

SATELLIIDID JÄLGIVAD MAAD

Andres Kuusk
Tartu Observatoorium

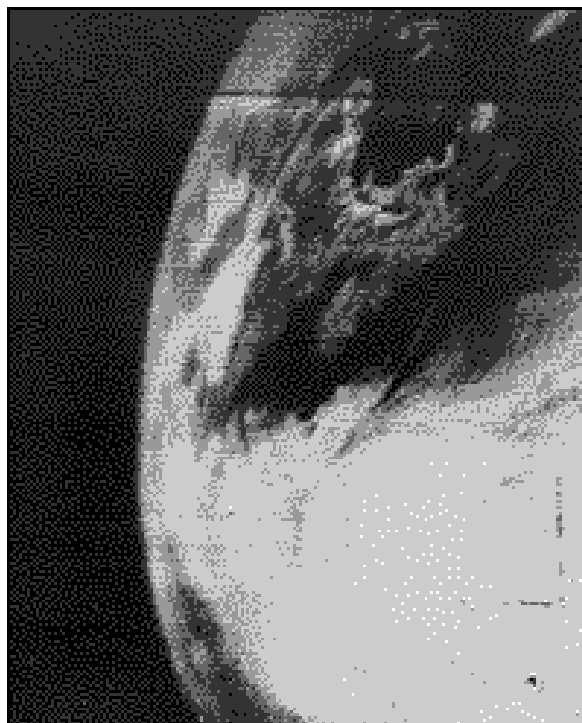
SISSEJUHATUS

Rohkem kui 40 aasta kestel jälgivad satelliidid Maad. Esimeselt Maa-lähedasele orbiidile viidud sputnikult saabusid raadiosignaalid 4. oktoobril 1957. Esmakordselt nägi inimene pilti Maast edastatuna USA satelliidilt TIROS-1 1. aprillil 1960 (vt foto). Rohkem kui kümne aasta kestel olid orbiidilt saadud kujutised nii väikese ruumilise lahutusega, et maapealsed objektid ei olnud eristatavad – satelliite kasutas ilmateenistus pilveväljade muutuste jälgimiseks.

Taimkatte satelliidikaugseire algas Landsat seeria satelliitidega. Alates 1972. aastast on orbiidile viidud kuus Landsat seeria satelliiti, millest varasemad edastasid maapinna kujutisi neljas optilises spektraalkanalis 79-meetrise lahutusega. Landsat-4 pardal oli juba kuue optilise kanaliga skanner Thematic Mapper, mis mõõtis ülelennul 185 km laiust maa-ala 30 m lahutusega. Landsat satelliidid võimaldasid alustada nii taimkatte globaalset monitooringut kui ka üsnagi detailset põldude ja metsade jälgimist. Nüüdseks on Landsati kõrval Maad jälgimas mitmeid uuemaid satelliite. Keskkonna monitooringul on oluline osa ka atmosfääri seisundi jälgimisel. Globaalne pilvisuse, atmosfääri aerosooli, õhusaaste jälgimine on võimalik üksnes satelliitide abil.

MÕÖDUSÜSTEEMID

Passiivse seire mõõdusüsteemid saavad informatsiooni maapealsetest objektidest neilt peegeldunud päikesekiirguse ja objektide soojuskiirguse vahendusel. Taimestiku kaugseires on valdavalt kasutusel optiline kiirgus – nähtav ning lähis- ja keskmine infrapunakiirgus, kus peegeldunud päikesekiirgus varjutab omakiirguse. Maapinna heledust mõõdetakse spektraalsete mitmekanaliliste ska-



neerivate radiomeetritega, ruumilised lahutused mõnest kilomeetrist mõne meetrini, vaatavad nadiiri või mitmes suunas, kanalite arv mõnest mõnesajani. Maapealsetelt objektidelt peegeldunud päikesekiirguse spektraalne koostis ja suundolenevus on määratud nende objektide füüsikaliste omadustega.

KAUGSEIREALANE UURIMISTÖÖ EESTIS

Satelliidikaugseire alal on olnud tegevad ka mitmed eesti uurimisrühmad. Aerosooli klimatoloogia uuringuteks ehitati Tõravere observatooriumis radiomeetrid Mikron ja Faza, mis viidi orbiidile ve-

ne satelliitidega Sojuz. Praegu on kasutusel valdavalt teiste mõodusüsteemidega kogutud info.

Satelliidiinfo kasutamine ei ole triviaalne. Satelliitide radiomeetrid ja spektromeetrid mõõdavad maapealsete objektide heledust läbi atmosfääri. Maapinnalt peegeldunud kiirgusest hajub ja neeldub teel sensorini mingi osa atmosfääris. Satelliidini jõudvas kiirgusvoos on ka mingi osa niisugust atmosfääris hajunud kiirgust, mis ei olegi maapinnani jõudnud. See mõõtmisülesanne on võrreldav läbi tolmu akna tuppva vaatamisega – ka pilvitu taeva korral võib mõnes spektriirikkonnas olla atmosfääris satelliidi suunas hajunud kiirguse intensiivsus suurem kui läbi atmosfääri maapinna tumedamatelt objektidelt saabuva kiirguse oma. Niisiis on orbiidil mõõdetud heleduspektritest kõigepealt vaja eemaldada atmosfääri panus. See eeldab, et me teame atmosfääri muutlike komponentide – veeaur, aerosool, osoon – hulka, aerosoolil ka koostist ja optilisi omadusi satelliidimõõtmiste ajal.

Oktoobrist 2000 töötab Tõraveres globaalse AERONET võrgu päikesefotomeeter, mis mõõdab atmosfääri läbipaistvust ja aerosooli optilisi omadusi. Mõõtes seitsme filtriga otsest päikesekiirgust ja taevafääri heledust saab neist mõõtmisandmetest atmosfääri kiirguslevimudelite abil arvutada veeauru, aerosooli ja osooni hulka ning hinnata ka aerosooli koostist ja hajutamiskatrisi. Need andmed on vajalikud satelliidipiltide atmosfääri-korreksiooniks.

Parasvõõtte maismaa on valdavalt kaetud taimestikuga. Kiirguslevil taimkattes ja taimestikuga kaetud maismaa peegeldusomadustel on oluline osa maapinna ja tervikuna planeedi Maa energia-bilansi kujunemisel. Niisama oluline on taimkattega maismaa peegeldusomaduste informatsiooniline külg – suurelt kauguselt saame informatsiooni ainult kiirguse vahendusel. Teades, kuidas objekti füüsilised omadused kujundavad sellelt peegeldunud kiirgusvälja, saame kiirgusmõõtmistest ammutada informatsiooni objektide äratundmiseks ja nende seisukorramonitooringuks. See on optilise kaugseire teoreetiliseks aluseks.

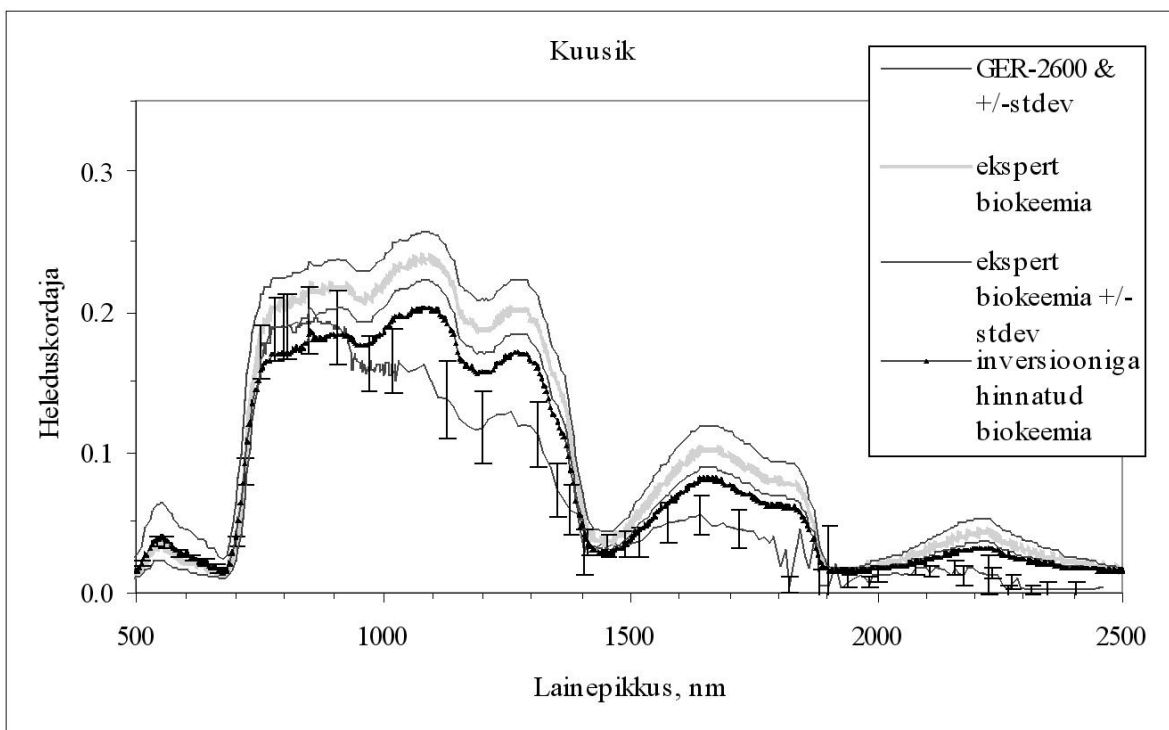
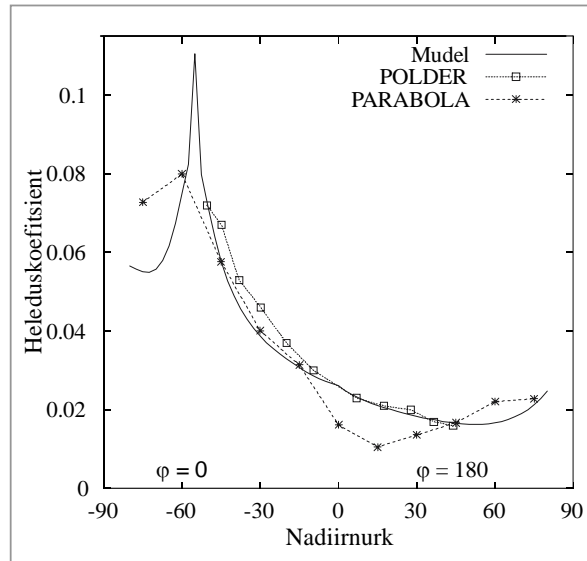
Taimkatte optilise kaugseire teoreetiliste aluste uurimisel on maailmas oluliselt kaasa rääkinud professor Juhan Rossi koolkond Tõraveres. Välja on töötatud taimkatte kiirguslevi füüsikaline teooria, mille kaugseire jaoks oluliseks tulemiks on taimkatte peegeldusmudelid. Tõraveres on välja töötatud mitmed taimkatte peegeldusmudelid homogeensete (rohumaad, teraviljapõllud) ja keerulise kolmemõõtmelise struktuuriga (metsad, põõsastikud) taimkatete jaoks, mis seovad kesk-konda moodustavate elementide (taimelehed, oksad, puuvõrad) optilisi omadusi ja paiknemist ning struktuuri sellelt keskkonnalt peegelduva kiirgusvälja mõõdetavate parameetritega. See loob võimaluse nn pöördülesande lahendamiseks – mõõdetud peegeldunud kiirguse spektritest ja peegeldumiskatrisidest leitakse peegeldava pinna karakteristikuid, mis võimaldavad põllukultuuride ning metsade äratundmist ja seisundi hindamist.

Teoreetiliste mudelite kontrolliks ning satelliidimõõtmiste maapealseks toeks on teostatud rohkesti kiirgusväljade mõõtmisi nii põllukultuurides, metsades kui ka selleks Tõraveres Observatooriumis rajatud nn energiametsas. Spetsiaalsed kiirgustajurid niisugusteks mõõtmisteks on reeglina loodud kohapeal. Joonistel on metsa peegeldusmudeliga arvatud kuusiku peegeldumisspektrit võrreldud helikopterilt mõõdetud spektriga (joonis 1) ning mudelarvutuste peegeldusindikatrisi võrreldud mõõtmistega Kanadas eksperimentis BOREAS (joonis 2).

Peegeldusmudelite kasutusala on rohkete võimalustega. Mudelite abil saab teha simulatsiooniekperimente uurimaks

- satelliidisignaali tundlikkust majanduslikult oluliste metsa ja põllukultuuri parameetrite suhtes;
- millised metsa parameetrid kujundavad metsa heledust erinevates spektriirikkonnades;
- puistute peegelduskoeffitsientide sesoonset ja ealist käiku;
- kahjustuste mõju (okkakadu haiguste või põua tõttu, tuulemurrud);

Joonis 1.
 Vana kuusiku peegeldumisindikatriss mudelarvutustest ja mõõdetuna BOREAS eksperimendi käigus Kanadas radiomeetritega POLDER lennukilt ja PARABOLA kõisraudteelt.



Joonis 2.
 65-aastase kuusiku peegeldumisspekter mudel-arvutustest ja mõõdetuna helikopterilt.

- kvantitatiivseid seoseid kaugseire andmete ja mitmete metsa parameetrite, nagu takseerandmed, lehe- ja okkamass, biokeemilised ja ökofüsioloogilised iseloomustajad, vahel;
- kasutada mudelit ühenduslülina olemasolevate metsanduslike andmebaaside ja satelliidipiltide vahel, näiteks selleks, et kontrollida andmebaasis olevate andmete korrektsust.

Tõraveres loodud taimkatte peegeldusmudelid on kasutusel paljudes teadusasutustes üle kogu maa-
kera. Mitmed Tõraveres tuletatud valemid on leidnud NASA poolt kasutamist kaugseiresatelliitide andmetöötluses. Eesti kaugseirespetsialistid on osalenud ühisprojektides koos Prantsuse, Rootsi, Soome, Hiina, USA jt riikide teadlastega.

RAKENDUSED

Mudelite testimiseks ning praktilisteks rakendusteks on kogutud hulgaliselt satelliidipilte kogu Eesti ja mitmete põhjalikumalt uuritud alade kohta, nagu EPMÜ Järvelja õppebaas, Kagu-Eesti metsaalad, Kirde-Eesti tööstuspiirkond. Aastast 1986 kuni tänaseni on satelliidid Landsat, Spot, Resurs igal aastal teinud mõne õnnestunud ülevõtte Eesti mõnest huvipakkuvast piirkonnast. 20-aastane rida satelliidipilte võimaldab uurida trende metsade seisundis, maakasutuses ja maastikumust-
ris. Üheks kaugseire-alaste uuringute tulemuseks on dr Urmas Petersoni eestvedamisel valminud Eesti satelliidipildi-atlas [Peterson jt, 1998]. Uuemad mõteseadmed satelliitidel MODIS, Ikonos, QuickBird, Proba, EO-1 ja mitmed teised mõõ-
davad maapinda väga kõrge ruumilise ja/või spektraalse lahutusega paljudes spektraalkanaleis, mis on oluliselt avardanud satelliidiinfo kasutus-
võimalusi.

Meteoroloogiliste satelliitide rohkem kui 40 aasta andmestikku kasutatakse pilvisuse klimatoloogia alastes uurimustes, mis on oluline Maa kliima trendide avastamiseks.

Prantsuse satelliidi SPOT ülevõtete põhjal on Maa-ametis valminud Eesti baaskaart.

Satelliidipildid on kasutusel Eestit ümbritsevate veekogude seisundi (reostamine, sinivetikate vo-
hamine) ning jääolude jälgimiseks. Veekogude kaugseires on väga olulise tähtsusega atmosfääri mõju elimineerimine, sest veekogud ise on tumedad ja seetõttu pärineb tuntav osa mõõdetavast signaalist atmosfäärist. Praegusajaks on välja töö-
tatud juba head algoritmid ookeanis vetikate ja klorofüllil hulga hindamiseks satelliitidelt (MO-
DIS, SeaWIFS). Kuna needsamad algoritmid ei anna aga kuigi häid tulemusi rakendamisel näi-
teks Eesti rannikumere ja järvede uurimisel, püü-
takse tuletada siinsetesse oludesse paremini sobi-
vaid algoritme.

Põllumajanduse Registrate ja Informatsiooni Amet kasutab satelliidiinfot põllumajandusmaade registri loomiseks ja redigeerimiseks. Kõrgema ruumi-
lise lahutusega satelliidipiltidelt, eriti aga erineval ajahetkel salvestatud piltide alusel tuletatud muu-
tuste piltidelt, on hästi nähtavad metsades tehtud lageraided. Lageraiete kaardistamiseks on välja
töötatud vastav meetodika ning see on aidanud muuhulgas leida ka ebaseaduslikke raideid.

KOKKUVÕTE

Maalähedasel orbiidil Maad jälgivad satelliidid koguvad iga päev rohkesti infot, mis leiab prak-
tilist rakendust nii globaalsete probleemide uuri-
misel ja lahendamisel kui ka Eesti rahvamajanduses. Oma panuse sellesse, et satelliidiinfo oleks
tõesti praktiliselt kasutatav, on andnud ka sellel alal töötavad eesti teadlased. Omamoodi tunnus-
tuseks Eestis tehtud kaugseire-alasele tööle on EPMÜ Järvelja õppebaasi mõõtmine Euroopa
Kosmoseagentuuri eksperimentaalsatelliidil Proba oleva kõrge spektraal- ja ruumilise lahutusega
spektrometriga CHRIS 2005. a suvel.

Autor tänab oma kolleege doktoreid Tiit Nilsonit, Urmas Petersoni ja Anu Reinartit ning doktorant
Mait Langi, kes lahkelt aitasid koguda faktilist in-
formatsiooni ja graafilist materjali selle artikli jaoks.

KIRJANDUS

Peterson, U., Aunap, R., Eilart, J. 1998. Eestimaa nähtuna kosmosest. Koolibri, Tallinn, 32 lk.