

Keskkonnakaugseire I

FKKF.01.007

Matti Mõttus

Tartu Observatoorium/TÜ
matti.mottus@aai.ee



Programm ja ajakava

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
 - Eksam aprillis
 - ▶ kuupäev?

Hindamine

- Suuline eksam
- Eksamile pääsemiseks tingimused:
 - ▶ Praktikum arvestatud (30% hindest)
 - ▶ Iseseisev töö tehtud ja ette kantud
- Materjalide kasutamine lubatud
 - ▶ Hinne näitab arusaamist

Õppematerjalist

- Korralikku eestikeelset keskkonna kaugseire õppematerjali pole
- Ingliskeelsed raamatud
 - ▶ Jensen, J. R. Remote Sensing of the Environment: an Earth Resources Perspective
- Ingliskeelsed kaugseirealased materjalid veebis
 - ▶ NASA Dr. Nicholas Short <http://rst.gsfc.nasa.gov/>
 - ▶ Prof. Susan Ustin <http://cstars.ucdavis.edu/classes/ers186/>
 - ▶ Dobrowski & Greenberg <http://cstars.ucdavis.edu/classes/ers186-w03/>
 - ▶ Dr. Lewis & Disney <http://www2.geog.ucl.ac.uk/~plewis/geog2021/>
 - ▶ Dr. Anne Nolin http://terra.geo.orst.edu/classes/geo444_544/
- Mait Langi kanadalaste kaugseire kursuse viide
 - ▶ <http://scorpion.aai.ee/~lang/kseire.html>
 - ▶ sealt edasi on mitmeid kasulikke linke, ka eesti keelde tõlgitud osa
- Osaliselt kasutatav:
 - ▶ Tiit Nilson: Metsade kaugseire (saadaval EMÜ metsamajast)
 - ▶ Kogumik Kaugseire Eestis (Tähe 4 raamatukogus jm.)

Palju infot Internetis: veel mõned kasulikud viited

- Earth Observing System, Data Gateway, USA
 - ▶ <http://edclxs2.cr.usgs.gov/>
- DLR (Saksamaa) <http://www.dlr.de/en/>
- SPOTIMAGE (Prantsusmaa)
 - ▶ <http://www.spotimage.com/>
- EURIMAGE
 - ▶ <http://www.eurimage.com/>
- Rootsi kosmosekorporatsioon
 - ▶ <http://www.lantmateriet.se/>
- Space imaging ja Orbimage <http://www.geoeye.com/>
- Global Security kosmose lehekülg
<http://www.globalsecurity.org/space/index.html>
- ja veel palju muud. Lisaks on iseseisva tööna veel hulgaliselt saite, mida tutvustate üksteisele seminari vormis

3 vajalikku tegevust:

- Teoreetiline osa: Loengud ja iseseisev lugemine
- Praktikum digitaalse pilditöötamise lihtsamate võtete omandamiseks ja internetis keskkonnakaugseire olulisemate kodulehekülgedega tutvumiseks
- 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. Ma pakun välja mingi hulga, kust ise valite.

Esimene loeng

- Mis on kaugseire
 - ▶ Geograafiline info
 - ▶ Füüsikalised alused
- Passiivne kaugseire
 - ▶ Passiivne optiline kaugseire
 - ▶ MERIS
- Kaugseire instrumendid

Kaugseire

- Inglise Remote sensing
- Saksa Fernerkundung
- Prantsuse Télédétection
- Vene Distantсионnoye zondirovaniye
- Rootsi Fjärranalys
- Soome Kaukokartoitus

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

Mõõteinstrumendid (reeglina) maapinnast kõrgemal: satelliitidel ja lennukitel.

Kaugseire põhiülesanded:

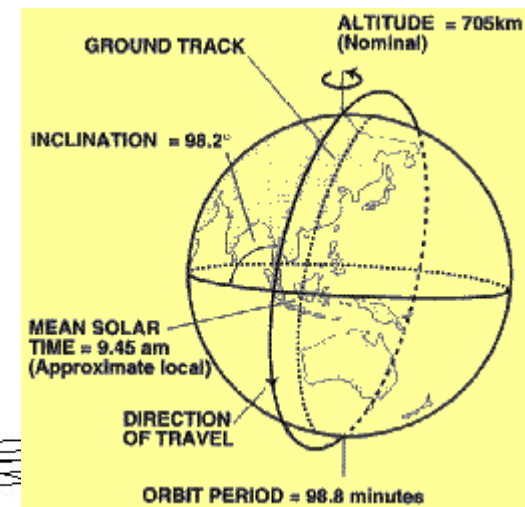
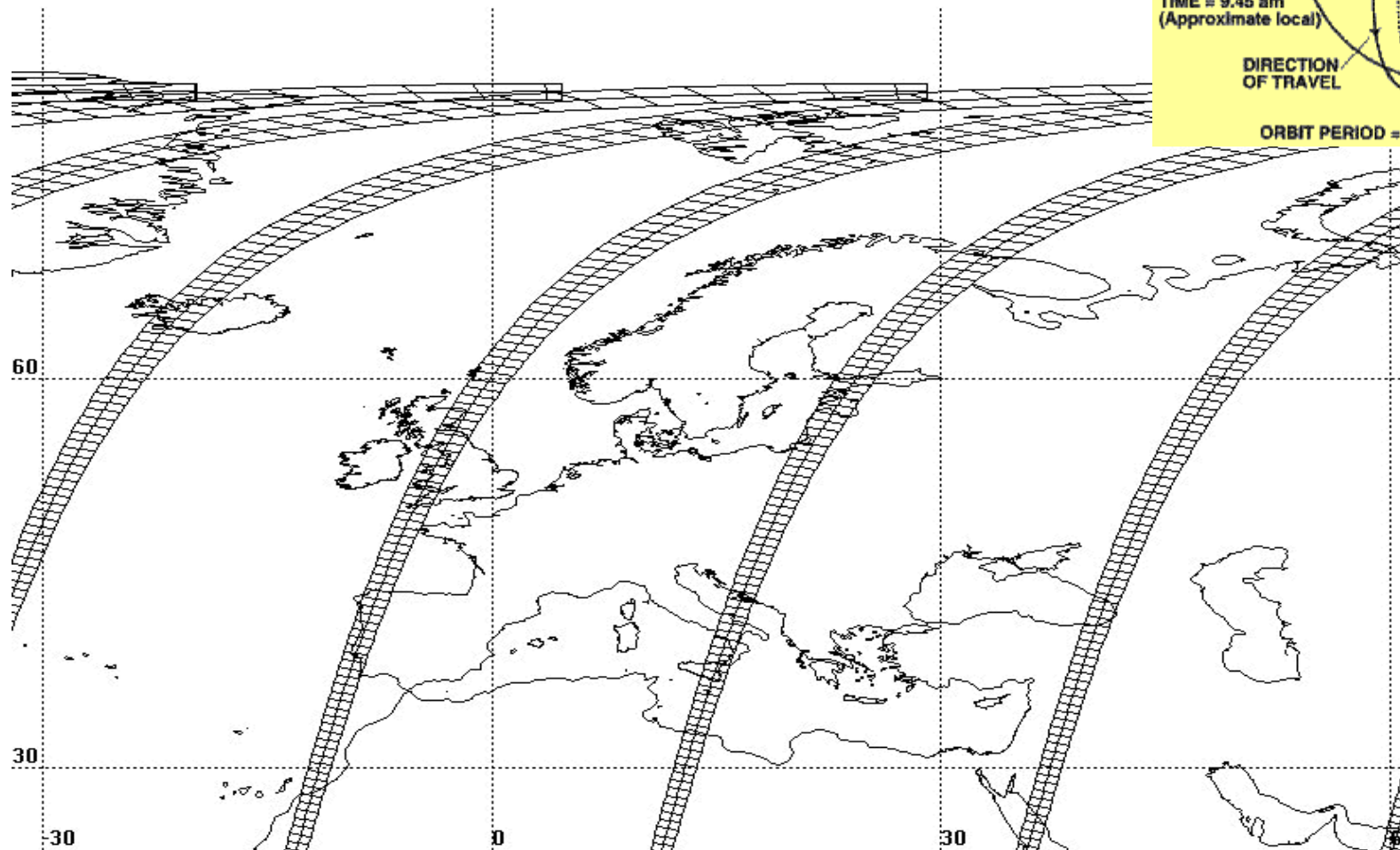
- Objektide äratundmine e. identifitseerimine
- Mingi tunnuse järgi homogeensete alade piiritlemine, kaardistamine, pindalade mõõtmine
- Uuritava objekti mitmesuguste tunnuste ja objekti seisundi hindamine
- Teatud objekti või suurema territooriumi jälgimine e. monitooring pikema aja jooksul muutuste avastamiseks

Kaugseire ja GIS

- Kaugseire $\neq$ pilditöötlus $\neq$ GIS
 - ▶ GISist varsti lühidalt
 - ▶ Pilditöötlusest praktikumis
- Fotogramm-meetria:
 - ▶ Objekti geomeetriliste omaduste määramine fotolt
 - ▶ On kaugseire?
- Kaugseire kitsamalt hindab objekti (füüsikalisi) omadusi selle vastasmõju abil elektromagnetkiirgusega
- Eeldus: füüsikalised omadused on seotud meid huvitavate parameetritega

Kaugseire ja GIS 2

- Ka üks on mõõtmine!
 - ▶ Kasutades satelliidi orbiidi kuju, võib ka üksikmõõtmistega katta kogu planeedi
- Punktmõõtmine, profileerimine, skaneerimine/pildistamine
 - ▶ Andmete hulk oleneb uuritavatest seostest
 - ▶ Juhuslik valim punkte või süstemaatiline skaneerimine?
 - ▶ Skaneerimine või pildistamine?
- Tänapäeval tulemuseks reeglina geograafiline andmekogum



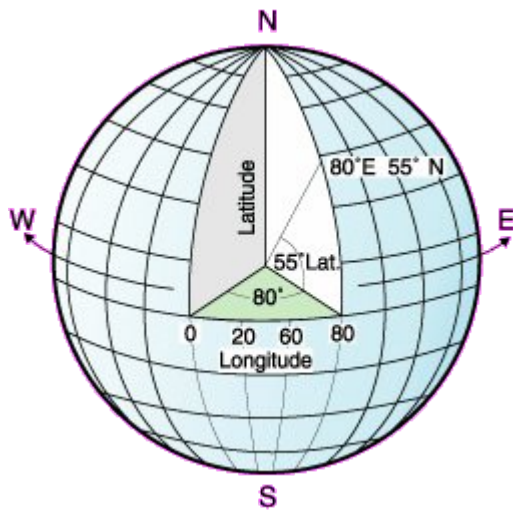
GIS

- Geoinfosüsteem ehk GIS on automatiseeritud süsteem ruumiliste andmete kogumiseks, haldamiseks, säilitamiseks, päringute teostamiseks, analüüsiks ja esituseks. [wikipedia]
- Vaikimisi eeldatakse, et töötab (universaal)arvutil
- Võimalik kasutada eri andmekihte erinevatest allikatest pärineva info kombineerimiseks
 - ▶ Infokihiks ka kaugseire-andmed
 - ▶ Kasutada ka baaskaarti, punktmõõtmisi, ...
- Kõik andmed seotud geograafiliste koordinaatidega

Koordinaatsüsteemid

- Ülesanne: kirjeldada asukohta maapinnal või selle lähedal
 - ▶ Sfäärilised koordinaadid + kõrgus:
 - Geograafiline pikkus ja laius
 - Vertikaalne kaugus geoidist / Maa keskmest
 - Määratakse näiteks trianguleerides 3D ruumis (GPS)
 - ▶ Ristkoordinaadid:
 - Kaugus kokkulepitud nullpunktist meetrites
 - x,y paar + kõrgus nullnivoost
 - Eeldab, et Maa on lame
 - Saavutatakse projektsiooniga
 - Kehtib (üldiselt) lokaalselt
 - Intuitiivne
 - Võimaldab geoinfot esitada maatriksina (pildina)

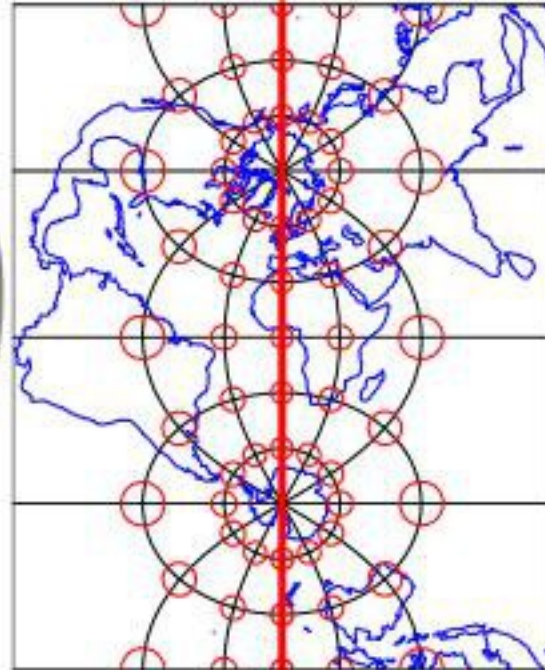
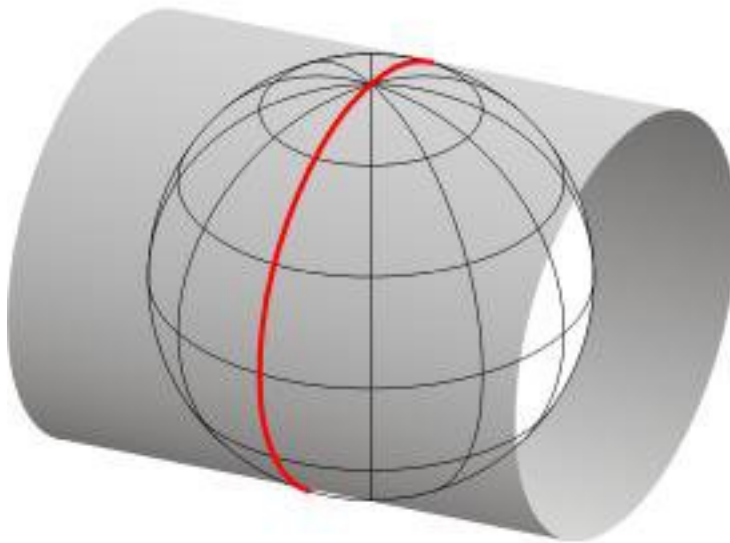
Pikkus- ja laiuskraadid



- Kaugus ekvaatorist kraadides: põhja- või lõunalaius
 - ▶ 0: ekvaator
 - ▶ 90: poolus
- Kaugus nullmeridiaanist: ida- või läänepikkus
 - ▶ 0: Greenwich
 - ▶ 180: Kuupäevaraja

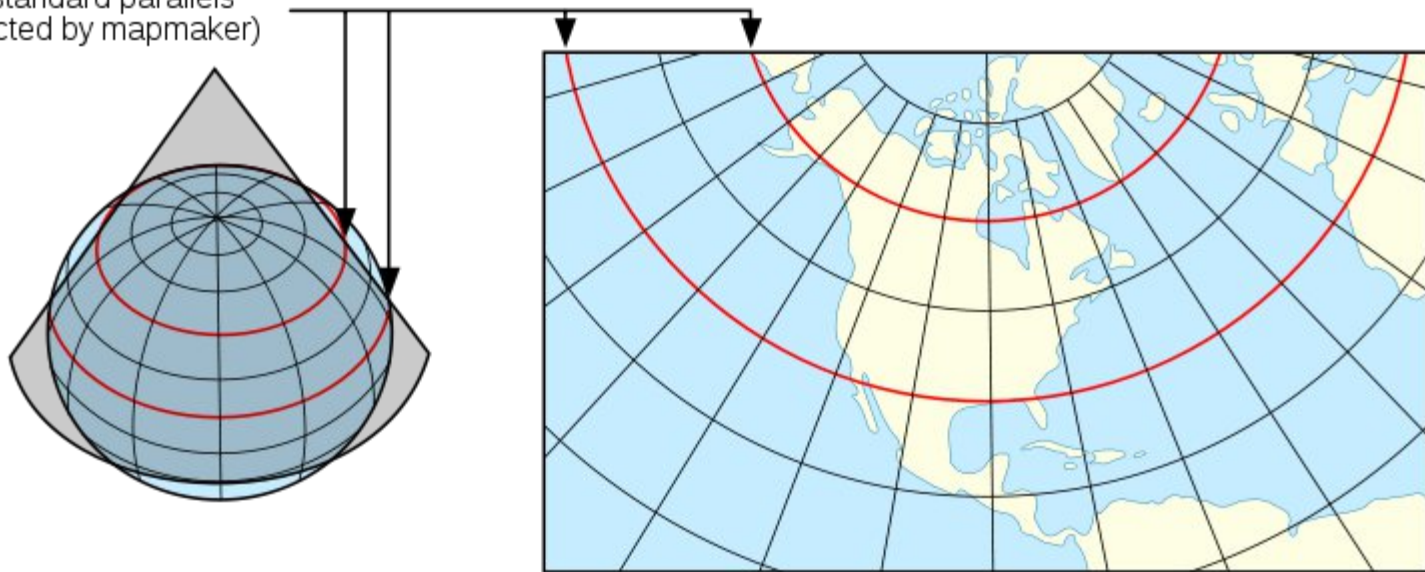
UTM

- Mercatori universaalne põikprojektsioon (Universal Transverse Mercator)
- Ristkoordinaadistik (Eastings and Northings)
 - Vööndid iga kuue pikkuskraadi järel



Lamberti konformne kooniline projektsioon

Two standard parallels
(selected by mapmaker)



[wikipedia]

Lambert-Est

- Lamberti konformne kooniline projektsioon
- Referentsellipsoid: GRS 80, projektsiooni parameetrid:
 - ▶ 1. koonuse lõikeparalleelid: $BL=58^{\circ}00'$ ja $BP=59^{\circ}20'$;
 - ▶ 2. keskmeridiaan: $LK=24^{\circ}00'00''$
- Tasapinnaline ristkoordinaatide süsteem L-EST:
 - ▶ Põhineb LAMBERT-EST-il
- Süsteemi parameetrid:
 - ▶ x-telg on kollineaarne LAMBERT-EST keskmeridiaaniga
 - ▶ lähtepunkti geodeetilised koordinaadid:
 - $B0=57^{\circ}31'03.19415''$ ja $L0=24^{\circ}00'$
 - ▶ lähtepunkti ristkoordinaadid:
 - $x0= +6375\ 000\ \text{m}$ ja $y0=+500\ 000\text{m}$

Pilditöötlus

- Raster- ja vektorpildid
 - ▶ Rasterpildid (jpg, gif,...)
 - ▶ Vektorpildid (emf, eps, svg, Clip Art, ...)
- Analooogne jaotus ka GISis
 - ▶ Rasterandmed: vaadeldav maa-ala jaotatakse elementaarjoatisteks, mille sees muutuja ei muutu või mille muutumisest meil infot pole (piksel) – satelliidipilt
 - ▶ Vektorandmed: punktid ning matemaatiliselt kirjeldatavad jooned (sirglõigud, kaared, ...) – baaskaart
- Kaugseire-andmed ~ kaliibritud pilt
 - ▶ Värvide hulk (must-valge, kolm põhivärvi, mitmekanaliline,...)
 - Jagatav põhitoonideks / komponentideks (RGB süsteem)
 - ▶ Dünaamiline diapsoon (halltoonide arv) alates 8 bitist
- Pilditöötlus ei anna otsest infot pildistamise hetkel toimuvate protsesside kohta (kaugseire ei ole pilditöötlus!)

Kaugseire rakendusala

- Militaarotstarve
- Ilmaennustus ja kliima
 - ▶ Pilved, tuul, aluspinna temperatuur, atmosfääri koostis, albeedo, ...
- Keskkond
 - ▶ Maapind (maakasutus, muutused, taimkate, jääpind)
 - ▶ Vesi (ookeanide reostus ja tsirkulatsioon)
- Majandus ja äri
 - ▶ Põllumajandus ja metsandus
 - ▶ Geoloogia
 - ▶ Süsinikukaubandus?
- Jpm (teadus, maamõõtmine, kinnisvaraäri)
- Suurim teaduslik tähendus globaalsete muutuste jälgimisel

Kaugseire meetodid

- Lisaks kaugseireandmetele pea alati olemas tausta/lisainfo
 - ▶ Maapealsed vaatlused
 - ▶ Modelleerimistulemused
 - ▶ “Klimatoloogiline keskmine”
 - ▶ Kaugseireandmed (erinev vastuvõtja, erinev algoritm)
- Empiirilised meetodid
 - ▶ Uuritakse statistilisi seoseid kaugseiresignaali ja suvalise muutuja vahel
- Füüsikalised meetodid
 - ▶ Põhjuslik seos
 - ▶ Kui pole statistilist seost, ei ole mõtet ka otsida füüsikalist
- “Data assimilation”
 - ▶ Mudelite parameetrite sobitamine kaugseire ja kohtmõõtmiste andmetega
- Kaugseire ei ole ainult satelliidipilt!

Kaugseire meetodid

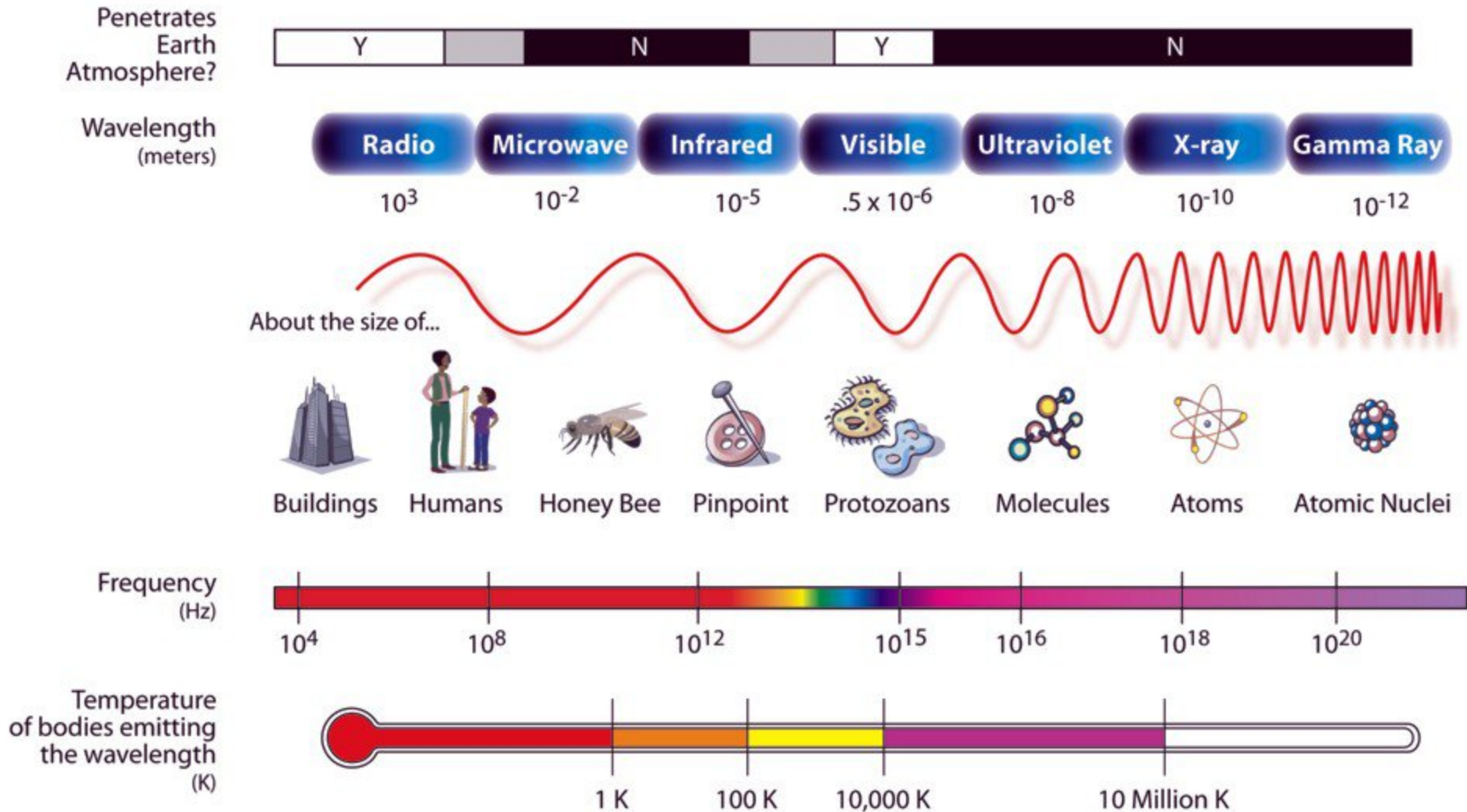
- Aktiivne kaugseire
 - ▶ Radar (radiowave detection and ranging)
 - ▶ Lidar (light detection and ranging)
- Passiivne kaugseire
 - ▶ “Optiline kaugseire”: VIR, NIR, SWIR
 - ▶ Passiivne mikrolainekaugseire
 - ▶ Infrapunakaugseire (TIR)
 - ▶ Gravitatsioonivälja mõõtmine

Elektromagnetkiirguse spekter

Elektromagnetkiirguse liigid	Lainepikkus
Gammakiirgus	$< 0.03 \text{ nm}$
Röntgenkiirgus	$0.03 - 3 \text{ nm}$
Ultraviolettkiirgus	$3 - 400 \text{ nm}$
Nähtav kiirgus	$400 - 700 \text{ nm}$
Lähiinfrapunane kiirgus	$700 - 1500 \text{ nm}$
Keskmine infrapunane kiirgus	$1500 - 6000 \text{ nm}$
Infrapunane (soojuskiirgus)	$6 - 300 \text{ }\mu\text{m}$
Mikrolained (raadiolained)	$> 0.3 \text{ mm}$

$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$, $1 \text{ }\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$

THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



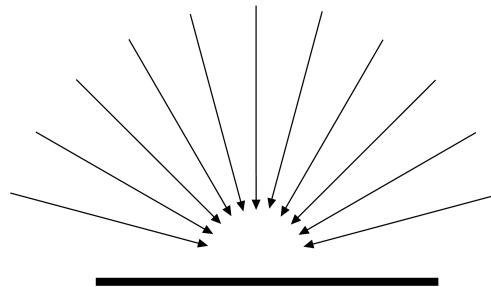
Fotomeetrilised suurused

- Kiiritustihedus
- Kirkus
- Albeedo
- Difuusne ja spekulaarpeegeldus
- Peegeldustegur

Kiirgusvoog (Flux)

- Kiirgusvoog on teatud pinnale langev (või ka seda läbiv, sellest lähtuv) kiirgusenergia hulk (UV, nähtav, infrapunane)
- Oleneb pinna suurusest ja orientatsioonist!
- Pind tihti horisontaalne, 2 komponenti – pealelangev ja peegeldunud kiirgusvoog
- Võimalik defineerida ka spektraalne kiirgusvoog

$$\Phi = \frac{dE}{dt}$$



Kiiritustihedus (irradiance, flux density)

- Kiirgusvoo tihedus: kiirgusvoog pinnaühikule
 - ▶ Ei olene otseselt pinna suurusest
- Tihti kasutatakse ekslikult voo sünonüümina
- Võimalik defineerida ka spektraalne kiiritustihedus

Kirkus (radiance)

- Kõige diferentsiaalsem suurus fotomeetrias
- Kirkus on radiomeetriline suurus, mis vastab energia hulgale, mis kiirgub antud (elementaar)pindalast (või läbib antud pindala) antud (elementaar)ruuminurka
- Spektraalne suurus, vektor

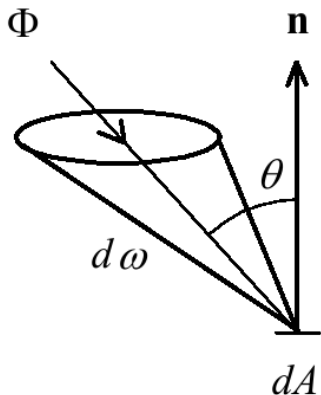


Figure 3a

Radiance (arriving)

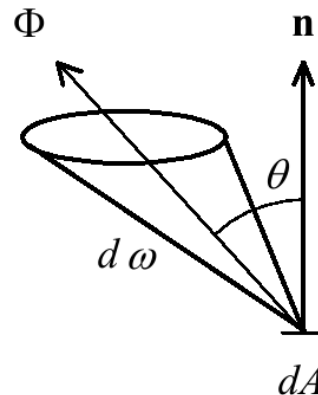


Figure 3b

Radiance (leaving)

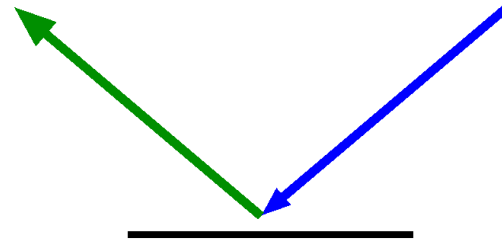
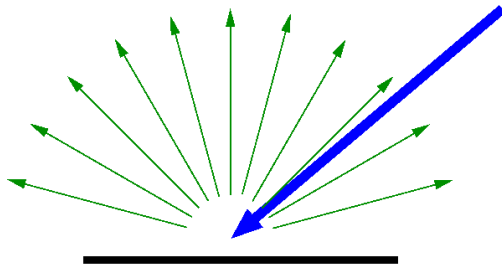
$$I = \frac{d^4 E}{dA d\vec{\Omega} dt d\nu \cos \theta}$$

Albeedo

- Albeedo on pealelangnud ja peegeldunud kiirgusvoo (või kiiritustiheduse) suhe
 - ▶ Spektraalne kiiritustihedus → spektraalne albeedo
- Black sky albedo
 - ▶ Punktvalgustus (otsene päikesekiirgus)
- White sky albedo
 - ▶ Difuusne valgustus (taeva hajuskiirgus)
- Black / white sky albedo erinevus oleneb pinna omadustest

Peegeldumine

- Kaks äärejuhtumit
 - ▶ Difususne hajutamine (Lamberti komponent)
 - ▶ Peegelhajutamine (spekulaarne, Fresneli komponent)



- Lamberti pind
 - ▶ Difususne hajutaja
 - ▶ (Peegeldustegur = 1)

Peegeldustegur reflectance factor

- Mõõdetavelt pinnalt lähtuva ja vastuvõtjasse jõudva kiirgusenergia suhe samades valgustustingimustes täielikult peegeldavalt Lamberti pinnalt lähtuvasse kiirgusenergiasse
 - ▶ Täielikult peegeldava Lamberti pinna peegeldustegur on üks
- Olenevalt vastuvõtja geomeetriast ja valgustusest
 - ▶ BRF (bidirectional reflectance factor): punktallikas, suundvastuvõtja (~kirkus)
 - ▶ BHR (bihemispherical reflectance) = white sky albedo
 - ▶ DHR (directional-hemispherical reflectance) = black sky albedo
 - ▶ HDR (hemispherical-directional reflectance): difuusne pealelangev kiirgus, suundvastuvõtja (kirkus)

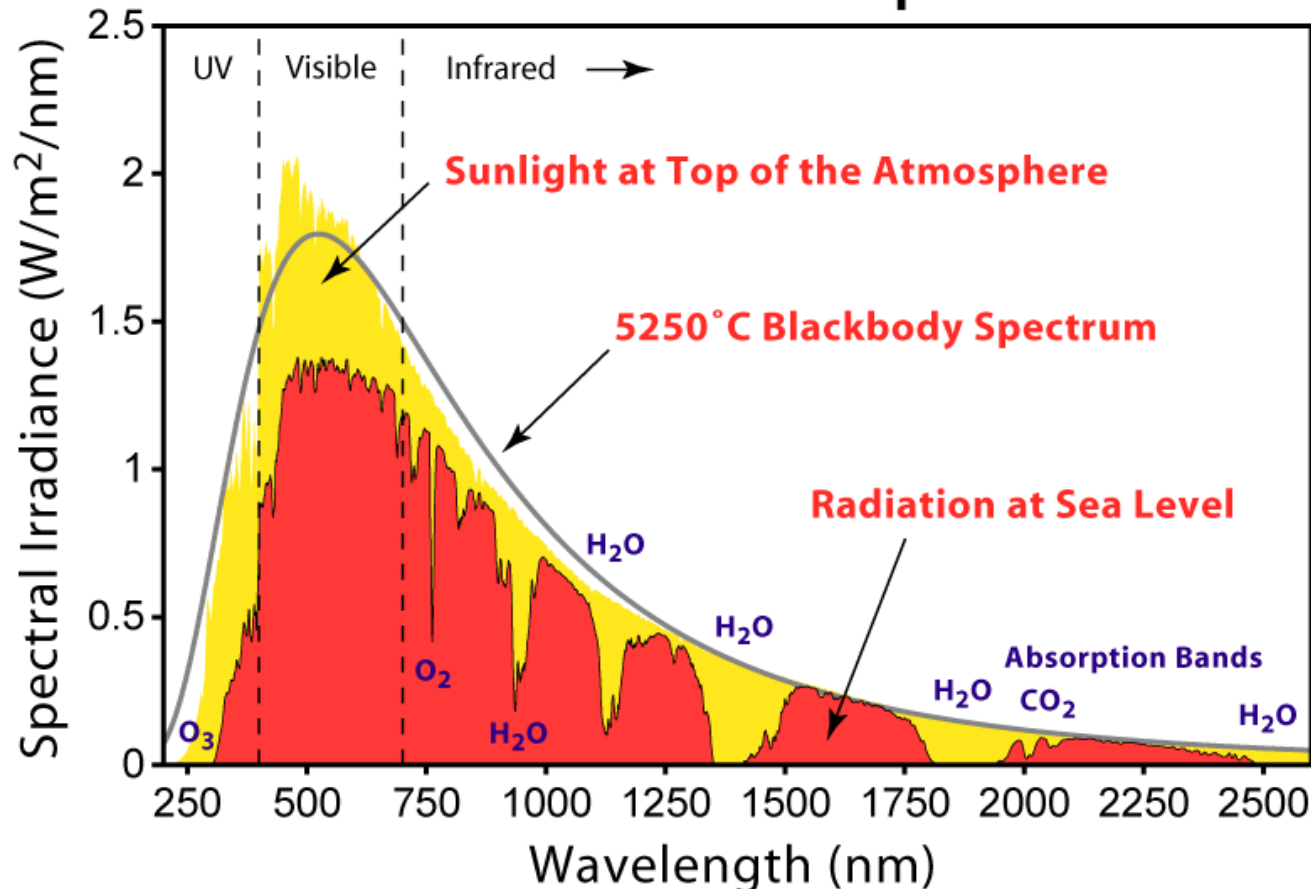
Optilise passiivse kaugseire meetodid

- Kaugseire peamiseks infoallikaks on objektilt peegeldunud päiksesekiirgus. Infot annavad:
- Mõõdetava kiirguse spekter, või heleduse keskväärtus erinevates spektri piirkondades
- Heleduse varieeruvus ja korrelatsioon uuritava objekti piirides (nn. tekstuur)
- Heleduse ajaline muutumine ja ajaline korrelatsioon
- Heleduse olenevus vaatesuunast ja valguse langemise suunast
- Objektilt lähtunud kiirguse polarisatsioon
- Fluorestsentskiirguse olemasolu, heledus ja ajaline kestvus

“Optiline kaugseire”

- VIR, NIR, SWIR

Solar Radiation Spectrum



Optilise kaugseire rakendused:

- Meetodid (lainepikkus, orbiit, lahutus) vastavalt rakendusele
- Maa pind
 - ▶ Maapind
 - Maapind tervikuna – selle albeedo ja karedus
 - Geoloogia
 - Taimkate
 - Jää / lumi
 - Maapinnal asuvad kõikvõimalikud objektid
 - ▶ Vesi
 - Avameri
 - Rannikumeri ja järved
- Atmosfäär
 - ▶ Pilved, keemiline koostis, füüsikalised omadused, ...

Optiline kaugseire: näide

MERIS



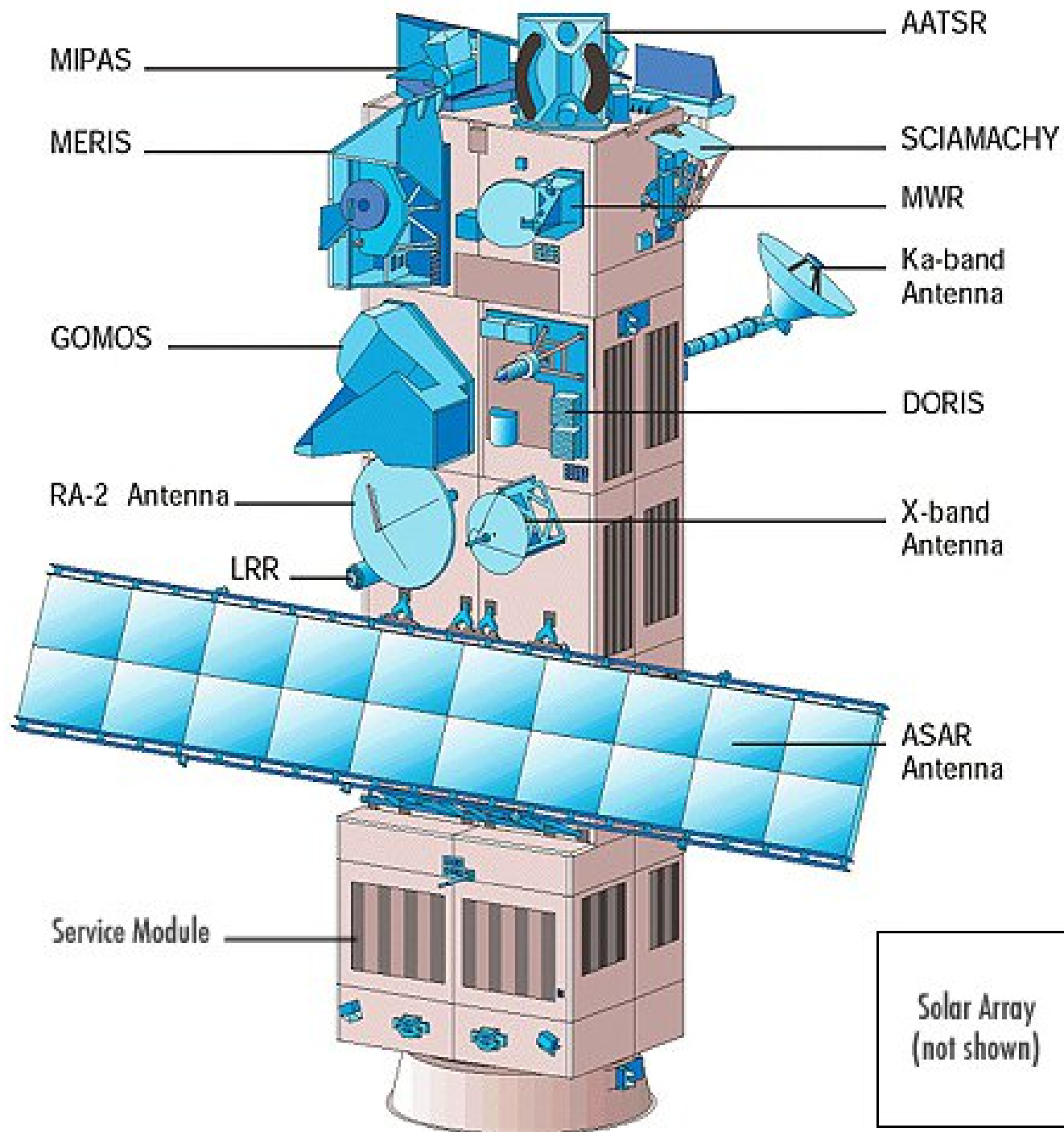
200 Kg
1m³

120M€

175 W

ENVISAT





ENVISAT süsteem

ESA ENVISAT

- ENVISAT -10 erinevat mõõteriista
 - ▶ Advanced Synthetic Aperture Radar (ASAR), C-band radar
 - ▶ Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars (GOMOS)
 - ▶ LRR laser retroreflector
 - ▶ Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding (MIPAS) – stratosfääri keemia
 - ▶ MERIS MEdium Resolution Imaging Specrometer Instrument
 - ▶ microwave radiometer (MWR) –atmosfääri veeauru mõõtmine
 - ▶ Radar Altimeter 2 (RA-2) - kõrgusmõõtja
 - ▶ Advanced Along Track Scanning Radiometer (AATSR) – merepinna temperatuuri mõõtmine
 - ▶ DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite) – orbiidi täpsuse garanteerimiseks
 - ▶ SCanning Imaging Absorption SpectroMeter for Atmospheric CHartographY (SCIAMACHY) – nn. kasvuhoonegaaside mõõtmine troposfääris ja stratosfääris

MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer)

- lasti orbiidile ESA (European Space Agency) poolt 2002. a. märtsi alguses – “Euroopa MODIS”
- lahutusvõime 300 m või 1200 m maapinnal
- 15 spektraalset kanalit vahemikus 400 kuni 900 nm
- spektraalpiirkonnad sobivad just veekogude uurimiseks

	Band	Band centre (nm)	Bandwidth (nm)	Primary Use
V I S I B L E	1	412.5	10	Yellow substance and pigments detritus
	2	442.5	10	Chlorophyll absorption maximum
	3	490	10	Chlorophyll and other pigments
	4	510	10	Suspended sediment, red tides
	5	560	10	Chlorophyll absorption minimum
	6	620	10	Suspended sediment
	7	665	10	Chlorophyll absorption and fluo. reference
	8	681.25	7.5	Chlorophyll fluorescence peak
	9	708.75	10	Fluo. Reference, atmospheric corrections
I N F R A R E D	10	753.75	7.5	Vegetation, cloud
	11	761.75	3.75	Oxygen absorption R-branch
	12	778.75	15	Atmosphere corrections
	13	865	20	Atmosphere corrections
	14	885	10	Vegetation, water vapour reference
	15	900	10	Water vapour, land

MERISe tooted

- The ENVISAT nomenclature of the products delivered to the public describes three types of processing levels:
 - ▶ level 1B – are images resampled on a path-oriented grid, with pixel values having been calibrated to match the Top Of Atmosphere (TOA) radiance.
 - ▶ level 2 – are images deriving from the level1B products, with pixel values having been processed to get geophysical measurements.
 - ▶ level 3 – are synthesis of more than one MERIS products (and possibly external data) to display geophysical measurements for a time period.
- Lisaks (muud süsteemid):
 - ▶ Level 0 – raw data
 - ▶ level 1A – Radiance Counts
 - ▶ level 2 – radiance or surface reflectance products

-

Product levels

- Level 0: raw imagery and ancillary data that are produced by a sensor before any processing has been applied
- Level 1: Data are reformatted into an image, instrument artifacts are mitigated, the bands are spectrally calibrated, and the digital counts are calibrated to physical radiometric units
 - ▶ Level 1G: + radiometric calibration
 - ▶ Level 1R: + geolocation
- Level 2: imagery that has been geometrically corrected and located on the earth
 - ▶ Some programs perform atmospheric correction at this stage and provide surface reflectance, emittance and temperature
- Level 3: image derived products (classification, detection, material identification maps)

MERIS L3 tooted

- Marine products
 - ▶ Chlorophyll Concentration for the open ocean; (case I)
 - ▶ Water leaving radiances at 412, 443, 490, 510 and 560 nm.
 - ▶ Aerosol optical thickness at 865 nm and the angstroem coefficient.
- Land products
 - ▶ The aerosol optical thickness at 443 nm and the angstroem coefficient.
 - ▶ The MERIS Global Vegetation Index (MGVI)
 - ▶ Albedo Map
- Atmosphere products
 - ▶ The water vapour over clear sky



MERIS,
17 juuli 2003

