

Opinnäytetyö (AMK)

Elektroniikan koulutusohjelma

Elektroniikkasuunnittelu

Maaliskuu 2017

Juuso Meri

LATITUDE-PROJEKTI

– laitesuunnittelu

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Elektroniikan koulutusohjelma | Elektroniikkasuunnittelu

Maaliskuu 2017 | 27

Ohjaaja: Timo Tolmunen

Juuso Meri

LATITUDE-PROJEKTI

- laitesuunnittelu

Opinnäytetyön tarkoitus on selvittää, miten voidaan toteuttaa mittalaite, jolla voidaan tutkia auringon sähkömagneettista säteilyä 250-2 200 nm:n aallonpituusalueella. Mittalaitteen pitäisi pystyä toimimaan itsenäisesti ja tallentaa mittatulokset verkkoon niin, että niitä voidaan etäisesti tarkastella. Opinnäytetyössä on tehty alustava laatimus laitesuunnittelusta. Työn tarkoituksena olisi, että voitaisiin lähteä joskus tutkimaan auringon sähkömagneettisen säteilyn vaikutusta tyrnien kasvuun ja ominaisuuksiin. Työ on tehty suurimmaksi osaksi teoriatasolla tekemällä tutkimustyötä, mutta työn aikana myös otettiin joitakin mittauksia käytännössä. Opinnäytetyössä selviää, että mittalaite voidaan rakentaa ainakin teoriatasolla, mutta epäselväksi jää, miten laite toimisi käytännössä.

ASIASANAT:

spektrometri, kosinikorjain, spektri

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronics | Electronics Design

March 2017 | 27

Instructor: Timo Tolmunen

Juuso Meri

LATITUDE-PROJECT

- instrument design

The purpose of this thesis is to research how to create a measuring device, that can measure the sun's electromagnetic radiation between 250-2 200 nm wavelength in a way that the device can function independently and save the measured data to the web so they can be examined remotely. The instrument design is done as a part of a project that aims to research the sun's electromagnetic radiation effect on the properties and growth of sea buckthorns. The work was done mostly on a theoretical level by doing research, but there were some measurements that was done in practice. The thesis shows that the measuring device can be constructed in theory, but it's not certain that it would work in practice.

KEYWORDS:

spectrometer, cosine corrector, spectrum

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 SPEKTROMETRI	8
2.1 Spektrometrin rakenne	8
2.1.1 Rako	9
2.1.2 Kollimaattori	10
2.1.3 Dispersioelementit	10
2.1.4 Kamera	11
2.2 Kosininkorjain	11
3 MITTAUKSET	13
3.1 Mittalaite	13
3.2 Mittatulokset	15
4 LAITESUUNNITTELU	18
4.1 Spektrometri	18
4.2 Käyttöjärjestelmä	22
4.3 Tiedonsiirto	22
4.4 Laitteisto	23
5 YHTEENVETO	25
LÄHTEET	26

KUVAT

Kuva 1. Sähkömagneettisen säteilyn spektri [2].	8
Kuva 2. Spektrometrin perusrakenne [3].	9
Kuva 3. Rako [4].	9
Kuva 4. Hila [6].	10
Kuva 5. Havainnollinen kuva CCD-kameraan tulevasta spektristä [8].	11
Kuva 6. Kosininkorjaimen näkökenttä [10].	12
Kuva 7. Mittausalusta.	13
Kuva 8. AvaSpec-ULS3648 [11].	14
Kuva 9. Avasoft 7.7.2 -mittaohjelmisto.	15

Kuva 10. Auringon sähkömagneettinen spektri aamulla.	15
Kuva 11. Auringon sähkömagneettinen spektri päivällä.	16
Kuva 12. Auringon sähkömagneettinen spektri illalla.	16
Kuva 13. Kosininkorjain kohdistettu suoraan aurinkoa kohti.	17
Kuva 14. Laitesuunnitelma.	18
Kuva 15. Vasemmalla AvaSpec-ULS3648 ja oikealla AvaSpec-NIR256-2.2TEC [11][13].	19
Kuva 16. AvaSpec Broadband [14].	19
Kuva 17. Avasoft 8.6 -mittaohjelmisto.	20
Kuva 18. CC-VIS/NIR [9].	20
Kuva 19. Vasemmalla HR2000+ES ja oikealla NIRQuest512-2.2 [15][16].	21
Kuva 20. OceanView-mittaohjelmisto.	22
Kuva 21. Raspberry Pi 3 Model B (2016) [17].	23

TAULUKOT

Taulukko 1. AvaSpec-ULS3648:n tekniset tiedot [11].	14
Taulukko 2. CC-VIS/NIR ominaisuudet [9].	21
Taulukko 3. Raspberry Pi 3 Model B:n tekniset tiedot [17].	24

KÄYTETYT LYHENTEET

CCD	Valoherkkä kenno (Charge-Coupled Device)
SMA	Mitapään liitin (SubMiniature Type A)
USB	Sarjaväyläarkkitehtuuri (Universal Serial Bus)
CPU	Proessori (Central Processing Unit)
GPU	Grafiikkaprosessori (Graphics Processing Unit)
DSB	Digitaalinen signaaliprosessori (Digital Signal Processor)
VRAM	Video RAM-muisti (Video Random Access Memory)

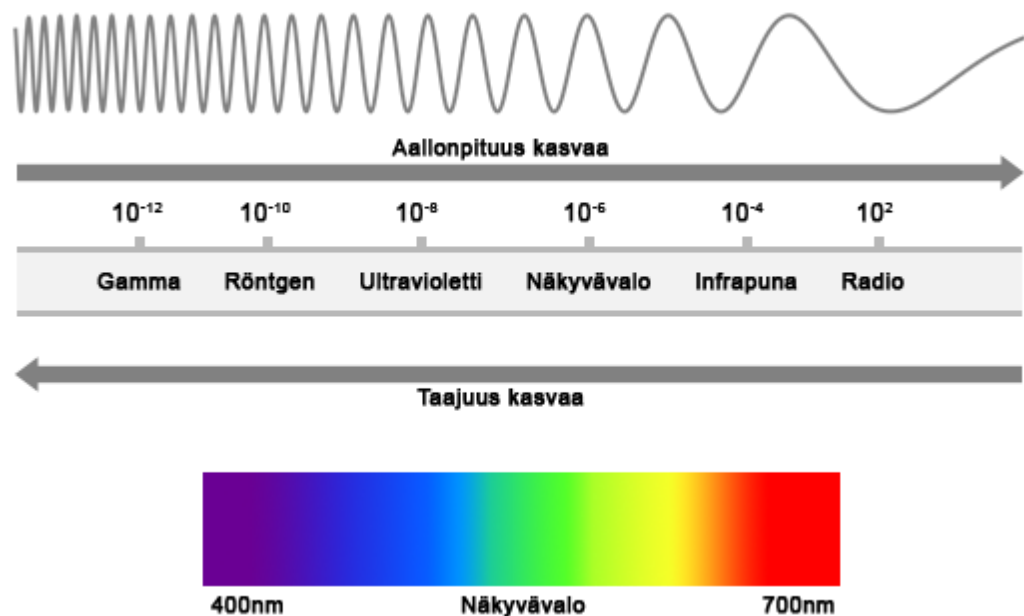
1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on osa Turun yliopiston projektia, jossa lähdetään tutkimaan auringon sähkömagneettisen säteilyn vaikutusta tyrnien kasvuun ja ominaisuuksiin. Tarkoituksena on myös tutkia, miten tyrnin mahdollisesti eriävät ominaisuudet vaikuttavat ihmisiin.

Minun osuuteni projektissa rajoittuu teoreettiseen laitesuunnitteluun. Selvitän alustavasti, onko mittalaite mahdollista rakentaa, ja mitä se vaatisi. Tavoitteena olisi luoda mittalaitteelle laitesuunnitelma, joka kykenisi ottamaan mittauksia auringon sähkömagneettisesta säteilystä ja tallentamaan mittaustulokset verkkoon, jotta niitä voidaan tarkastella etäisesti. Mittalaitteen pitäisi pystyä mittaamaan auringon sähkömagneettista säteilyä 250- 2 200 nm:n aallonpituusalueella.

2 SPEKTROMETRI

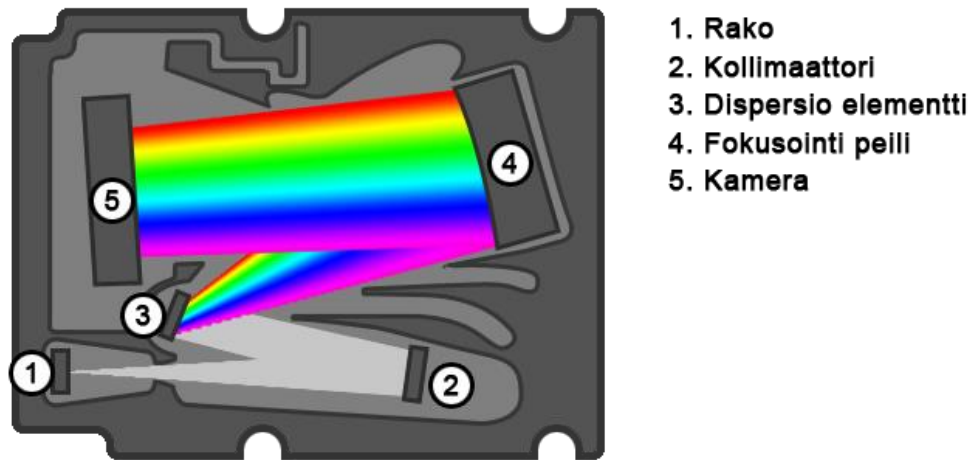
Spektrometri on laite, jolla voidaan tutkia sähkömagneettisen säteilyn spektriä (Kuva 1). Sähkömagneettinen säteily hajotetaan spektriä käyttämällä spektrometriä, jossa on dispersioelementti, jonka avulla pystytään hajottamaan sähkömagneettinen säteily. Spektrometreissa käytetään usein dispersioelementtinä heijastushilaa. [1]



Kuva 1. Sähkömagneettisen säteilyn spektri [2].

2.1 Spektrometrin rakenne

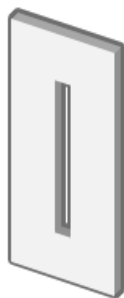
Spektrometri on rakenteeltaan suhteellisen yksinkertainen laite, se ei sisällä liikkuvia osia lainkaan. Spektrometrin rakenne muodostuu usein viidestä eri osasta: raosta, kollimaattorista, dispersioelementistä, fokuointipeilistä ja kamerasta (Kuva 2). [3]



Kuva 2. Spektrometrin perusrakenne [3].

2.1.1 Rako

Rako on tärkeä spektrometrin toimimisen kannalta, sillä se määrittelee laitteeseen tulevan valon määrän, ja se vaikuttaa myös spektrometrin resoluutioon. Mitä pienempi rako on, sitä parempi resoluutio, mutta liian pieni niin suuri osa mitattavasta kohteesta rajataan pois, eli raon koko määritellään halutun resoluution mukaan. Rako on ensimmäinen osa spektrometrissä mihin sähkömagneettisen säteilyn fotonit saapuvat. [1]



Kuva 3. Rako [4].

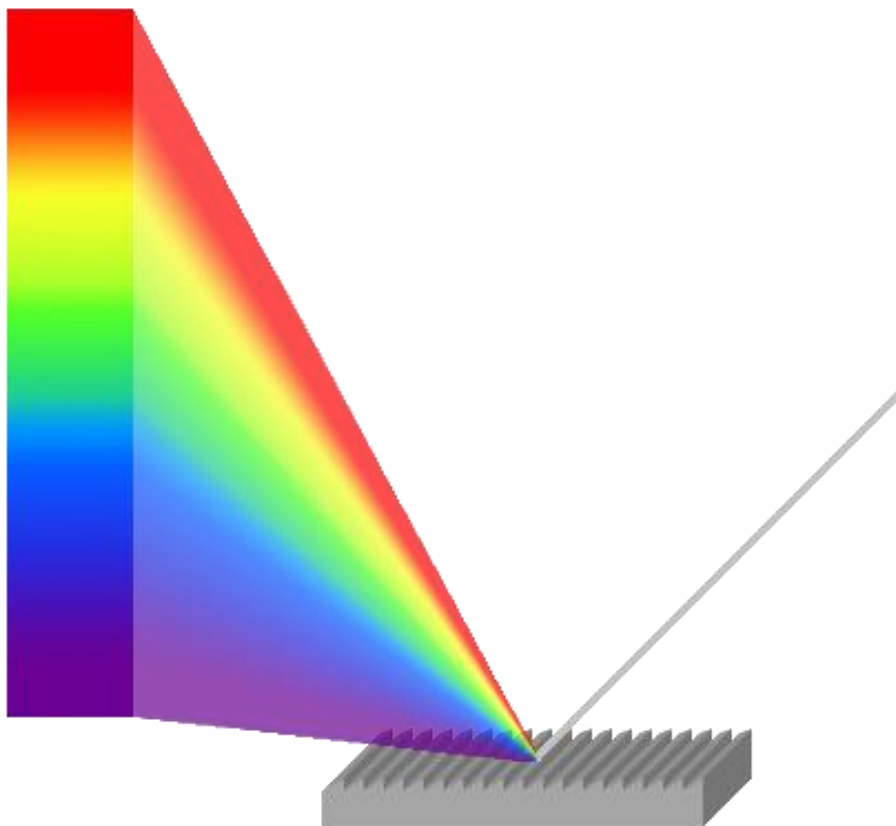
2.1.2 Kollimaattori

Kollimaattori on peili tai linssi spektrometrissä. Se tuottaa yhdensuuntaisen säteen dispersiiviseen elementtiin. Kollimaattorina käytetään usein peiliä, koska linssit absorboivat säteilyä. Kollimaattori tulee spektrometrissä heti raon jälkeen. [1]

2.1.3 Dispersioelementit

Dispersioelementteinä toimii yleensä prisma tai hila, mutta nykyisin prismaa harvemmin käytetään spektrometreissä, koska käyttämällä hilaa saadaan parempi erotuskyky ja laajempi taajuusalue [1].

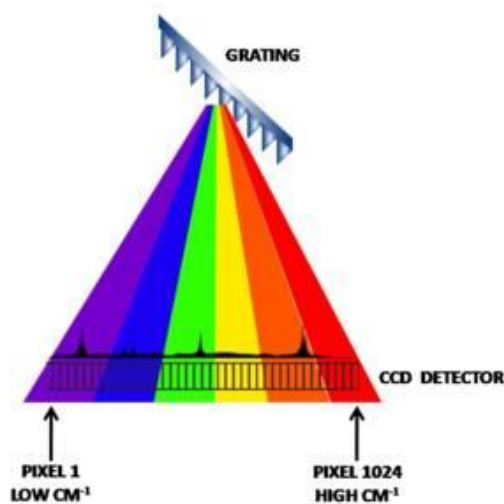
Hila on levy, joka sisältää reikiä tai uurteita, jotka ovat yhdensuuntaisia ja toisistaan yhtä etäällä (Kuva 4). Hilalla pystytään saamaan huomattavasti tarkempi erottelu aallonpituksien suhteen kuin prismalla. Tästä syystä hilaa käytetään usein spektrometreissä prisman sijaan. [5]



Kuva 4. Hila [6].

2.1.4 Kamera

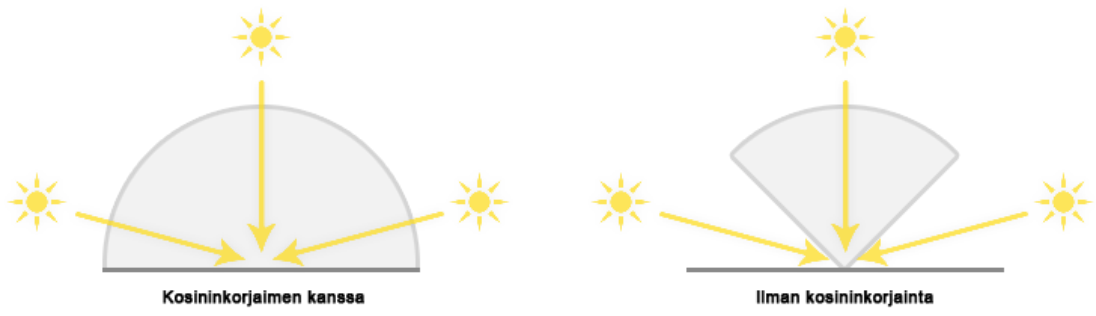
CCD-kamera toimii spektrometrissä ilmaisimena, jossa on valoherkkiä piidiodeja. Sähkömagneettinen spektri suunnataan CCD-kameralle fokuointipeililtä, jossa CCD-kamera tunnistaa siihen saapuneet fotonit. [7]



Kuva 5. Havainnollinen kuva CCD-kameraan tulevasta spektristä [8].

2.2 Kosininkorjain

Kosininkorjain valittiin spektrometrin mittapääksi, koska se on yksinkertainen ja kätevä tapa mitata auringon sähkömagneettista säteilyä, koska se kykenee mittaamaan 180°:n näkökentällä (Kuva 6). Laaja näkökenttä mahdollistaa sen, että kosininkorjain voidaan asentaa kiinteään mittausasentoon ja silti saadaan tarkkoja mittaustuloksia auringon säteilystä kellon- tai vuodenajasta huolimatta. Ilman kosininkorjainta pitäisi mittapää kohdistaa aina uudelleen aurinkoa kohti kapean mittausalueen takia, koska ilman uudelleen kohdistamista tulisi epätarkkoja ja epäluotettavia mittaustuloksia. [9]



Kuva 6. Kosininkorjaimen näkökenttä [10].

3 MITTAUKSET

Mittauksien tarkoitus oli testata, onko spektrometri toimiva ratkaisu projektille sähkömagneettisen säteilyn mittaamiseen. Oli myös tarkoitus tarkastella, millaisia mittaustuloksia saadaan, onko laite tarpeeksi nopea mittaamaan suoraan auringonpaistetta, ja kuinka suuria mittaustuloksien tiedostot ovat. Mittauksia otettiin muutaman päivän ajan muutamassa eri paikassa auringonnoususta auringonlaskuun saakka.



Kuva 7. Mittausalusta.

3.1 Mittalaite

Testimittauksissa käytettiin AvaSpec-ULS3648-mallista spektrometriä ja Avasoft 7.7.2 -mittaohjelmisto. Spektrometriin on kytketty 2 m:n kuitukaapeli, jossa on kosininkorjain mittapää. Käytössä ollut kosininkorjain rajoitti mittausalueen 200-800 nm:n alueelle, vaikka spektrometrillä olisi voinut mitata 1100 nm:iin asti [9][11].



Kuva 8. AvaSpec-ULS3648 [11].

Taulukko 1. AvaSpec-ULS3648:n tekniset tiedot [11].

Aallonpituusalue	200-1100 nm
Resoluutio	
Ilmaisim	CCD linear array, 3648 pikseliä
Signaali/Häiriö	350:1
AD muunnin	16-bittinen, 1MHz
Integrointi-aika	10 μ s - 10 minuuttia
Virtalähde	USB, 350mA tai SPU2 12VDC, 350mA
Mitat, paino	175 x 110 x 44 mm, 716 g



Kuva 9. Avasoft 7.7.2 -mittaohjelmisto.

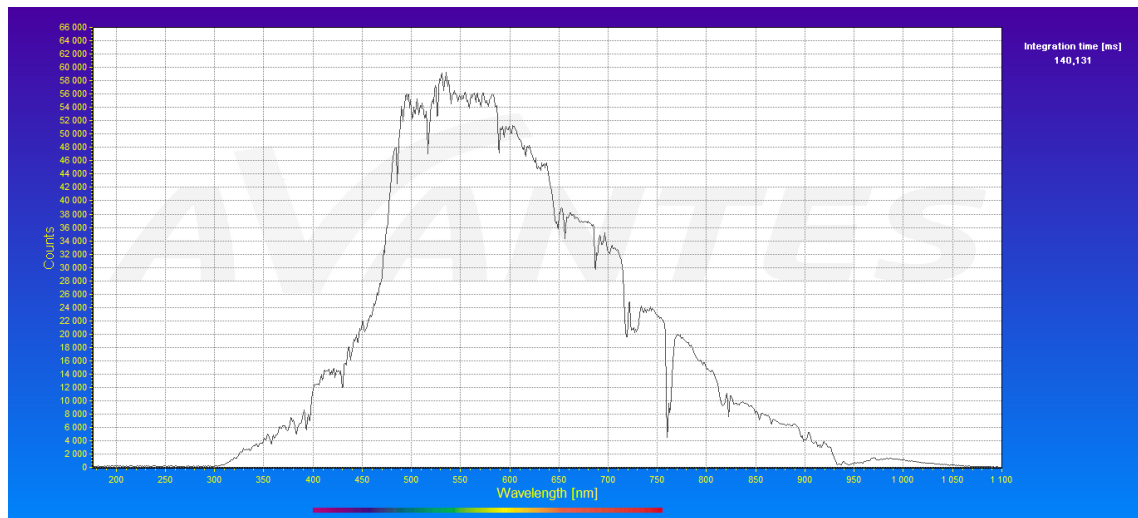
3.2 Mittatulokset

Mittauksien ottaminen aloitettiin aamulla kello 06:55 ja lopetettiin illalla kello 19:45. Heti aamulla, kun aurinko oli vasta nousemassa horisontin takaa, saatiin jo otettua oletetun mukainen mittatulos [12]. Auringon säteily oli heikkoa, koska aurinko oli vielä matalalla, ja siksi mittausten ottaminen kesti 14,1 sekuntia.



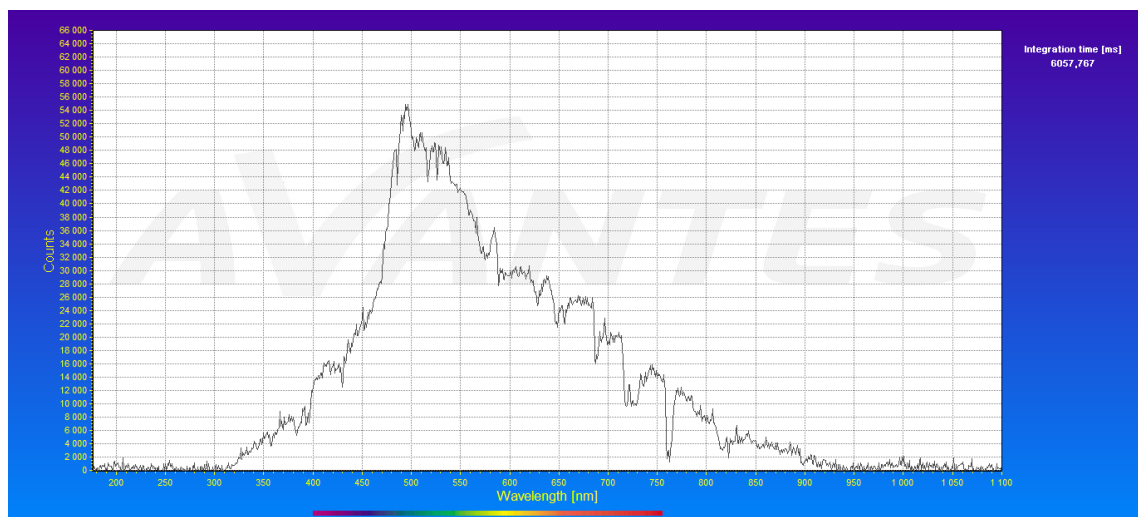
Kuva 10. Auringon sähkömagneettinen spektri aamulla.

Mitä korkeammalle aurinko nousi, sitä nopeammaksi mittauksien ottaminen tuli. Nopeimmillaan mittaustulos päivän aikana saatiin 0,14 s:ssa kello 13.55 aikaan.



Kuva 11. Auringon sähkömagneettinen spektri päivällä.

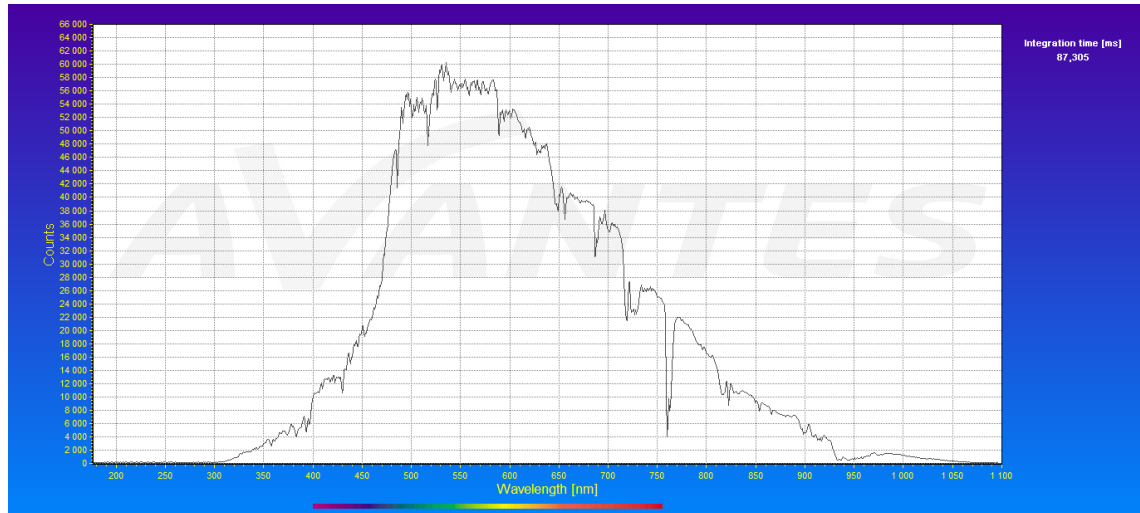
Kello 13.55 jälkeen mittauksien ottaminen alkoi vähitellen kestämään pidempään, kun aurinko alkoi laskeutumaan. Otin mittauksia, kunnes aurinko laskeutui rakennuksien taakse kello 19.45. Tällöin ei tullut enää suoraa aurinko paistetta.



Kuva 12. Auringon sähkömagneettinen spektri illalla.

Mittauksista selvisi se, että kosininkorjain on toimiva ratkaisu projektille aurinko säteilyn mittaamiseen kiinteässä mittapisteessä ilman, että tarvitsee rakentaa erillistä aurinko seuraavaa laitetta, tai että pitäisi missään vaiheessa päivän aikana uudelleen kohdistaa

mittapäättä. Mittauksien aikana yritin myös kohdistaa mittapään osoittamaan suoraan aurinkoa kohti kokeillakseni, kykeneekö spektrometri mittaamaan suoraa auringonpaistetta. Spektrometri pystyi hyvin mittaamaan myös suoran auringonpaisteen.

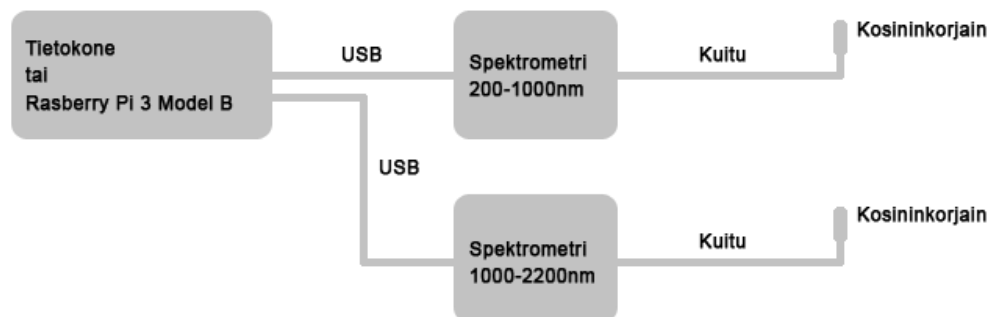


Kuva 13. Kosininkorjain kohdistettu suoraan aurinkoa kohti.

Mittauksista myös selvisi, että yksittäisen mittaustuloksen tiedoston koko on noin 30-40 kb. Tämä tarkoittaa, että vaikka mittauksia otettaisiin 10 minuutin välein kevään ja kesän aikana noin viiden kuukauden ajan, niin mittaustuloksien koko olisi silti vain 738,3 Mb.

4 LAITESUUNNITTELU

Alustavana vaatimusmäärittelynä laitteelta toivottiin, että se toimii itsenäisesti ja kykenisi mittaamaan auringon sähkömagneettista spektriä 250-2 200 nm:n aallonpituusalueelta. Laitteelta toivottiin myös mahdollisuutta tulevaisuudessa päivittää järjestelmää niin, että siihen voitaisiin liittää kyky mitata lämpötilaa ja ilmankosteutta. Ottaen nämä asiat huomioon olen laatinut laitesuunnitelman. Laite koostuisi tietokoneesta ja kahdesta spektrometristä, joissa mittapäänä toimisi kosininkorjain.



Kuva 14. Laitesuunnitelma.

4.1 Spektrometri

Jos halutaan mitata koko haluttua mitta-alueella, joka sisältää 250-2 200 nm:n aallonpituusalueen, tarvittaisiin kaksi spektrometriä. Toinen näistä spektrometreistä mittaisi aallonpituusalueelta 200-1 000 nm ja toinen alueelta 1 000-2 200 nm. 200-1 000 nm:n aallonpituusalueen spektrometrinä toimisi hyvin AvaSpec-ULS3648 ja 1 000-2 200 nm:n alueella taas AvaSpec-NIR256-2.2TEC [11][13].



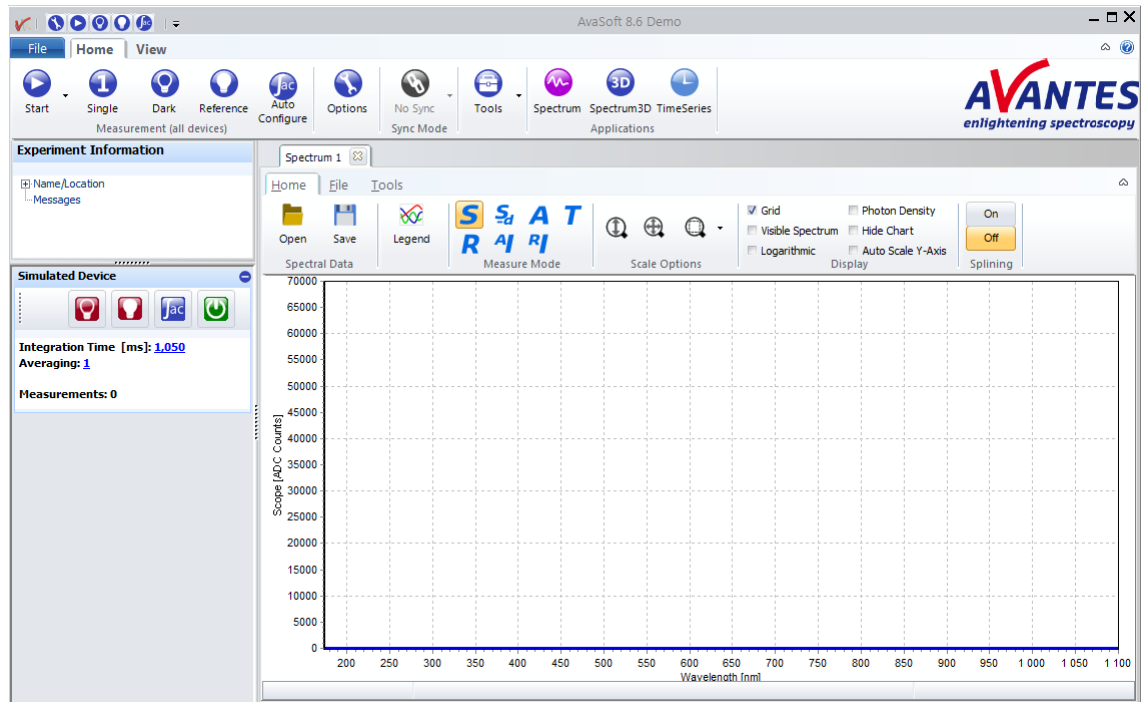
Kuva 15. Vasemmalla AvaSpec-ULS3648 ja oikealla AvaSpec-NIR256-2.2TEC [11][13].

Jos halutaan yksinkertaistaa vähän laitteen rakennetta niin, että siinä olisi vain yksi laite, joka sisältää kaksi spektrometriä, niin se onnistuisi, jos aallonpituusalueesta suostutaan karsimaan 500 nm niin, että se olisi 200-1700nm. Tässä toimisi AvaSpec Broadband hyvin. Tämä yksinkertaistaisi myös ohjelmistopuolta, kun ei tarvita enää kahta eri ohjelmaa pyörimään samaan aikaan, kun mittauksia tehtäisiin. Lisäksi laitteen tehonkulutus laskisi huomattavasti, kun virtalähteenä toimisi vain tietokoneen USB-portti, toisin kuin AvaSpec-NIR256-2.2TEC kohdalla, jossa tarvitaan jo jäähdytyksen takia verkkosähköä [13]. [14]



Kuva 16. AvaSpec Broadband [14].

Ohjelmistona toimisi Avasoft 8, joka on eri kuin mittauksissa käytetty, koska tämä mahdollistaa automaattisten näytteidenoton tietyn aikajaksoin ja mahdollistaa myös mittauksien tallentamisen tiettyyn kansioon.



Kuva 17. Avasoft 8.6 -mittaohjelmisto.

Avantesiltä löytyy myös mittauksiin sopiva kosininkorjain mittapää, kuten CC-VIS/NIR, mikä mahdollistaa mittaukset 200-2 500 nm:n aallonpituusalueella. Kosininkorjain vastaanottaa valoa 180 asteen näkökentällä. Toimintalämpötilaksikin on ilmoitettu -30 - 100 °C. [9]



Kuva 18. CC-VIS/NIR [9].

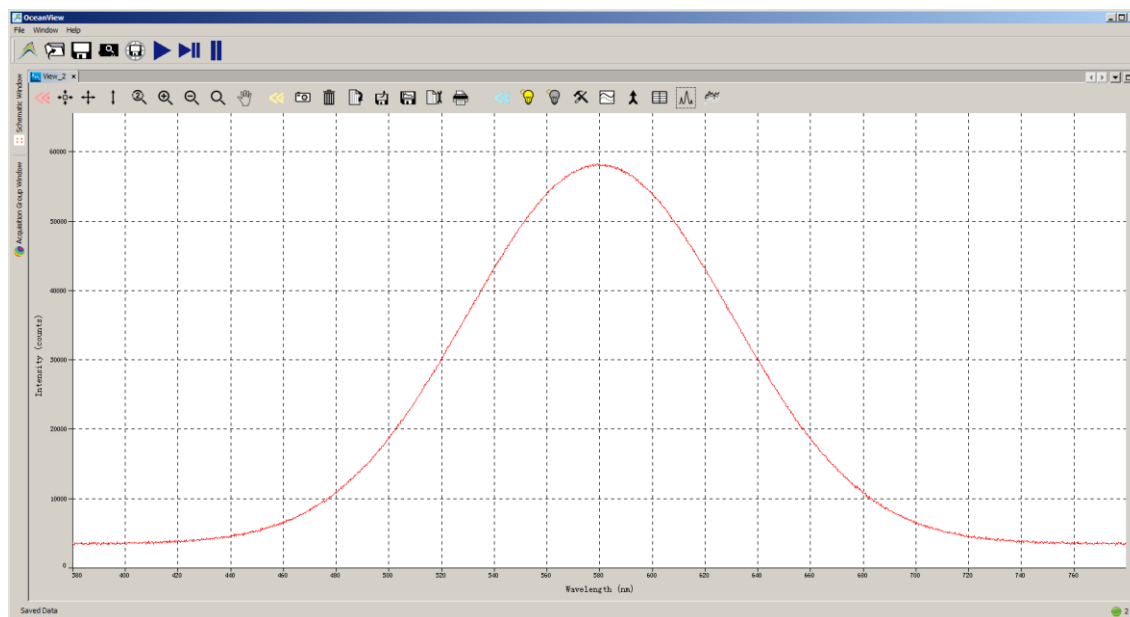
Taulukko 2. CC-VIS/NIR ominaisuudet [9].

Aktiivi alue	3.9 mm
Diffuusio materiaali	Radin Quartz (200-2500 nm), ca 1.5 mm paksu
Mitat	12 mm halkaisia, 29 mm pituus
Liitin	SMA 905
Lämpötila	-30°C / +100°C

Koska AvaSpecin spektrometrien ohjelmistot tukevat vain Windows-käyttöjärjestelmiä, lähdin myös tutkimaan vaihtoehtoisia valmistajia, jotka tukisivat muitakin käyttöjärjestelmiä. Ocean optics tarjoaa myös spektrometrejä, jotka pystyisivät mittaamaan saman aallonpituusalueen kuin Avaspectin spektrometrit eli 200-2 200 nm, ja heidän laitteilla olisi myös Linux tuki. Ocean opticsin ohjelmisto myös mahdollistaa automaattisten mittauksien ottamisen tiettyjen aikajaksojen välein. Jälleen tarvittaisiin kaksi spektrometriä, että saadaan katettua koko haluttu spektri. Tähän sopisi Ocean optics HR2000+ES, joka kattaisi 190-1 100 nm:n aallonpituusalueen, ja kun taas NIRQuest512-2.2 kattaisi 900-2 200nm alueen. [15][16]



Kuva 19. Vasemmalla HR2000+ES ja oikealla NIRQuest512-2.2 [15][16].



Kuva 20. OceanView-mittaohjelmisto.

4.2 Käyttöjärjestelmä

Riippuen siitä, kumman valmistajan laite valitaan, voidaan päättää, valitaanko käyttöjärjestelmäksi Windows vai Linux. Jos valitaan Windows käyttöjärjestelmäksi, niin voidaan käyttää molempien valmistajien spektrometrejä. Windowsin versiolla ei ole niin paljon väliä, kunhan se on Windows 7 tai uudempi. Mutta jos käyttöjärjestelmäksi valitaan Linux, voidaan vain käyttää Ocean opticsin spektrometrejä. Linux käyttöjärjestelmäksi voidaan valita joku Rasberry Pi 3 Model B tukemista käyttöjärjestelmistä.

4.3 Tiedonsiirto

Tiedonsiirtotapana voisi toimia pilvipalvelut, kuten esimerkiksi Dropbox. Kun Dropbox on asennettu koneelle, järjestelmä luo verkkohakemiston. Koska Avasoft 8 ja OceanView molemmat mahdollistavat mittauksien ottamisen ja tallentamisen tiettyjen aikajaksojen välein, mittaustulokset voidaan tallentaa suoraan pilvipalveluun, josta niitä voidaan katella myös etänä.

4.4 Laitteisto

Laitteistovalinta riippuu siitä, kumpi käyttöjärjestelmä valitaan. Jos valitaan Windows käyttöjärjestelmä niin silloin pitää valita suoraan tietokone tai kannettava tietokone, joka kykenisi pyörittämään Windows 7 tai uudempaa versiota. Juurikaan muita vaatimuksia siltä tietokoneelta tai kannettavalta ei vaadita muuta kuin, että se kykenee pyörittämään Windows 7 tai uudempaa versiosta, ja että tietokoneessa olisi langaton verkkosovitin. Mutta jos valitaan käyttöjärjestelmäksi Linux, niin silloin on mahdollisuus käyttää edullisempia ja paljon pienempiä vaihtoehtoja, kuten Rasberry Pi, joka on yhden piirilevyn tietokone. Rasberry Pi 3 Model B:ssä olisi myös sisäänrakennettu langaton verkkosovitin. [17]



Kuva 21. Raspberry Pi 3 Model B (2016) [17].

Taulukko 3. Raspberry Pi 3 Model B:n tekniset tiedot [17].

Proessori	1.2 GHz, moniydinproessori, ARM Cortex-A53, 64-bittinen, ARMv8-A
Näytönohjain	Broadcom VideoCore IV, OpenGL ES 2.0, 1080p, h.264, 400MHz
Piirisarja	Broadcom BCM2837 (CPU, GPU, DSP, SDRAM)
Muisti	1 Gt (jaettu näytönohjaimen kanssa)
Langattomat yhteydet	802.11n ja Bluetooth 4.1
Virtalähde	5 V MicroUSB
Koko	85,60 × 53,98 × 17 mm
Paino	45 g

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä selvitettiin, onko mahdollista rakentaa mittalaite, joka kykenisi mittaamaan itsenäisesti auringon sähkömagneettista säteilyä ja lähettämään mittaustulokset verkkoon niin, että niitä voidaan etänä tarkastella. Työssä selvisi, että mittalaitteen rakennus onnistuu ainakin teoriatasolla, mutta epäselväksi jäi vielä, miten laite käytännössä toimisi. Mittalaite voidaan teoriassa toteuttaa muutamalla eri tavalla riippuen siitä, mitä halutaan, ja mitä uhrauksia suostutaan tekemään. Jos halutaan mitata koko halutulta aallonpituusalueelta, niin silloin on mahdollisuus valita joko AvaSpecin tai OceanOpticsin spektrometrit, mutta se vaatisi sen, että jouduttaisiin käyttämään kahta eri spektrometriä, mikä lisäisi mittaustuloksien määrää ja lisäisi mahdollisten ongelmien tapahtumista. Mutta jos suostutaan karsimaan aallonpituusaluetta niin, että mitattava alue olisi 250-1700 nm, niin silloin voidaan valita AvaSpecin Broadband spektrometri, mikä yksinkertantaisi mittalaitteen rakennetta, koska siinä on kaksi spektrometriä rakennettu yksien kuorien sisään. AvaSpecin hyviin puoliin kuuluu se, että heidän spektrometriään on testattu käytännössä ja todettu kykenevän tekemään tarpeelliset mittaukset. Heillä on myös mahdollisuus yksinkertaisempaan laitteeseen, jos suostutaan karsimaan mitattavasta alueesta. AvaSpecin huonoihin puoliin kuuluu se, että se tukee vain Windows käyttöjärjestelmää. Tämä tarkoittaa sitä, että tarvittava laitteisto mikä pyörittäisi spektrometrejä, tulee olemaan kalliimpia ja kuluttamaan enemmän sähköä. OceanOpticsin hyviin puoliin kuuluu se, että tukee niin Windows kuin Linux käyttöjärjestelmiä, mikä mahdollistaa monipuolisemman laitteistovalinnan. OceanOpticsin huonoihin puoliin kuuluu se, että heidän spektrometrejä ei olla testattu käytännössä. Näin ollen pitää olettaa, että kykenee tekemään mittaukset spektrometrin ominaisuuksien perusteella. Työtä voisi jatkaa tutkimalla enemmän tarjolla olevia spektrometrejä ja testaamalla käytännössä muitakin spektrometrejä. Voisi myös tutkia mahdollisten lisäominaisuuksien lisäämistä kuten lämpötila-anturia tai ilmankosteusanturia.

LÄHTEET

- [1] Spektrometria. Saatavilla: <http://www.helsinki.fi/~jetsu/htt/htt10vmp.pdf>. (Luettu: 22.3.2017).
- [2] Light and the Electromagnetic Spectrum. Saatavilla: <http://butane.chem.uiuc.edu/pshapley/GenChem2/A3/3.html>. (Luettu: 22.3.2017).
- [3] Optical Bench Design. Saatavilla: <http://www.avantes.ru/en/spectrometer/opticbanch/>. (Luettu: 22.3.2017).
- [4] Student-campaign on middle atmosphere phenomena. Saatavilla: http://fred.unis.no/AGF210s/Festa_2002/Festa.htm. (Luettu: 22.3.2017).
- [5] Diffraction Gratings – The Crucial Dispersive Component. Saatavilla: https://www.gratinglab.com/Information/Technical_Publications/Gratings.aspx. (Luettu: 22.3.2017).
- [6] Diffraction-gratings. Saatavilla: <http://www.inprentus.com/diffraction-gratings/>. (Luettu: 22.3.2017).
- [7] CCD-kamera. Saatavilla: <http://www.caelus.fi/NOT-tiedekoulu/2010/Spektrometria.pdf>. (Luettu: 22.3.2017).
- [8] What is a CCD detector? Saatavilla: <http://www.horiba.com/scientific/products/raman-spectroscopy/raman-academy/raman-faqs/what-is-a-ccd-detector/>. (Luettu: 22.3.2017).
- [9] Cosine correctors. Saatavilla: <https://www.avantes.com/products/fiber-optics/item/257-cosine-correctors>. (Luettu: 22.3.2017).
- [10] Why you should be using the reef light meter. Saatavilla: http://answers.seneye.com/en/Seneye_Products/seneye_USB_device/seneye_reef_light_meter_functions/why_you_should_be_using_the_reef_light_meter. (Luettu: 22.3.2017).
- [11] AvaSpec-ULS3648 High-resolution Spectrometer. Saatavilla: <https://www.avantes.com/products/spectrometers/starline/item/209-avaspec-uls3648-high-resolution-spectrometer>. (Luettu: 22.3.2017).

- [12] Introduction to Solar Radiation. Saatavilla: <https://www.newport.com/t/introduction-to-solar-radiation>. (Luettu: 22.3.2017).
- [13] NIR spectrometers. Saatavilla: <https://www.avantes.com/products/spectrometers/nirline/item/329-avaspec-nir256-512-2-0-2-2-2-5tec>. (Luettu: 22.3.2017).
- [14] AvaSpec-UV/VIS/NIR. Saatavilla: <https://www.avantes.com/products/spectrometers/starline/item/883-avaspec-uv-vis-nir>. (Luettu: 22.3.2017).
- [15] HR2000+ES. Saatavilla: <https://oceanoptics.com/product/hr2000es/>. (Luettu: 22.3.2017).
- [16] NIRQuest512-2.2. Saatavilla: <https://oceanoptics.com/product/nirquest512-2-2/>. (Luettu: 22.3.2017).
- [17] RASPBERRY PI 3 MODEL B. Saatavilla: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>. (Luettu: 22.3.2017).