TARTU OBSERVATOORIUM
eesti kosmosekeskus

Mõõtmiste usaldusväärsus kaugseires

Viktor Vabson, Joel Kuusk, Krista Alikas, Ilmar Ansko, Martin Ligi, Tiia Lillemaa, Anu Reinart, Riho Vendt

Kava

- Sissejuhatus
- TOA ja BOA mõõtmised
- Vikaarkalibreerimiste süsteem
- Sensorite kalibreerimise metroloogilised probleemid
  - Laboratoorsed mõõtmised
  - Atmosfääriparandid
- BOA tugimõõtmiste usaldusväärsus
- Kokkuvõte

Sissejuhatus

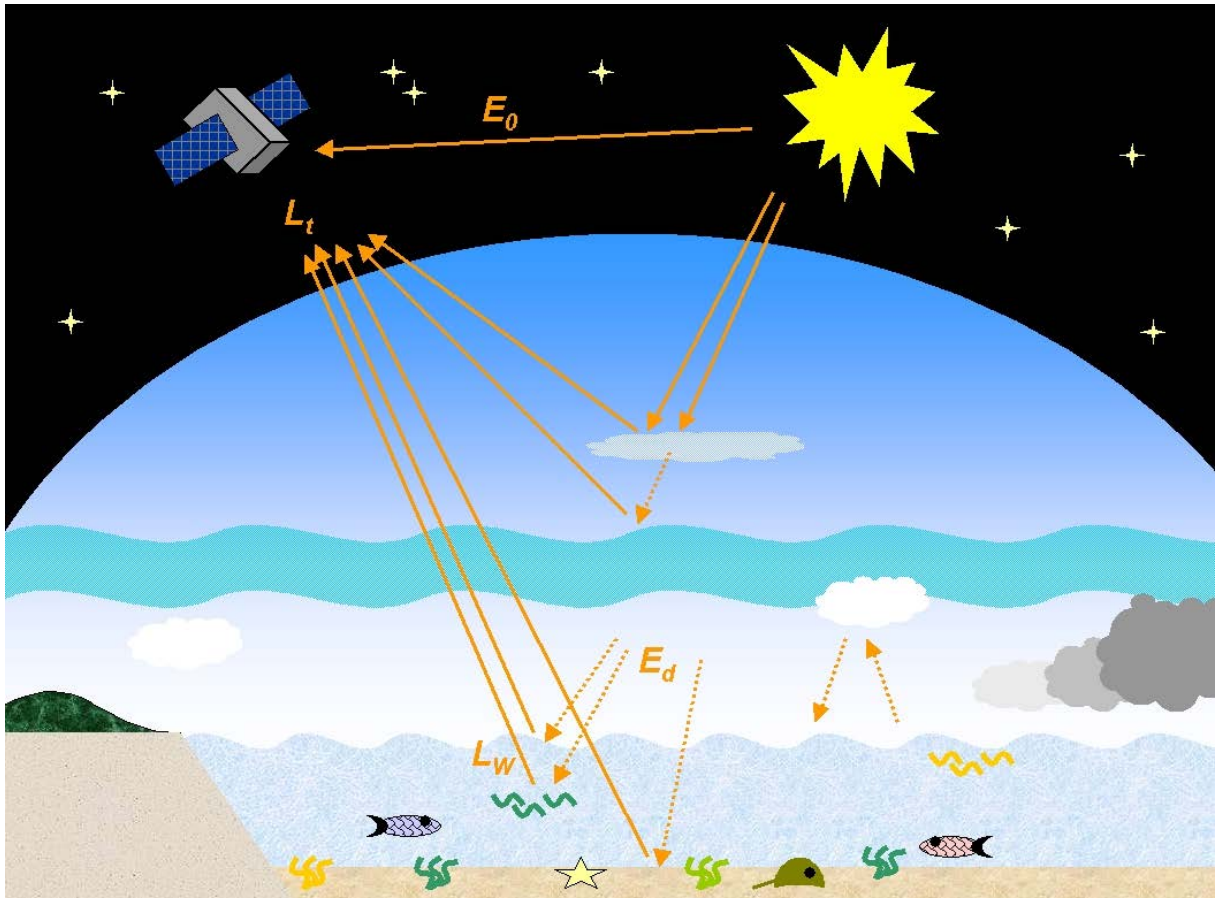
Satelliidiseire andmeid kasutatakse sageli optiliselt aktiivsete osakeste sisalduse hindamiseks erinevates veekogudes. Rakenduse nimi on remote sensing of ocean colour.

Fiducial Reference Measurements For Satellite Ocean Colour (FRM4SOC) on sellega seotud projekt, mida juhivad Tartu Observatooriumi teadlased ja mille eesmärgiks on Sentinel-seeria satelliitide seireandmetest hinnatud tulemite kvaliteedi kindlustamine ja edendamine.

Satelliidi seireandmed

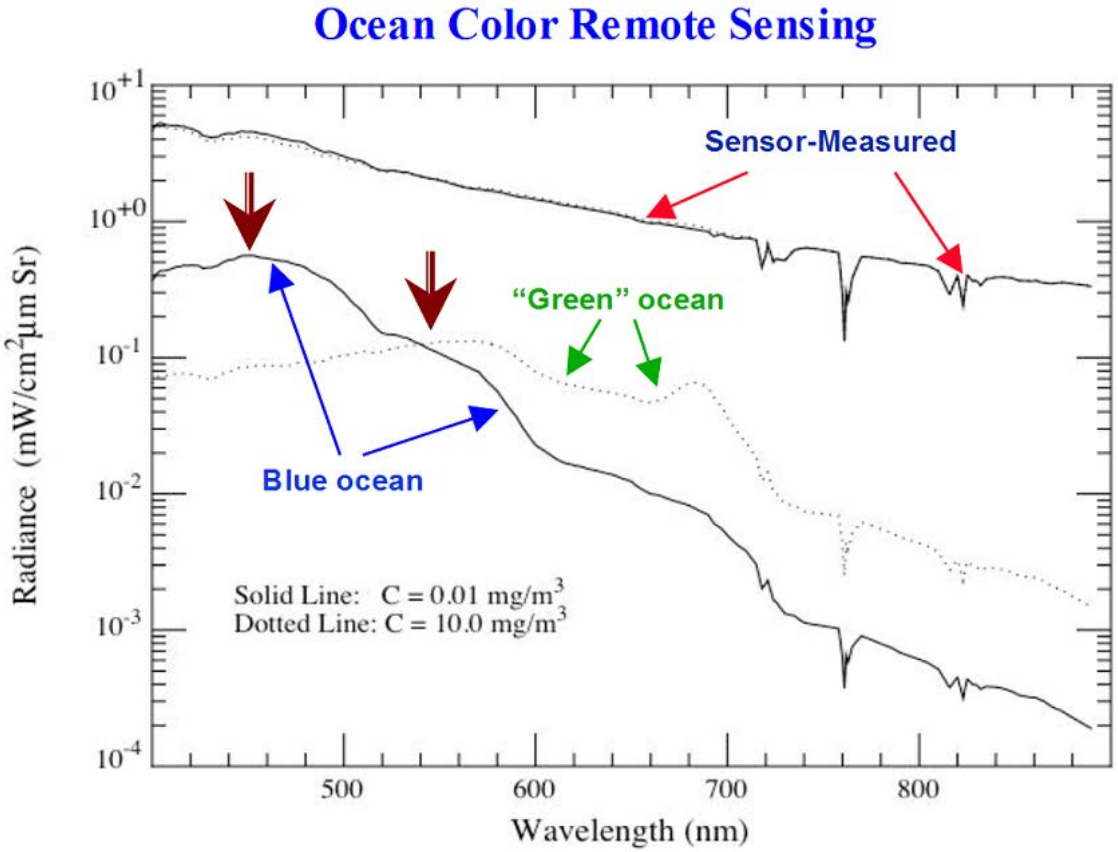
Veest väljuva kiirguse kirkus võib sõltuvalt veekogust erineda suurusjärke ja sesoonselt tugevasti muutuda.
Erinevuste/muutuste ulatus näitab kaugseire sobivust ja võimet vees leiduvate optiliselt aktiivsete ainete sisalduse määramiseks.
Samas seireandmeid saab vees leiduvate optiliselt aktiivsete osakeste sisalduse määramisel efektiivselt kasutada vaid siis, kui pärast atmosfääriparandi rakendamist TOA andmetest saadud veest väljuva kiirguse kirkuse hinnang on piisavalt täpne.

Vee kirkuse mõõtmine satelliidilt



Atmosfääri parandi mõju puhta vee korral

(From Menghua Wang)



- Atmospheric Correction (removing >90% sensor-measured signals)
- Calibration (0.5% error in TOA >>>> 5% in surface)

From H. Gordon

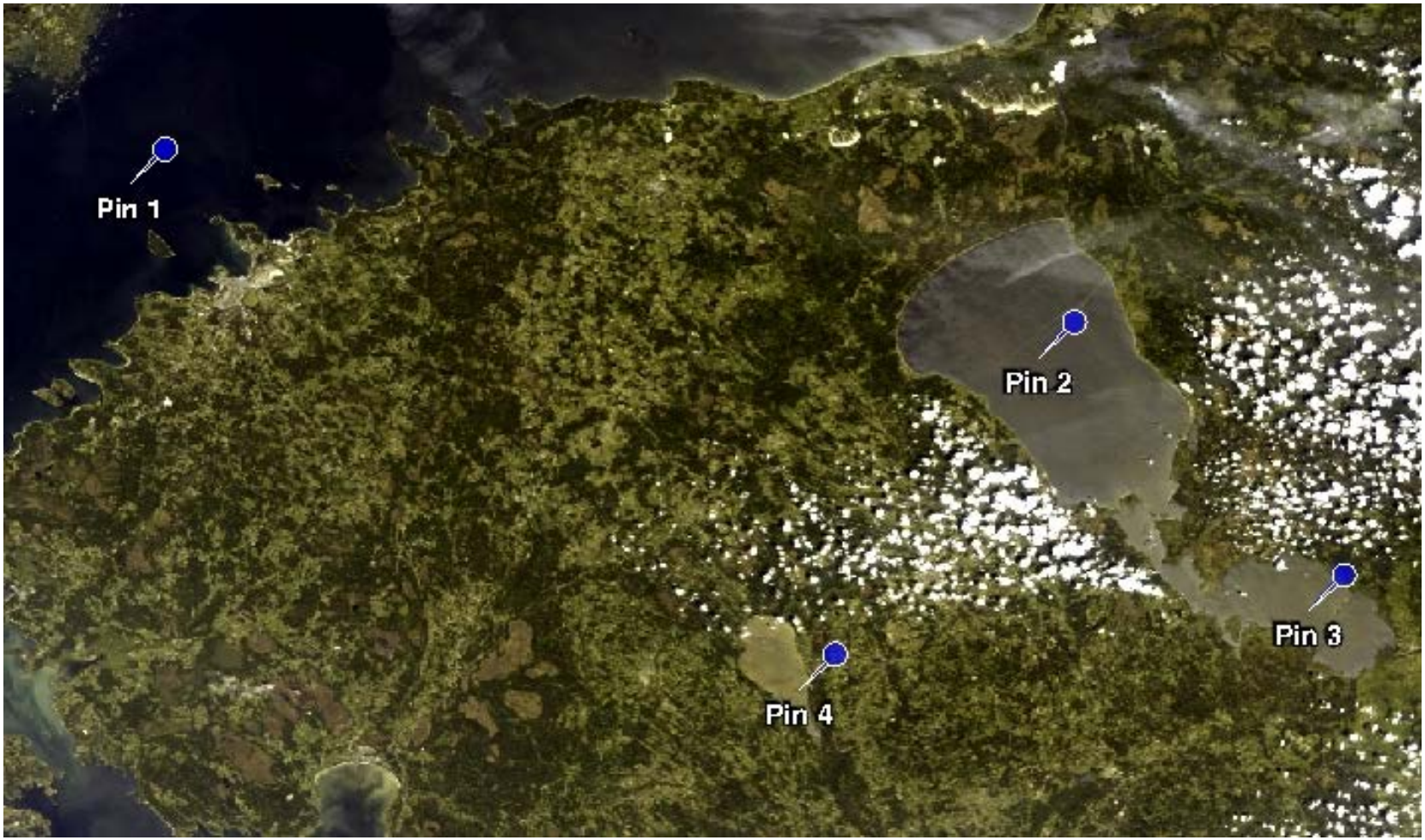
Atmosfääri parandi mõju puhta vee korral

Kui atmosfääri kohal mõõdetud summaarse kirkuse signaalist 90 % on põhjustatud atmosfäärist ning 10 % on veest väljuva kiirguse osakaal, siis ka mõõtemääramatusi iseloomustab suhe 1:10:

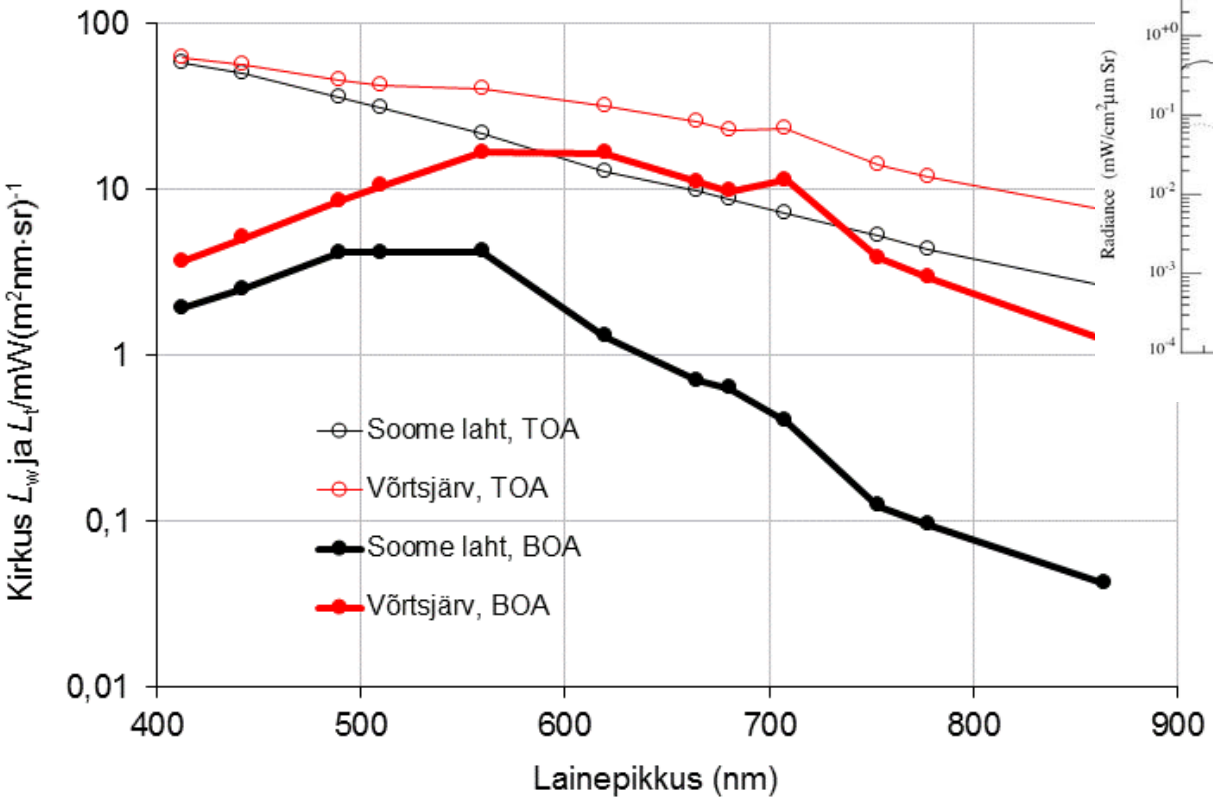
Satelliidi sensorite määramatuse 1 % korral, määrates veest väljuva kiirguse kirkust $L_W(\lambda)$ ainult satelliidilt mõõdetud signaali alusel, saame hinnangu määramatuseks umbes 10 %.

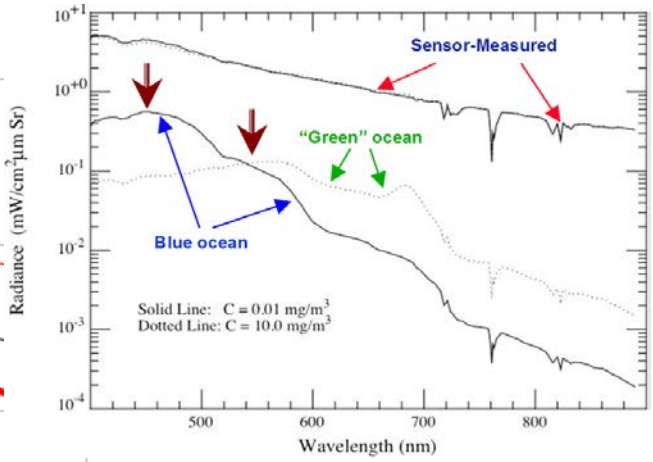
TARTU OBSERVATOORIUM
eesti kosmosekeskus

Satelliidisensori MERIS pilt Soome lahest ja Eestist



Satelliidisensori mõõdetud summaarne kirkus (TOA) ja veest väljuva kiirguse kirkus (BOA)





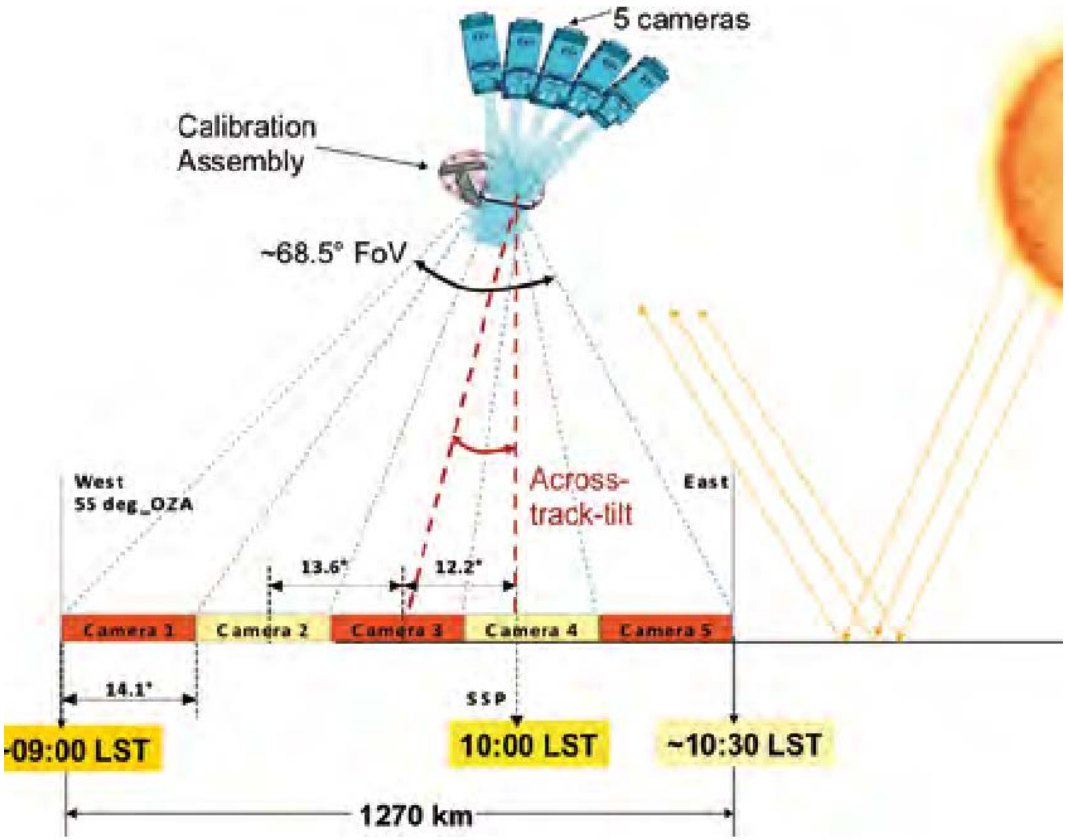
TOA mõõtmised: Sentinel OLCI

Ocean and Land Colour Instrument

Viie Maa-kaamera skeem.

Vaatevälja koguulatus maa-pinnal on 1270 km. Vaatevälja suurim nurk seniidi suhtes on 55°. Kaamerad on nadiiri suhtes kallutatud 12.6° võrra läände, et vähendada Päikese otsepeegeldust. Vaatluse kohalik päikese-aeg (LST) on joonise allosas.

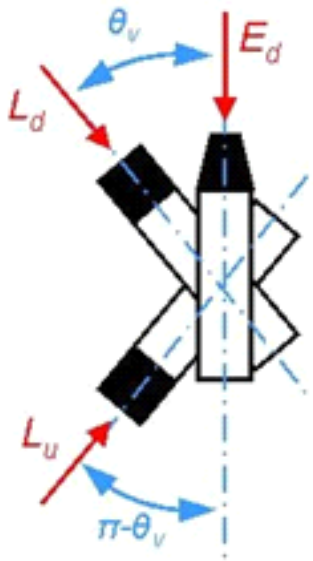
Kaamerate ees paikneb seade, mis võimaldab mõõta pimesignaali ja kalibreerida kaameraid üle Lamberti pinna suunatud Päikesekiirguse abil.



Näide BOA mõõtmisest veepinnal

Ka BOA mõõtmiste korral on tulemi - veest väljuva kiirguse kirkuse, $L_W(\lambda)$, - osa võrreldes selle arvutamiseks mõõdetud kolme sisendsuurustega tunduvalt väiksem, selle määramatus aga üle kahe korra suurem kui radiomeetrite mõõtemääramatus.

Siiski on see veest väljuva kiirguse kirkuse jaoks parim saavutatav määramatus.



Vikaarkalibreerimiste süsteem

Täpsete BOA mõõtmiste abil luuakse sateliidiandmete jaoks usaldusväärne tugiskaala.

Tänu sünkroonselt tehtud lokaalsetele BOA mõõtmistele on võimalik tugiskaala alusel suuremahuliste TOA andmete üldine kohandamine ja korrastamine.

BOA tugimõõtmiste määramatus annab domineeriva osa satelliidi vikaar-kalibreermisel modifitseeritud mõõteandmete määramatuse hinnangusse.

Atmosfääriparand

Eesmärgiks on sateliidisensori signaali puhastamine atmosfääri ja merepinna mõjust, et hinnata veest väljuva kiirguse panust. TOA summaarse kirkuse $L_t(\lambda)$ mudel on:

$$L_t(\lambda) = \\ = \left[L_r(\lambda) + L_a(\lambda) + t_{d_v}(\lambda)L_f(\lambda) + t_{d_v}(\lambda)L_W(\lambda)\right] t_{g_v}(\lambda)t_{g_s}(\lambda).$$

$L_r(\lambda)$, $L_a(\lambda)$ ja $L_f(\lambda)$ on Rayleigh ja atmosfääriaerosooli hajumise ning pinnavahu panused. $t_{d_v}(\lambda)$ on atmosfääri difuusne läbilaskvus, $t_{g_v}(\lambda)$ ja $t_{g_s}(\lambda)$ gaasiline neeldumine. Parandi hindamiseks on tarvilik mudel, optimeeritud hindamisprotseduur ja täiendav mõõteinfo.

Vikaar-kalibreerimise tegurid

$L_t(\lambda)$ avaldises asendatakse tundmatu $L_W(\lambda)$ „täpse" BOA väärtusega ja TOA väärtuse $L_t^{mõõt}(\lambda)$ asemel saadakse nn vikaarväärtus $L_t^{vik}(\lambda)$.

Arvutatud ja mõõdetud väärtuste suhe annab skaalategurid g_λ, mis kindlustavadki orbiidil mõõdetud ja vahetult veepinnal määratud väärtuste kooskõla:

$$g_\lambda = \frac{L_t^{vik}(\lambda)}{L_t^{mõõt}(\lambda)}.$$

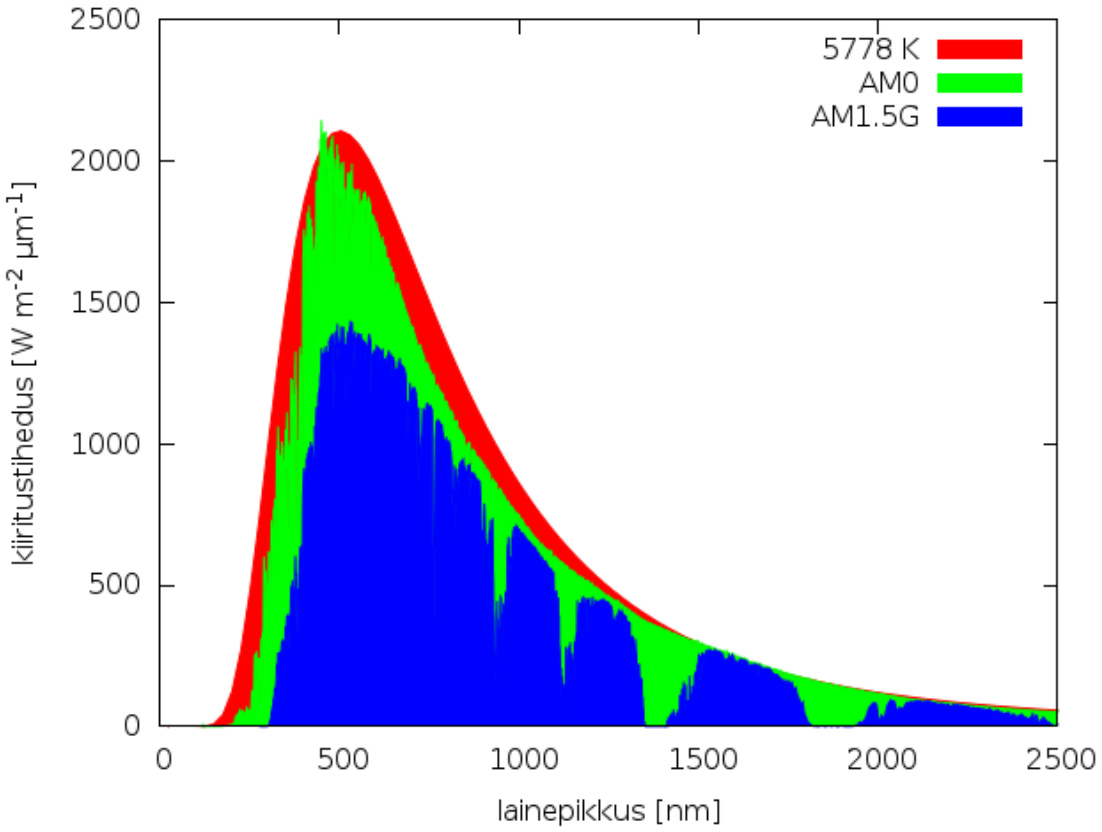
Hinnangute täpsuse tagab tegurite g_λ aeg-rea koondumine.

Sensorite kalibreerimise metroloogilised probleemid

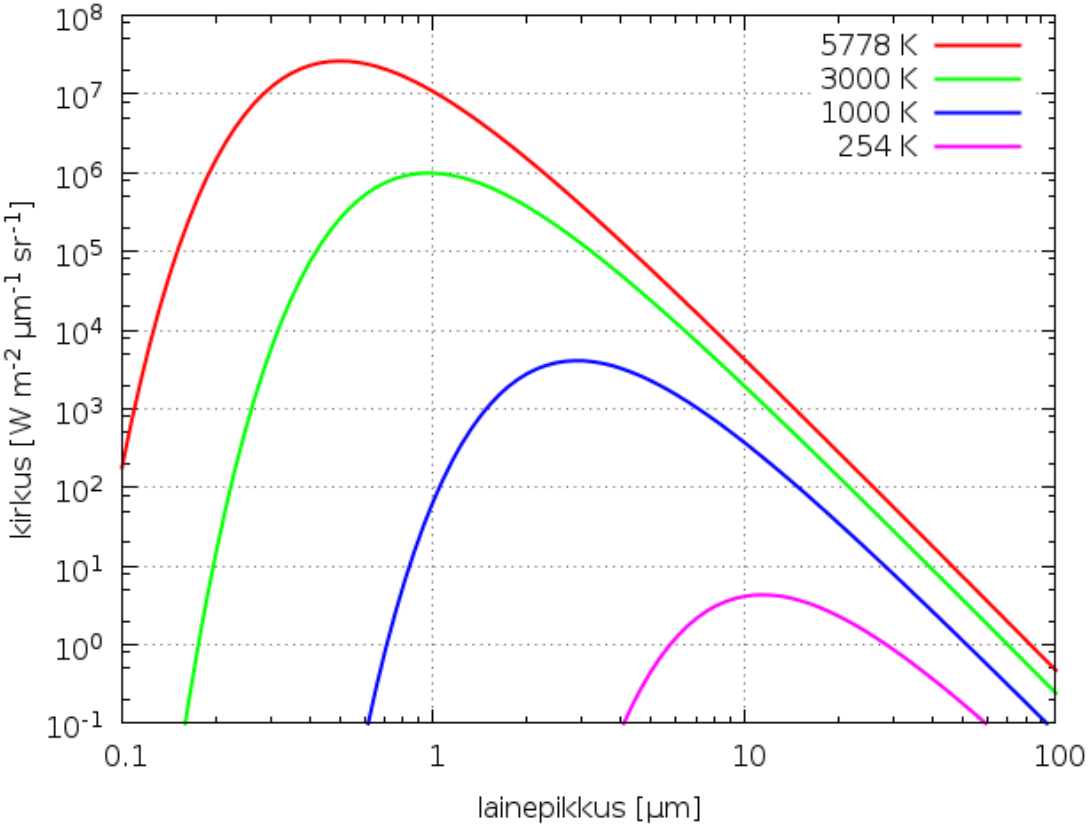
Orbiidilt seiratavate maapealsete objektide spektroskoopia ja radiomeetria raskused on seotud loodusliku - põhiliselt Päikese kiirguse - intensiivsuse ja spektraalse koostise erinevusega kalibreerimisetalonde kiirgusest.

Päikese kiirgust tuleb võrrelda kõrgtemperatuurse absoluutselt mustad keha ja/või volfram-kvarts-halogeenlambi kiirgusega.

Päikese kiirgus maapinnal, väljaspool atmosfääri absoluutselt musta keha lähendi taustal



Absoluutselt musta keha kiirgusspektri sõltuvus temperatuurist: Päike 5778 K, lamp 3000 K, lõkketuli 1000 K, Maa soojuskiirgus 254 K

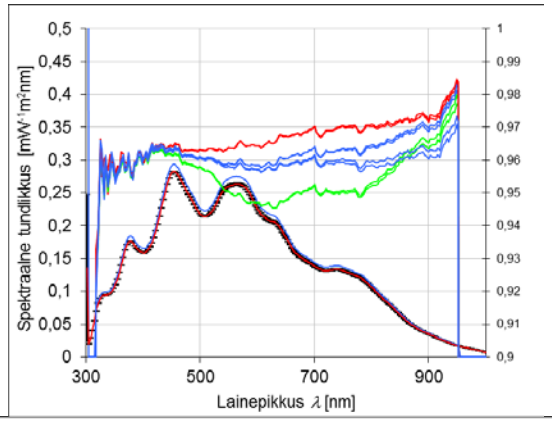


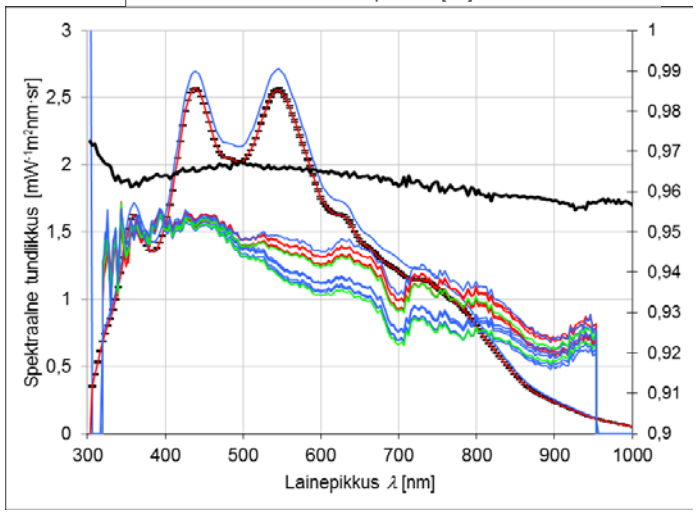
Tartu Observatooriumi panus FRM4SOC projekti

Radiomeetrite spektraalse tundlikkuse SI jälgitav kalibreerimine.

Mõõtemääramatuse realistlik hindamine.

Võimekus hinnata radiomeetrite mittelineaarsust, temperatuuri ja hajuvalguse mõju.





Tartu Observatooriumi panus FRM4SOC projekti

Võrdlusmõõtmised: korraldamine, osalemine, analüüs.

Käsil on radiomeetrite kalibreerimise alane võrdlus, osaleb: TO, JRC, NPL, TriOS.

2017.a aprill: lampide ja Lamberti pindade kalibreerimine NPL-s.

2017.a mai: võrdlusmõõtmine TO optikalaboris ja Kääriku järvel.

2017.a juunis: võrdlusmõõtmine Vahemerel ja Atlandi ookeanil.

Tugimõõtmiste usaldusväärsus

Mõõteseadmete SI jälgitav korrektne radiomeetriline kalibreerimine.

Seadmete ja meetodite ekvivalentsuse demonstreerimine mitmesuguste võrdlusmõõtmiste abil.

Mõõtemääramatuse vähendamine parimate meetodite ja kvaliteedikontrolli süsteemi rakendamise teel.

Kokkuvõte

TOA andmetest saadud tulemite täpsust kindlustab vikaar-kalibreerimiste süsteem.

Tulemite arvutamisel justeeritakse hästikalibreeritud ja püsivalt kontrollitud satelliidisensorite abil määratud TOA väärtusi vikaar-g-tegurite abil.

Et teha arvutatud radiomeetriliste tulemite määramatus nii väikeseks kui võimalik, peab maapealne tugisüsteem kasutama parimaid mõõte- ja andmehõive meetodeid ning kvaliteediskeeme.