

Keskkonna kaugseire

Kolmas loeng: taimkatte kaugseire

Matti Mõttus (matti.mottus@aai.ee)

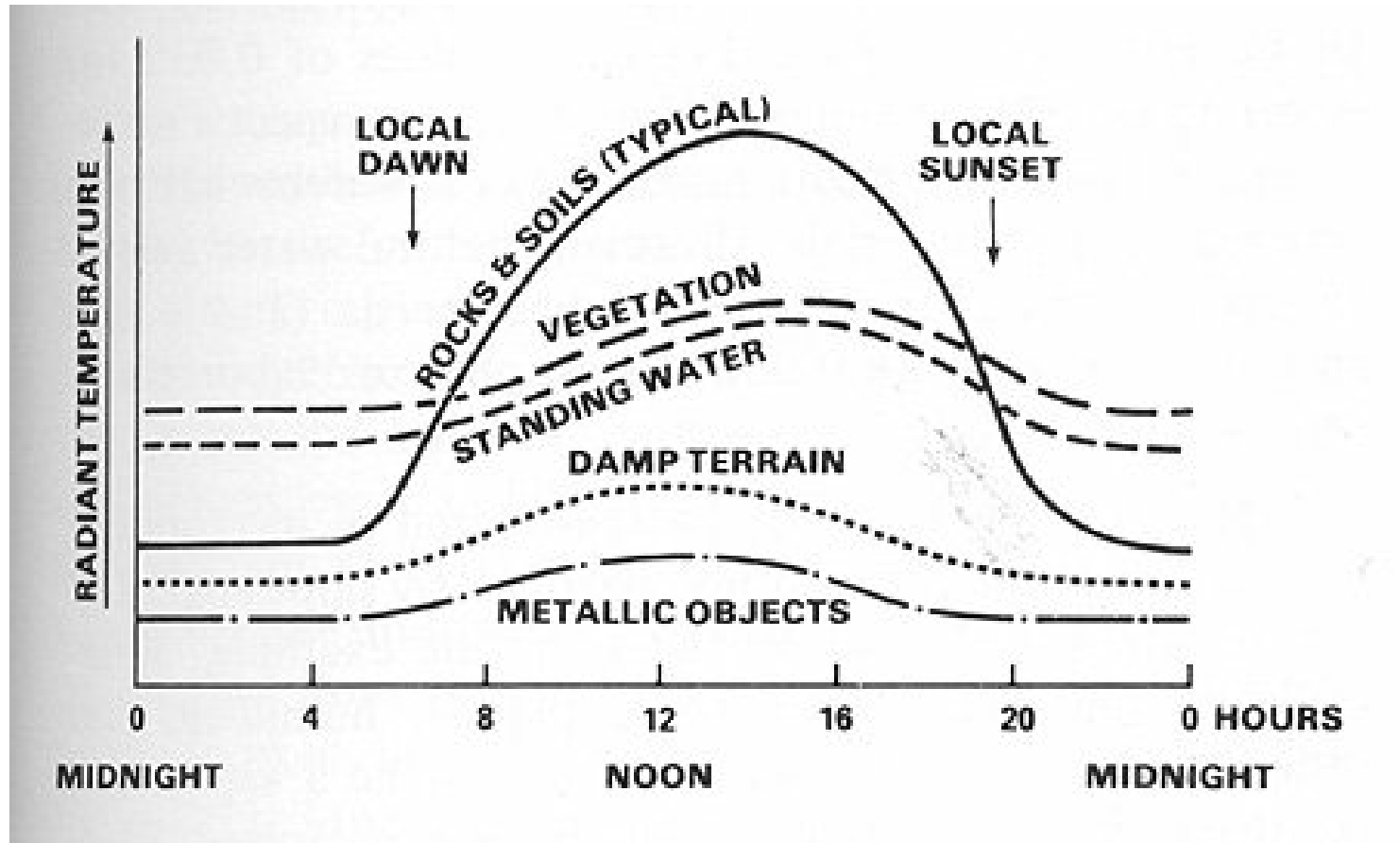
- Vanad võlad
 - Soojuskiirguse kaugseire
 - Aktiivne kaugseire
- Taimkatte kaugseire
 - rakendused
 - taimede peegeldusomadused
 - indeksid
 - füüsikalised peegeldusmudelid
 - fenoloogia(?)



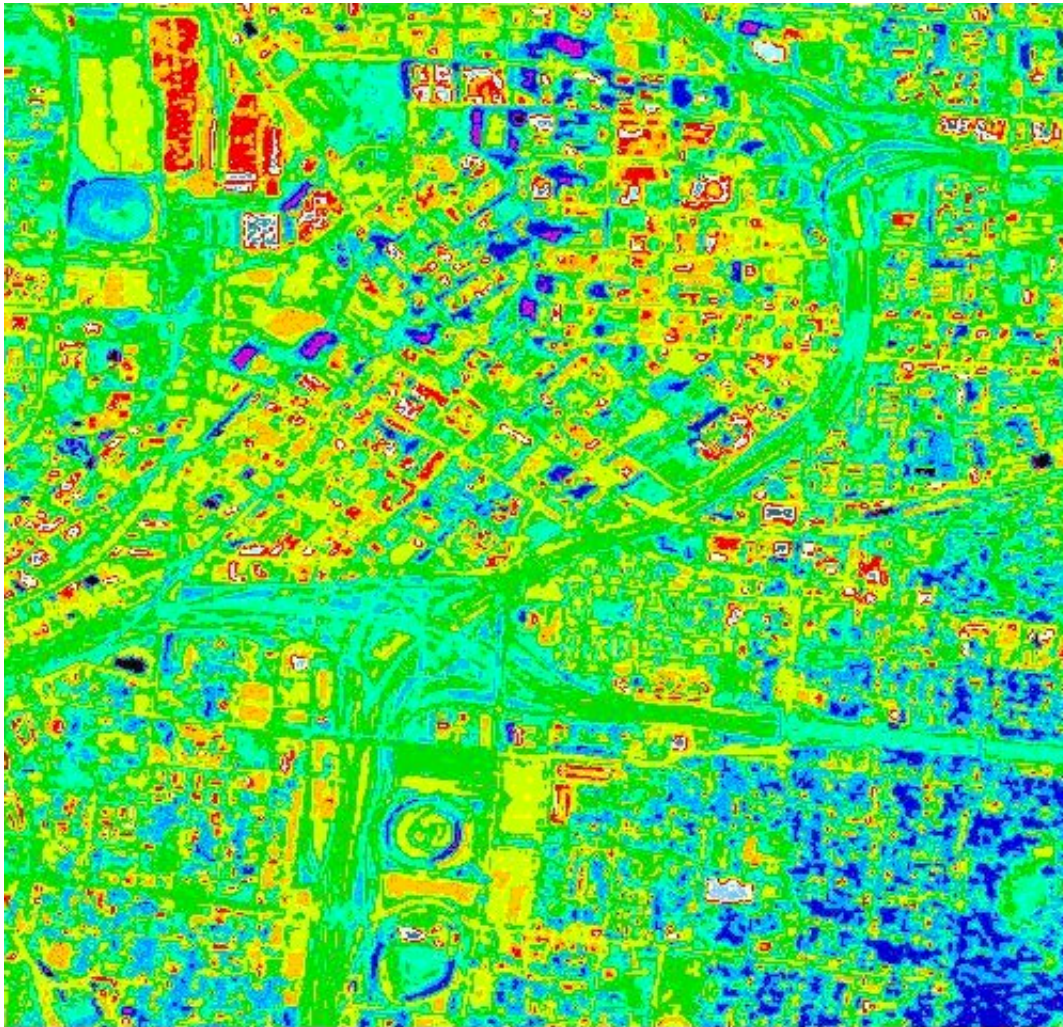
Soojuskiirguse kaugseire (TIR)

- Kõik kehad kiirgavad
 - Kiirguse intensiivsus ja maksimaalse kiirgusenergia lainepikkus oleneb temperatuurist (T^4)
- Kiirgustemperatuur vs. tegelik temperatuur
 - Hallustegur: oleneb materjalist

Material	emissivity	Material	emissivity
Asphalt	0.95	Red brick	0.93
Glass	0.85	Lime clay brick	0.43
Cloth	0.95	Paper	0.85–1.00
Iron, not oxidized	0.05	Plastic	0.95
Zinc (polished)	0.02	Soil, dry	0.92
Copper, polished	0.07	Soil, wet	0.95
Copper, oxidized	0.87	Sand	0.90
Granite-rough	0.90	Snow	0.80–0.90
Grass	0.98	Water	0.90–0.95
Wood	0.80–0.95	Ice	0.95–1.00



Soojuskiirus



Päevane soojuspilt linnast:

valge (kuum) → punane →
kollane → sinine (jahe)

kuumim: katused

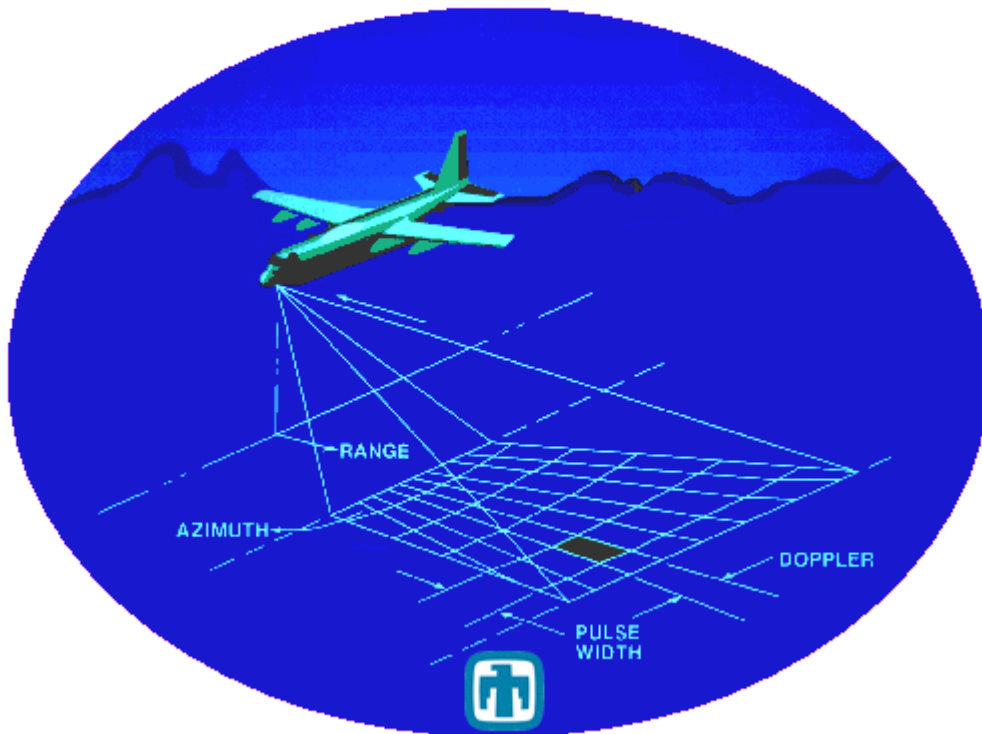
külmim: varjud, mets

Passiivne mikrolainekaugseire

- Sarnane soojuskiirguse kaugseirega (TIR)
 - Lainepikkus 1 cm – 1 m
 - Mõõdetakse objektide omakiirgust
 - Kiirgus on äärmiselt nõrk
 - Olenevalt alinepikkusest ei neeldu pilvedes
- Rakendused
 - Niiskuse mõõtmine
 - Osooni mõõtmine
 - Temperatuuri mõõtmine

Aktiivne kaugseire

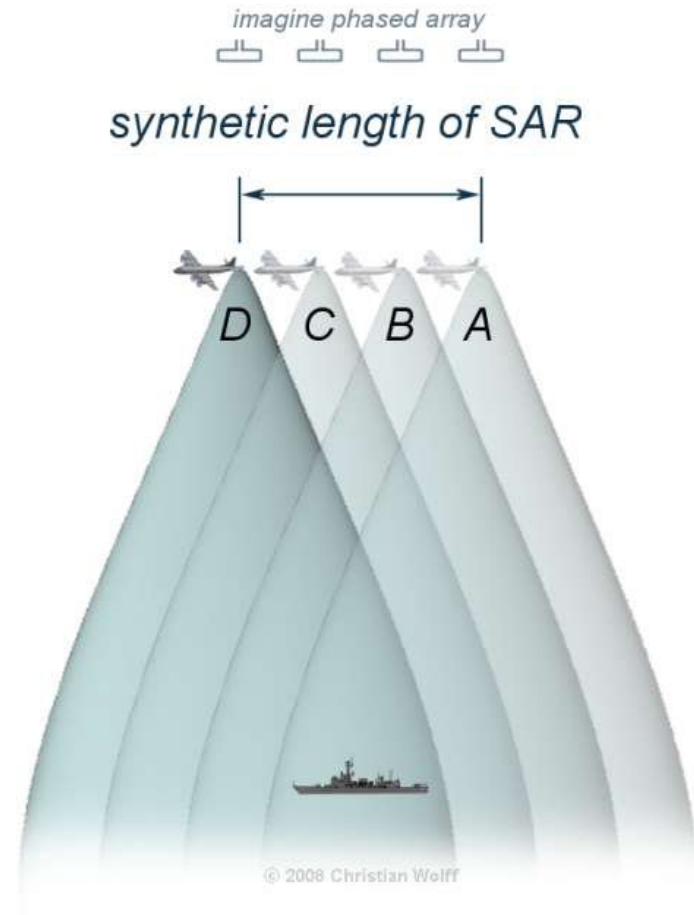
- Radar (RAdiowave Detection And Ranging)
- SAR (Synthetic Aperture Radar)

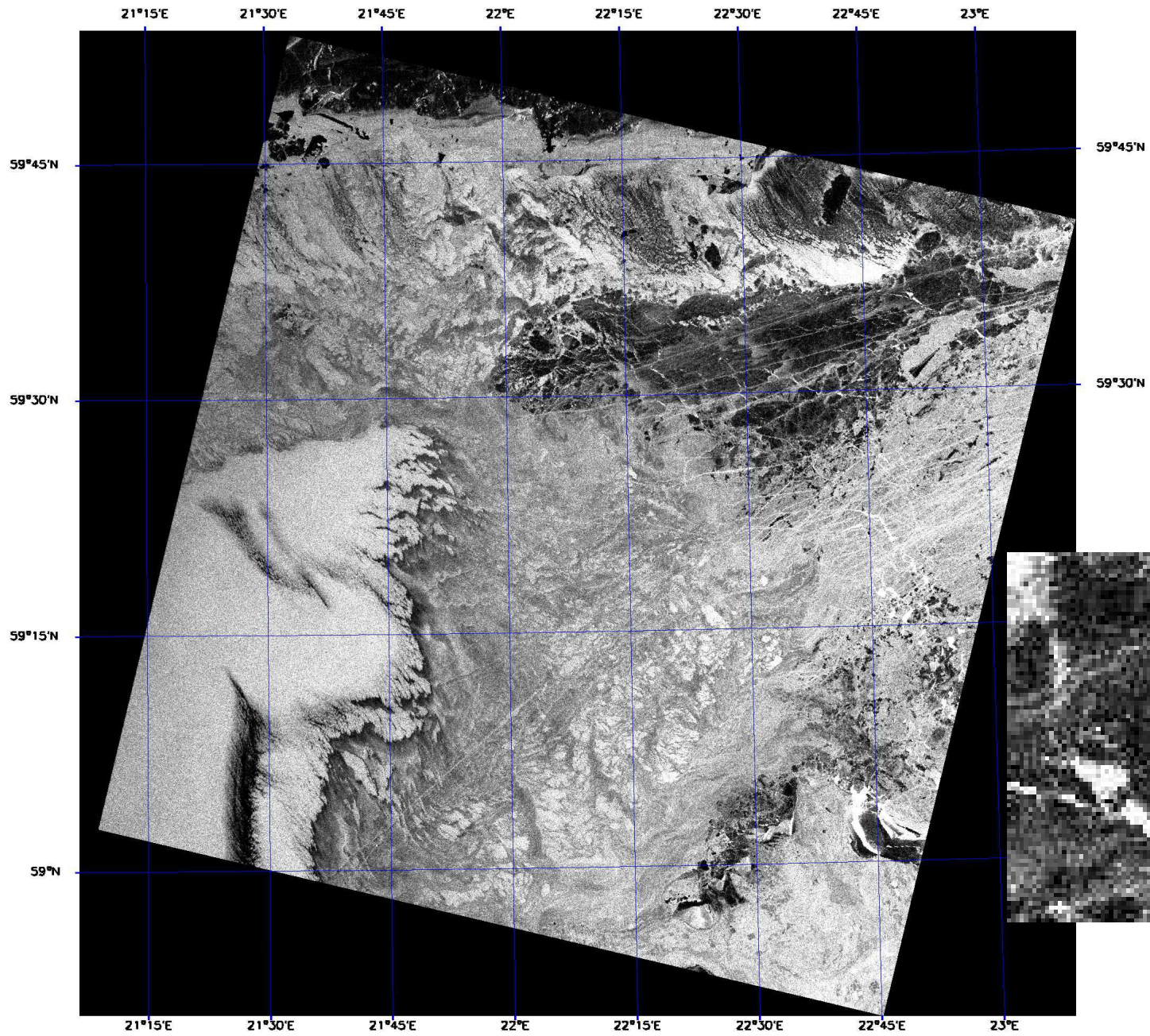


Kanali nimi	Sagedus (GHz)	lainepikkus
W	60	5 mm
Ka	33,4	9 mm
Ku	13,4	2,2 cm
X	9,8	3 cm
C	5,4	5 cm
S	2,4	12 cm
L	1,2	25 cm
P	0,3	> 1 m

SAR (Synthetic Aperture Radar)

- Sünteetiline ava:
- Antenni suurendatakse vastuvõtja liikumise abil
- Pilt taastatakse arvutuslikult





IRIS 2003 1702 093638 ERS-2 SAR

Advanced Synthetic Aperture Radar (ASAR)

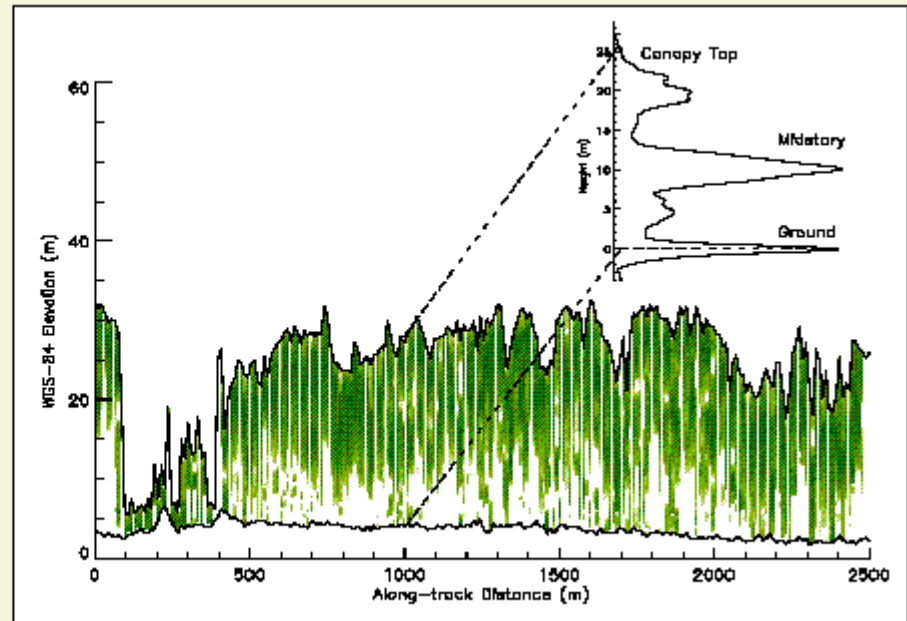
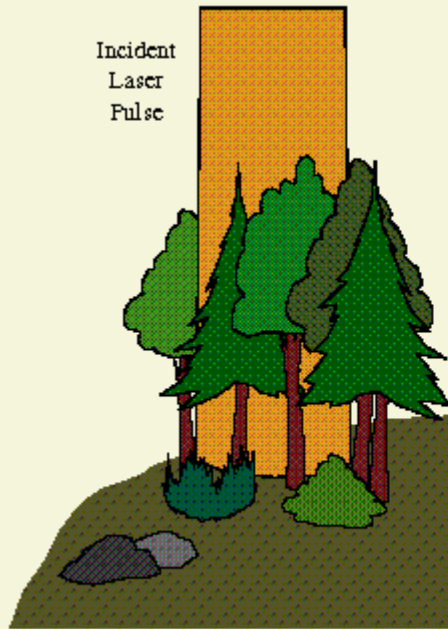
- C-band radar Envisatil
- Muutuva polarisatsiooniga
 - H-horisontaalne, V-vertikaalne samaaegsed pildid
 - Radarisignaali peegeldumine erinevatelt objektidelt oleneb saadetud signaali polarisatsioonist
- Maapinna klassifitseerimine (taimkate, muld)
- Merejää ja vaba vee eristamine
- Okeanograafia
 - HH-polarisatsioon annab infot ookeani sisemistest lainetest ja põhjaga seotud lainetest
 - VV-polarisatsiooni kanal rohkem seotud lokaalsest ilmasituatsioonist olenevate iseärasustega

Lidar

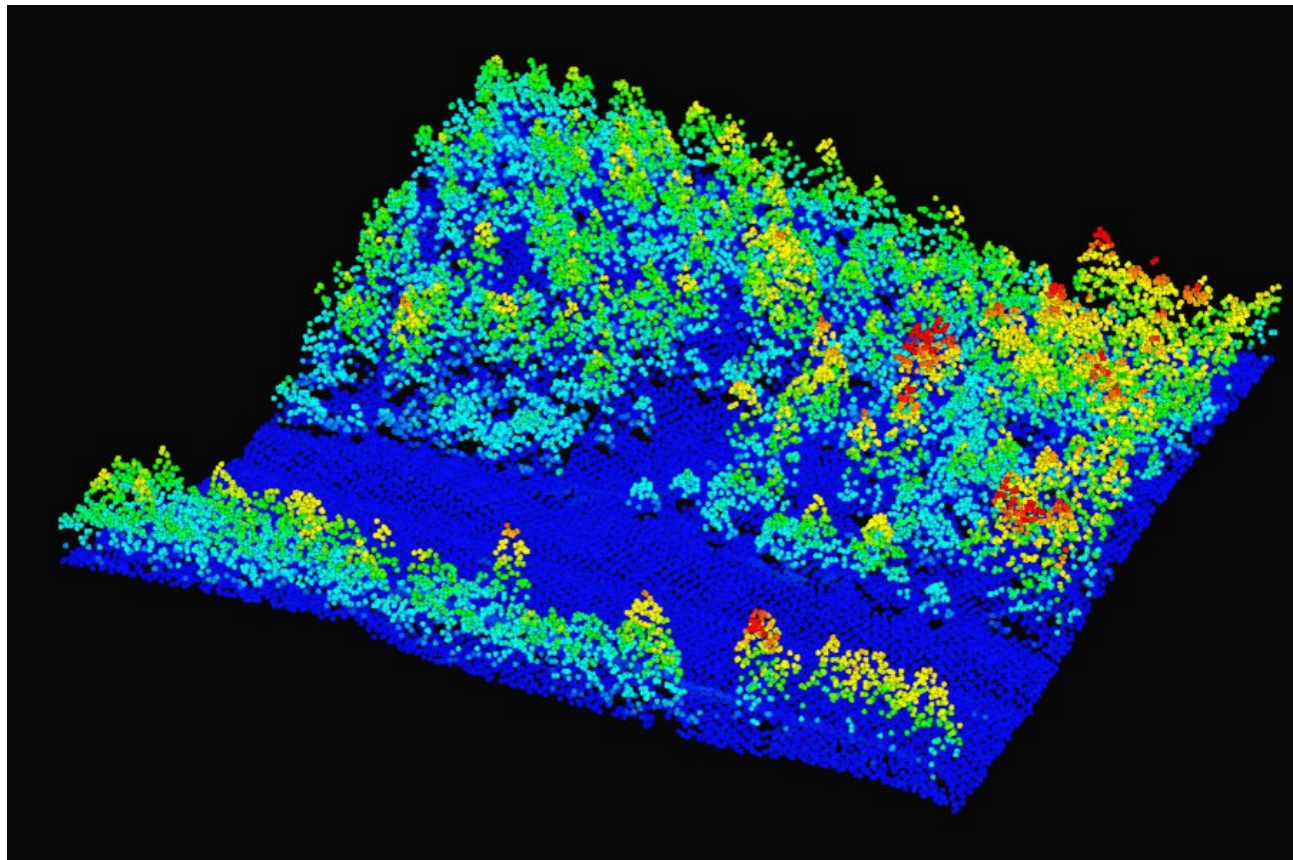
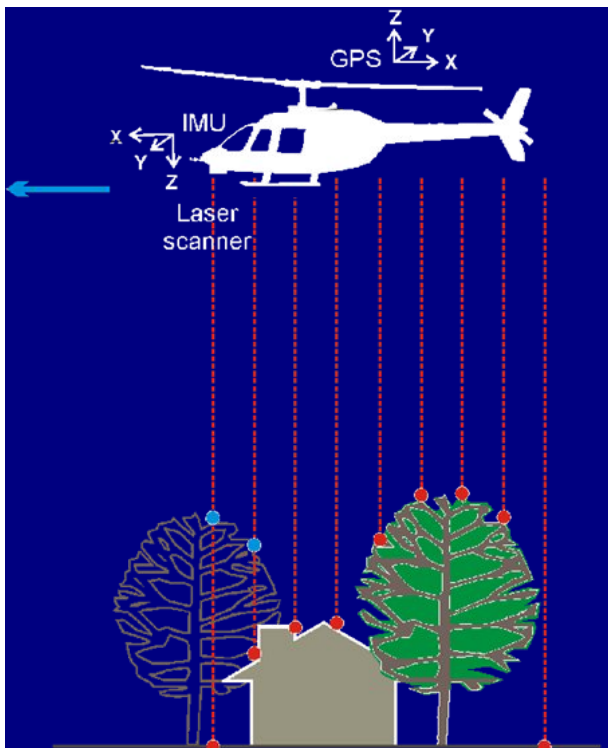
Light Detection And Ranging

- Kauguse mõõtmine
 - Vastuvõtja kaliibritud kauguse mõõtmiseks (reeglina mitte energia mõõtmiseks, nagu teistel rakendustel)
 - Lainepikkus: punane – infrapunane (~ 1000 nm)
- Suur jalajälg → kogu peegeldussignaali
 - Jälg ~ 25 meetrit
 - GLAS (Geoscience Laser Altimeter System) ICESat-il
- Väike jalajälg → punktiparv kolmemõõtmelises ruumis
 - Jälg ~30 cm
 - 100 000 pulssi sekundis
 - Kuni 10 pulssi ruutmeetrile

Lidar: suur jalajälg



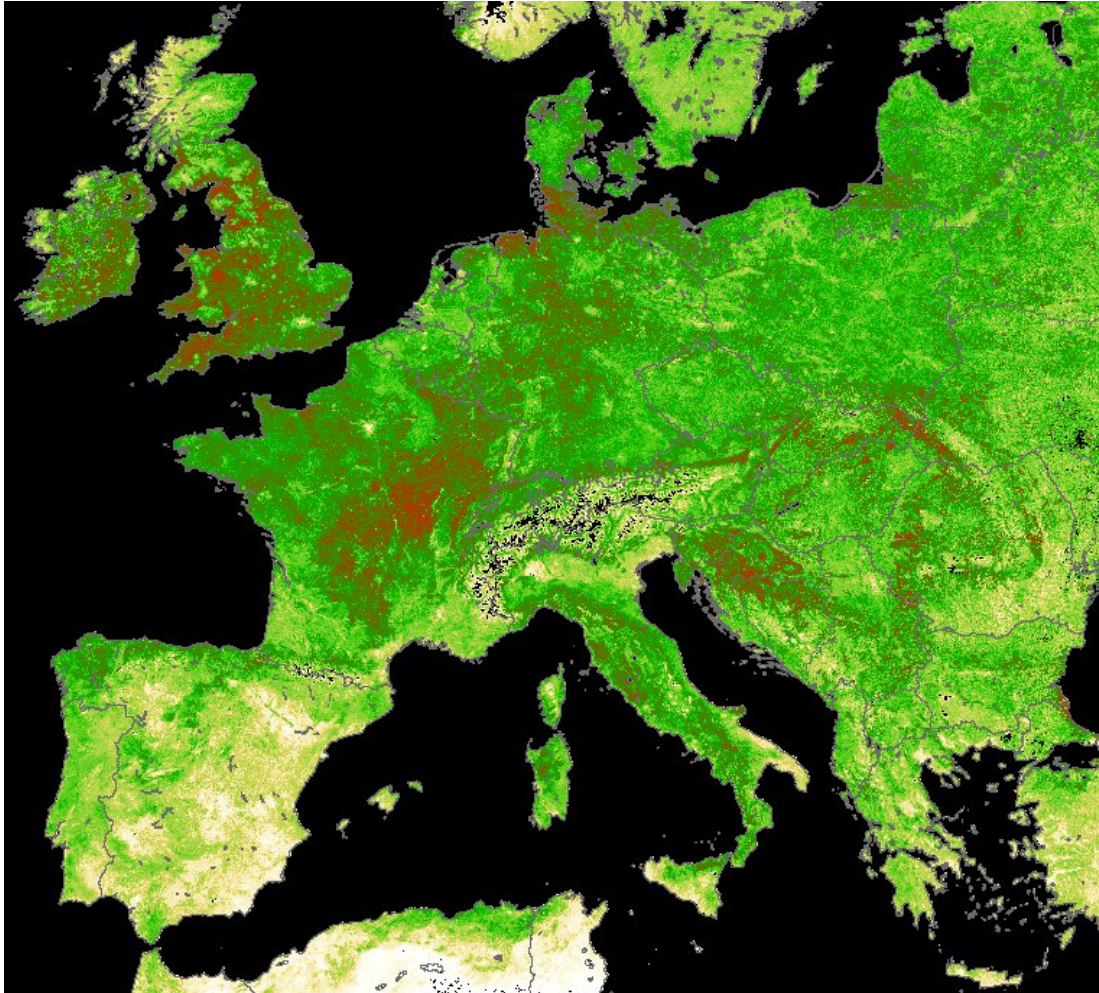
Lidar: väike jalajälg



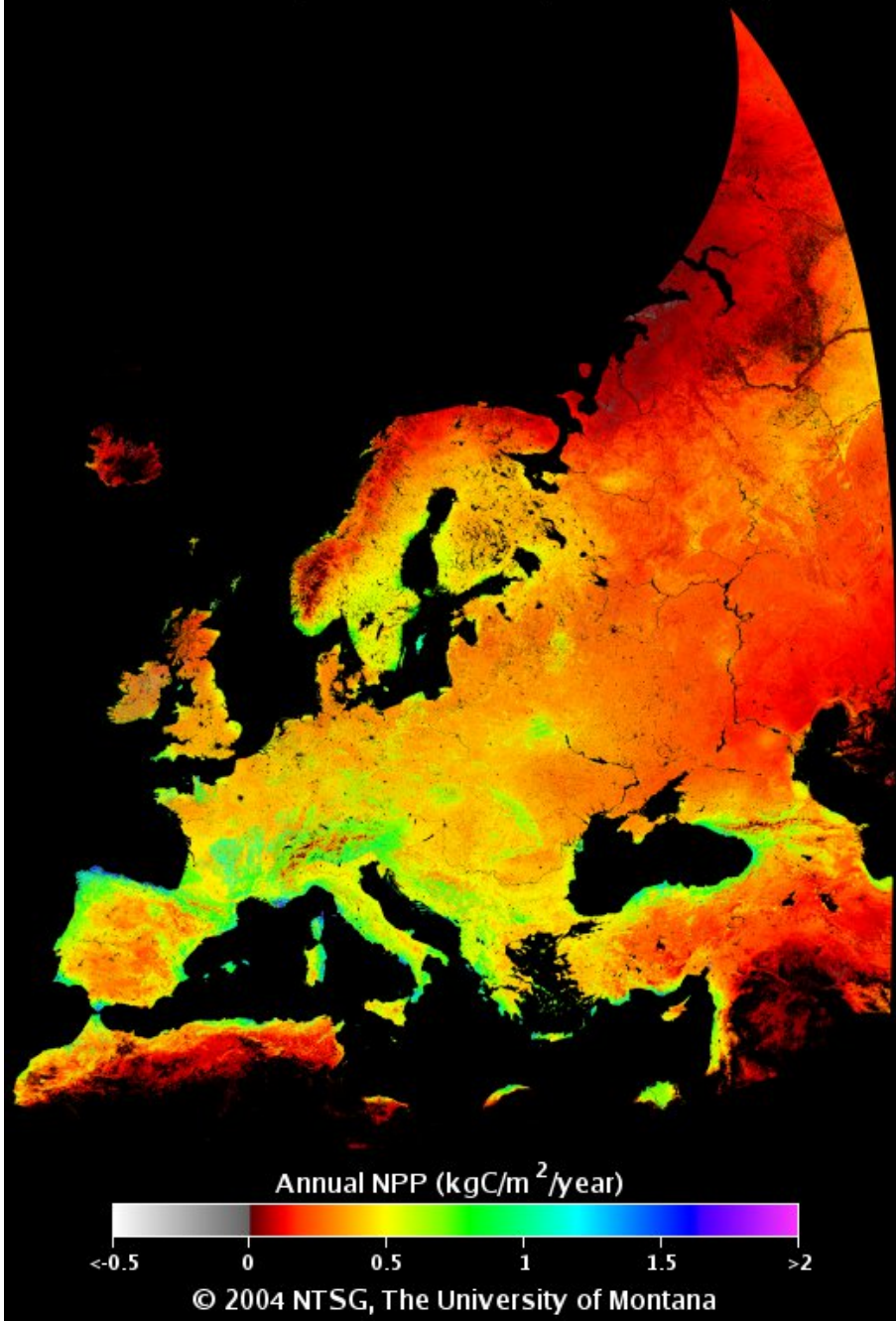
Taimkatte kaugseire

- Optiline passiivne taimkatte kaugseire
- Milleks?
 - Globaalsed probleemid (global change)
 - Taimkatte produktsioon
 - Maakasutuse muutus
 - Lokaalsed muutused
 - Metsanduslikud rakendused
 - Põllumajandus
 - Maakasutuse muutus
 - Bioloogiline mitmekesisus
- Kuidas?
 - Indeksid
 - Empiirilised meetodid
 - Füüsikalised mudelid

An example of vegetation products: fraction of absorbed, photosynthetically active radiation in Europe



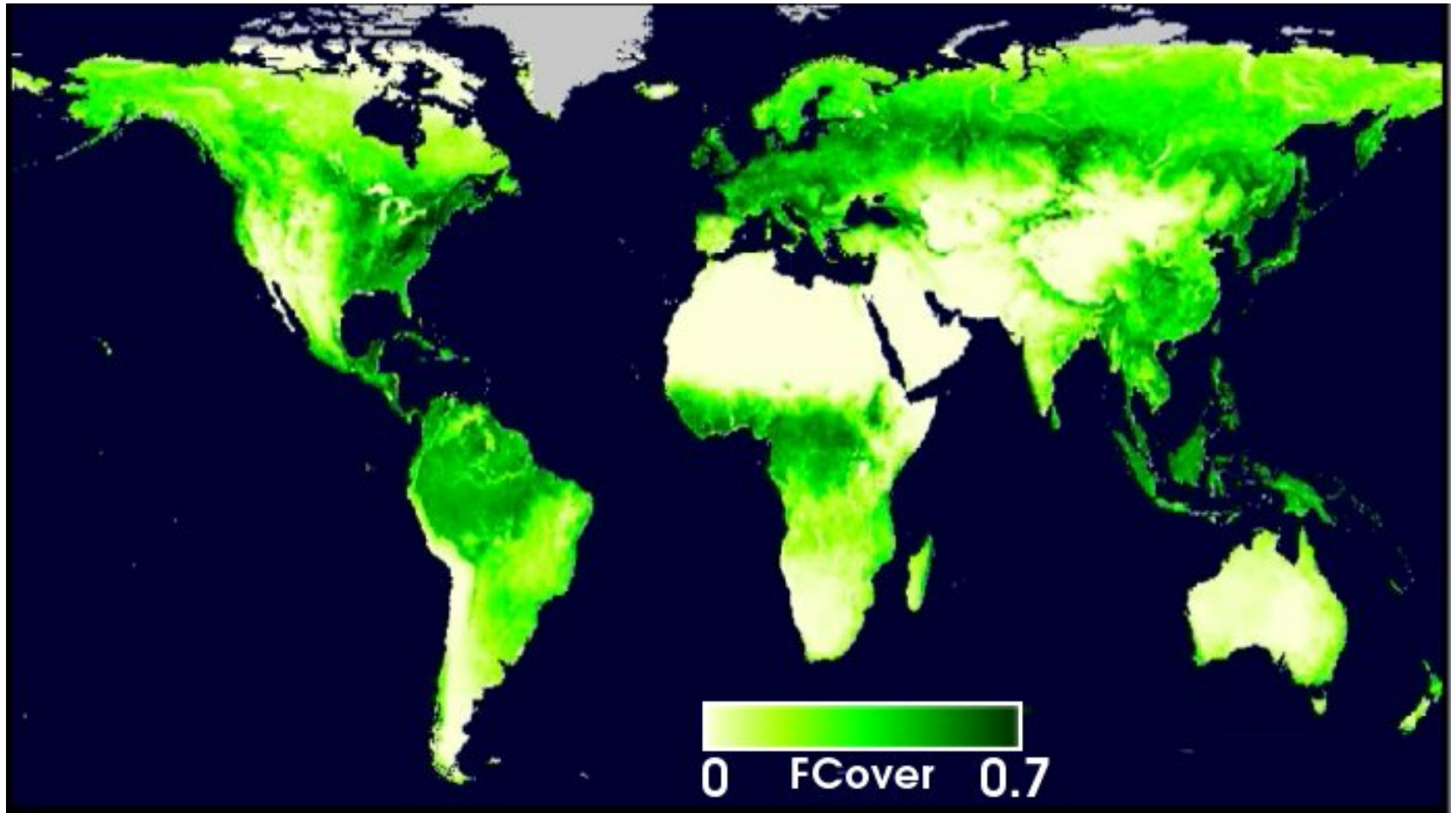
- SeaWiFS, May 1998
- White areas = soils with little or no active vegetation cover.
- Red areas = plants are particularly active.
- Various shades of green = indication of the relative photosynthetic activity of plants.



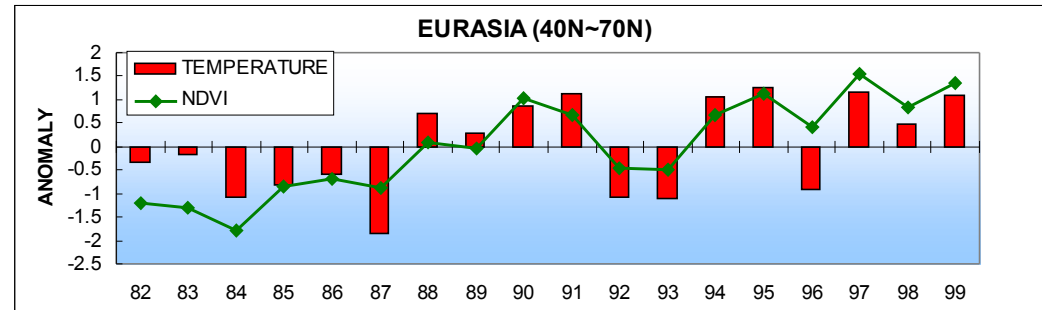
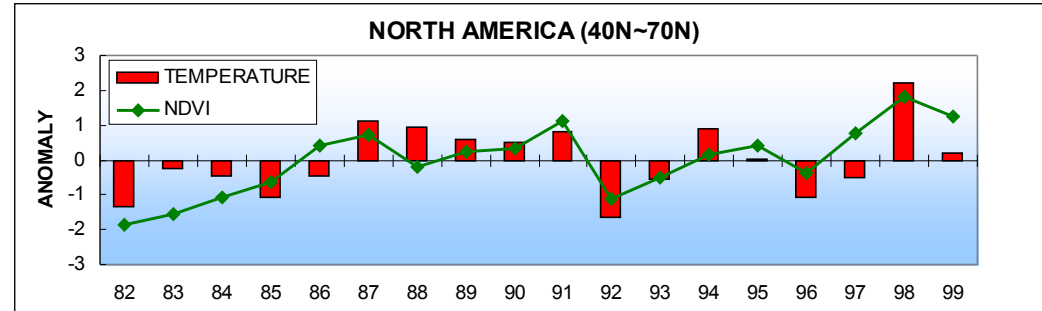
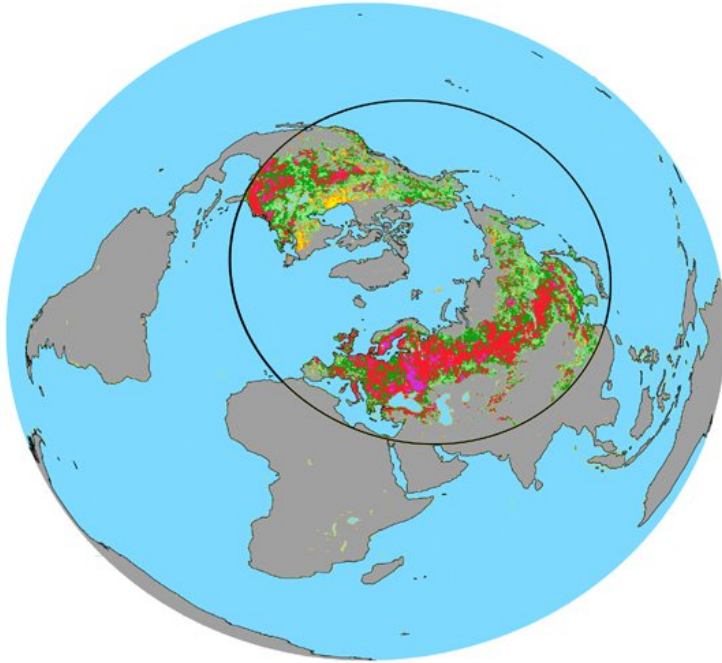
Taimestikutoode: Euroopa NPP kaart

- NPP from Terra MODIS images, 1.1.-31.12.2002

Taimkattetoode: maailma taimestiku katvus, 2002 juuni

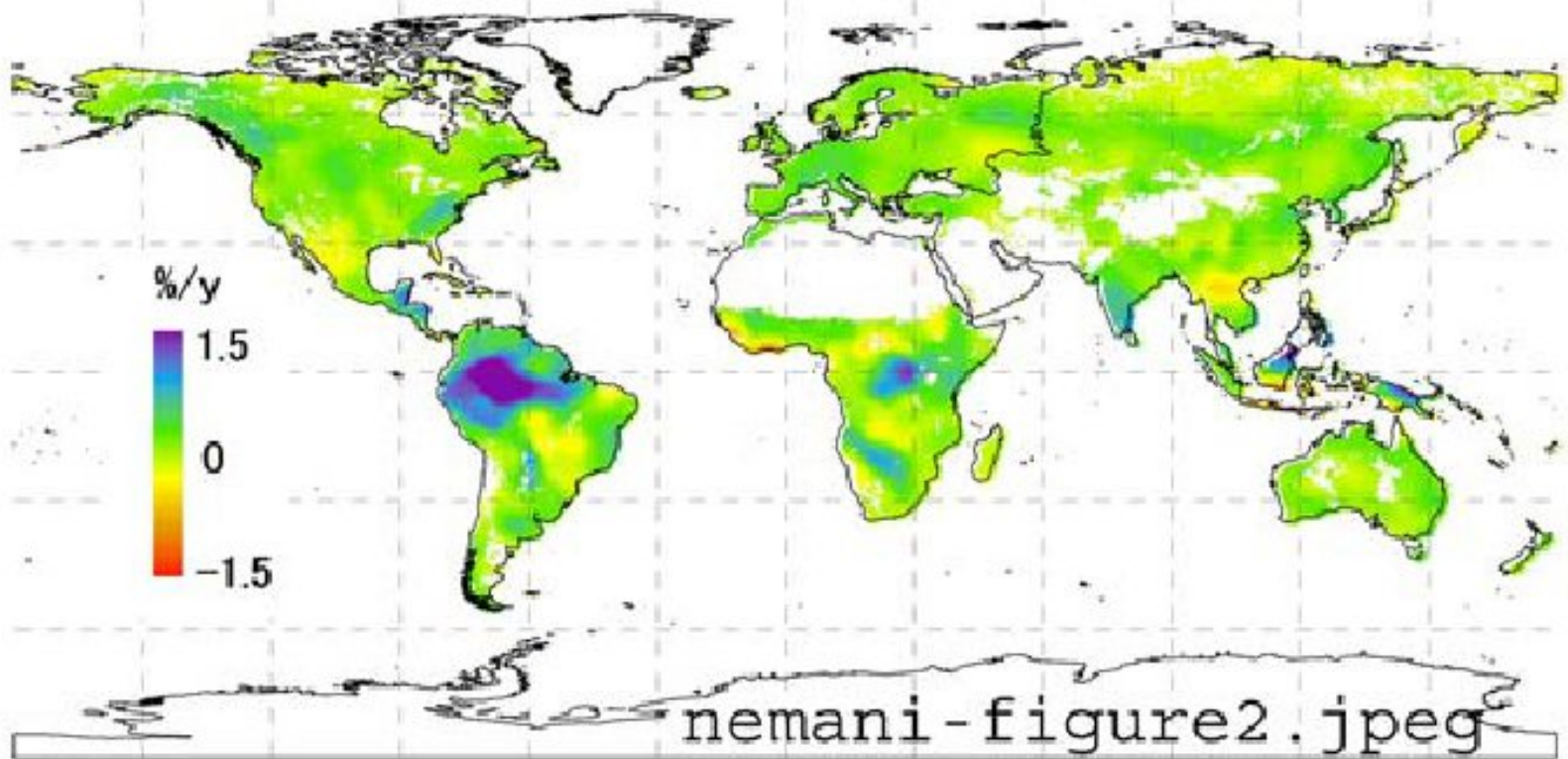


[1] Greening of the Northern Latitudes



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.

Climate Driven Increases in Global NPP



Recent results indicate that global changes in climate have eased several critical climatic constraints to plant growth, such that **net primary production increased** 6% (3.4 petagrams of carbon over 18 years) globally. The largest increase was in tropical ecosystems. Amazon rain forests accounted for 42% of the global increase in net primary production, owing mainly to decreased cloud cover and the resulting increase in solar radiation.

Taimestiku rollist süsinikubilansis

Monteith'i (1977) hüpotees

$$\Sigma NPP = \varepsilon \Sigma APAR$$

ΣNPP esmase produktsiooni (e. seotud süsiniku hulga) aastasumma

$\Sigma APAR$ neeldunud fotosünteesiliselt aktiivse kiirguse aastasumma

ε kiirguse kasutamise efektiivsus

CORINE land cover

Coordination of information on the environment

Corine land cover classes

1. Artificial surfaces

1.1 Urban fabric

- 1.1.1. Continuous urban fabric
- 1.1.2. Discontinuous urban fabric

1.2 Industrial, commercial and transport units

- 1.2.1. Industrial or commercial units
- 1.2.2. Road and rail networks and associated land
- 1.2.3. Port areas
- 1.2.4. Airports

1.3 Mine, dump and construction sites

- 1.3.1. Mineral extraction sites
- 1.3.2. Dump sites
- 1.3.3. Construction sites

1.4 Artificial, non-agricultural vegetated areas

- 1.4.1. Green urban areas
- 1.4.2. Sport and leisure facilities

2. Agricultural areas

2.1 Arable land

- 2.1.1. Non-irrigated arable land
- 2.1.2. Permanently irrigated land
- 2.1.3. Rice fields

2.2 Permanent crops

- 2.2.1. Vineyards
- 2.2.2. Fruit trees and berry plantations
- 2.2.3. Olive groves

2.3 Pastures

- 2.3.1. Pastures

2.4 Heterogeneous agricultural areas

- 2.4.1. Annual crops associated with permanent crops
- 2.4.2. Complex cultivation patterns
- 2.4.3. Land principally occupied by agriculture
- 2.4.4. Agro-forestry areas

3. Forests and semi-natural areas

3.1 Forests

- 3.1.1. Broad-leaved forest
- 3.1.2. Coniferous forest
- 3.1.3. Mixed forest

3.2 Shrub and/or herbaceous vegetation associations

- 3.2.1. Natural grassland
- 3.2.2. Moors and heathland
- 3.2.3. Sclerophyllous vegetation
- 3.2.4. Transitional woodland shrub

3.3 Open spaces with little or no vegetation

- 3.3.1. Beaches, dunes, and sand plains
- 3.3.2. Bare rock
- 3.3.3. Sparsely vegetated areas
- 3.3.4. Burnt areas
- 3.3.5. Glaciers and perpetual snow

4. Wetlands

4.1 Inland wetlands

- 4.1.1. Inland marshes
- 4.1.2. Peatbogs

4.2 Coastal wetlands

- 4.2.1. Salt marshes
- 4.2.2. Salines
- 4.2.3. Intertidal flats

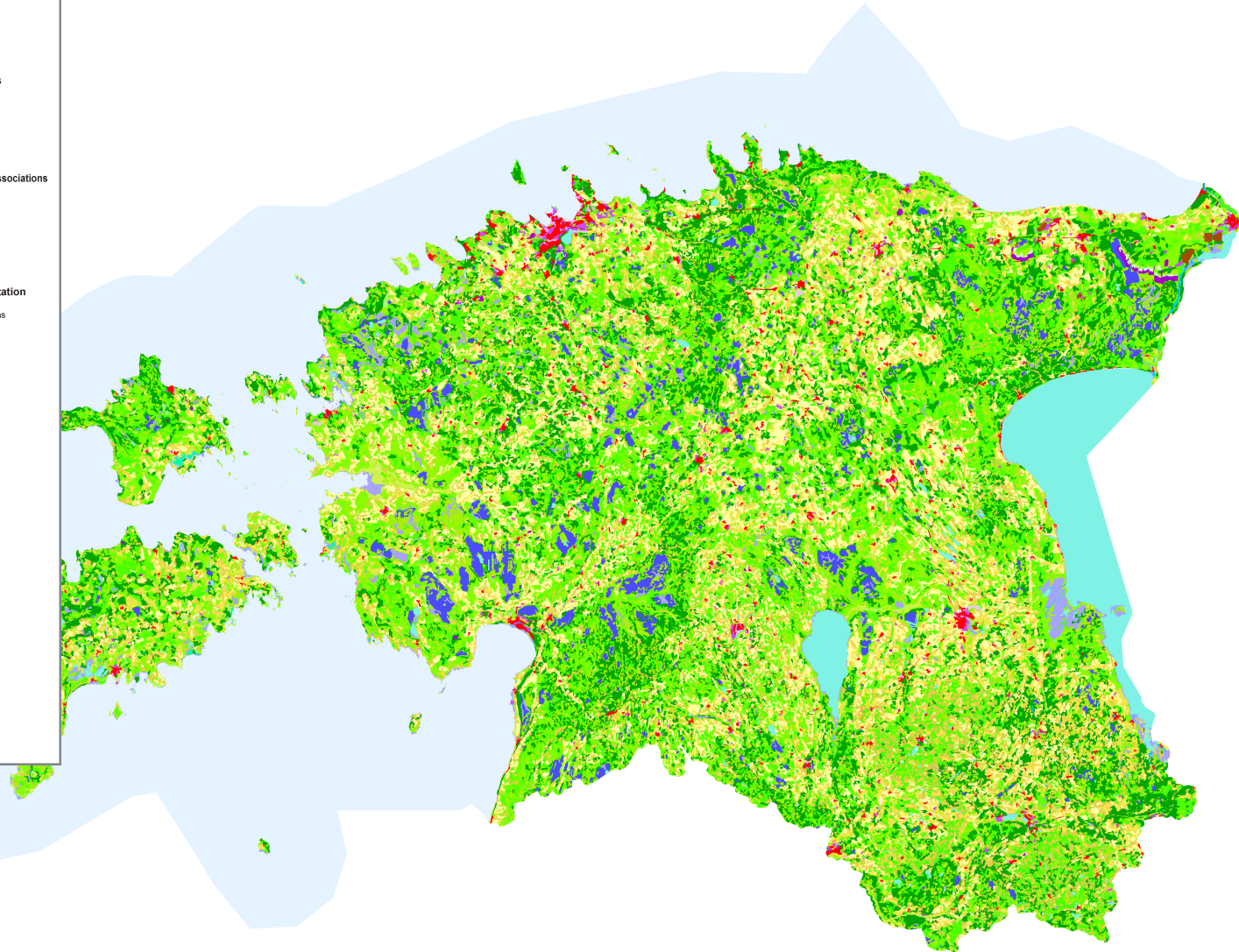
5. Water bodies

5.1 Inland waters

- 5.1.1. Water courses
- 5.1.2. Water bodies

5.2 Marine waters

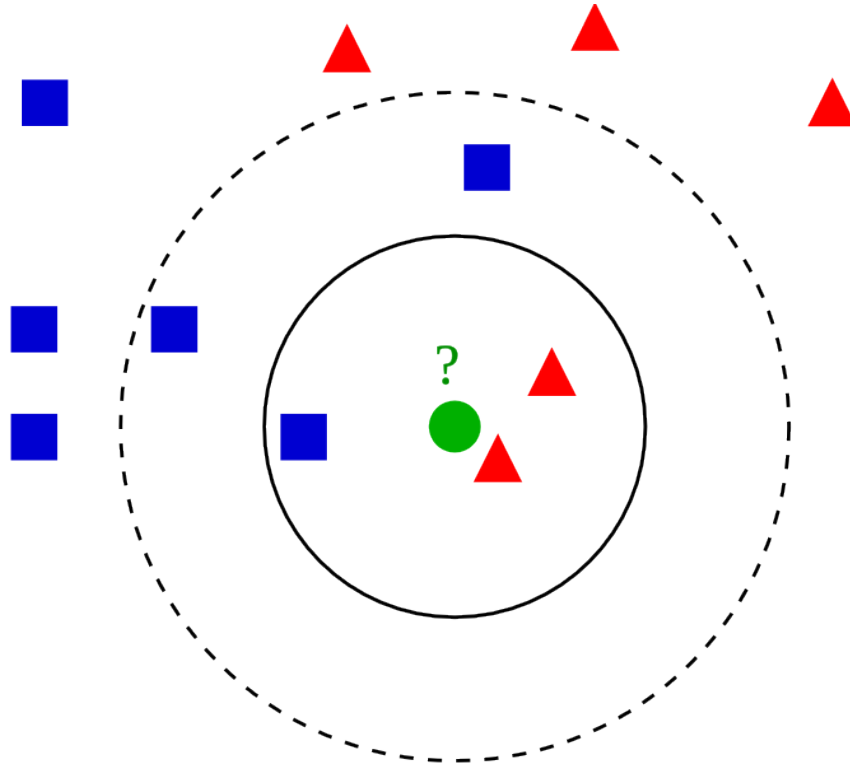
- 5.2.1. Coastal lagoons
- 5.2.2. Estuaries
- 5.2.3. Sea and ocean





Lehtpuude suhteline osatähtsus Eesti metsades (suviste piltide alusel).
Tehtud nn hägusa klassifitseerimise abil, kasutades eeskujuks teada
olevaid metsi. Autor U. Peterson

k-NN meetod



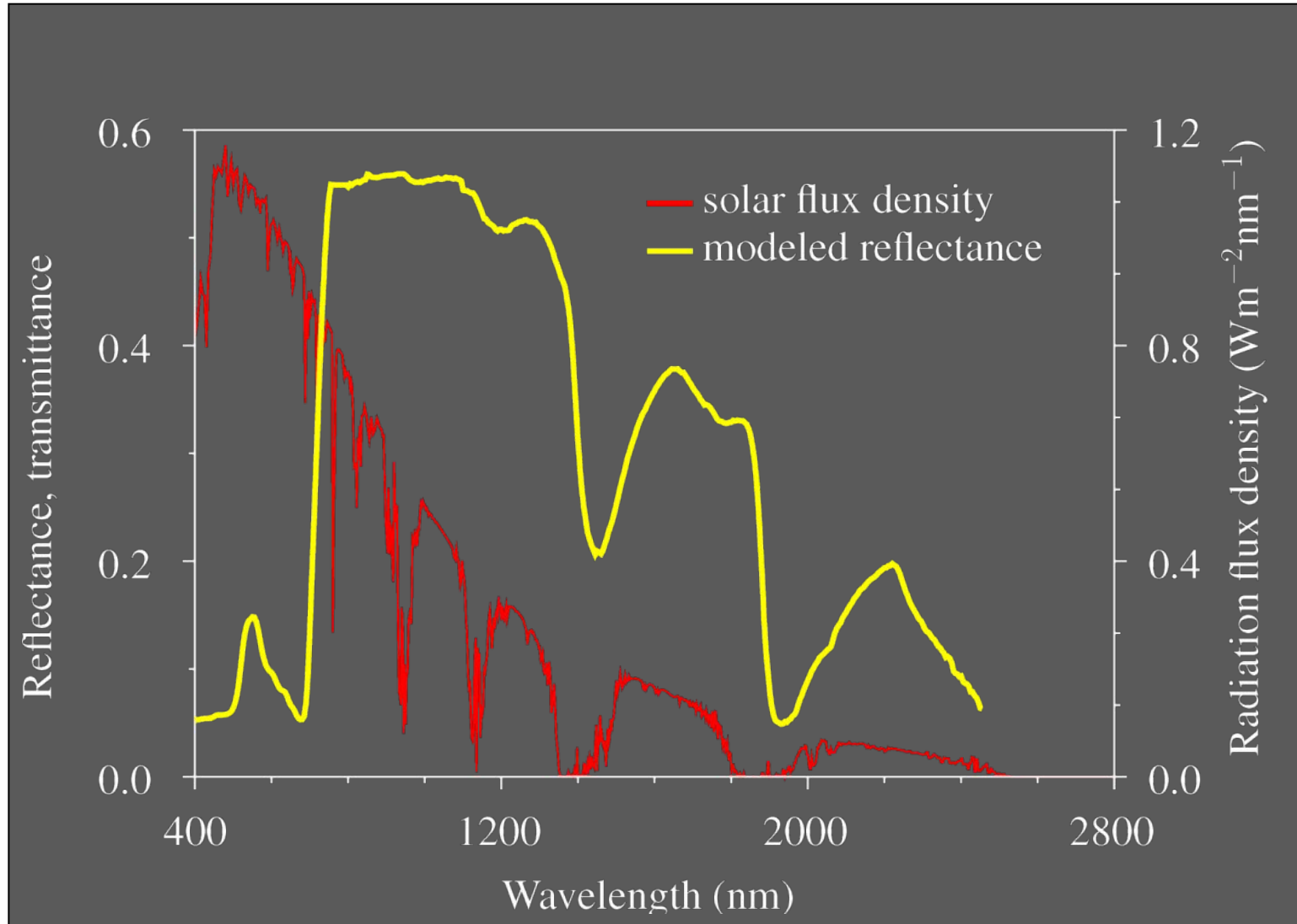
Example of k-NN classification. The test sample (green circle) should be classified either to the first class of blue squares or to the second class of red triangles. If $k = 3$ it is classified to the second class because there are 2 triangles and only 1 square inside the inner circle. If $k = 5$ it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

Taimkatte seire eripärad

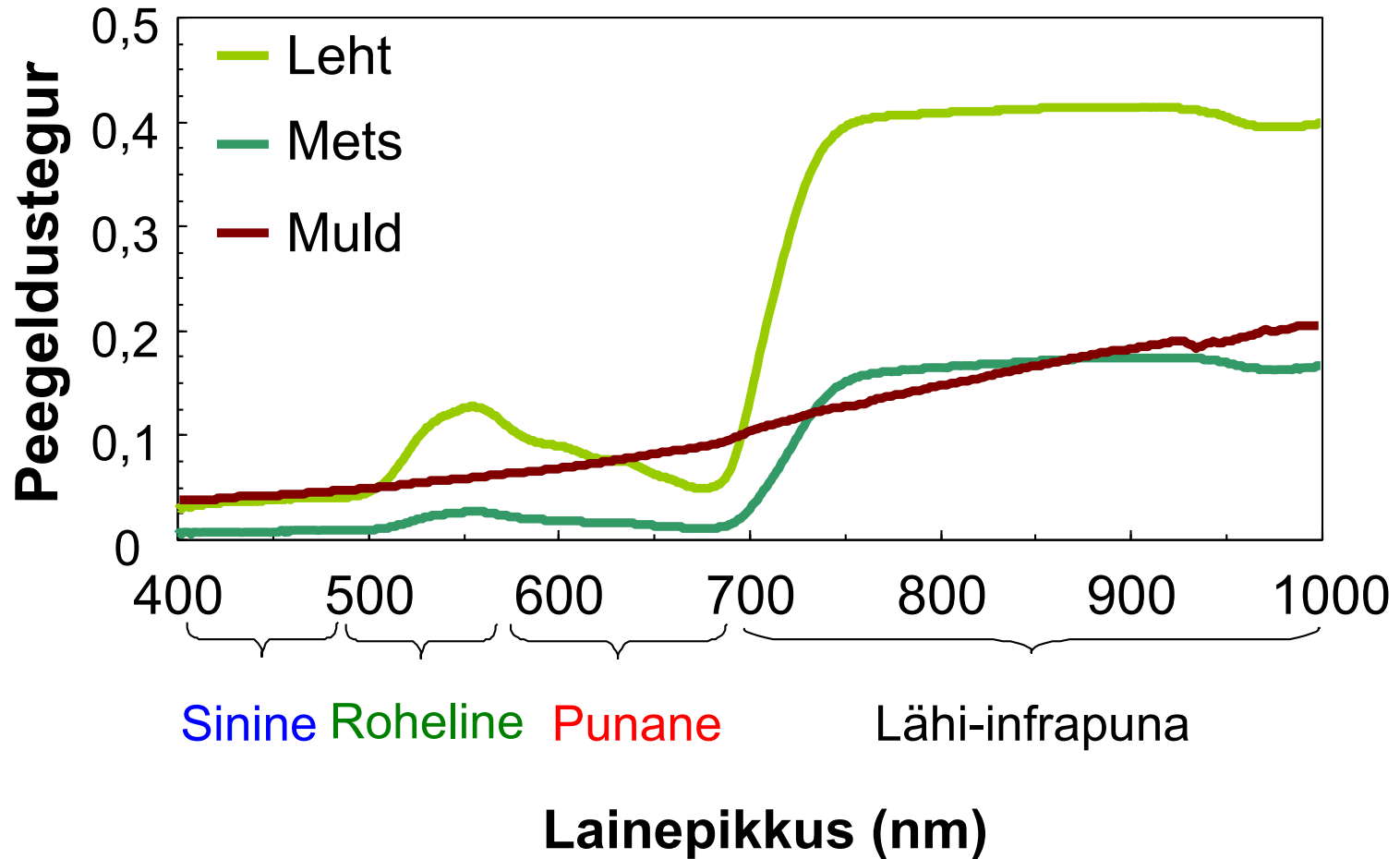
- Taimkattelt peegeldunud kiirguse spekter oleneb komponentide spektrist
 - komponente palju
 - seos mittelineaarne
- Taimkattel on kolmemõõtmeline struktuur
 - Hot Spot
- Taimkatte struktuur varieerub
- Taimkatte olulised parameetrid varieeruvad globaalselt



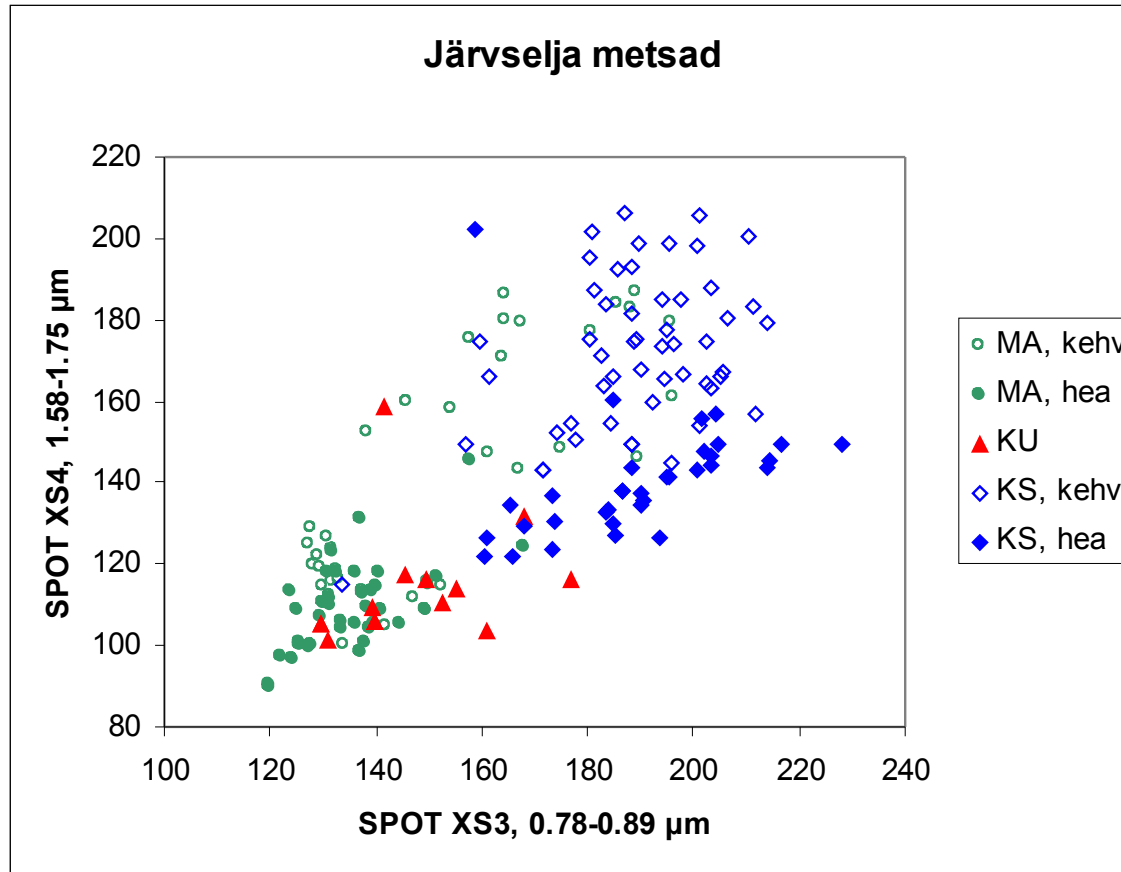
Lehe peegeldusspekter



Metsa peegeldustegur

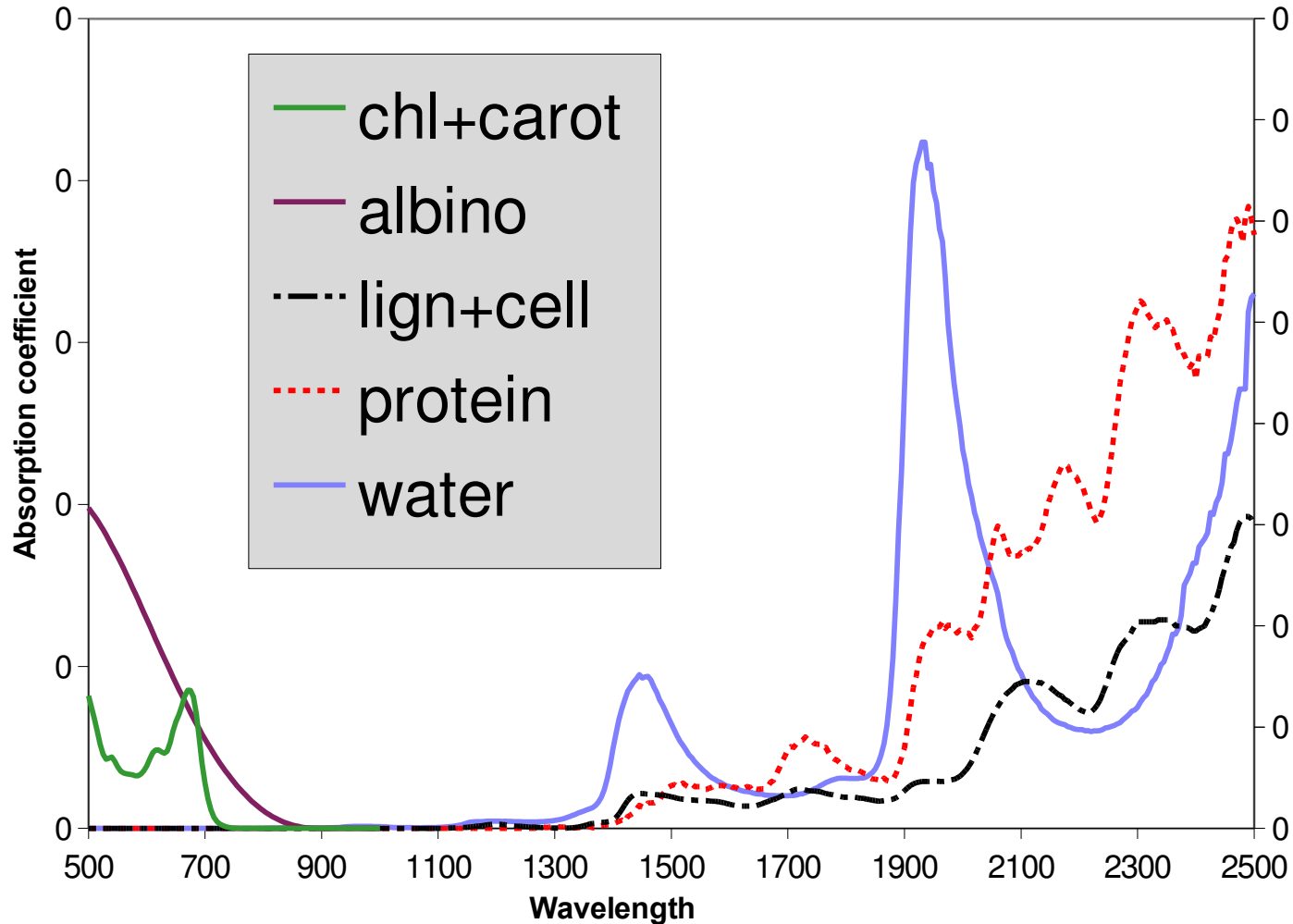


Metsa peegeldustegur



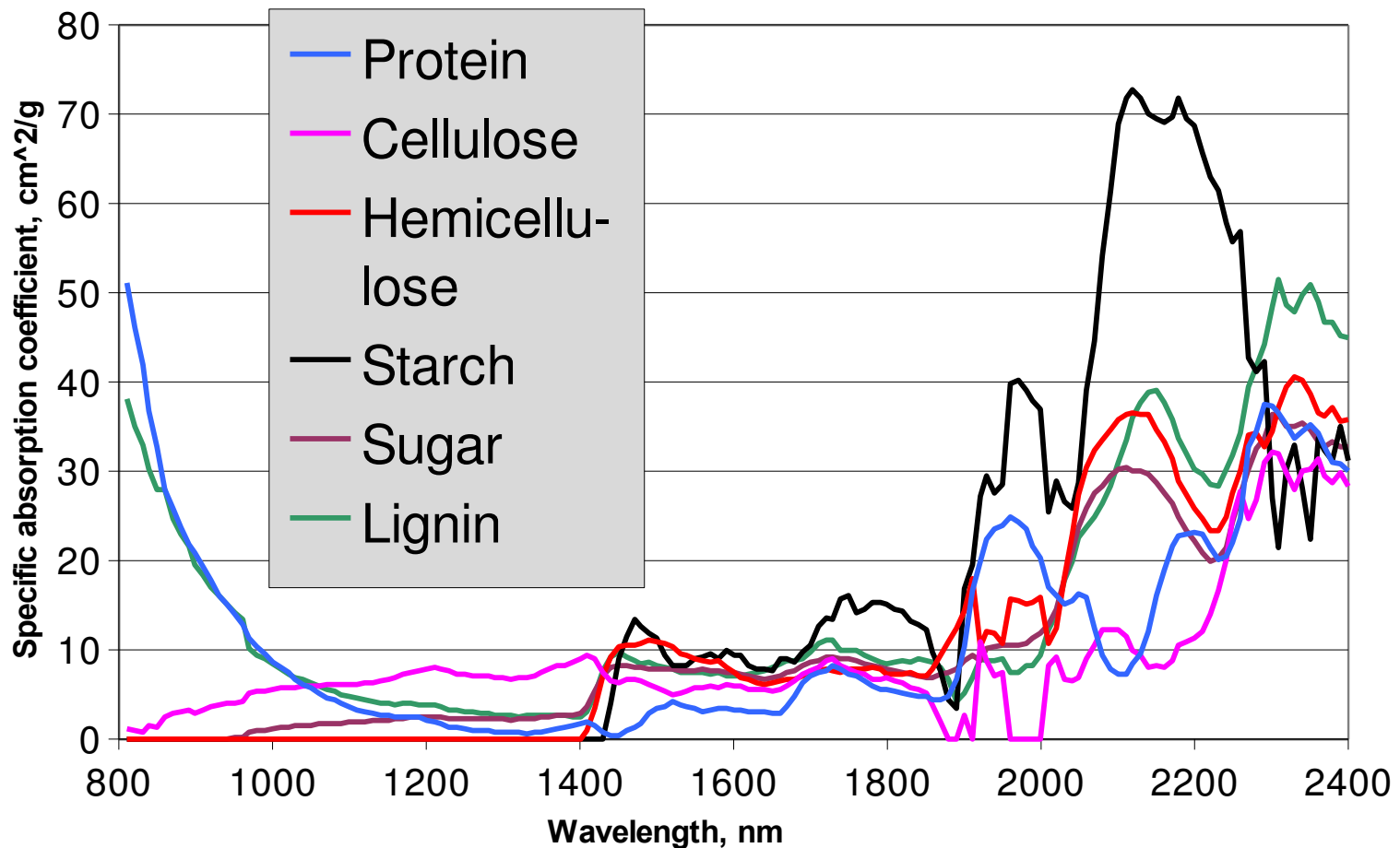
Tüüpiline korrelatsiooni-diagramm heledustele spektri lähedases ja keskmises infrapunases osas. Erinevad metsatüübid → klastrid

Taimelehe koostisosade neeldumisspekter



Taimelehes sisalduvate orgaaniliste ainete neeldumisspektrid

Fourty, Baret et al.1996



Mulla veesisalduse mõju peegeldumisspektrile

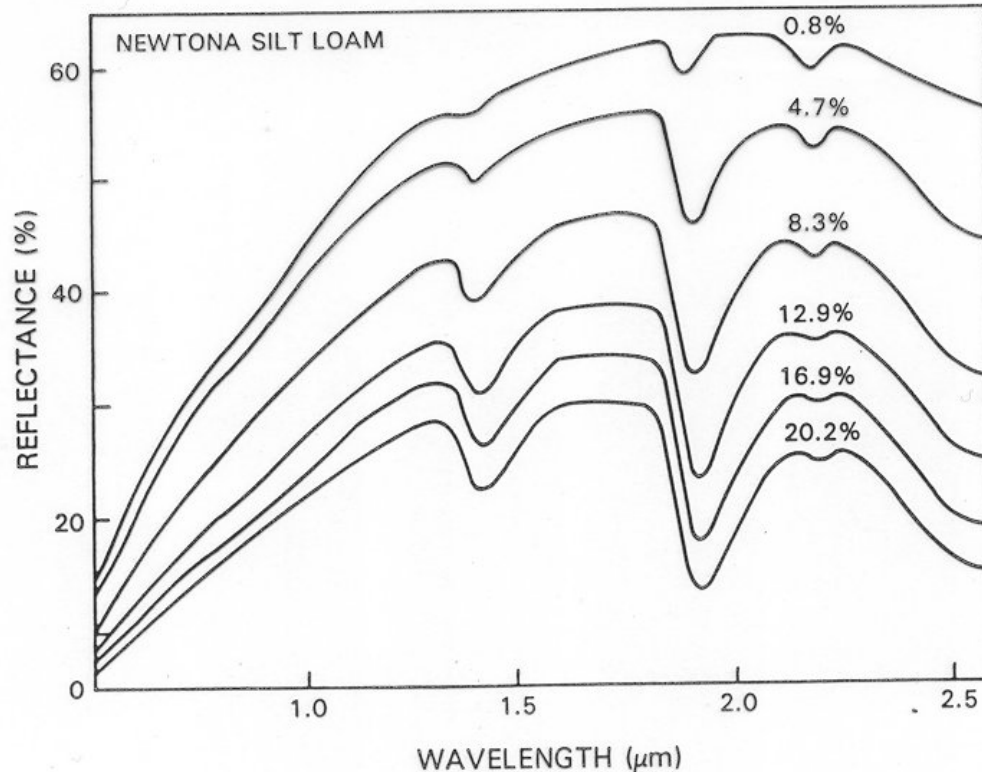


Figure 9 Soil reflectance spectra for a silt loam soil at varying moisture contents. Percent moisture content by weight is shown above each curve. (Reproduced with permission from "Reflection of Radiant Energy from Soils" by S. A. Bowers and R. J. Hanks, Fig. 1, *Soil Science*, Volume 100, pages 130-138, Copyright © 1965, Williams and Wilkins.)

Vegetation Indices (VI)

A tree (leafless) and shorter regenerating trees (with leaves).
Looking down from above.

Red



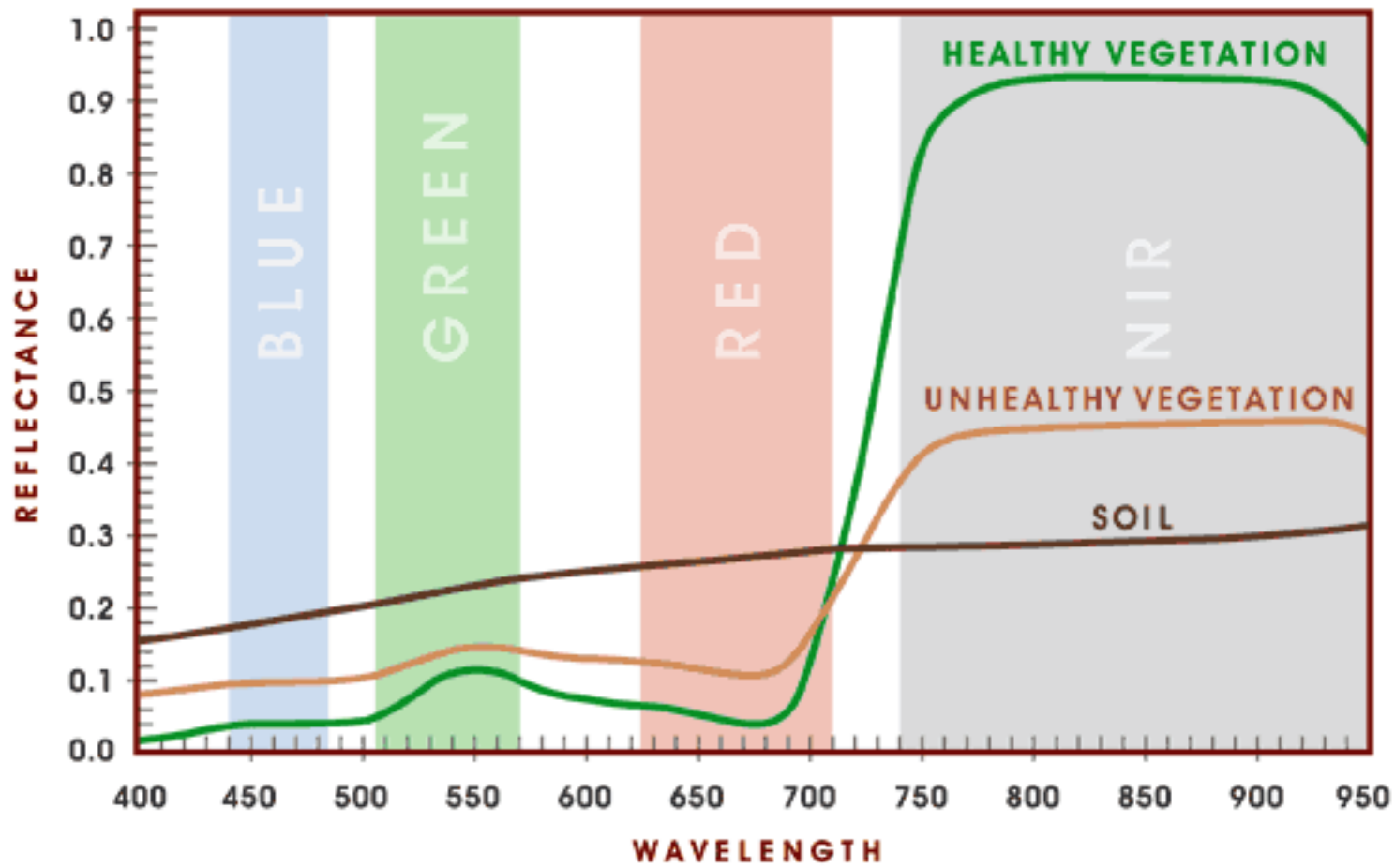
Infrared



- Simple ratio
 - $SR = NIR / R$

Spektraalsed indeksid

- Spectral Vegetation Index = (S)VI
 - Mitme kanali väärtuse abil arvutatud number iga piksli kohta
 - Eesmärk: vähendada infosisaldust
 - Matemaatiliselt lihtne
 - Tähelühendid: NDVI, RSR, EVI, MSI, ...
- Võimaldab eristada taimkatet teistest pindadest spektri kuju alusel
- Hindab kvantitatiivselt taimkatte biofüüsikalisi parameetreid
- Kiire, lihtne, operatiivne



Normalized difference vegetation index (NDVI)

- Kõige sagendamini kasutatud VI (taimestiku detekteerimine ja hulga mõõtmine)
 - Kasutusel 1970test (Rouse, Tucker).
- Elus (rohelised) taimed on tumedad punases ja heledad lähis-infrapunases (NIR).
- „Normaliseeritud“: jagatud läbi punase ja infrapunase summaga, et vähendada pildistustingimuste mõju. Dimensioonita suurus, suhtelistes ühikutes
- Valem (RED: punane, NIR: lähi-infrapunane)

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Taimestiku rollist süsinikubilansis

Monteith'i (1977) hüpotees

$$\Sigma NPP = \varepsilon \Sigma APAR$$

ΣNPP esmase produktsiooni (e. seotud süsiniku hulga) aastasumma

$\Sigma APAR$ neeldunud fotosünteesiliselt aktiivse kiirguse aastasumma

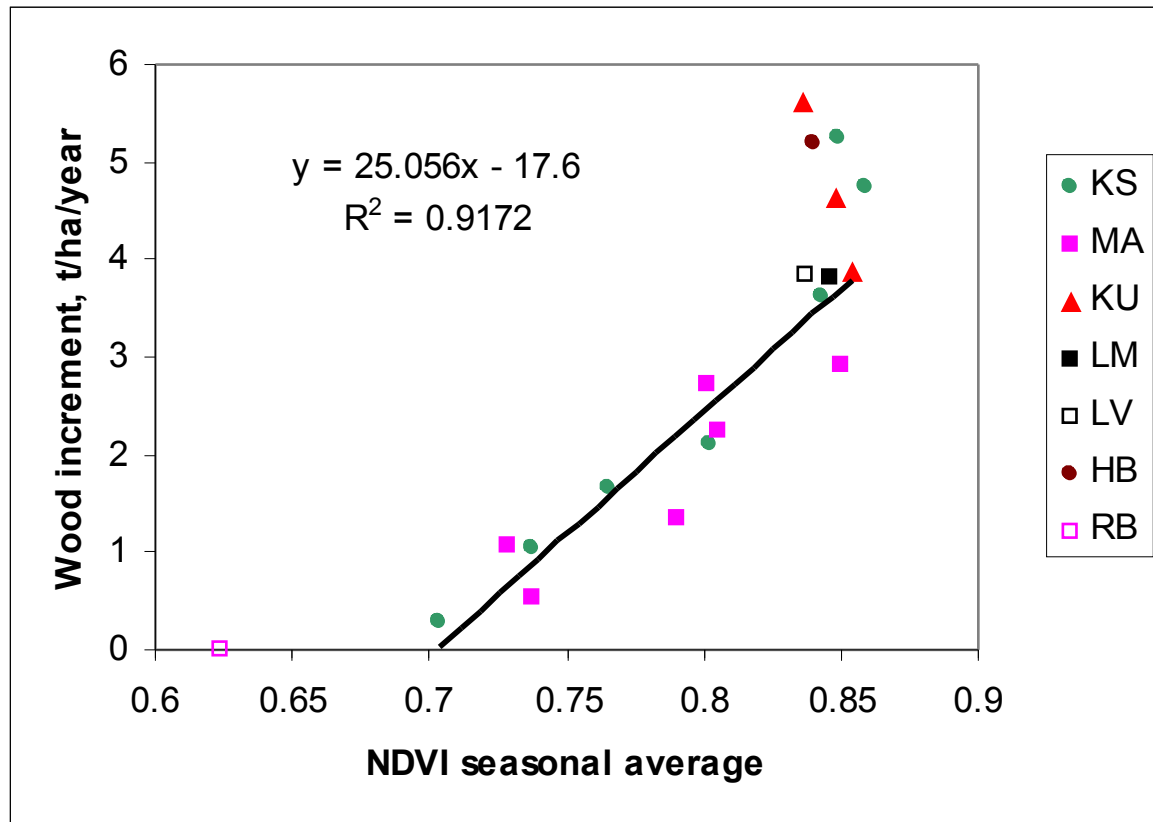
ε kiirguse kasutamise efektiivsus

$APAR = a \text{ NDVI} + b$, kus NDVI hinnangud saadakse satelliidipiltidelt

Konkreetne näide selle tehnika kasutatavuse kohta Eestis metsade kaugseire rubriigis

Aastane puidumassi juurdekasv olenevalt NDVI sesooni keskmisest. Erineva peapuuliigi ja boniteediga metsad Järveljal.

Väga hea boniteediga metsad ei eristu NDVI summa alusel. Regressioonisirge ei arvesta kuusikuid, haavikuid ja kõrgeboniteedilisi kaasikuid, samuti rabamännikuid.



Head lootused hinnata aastast puidumassi juurdekasvu ja seotud süsiniku hulka kaugseire abil. Monteith hüpotees. Probleemid limiteerivate faktoritega

EVI (Enhanced VI)

$$EVI = G \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + C_1 R_{RED} - C_2 R_{BLUE} + L}$$

- EVI optimeerib taimsete objektide signaali tundlikkust, eriti suurte biomasside juures, vähendada mulla ja atmosfääri mõju
- Sarnane NDVIga
- Kordajad C1 ja C2 vähendavad atmosfääri mõju vastavalt punases ja sinises spektri piirkonnas ja L vähendab mulla mõju
- MODISe teadusrühma leiutis

Reduced Simple Ratio (RSR)

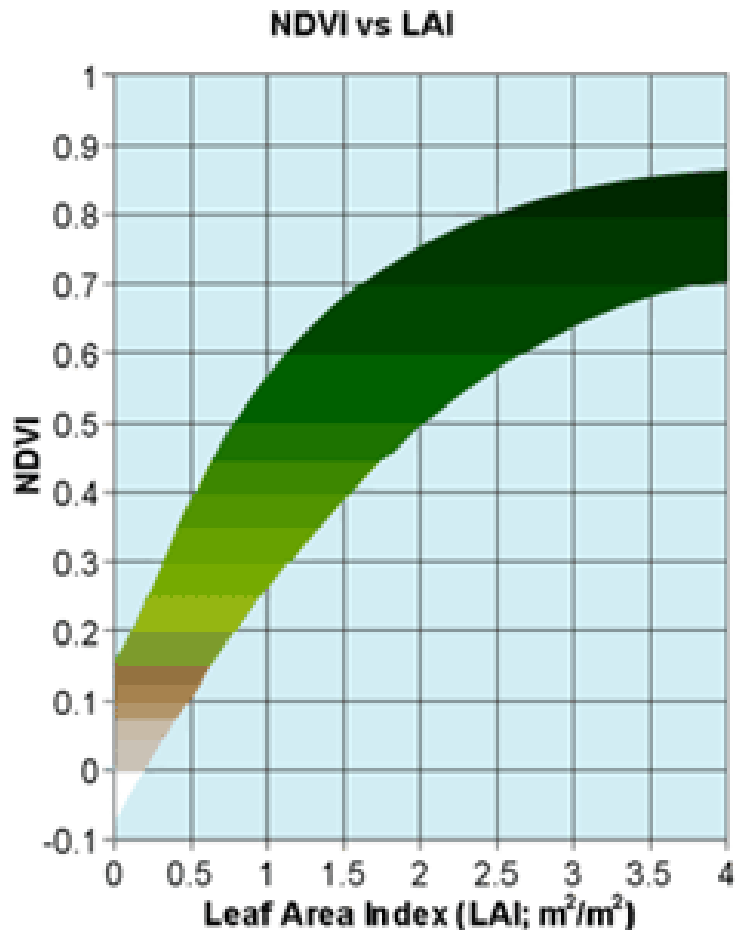
$$RSR = \frac{\rho(NIR)}{\rho(RED)} * \frac{\rho(SWIR_{max}) - \rho(SWIR)}{\rho(SWIR_{max}) - \rho(SWIR_{min})}$$

- kolm kanalit: punane, lähis-infrapuna (NIR), keskmine infrapuna (SWIR)
- SWIR mõõdab vee hulka (taimestikus ja selle all): vajalik leida dünaamiline WIR ulatus pildilt
- RSR on parem kui NDVI:
 - väiksem aluspinna mõju
 - sobib erinevatele taimkattetüüpidele
- Parema dünaamika

Taimkatte parameetrid

- Lehepinnaindeks **LAI**
 - taimelehtede ühepoolne pindala aluspinna pindalaühiku kohta
- Katvus **fCOVER**
 - taimede maapealsete elusate osadega kaetud pindala osa
- Võrastiku liitus (canopy closure)
 - võrastikuga kaetud pindala suhtena eraldise pindalasse
 - 0 – 100 %
- Võrade liitus (crown closure)
 - leitakse jagades võraprojektsioonide summa jagatuna prooviala pindalaga. Võib olla suurem kui 100%
- Fotosünteesiliselt aktiivne kiirgus **PAR**
 - kiirgusvoo tihedus 400 – 700 nm
- Neeldunud fotosünteesiliselt aktiivse kiirguse osa **fAPAR**

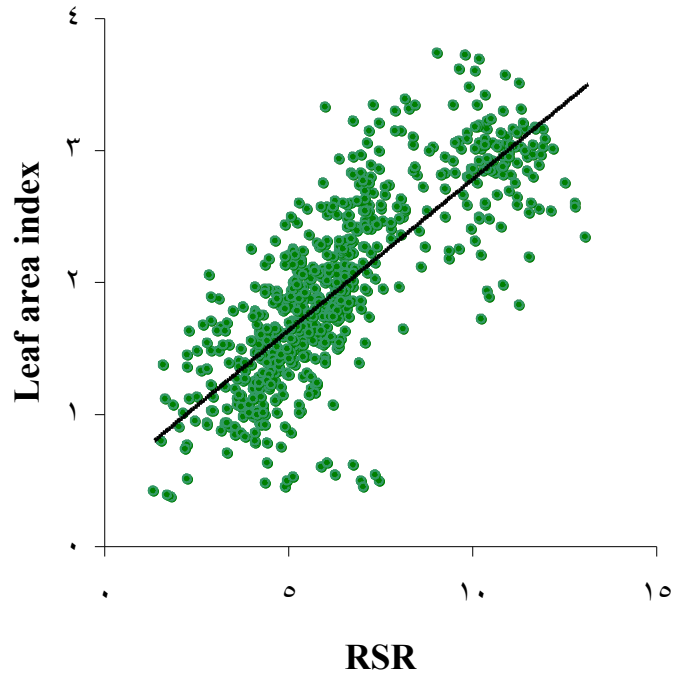
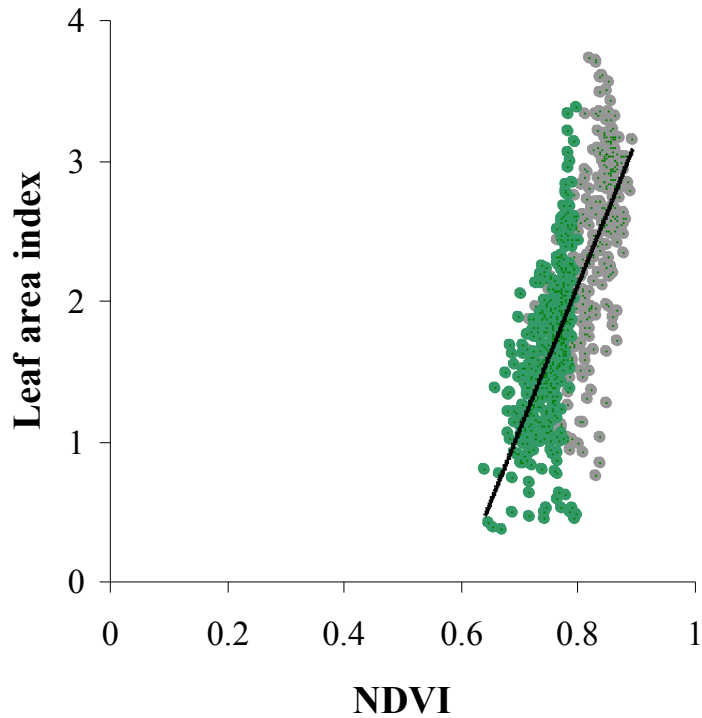
Normalized difference vegetation index (NDVI)



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

Teised indeksid?



~800 Scots pine and Norway spruce plots in central and southern Finland

Indeksitest kokkuvõtteks

- **plussid:**
- Lihtne kasutada
- Kiire hinnangumeetod
- Arvutuslikult lihtne
- vähendab andmehulka
- **miinused:**
- oleneb vastuvõtjast, bioomist, mõõtekohast
- atmosfääri ja valgustus / vaategeomeetria mõju arvestamata,
- aluspinna mõju segapikslite korral keeruline
- ei arvesta aluspinna topograafiat

Taimkatte hindamise meetodid

Empiirilised (statistilised)

- Eelame, et on seos peegeldunud signaali ja meid huvitava parameetri vahel
- Leiame seose kohtmõõtmiste ja kaugseireinfo statistilise analüüsi abil
- Tulemus kehtib vaid mõõtmiskohas

Füüsikalised

- Eeldame, et on seos meid huvitava parameetri ja signaali kujunemist mõjutavate parameetrite vahel
- Modelleerime seoseid kasutades teadmisi loodusteadustest
- Tulemused on universaalsed (tehtud lähenduste raames)

Füüsikalised mudelid

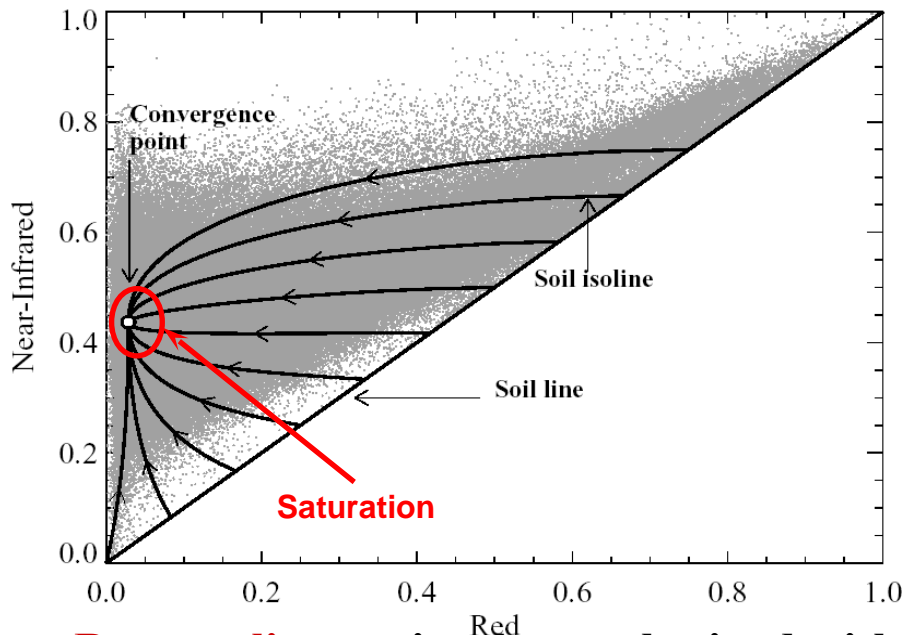
- Põhinevad kiiruslevivõrrandil
 - analüütilisi lahendeid pole
- Lahendid numbrilised: toores jõud
 - Diskreetne koordinaadisamm
 - Täpne taimeistikukirjeldus
 - Kiire arvuti
- Täpne tulemus

Füüsikalised mudelid

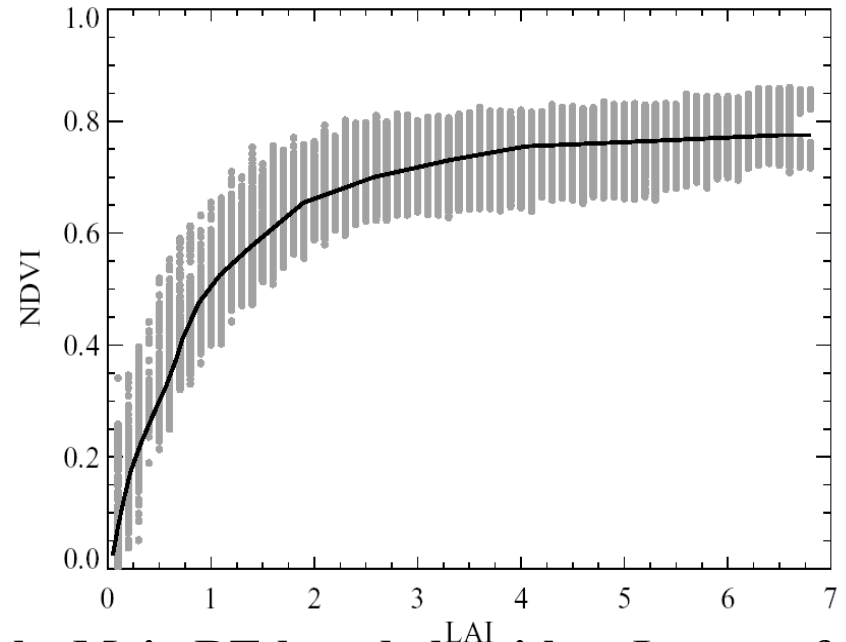
- Palju parameetreid, vähe mõõtmisi
 - leida olulised muutujad
 - parameteriseerida protsesse
- Lisaks mudelile oluline ka pööramisalgoritm
 - itereeriv
 - look-up table
 - „data assimilation“

MODIS LAI and FPAR Algorithm

Main RT Algorithm



Back-Up Algorithm



- **Best quality** retrievals are obtained with the Main RT-based algorithm. In case of high LAI (>5) surface reflectances have low sensitivity to LAI (saturation domain). Only retrievals by main algorithm (with or without saturation) are recommended for application studies.
- In case of main algorithm failure, the back-up algorithm (LAI/FPAR-NDVI empirical relationships) is employed. Such retrievals have generally **low reliability** and are not recommended for application studies, including validation.

Probleemid taimkatte kaugseires

- Traditsiooniline optiline kaugseire ei võta arvesse taimkatte struktuuri
 - vajalik mõõtmine mitme nurga alt või lisainfo (radar, lidar)
- Välimõõtmised tülikad ja keerulised
 - Piksli suurus km x km
 - Puu struktuuri täpne mõõtmine väga töömahukas
 - Puudub oluline info peegeldusspektrite kohta
- Pöördülesande lahendamine problemaatiline
 - sama peegeldussignaali võib toota mitu eriilmelist metsa
- Üldised optilise kaugseire probleemid
 - Kõige pilvisema ilma ajal kõige olulisemad arengud