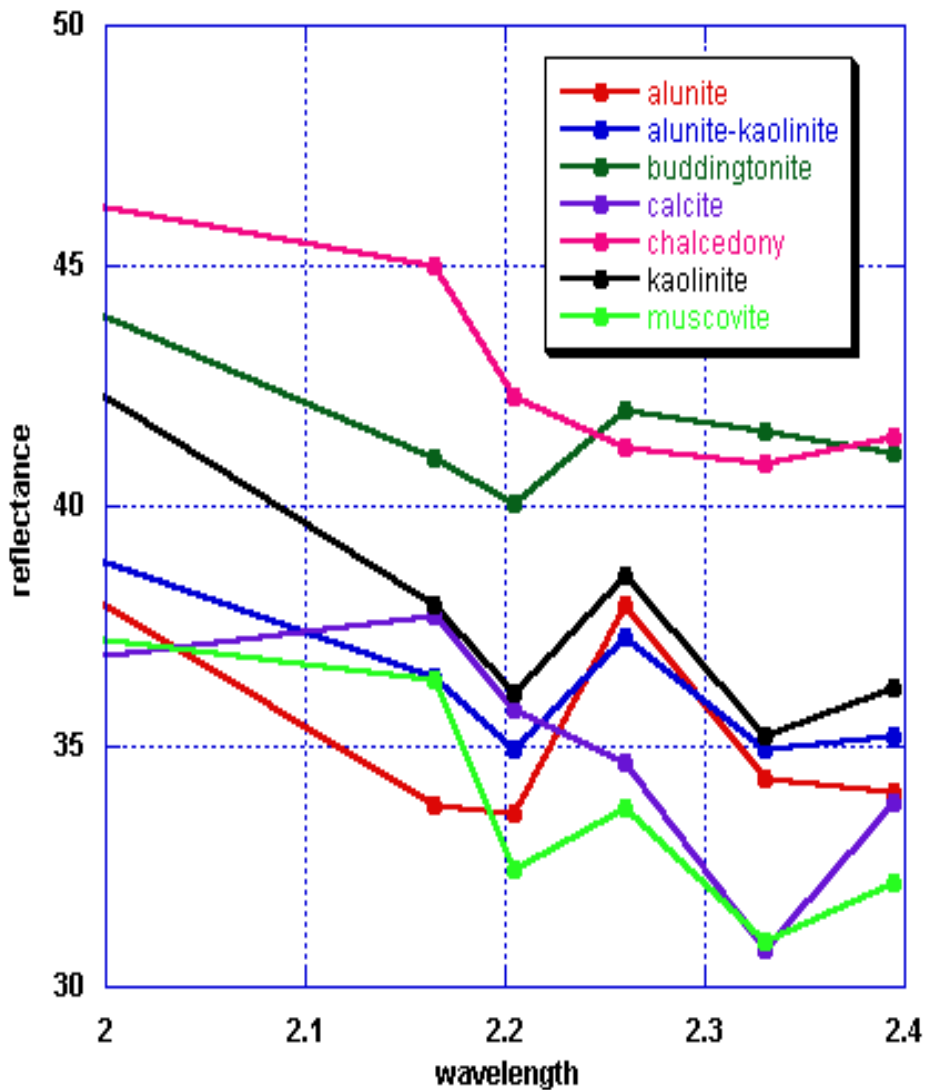
Kaugseire geoloogias

- Kaugseire võimaldab hinnata maapinna geoloogilisi iseärasusi
 - Väike sesoonne muutlikkus (vajalik üks pilvevaba päev)
 - Vähese taimestikuga piirkondades
 - Abiinfo maapealsele uurimisele
- Topograafilised efektid
 - Fotogramm-meetria
 - Lidar / radar
 - Varjud
- Peegeldustegur
 - SWIR piirkond on inforikas
 - TIR: heledustegur

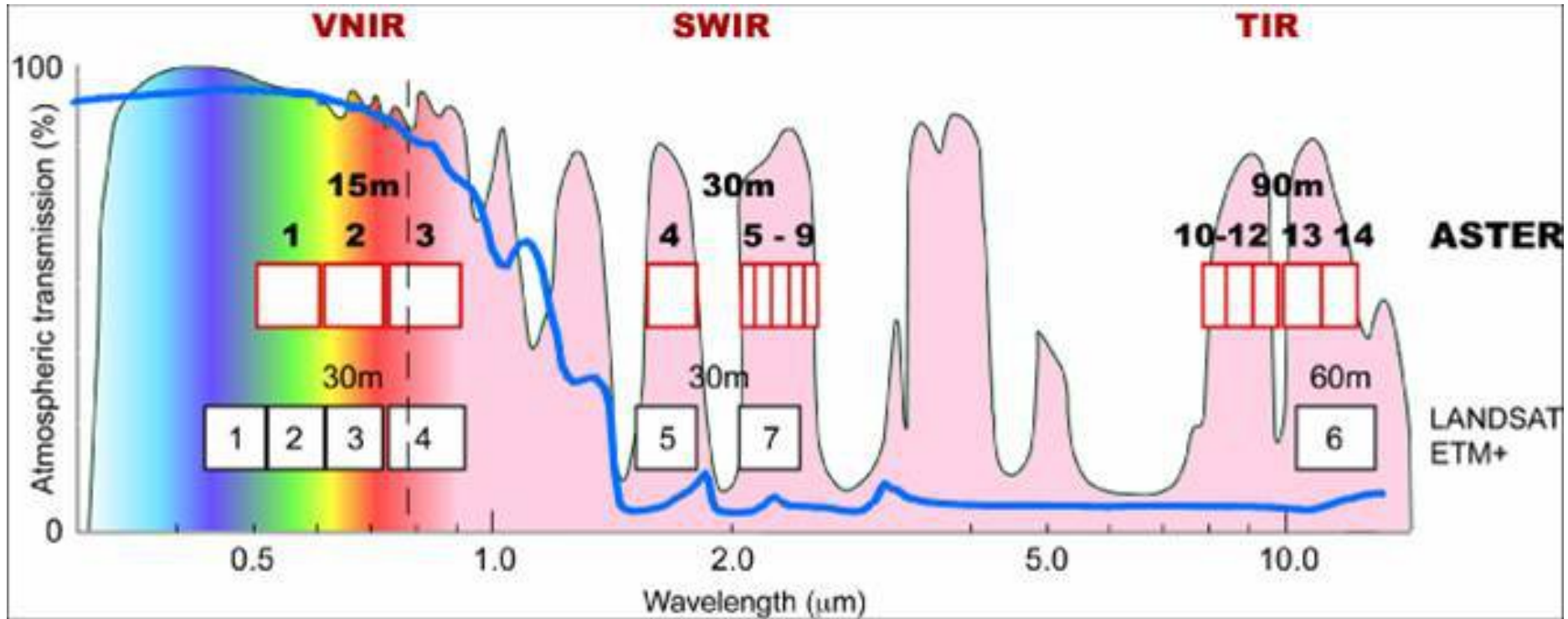
SWIR Mineral spectra: ASTER image & USGS library

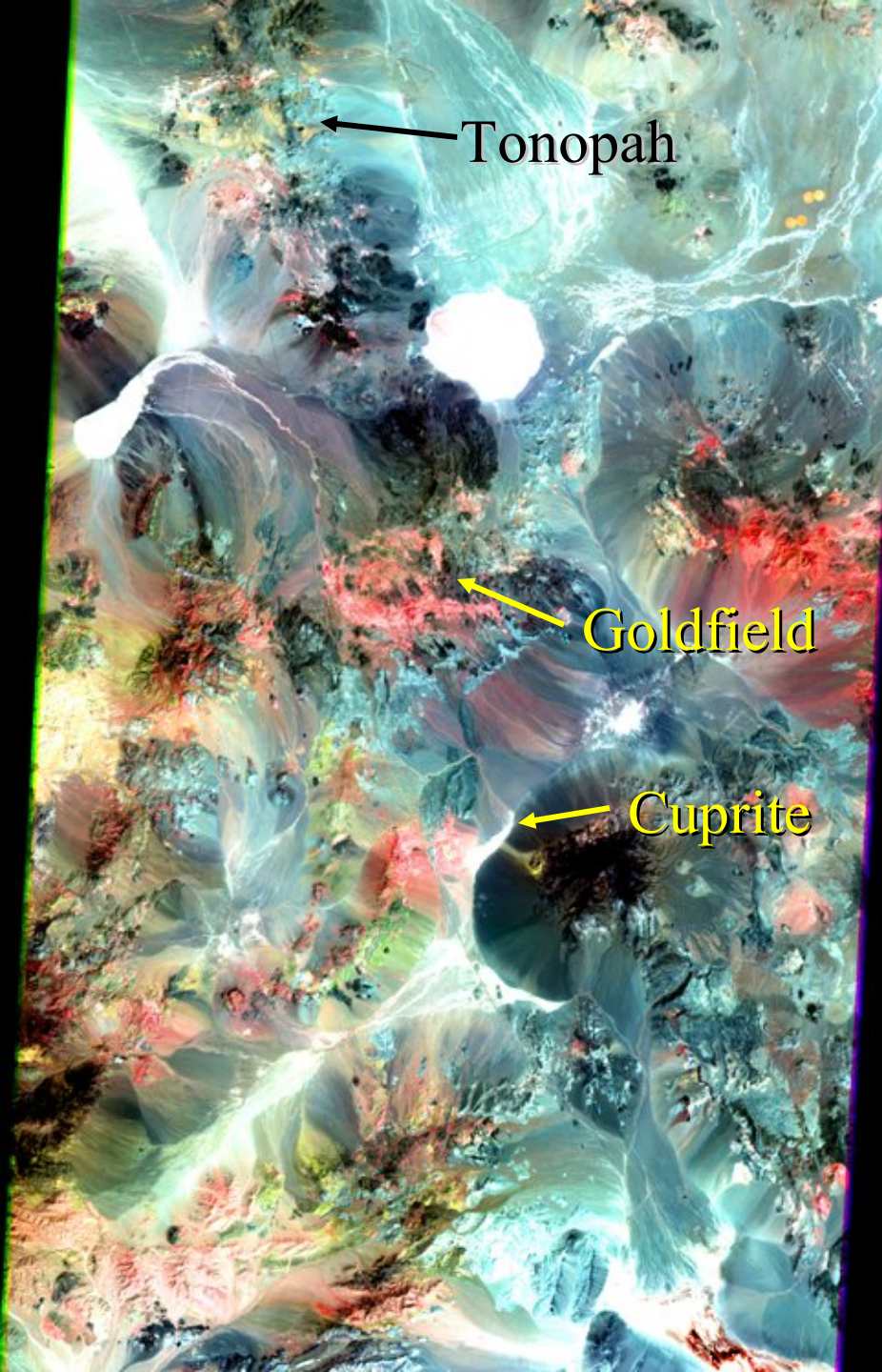
Cuprite ASTER spectra

USGS Mineral Library



ASTER





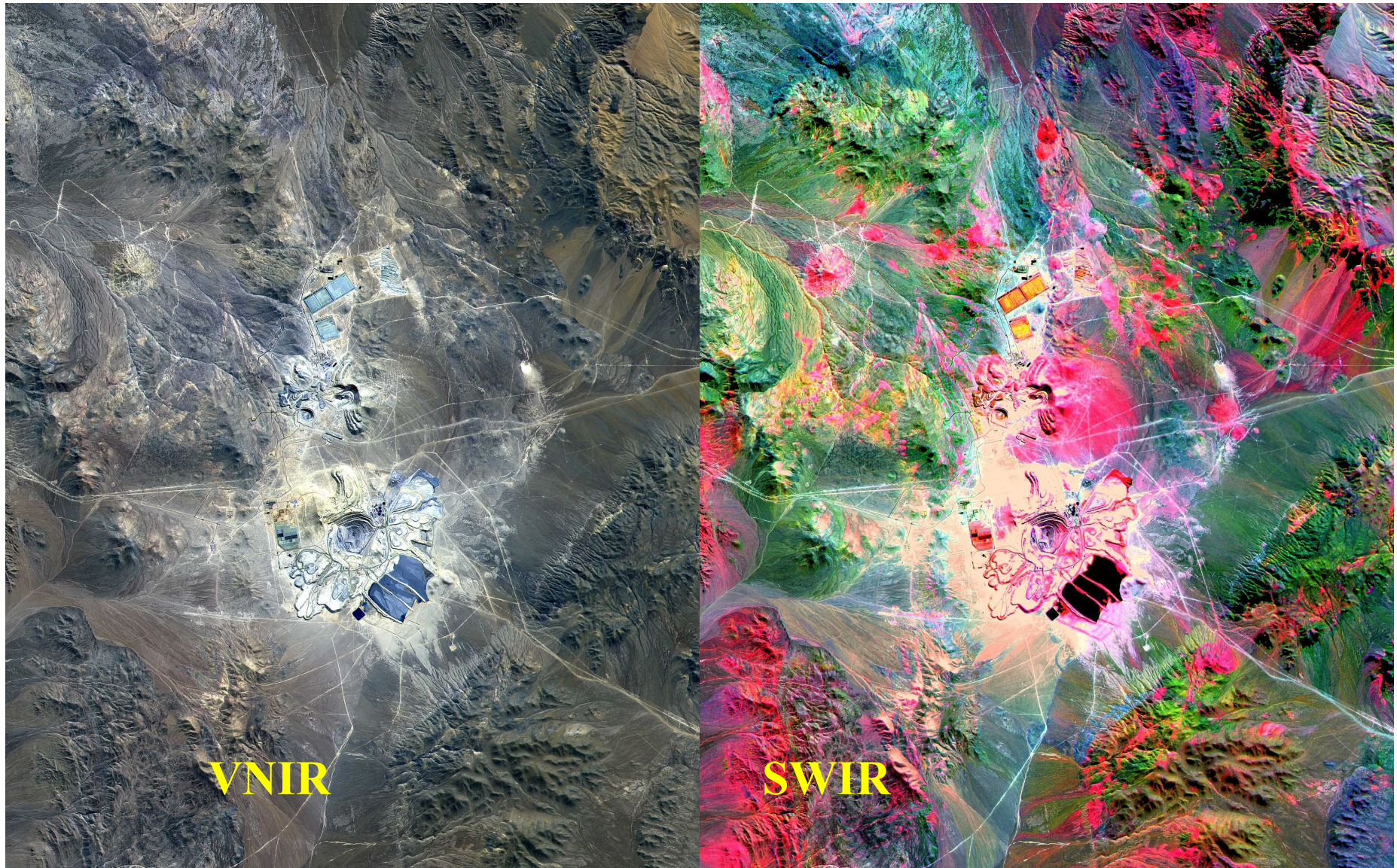
Tonopah

Goldfield

Cuprite

West-central Nevada
ASTER SWIR 4-6-8 RGB
saturation stretched

Escondido Copper Mine, Chile





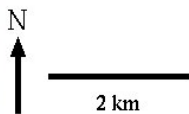
Cuprite, Nevada
AVIRIS 1993 data

Synthesized TM Bands
Approximate True Color

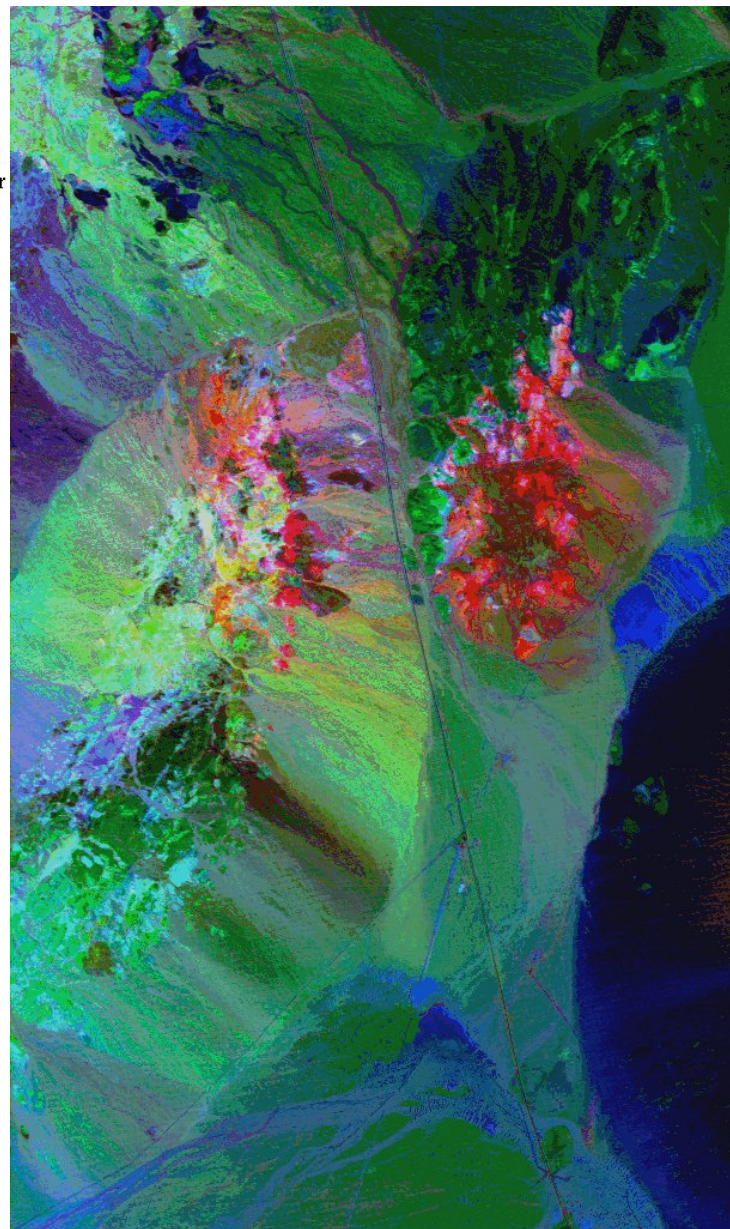
TM 3
(0.67 μm)

TM 2
(0.56 μm)

TM 1
(0.48 μm)



Roger N. Clark
US Geological Survey
1995



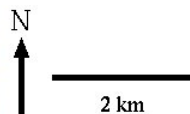
Cuprite, Nevada
AVIRIS 1993 data

Synthesized TM Bands

TM 5 / TM 7
(1.67 μm / 2.22 μm)

TM 5 / TM 4
(1.67 μm / 0.84 μm)

TM 3 / TM 1
(0.67 μm / 0.48 μm)



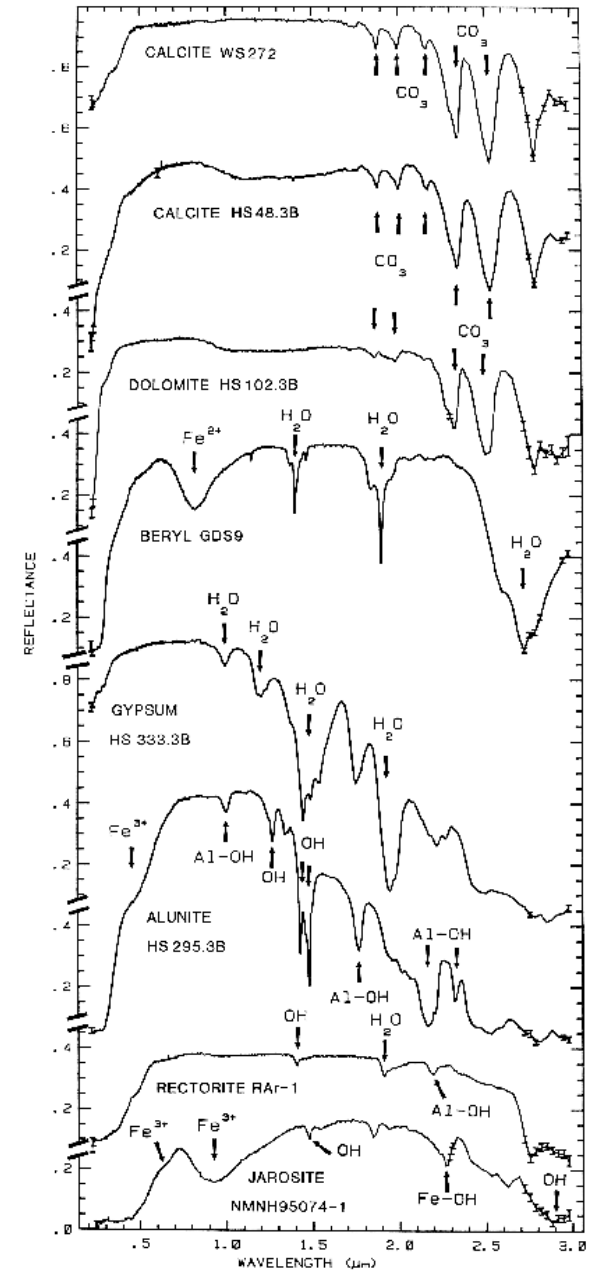
Roger N. Clark
US Geological Survey
1995

Pildispektroskoopia

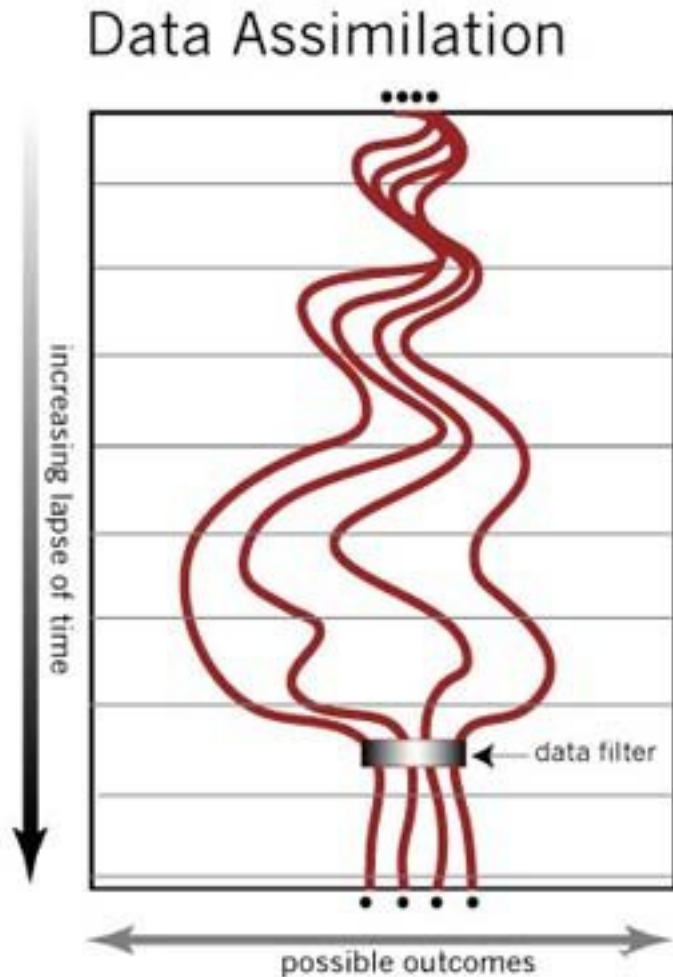
- = Hüperspektraalne kaugseire
- Mõõtmised laboris
- Spektrisegu lahutamine
 - Pikslisisene struktuur (malelaud): lineaarne
 - Segunenud materjalid: mittelineaarne
- Rakendused geoloogias / mullateadustes
 - Mõõdetakse ainult pinnakihi omadusi
 - Segunemine oleneb graanulite suurusest
 - Peegelduse nurkjaotus: pinna ebatasasus

Neeldumisjooned

- Neeldumisjoonte teke
 - Keemilise sidemetega seotud aatomid kristallides võnguvad. Võnkesagedus oleneb sideme tüübist, energiast ja aatomite massidest.
 - Paljudel ainetel ja keemilistel rühmadel on iseloomulikud neeldumisribad: vesi, hüdroksüül-, karbonaat, fosfaatrühmad, boraadid, arsenaadid, vanadaadid.



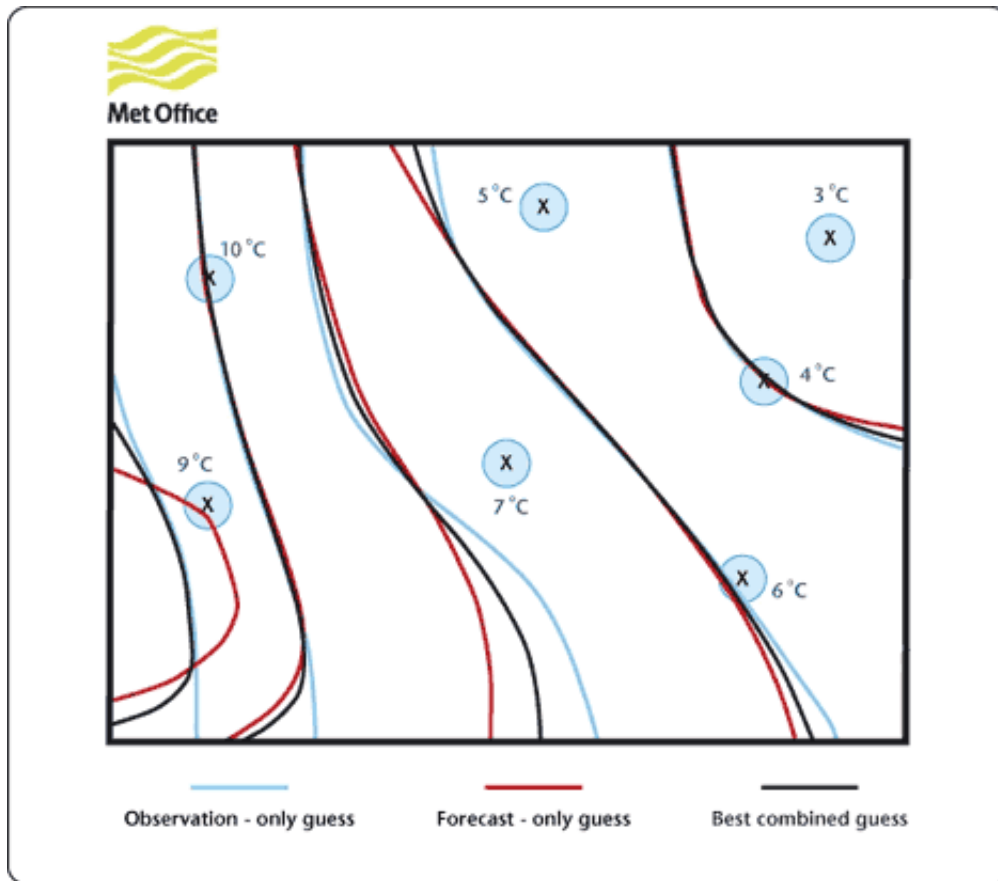
Data assimilation



- In data assimilation, one prepares the grid data as the best possible estimate of the true initial state of a considered system by merging various measurements irregularly distributed in space and time, with a prior knowledge of the state given by a numerical model.

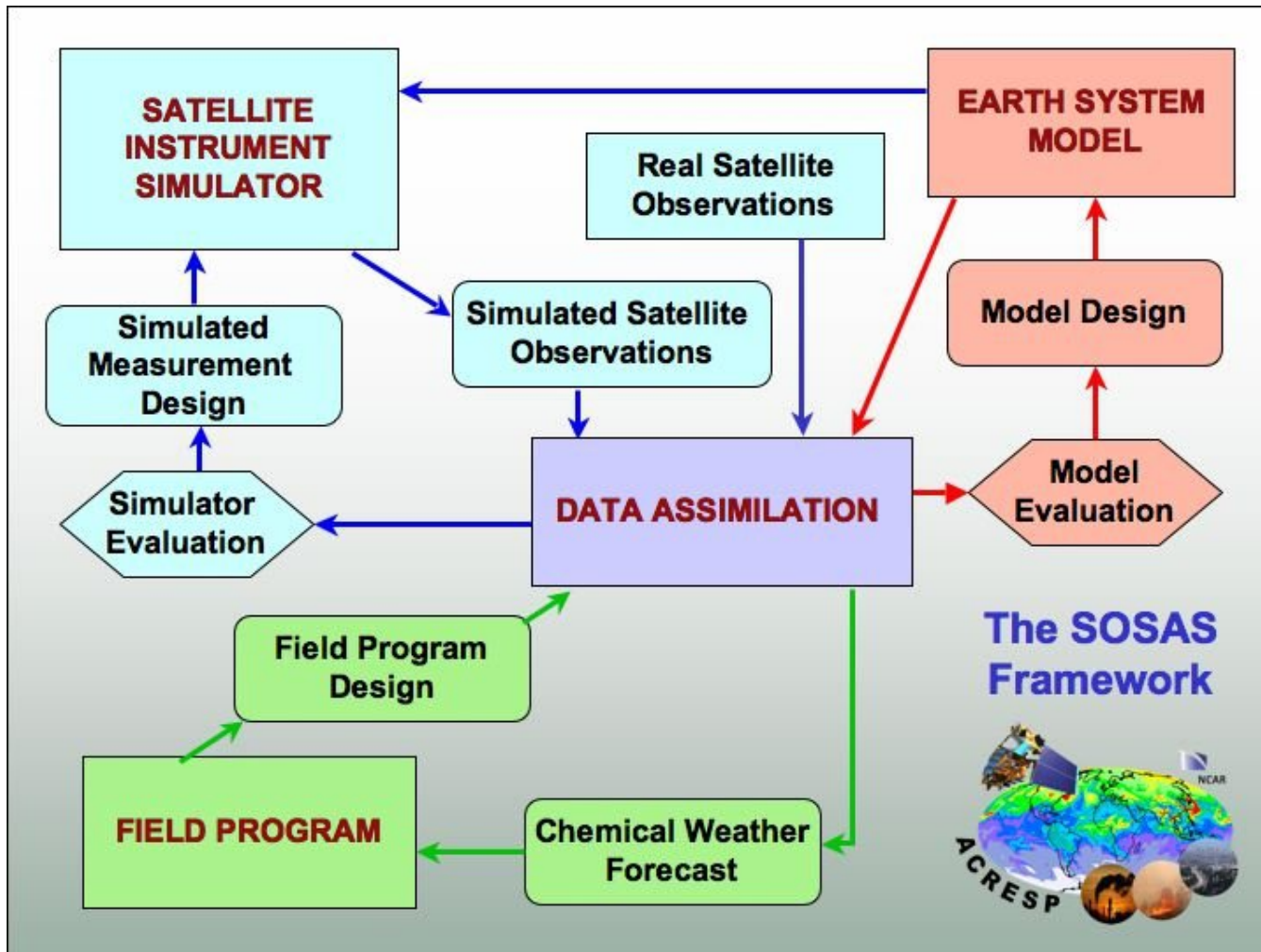
Wang et al. 2000. Data assimilation and its applications. PNAS 97 11143-11144

Data assimilation



- Kasutusel ilmaennustuses:
 - Kaardile kantud mõõtmistulemuste abil saab ettekujutuse geograafilisest jaotusest
 - Vaatlusandmeid võrreldakse mudeli ennustustega
 - Mudel ja vaatlused võib ühildada, võttes arvesse mõlema andmeallika ebatäpsusi

Data assimilation



Satellite Observation Simulator and Assimilation System (SOSAS)
NCAR (The National Center for Atmospheric research) Earth & Sun Systems Laboratory

Seminar

- Ette valmistada ja seminarilaadses vormis suuliselt ette kanda 5 min referaat kas ühest keskkonnakaugseire-alasest teadusartiklist või interneti kodulehest. Teadusartikli võite kas ise valida (näidake teda mulle ka igaks juhuks) või saate minu käest.
- Olge varakult kohal!
 - Enne seminari algust peab esitus olema arvutis
 - Max VIIS slaidi
 - Registreerumine elavas järjekorras
- **Keskenduge olulisele!**