

Kaugseireradiomeetrite rahvusvaheline võrdlusmõõtmine Eestis 2017. aastal

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

Tartu Ülikool
Tartu observatoorium
joel.kuusk@ut.ee

FRM4SOC projekt

- Euroopa Kosmoseagentuuri rahastatud rahvusvaheline projekt (2016-2018)
- Usaldusväärse tugiskaala määramine veeseire satelliitidele (*Fiducial Reference Measurements for Satellite Ocean Colour*)
- Atmosfäärialuste tugimõõtmiste usaldusväärtsuse tagamine
 - jälgitavus rahvusvahelise mõõtühikute SI skaalani
 - mõõtemääramatuse hinnang
- Võrdlusmõõtmised
 - radiomeetrilise kalibreerimise etalonid
 - radiomeetrite võrdlus laboris
 - radiomeetrite võrdlused välitingimustes

LCE-2 ülevaade

- *Laboratory Comparison Experiment 2*
- LCE-2 toimus Tartu Observatooriumis 8-13.5.2017
 - SI-jälgitav radiomeetriline kalibreerimine vahetult enne võrdluskatset (2-7.5.2017)
 - kirkuse ja kiiritustiheduse radiomeetrite võrdlusmõõtmine laboris (9-10.5.2017)
 - kirkuse ja kiiritustiheduse radiomeetrite võrdlusmõõtmine Kääriku järve ääres (11-12.5.2017)

Võdlusmõõtmistel osalejad

Osaleja	Lühend	Riik	Kontaktisik
Tartu Observatoorium (juhtlabor)	TO	Eesti	Joel Kuusk
Alfred-Wegener-Institut	AWI	Saksamaa	Sonja Wiegmann, Tilman Dinter
Royal Belgian Institute of Natural Sciences	RBINS	Belgia	Kevin Ruddick
National Research Council of Italy	CNR	Itaalia	Claudia Giardino, Mariano Bresciani
University of Algarve	CIMA	Portugal	Davide D'Alimonte
University of Victoria	UVIC	Kanada	Maycira Costa
Satlantic; Sea Bird Scientific	Satlantic	Kanada	Ronnie Van Dommelen
Plymouth Marine Laboratory	PML	Suurbritannia	Gavin Tilstone
Helmholtz-Zentrum Geesthacht	HZG	Saksamaa	Henning Burmester
Tartu Ülikool	UT	Eesti	Birgot Paavel
Cimel Electronique S.A.S	Cimel	Prantsusmaa	Bahaidin Damiri



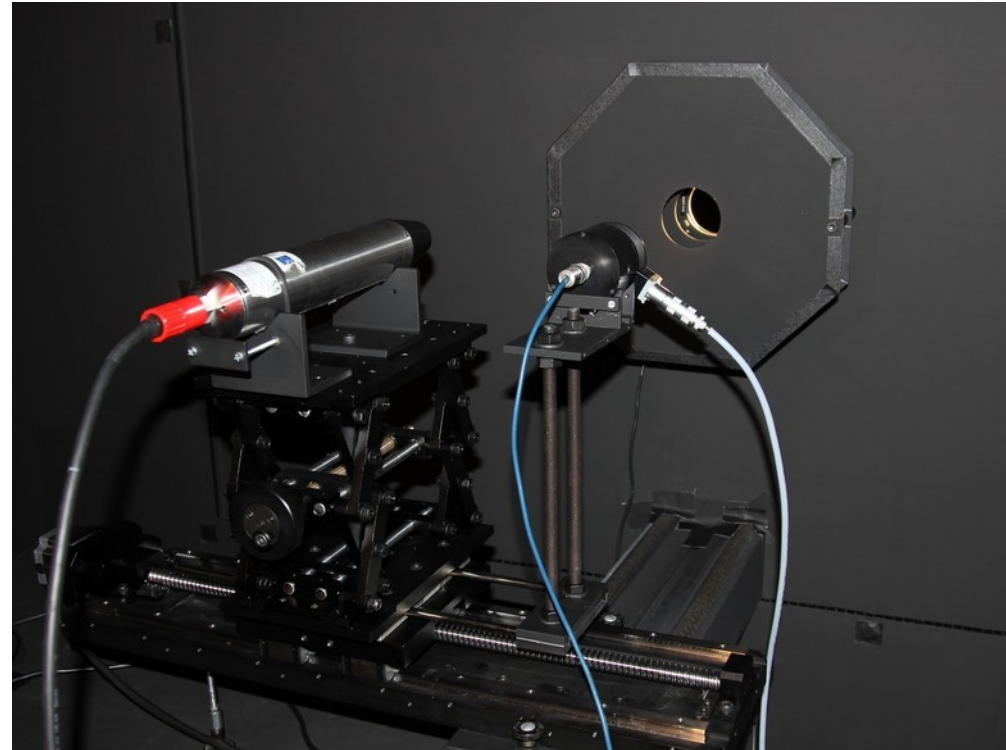
Radiomeetrid



Kirkus: 16 RAMSES, 6 HyperOCR, 6 teised
 Kiiritustihedus: 10 RAMSES, 3 HyperOCR, 3 teised

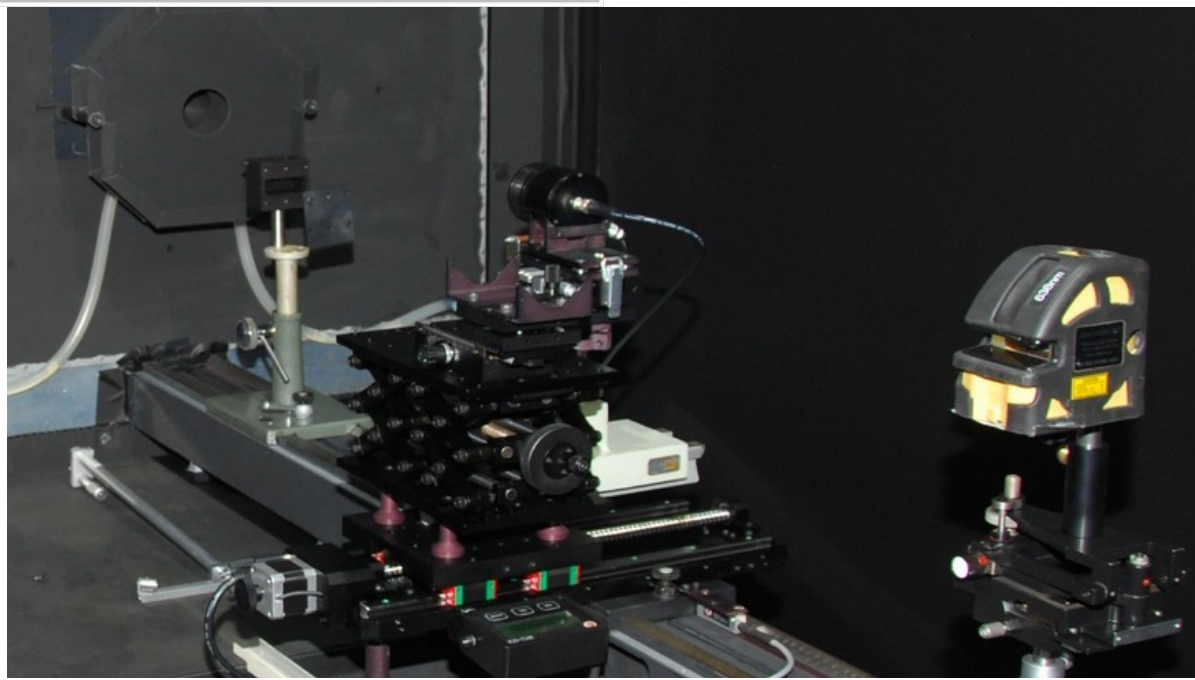
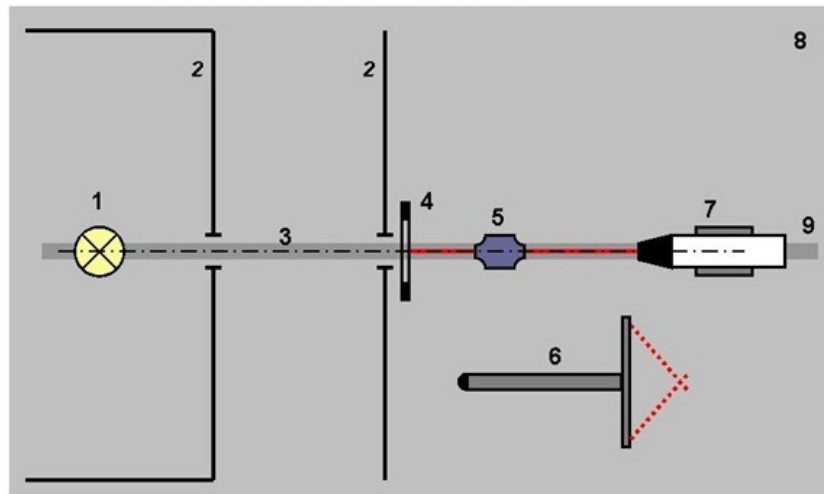
Osaleja	Radiomeetri tüüp
TO	RAMSES (2 kirkus, 1 kiiritustihedus) WISP3 (2 kirkus, 1 kiiritustihedus)
AWI	RAMSES (2 kirkus, 2 kiiritustihedus)
RBINS	RAMSES (7 kirkus, 4 kiiritustihedus)
CNR	SR-3500 (1 kirkus, 1 kiiritustihedus), WISP3 (2 kirkus, 1 kiiritustihedus)
CIMA	RAMSES (2 kirkus, 1 kiiritustihedus)
UVIC	HyperOCR (2 kirkus 1 kiiritustihedus)
Satlantic	HyperOCR (2 kirkus 1 kiiritustihedus)
PML	HyperOCR (2 kirkus 1 kiiritustihedus)
HZG	RAMSES (2 kirkus, 1 kiiritustihedus)
UT	RAMSES (1 kirkus, 1 kiiritustihedus)
Cimel	SeaPRISM (1 kirkus)
Kokku	28 kirkus, 16 kiiritustihedus

Radiomeetriline kalibreerimine



Kiiritustihedus

- 1) FEL lamp
- 2) varjukid
- 3) optiline peatelg
- 4) justeerimisrakis
- 5) justeerimislaser
- 6) kaugusmõõdik
- 7) radiomeeter alusel
- 8) optiline laud
- 9) optiline siin



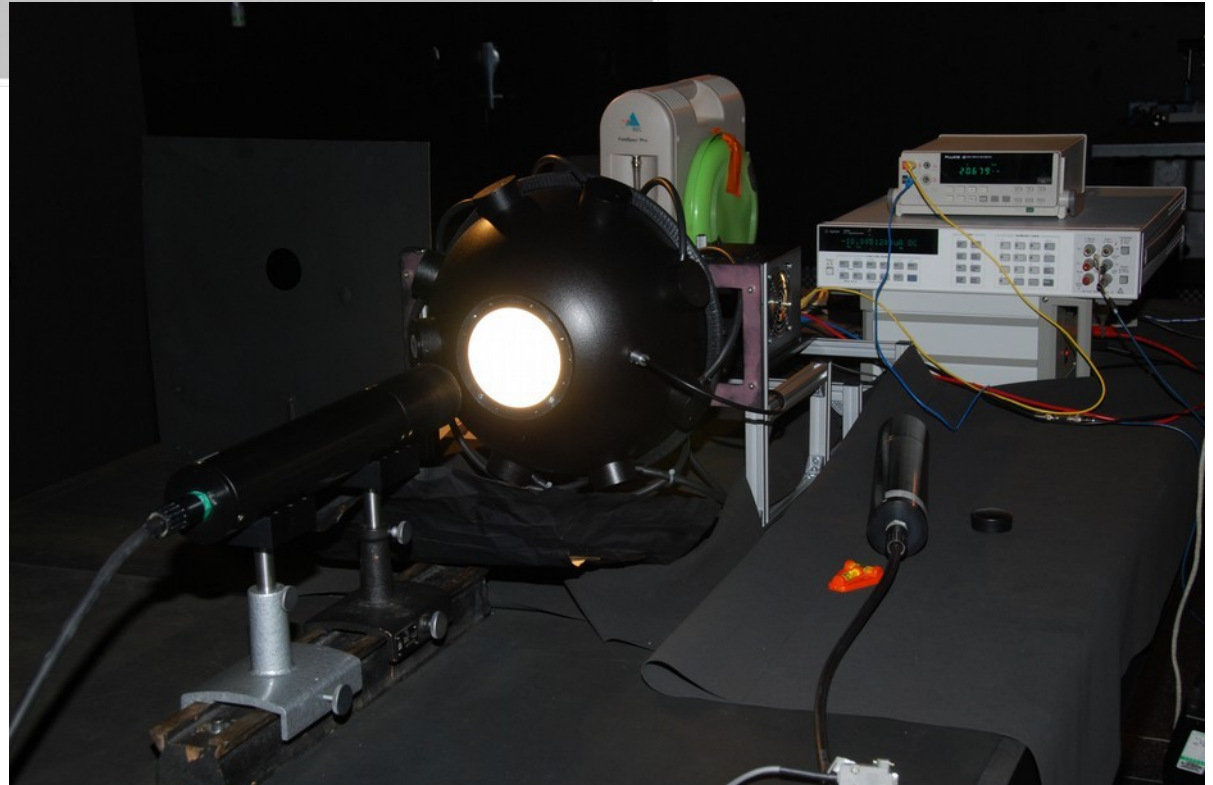
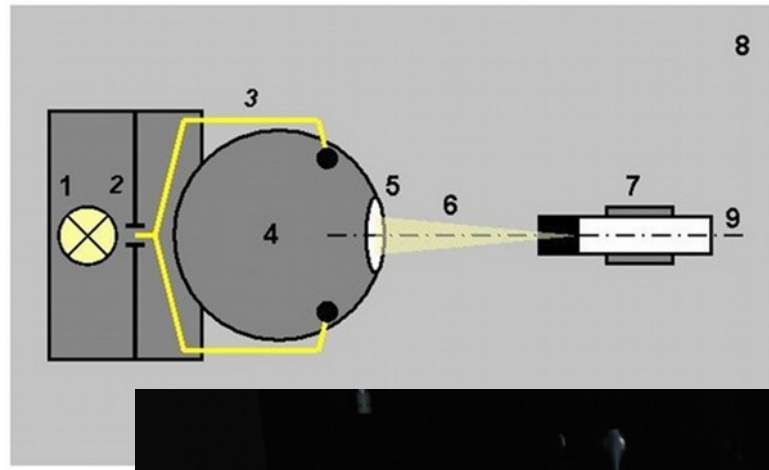
Kalibreerimata sissepõletatud FEL

Filter-radiomeeter etalonvastuvõtja

Kirkus

- 1) kvarts-halogeenlamp
- 2) muudetava laiusega pilu
- 3) optilised fiibrid
- 4) integreeriv sfäär
- 5) väljundaken
- 6) radiomeetri vaateväli
- 7) radiomeeter alusel
- 8) optiline laud
- 9) optiline peatelg

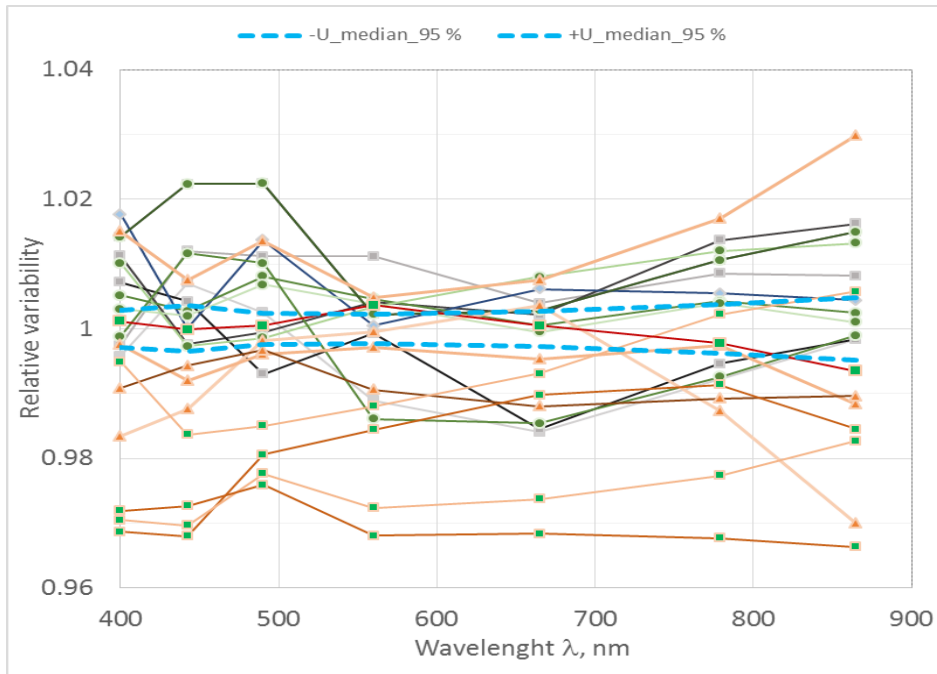
1-5 Bentham ULS-300



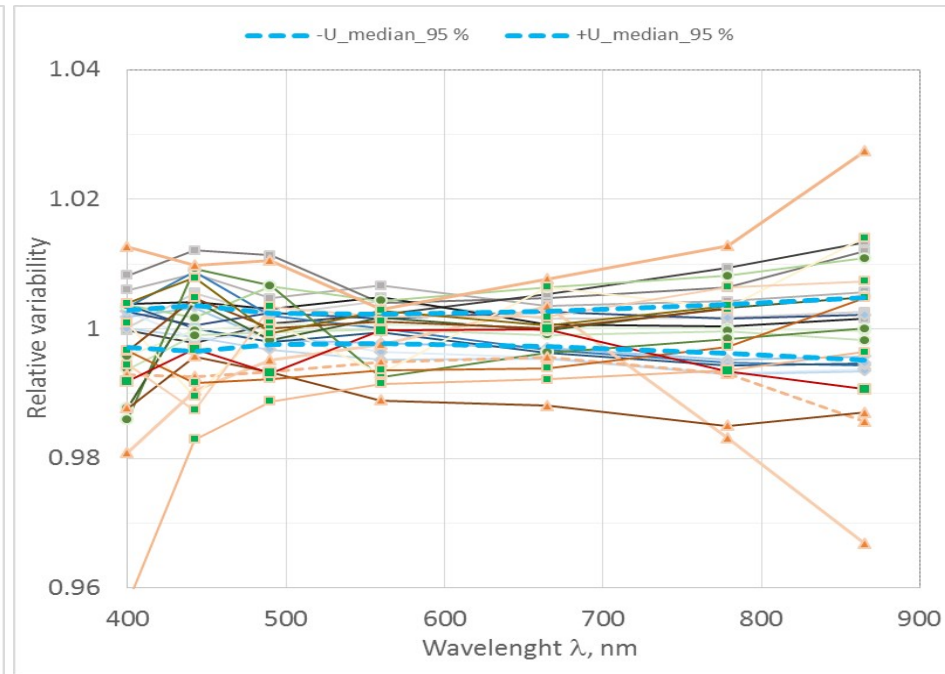
Tulemused

- Osalejad esitasid mõõdetud kirkuse ja kiiritustiheduse väärtused koos määramatuse hinnanguga
- Juhtlabor arvutas võrdluseks toorandmetest ühtse andmetöötlusmetoodikaga
 - algandmete sorteerimine (objekt, pimesignaali jne)
 - pimesignaali lahutamine
 - mittelineaarsuse korrigeerimine
 - teisendamine radiomeetritesse ühikutesse
 - teisendamine OLCI spektrikanalitesse (400, 442.5, 490, 560, 665, 778.8 ja 865 nm)
 - keskmistamine
 - määramatuse hindamine
- Konsensusväärtusena kasutati kõigi tulemuste mediaani
- Filter-radiomeetriga mõõdetud tugiväärtus oli mõõdetud ainult kiiritustiheduse võrdluskatses

Kirkus, madal nivoo



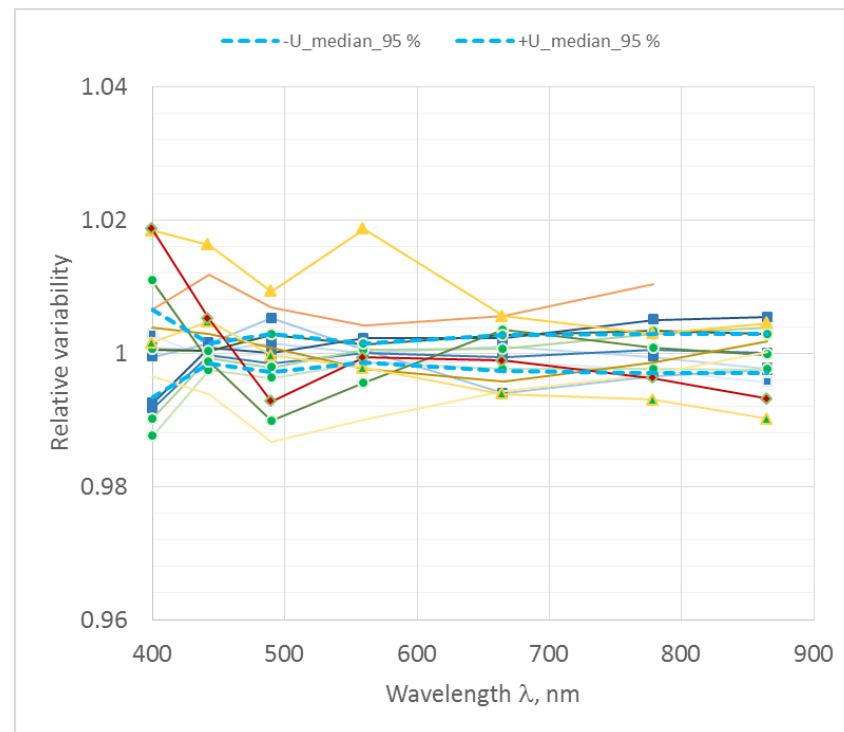
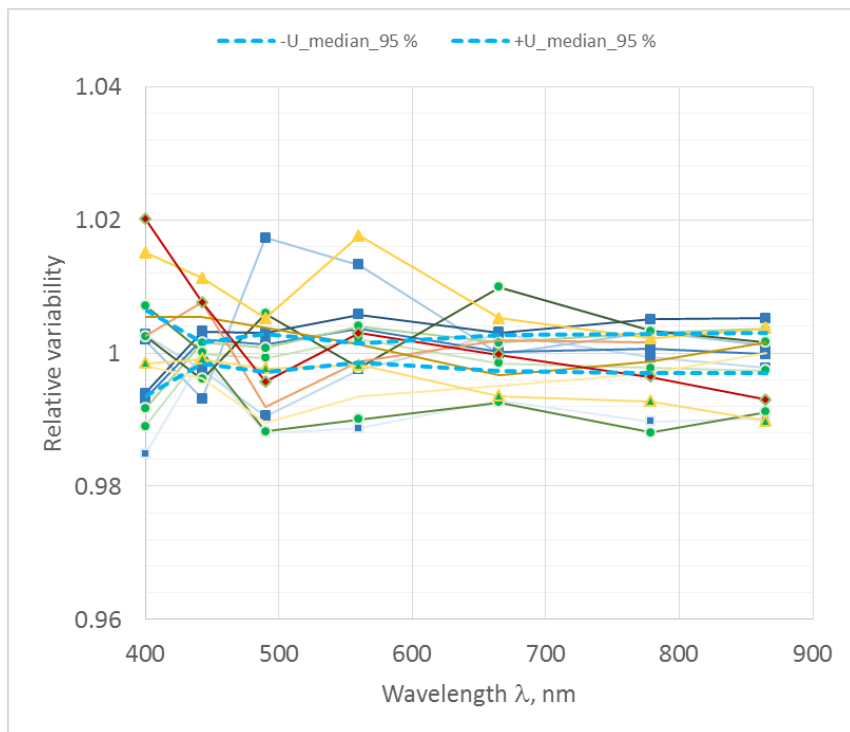
Osalejate esitatud tulemused



Korrigeeritud ja/või uuesti arvutatud tulemused

Kooskõla oli rahuldav, olulisi hälbeid ei esinenud
Laborivõrdluses kasutatavad kiirusallikad olid spektraalselt sarnased radiomeetrilisel kalibreerimisel kasutatud allikatega.

Kiiritustihedus

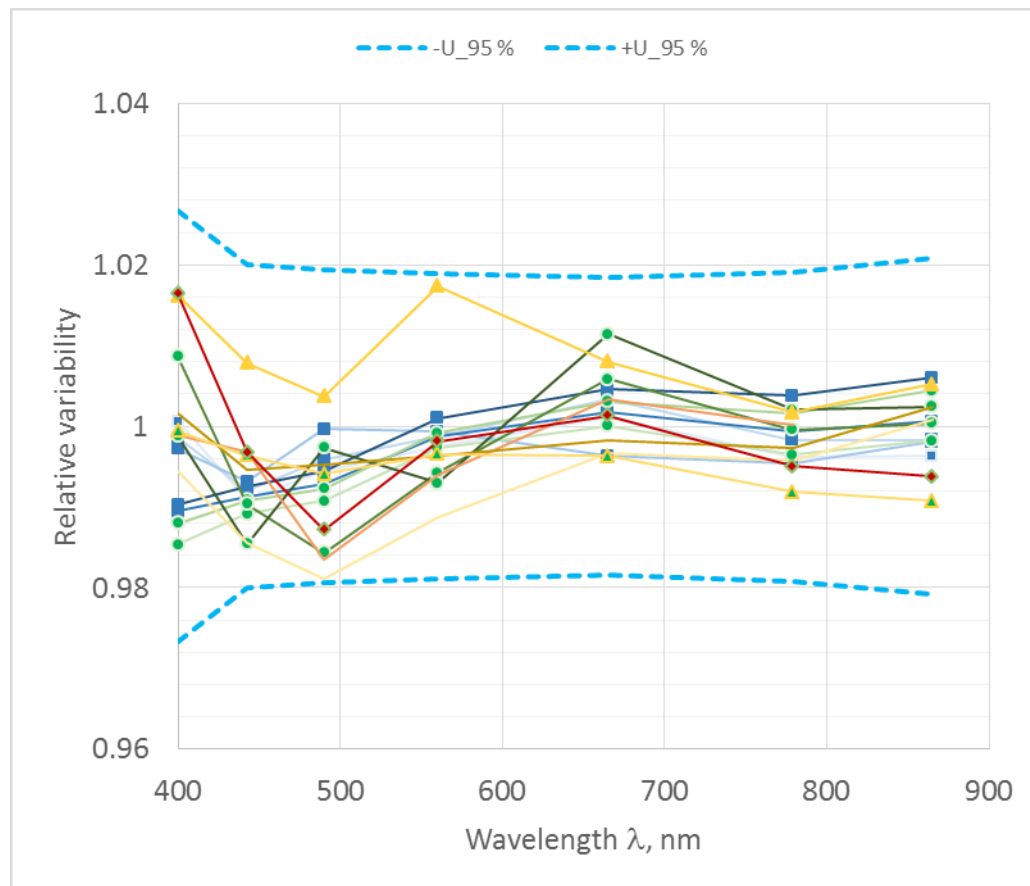


Ühtne andmetöötlus ei muutnud peaaegu midagi

Kooskõla tugiväärtusega

Tugiväärtus mõõdeti filter-
radiomeetriga

Punktiirjooned - tüüpilise RAMSES-
tüüpi radiomeetri ja filter-radiomeetri
liitmääramatus



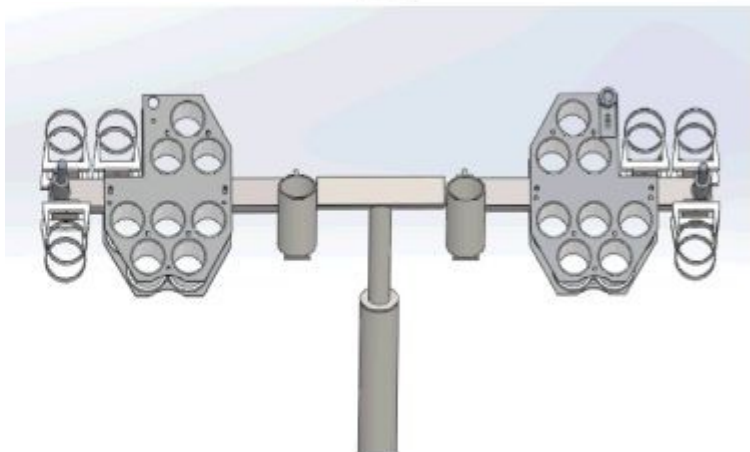
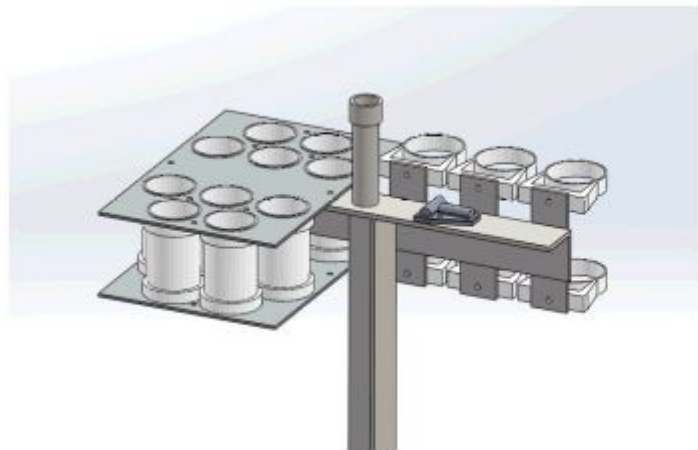
Kääriku järv



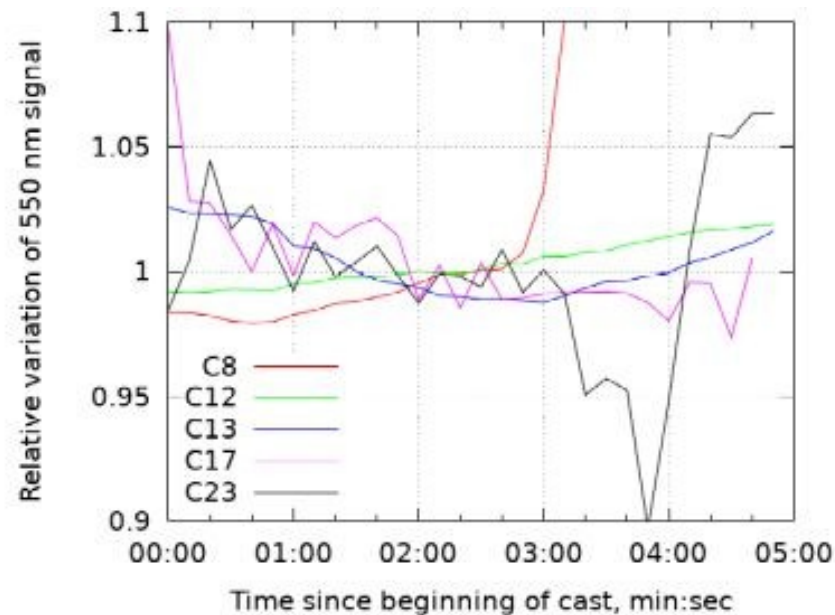
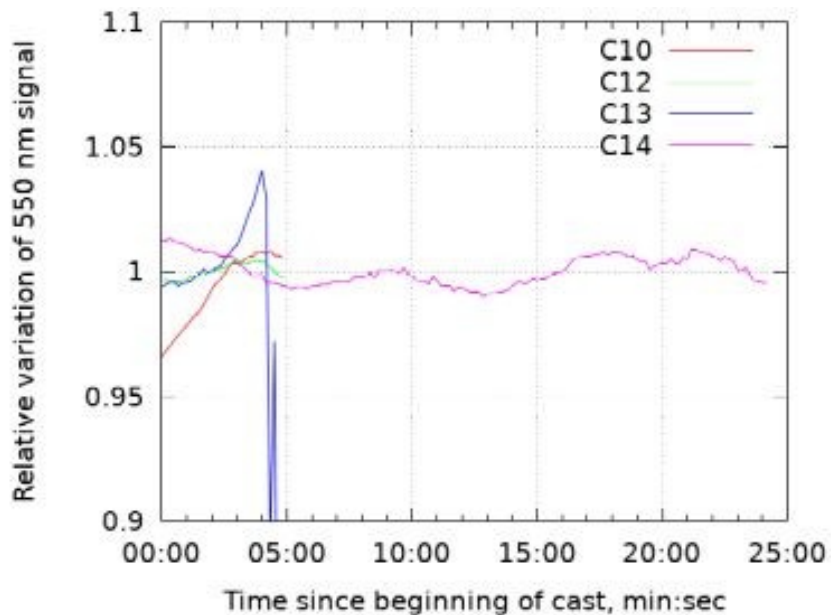
Sise- ja välivõrdluse erinevused

- Käärikul oli õhutemperatuur umbes 15 °C madalam kui radiomeetrilise kalibreerimise ajal laboris
- Võrdlusobjektide (vesi, taevas) signaal erines spektraalse koostise poolest kalibreerimisallika (hõõglamp) signaalist
- Kiiritustiheduse nurkjaotus erines oluliselt radiomeetrilisel kalibreerimisel kasutatud geomeetriast (valgusallikas optilisel teljel)
- Loodusliku valgustatuse ajalise muutlikkuse tõttu ei olnud võimalik teha kordusmõõtmisi erineva integreerimisajaga (vajalik mittelineaarsuse korrigeerimiseks)

Spetsiaalsed raamid seadmetele



Mõõtejaamade valik - 550 nm spektraalkanali aegrida



RAMSESe 550 nm signaali suhteline muutus: vasak - kiiritustihedus, parem - kirkus, C8, C12, C13 sinine taevas, C17 vesi pilve varjus, C23 vesi otseses päikesevalguses

Taevakaamera pildid



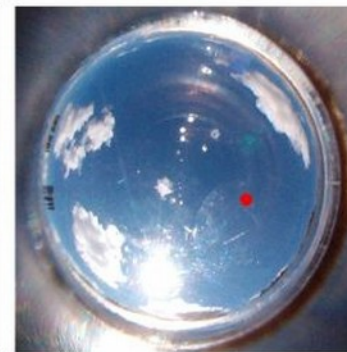
C10



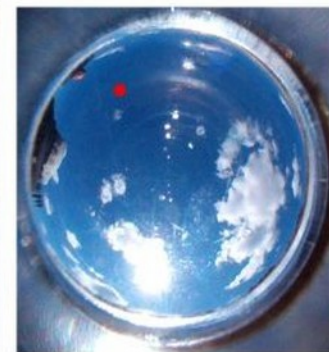
C14



C8



C12



C13

C10, C12, C13, C14 kiiritustihedus
C8, C12, C13 sinine taevas
C17 vesi pilve varjus
C23 vesi päikese käes

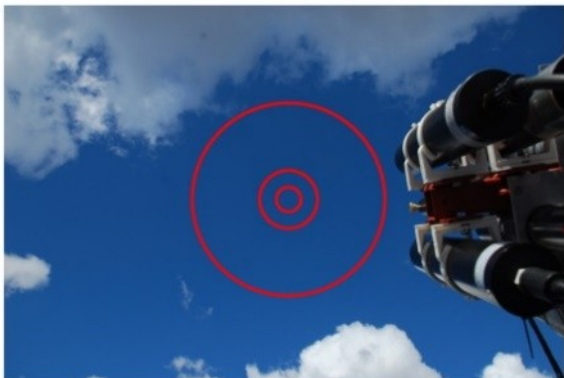


C17



C23

Kirkuse võrdlusobjektid



C8



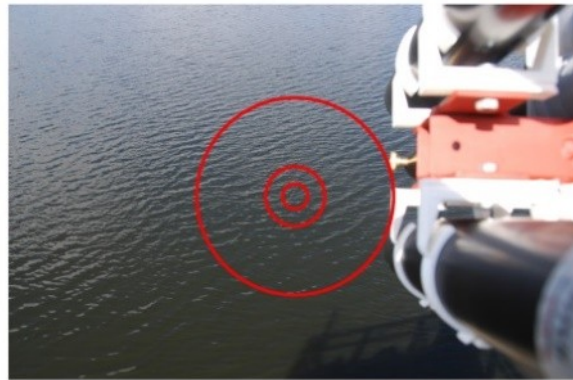
C12



C13



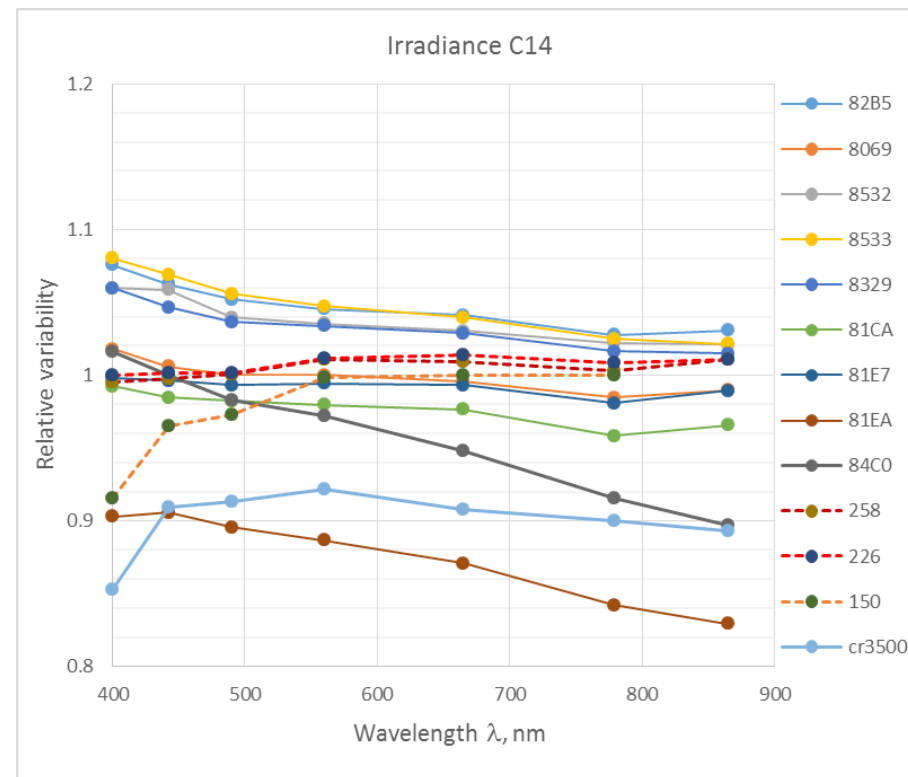
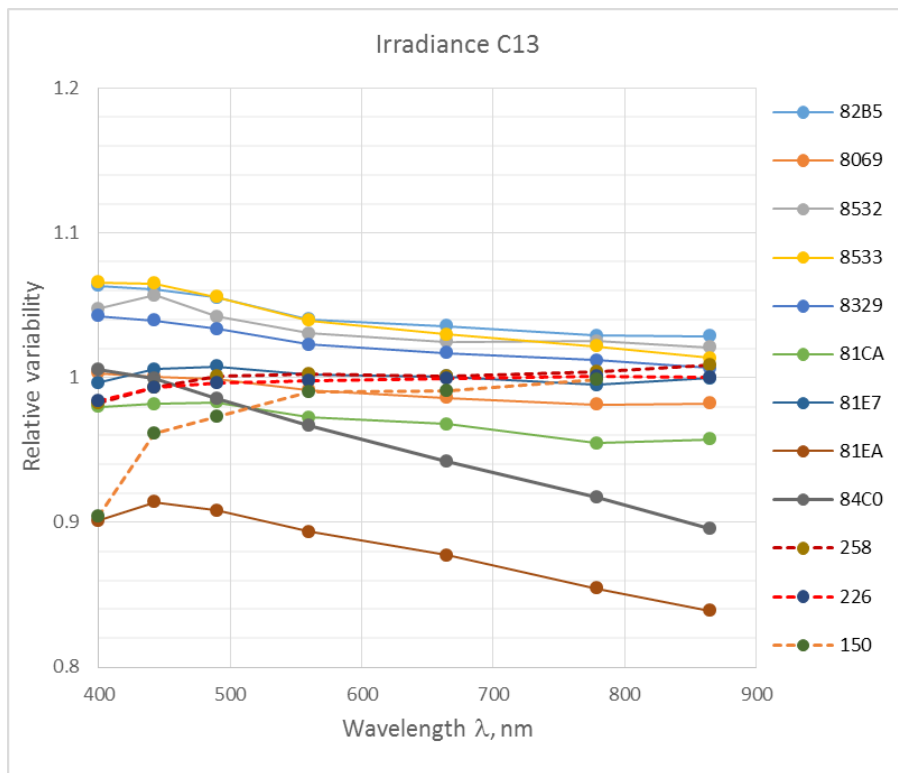
C17



C23

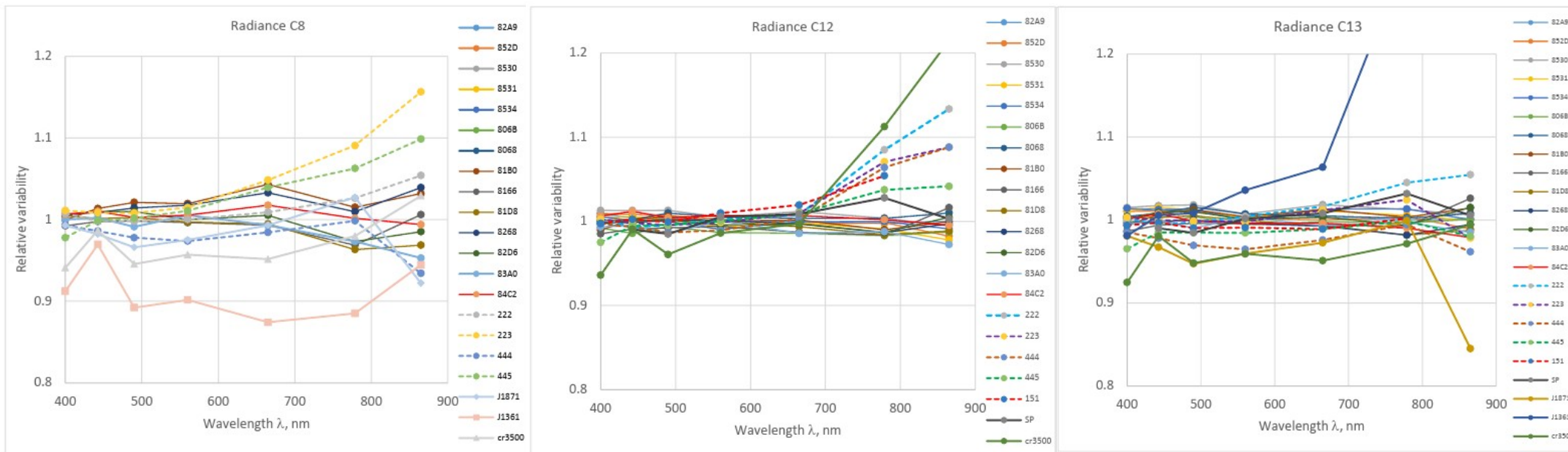
Vaateväli:
WISP-3 - 3°
RAMSES - 7°
HyperOCR - 23°

Kiiritustihedus C13, C14



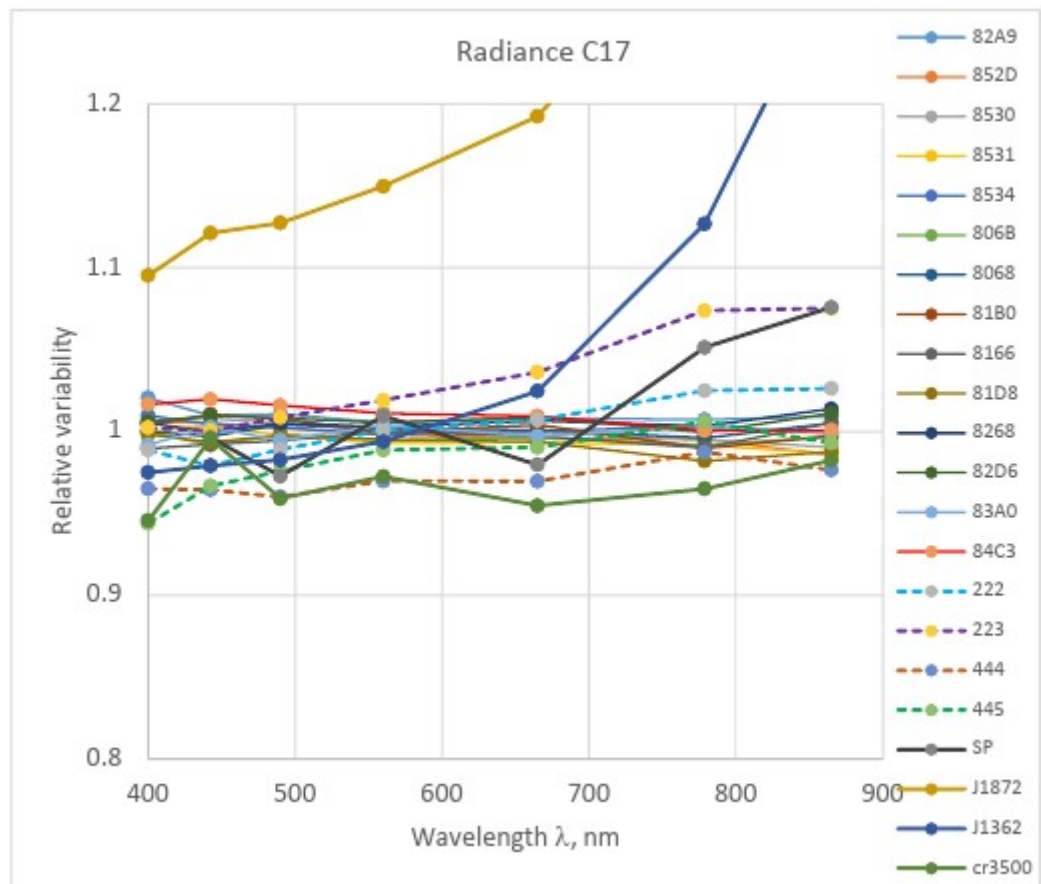
HyperOCR (punktiirjooned) kiiritustiheduse sensorid hajuvad RAMSEStest vähem

Sinise taeva kirkus - C8, C12, C13



HyperOCR (punktiirjooned) kirkuse sensorite tulemused hajuvad RAMSEStest rohkem, eriti lähi-infrapunases. WISP-3 kirkuse sensorite tulemused hajusid kõige rohkem

Vee kirkus pilve varjus - C17

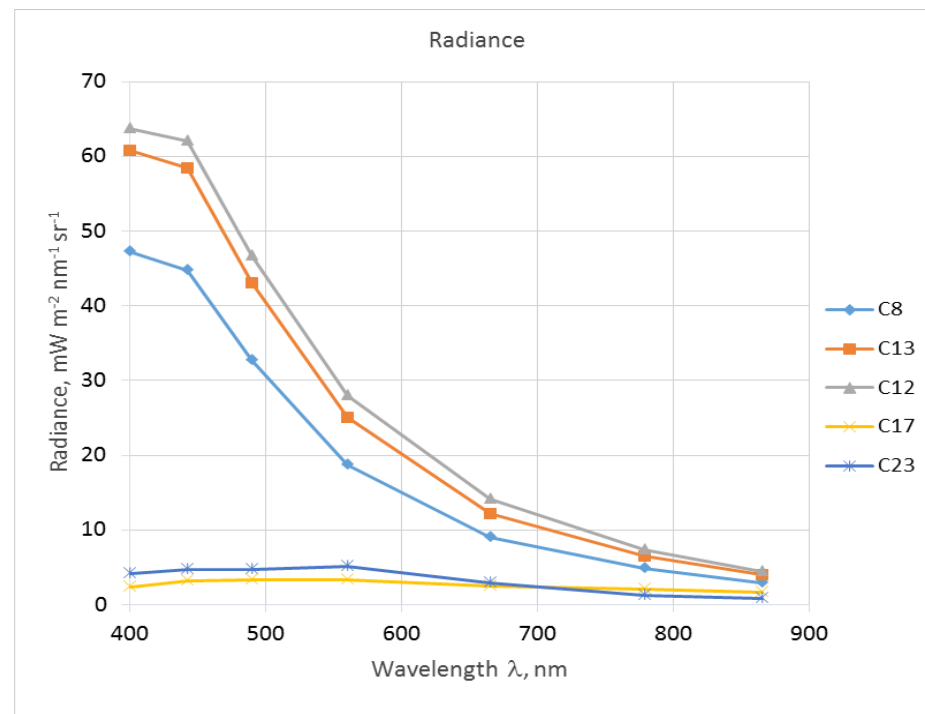
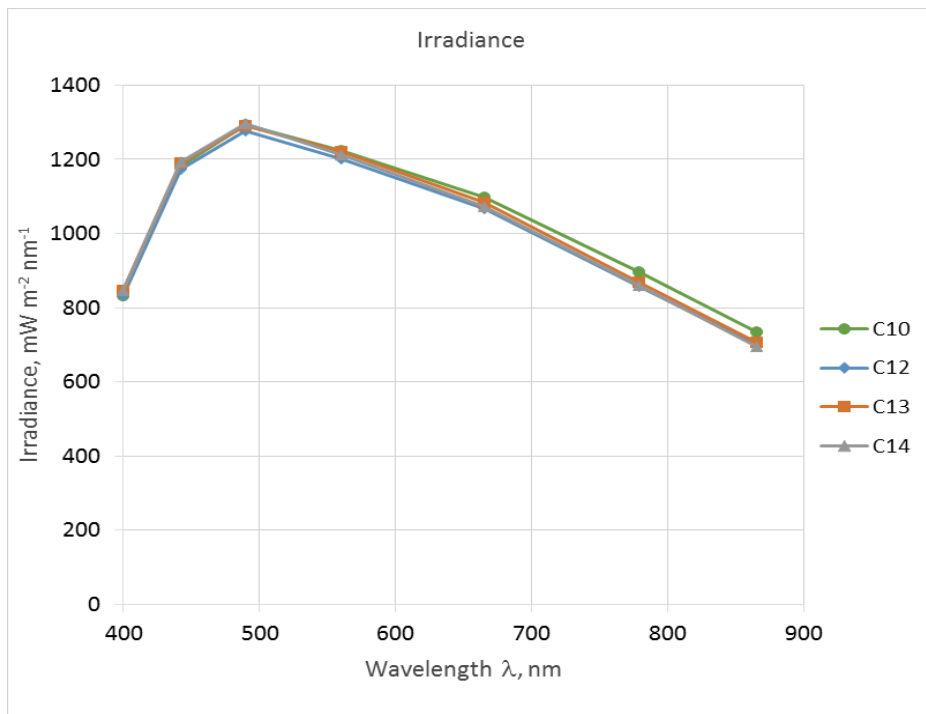


C17



C17

Mõõdetud kiiritustihedus ja kirkus



C10, C12, C13, C14 kiiritustihedus
C8, C12, C13 sinise taeva kirkus

C17 vee kirkus pilve varjus
C23 vee kirkus päikese käes

Kokkuvõte - sisevõrdlus

- Sisevõrdlusel oli sensoritevaheline kooskõla rahuldav
- See oli ootuspärane tulemus, tingimused olid ideaalilähedased
 - värske radiomeetriline kalibratsioon, samad etalonid, labor ja metoodika
 - võrdluskatse toimus samas laboris, kus radiomeetrid kalibreeriti
 - sarnased keskkonnatingimused
 - katseobjektid spektraalsete omaduste poolest sarnased kalibreerimisetalonidele
- Määramatuse koondtabelis domineerib radiomeetriline kalibratsioon
- Ühtne andmetöötlus pisut parandas kooskõla
- Tõenäoliselt oleks inimlikud eksimused jäänud tavalise mõõtekampania käigus märkamata

Kokkuvõte - välivõrdlus

- Välimõõtmistel oli kooskõla halvem kui sisevõrdlusel
- Võrreldes sisemõõtmistega oli välimõõtmistel kirkuse sensorite vaheline erinevus umbes kaks korda suurem. Seda võib seletada suuremate välismõjudega nagu temperatuur, hajualgus, mittelineaarsus, objekti ebaühtlus.
- Võrreldes sisemõõtmistega oli välimõõtmistel kiiritustiheduse sensorite vaheline erinevus umbes viis korda suurem. Tõenäoliselt on põhjuseks eelkõige koosinushajutajate erinevus ja kõrvalekalle ideaalsest koosinustunnusjoonest.
- RAMSES ja HyperOCR grupid käitusid erinevalt
 - RAMSESe kirkuse sensorite omavaheline kooskõla oli HyperOCR sensoritest parem
 - HyperOCR kiiritustiheduse sensorite omavaheline kooskõla oli RAMSESe sensoritest parem
 - Erinevused on tõenäoliselt põhjustatud sisendoptika konstruktsioonist

Aitäh!



TARTU ÜLIKOOL
Tartu observatoorium

