

Arttu Korhonen

SPEKTROMETRIN OHJAUSOHJELMA LABVIEW'LLÄ

Insinööriö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikka ja liikenne
Tietotekniikka
Kevätlukukausi 2012



Koulutusala Tekniikka ja liikenne	Koulutusohjelma Tietotekniikka
Tekijä(t) Arttu Korhonen	
Työn nimi Spektrometrin ohjausohjelma LabVIEW'llä	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Ajoneuvojen tietojärjestelmät / Sulautetut järjestelmät	Ohjaaja(t) Pentti Romppainen Toimeksiantaja Mittatekniikan keskus (MIKES) / Petri Koponen, Toni Laurila
Aika Kevät 2012	Sivumäärä ja liitteet 56 + 2
<p>Insinöörityön tavoitteena oli kehittää spektrometrin ohjausohjelma LabVIEW-ohjelmointiympäristössä käyttäen. Työn toimeksiantajana oli Mittatekniikan keskus (MIKES), joka toteuttaa SI-järjestelmän mittayksiköt Suomessa, tekee metrologista huippututkimusta ja kehittää mittaussovellutuksia teollisuuden kanssa. Spektrometriä tullaan käyttämään MIKES-Kajaanissa erityisesti uusia ympäristömittauksia kehitettäessä. Ensimmäisenä käyttökohteena on liuosten sisältämien aineiden määrittämiseksi tehtävät emissiospektromittaukset.</p> <p>Insinöörityön raportin teoriaosassa kerrotaan yleisesti spektrometreistä ja niiden taustalla olevasta fysiikasta sekä järjestelmän osista. Raportin käytännön osassa kerrotaan ohjausohjelman tekemisestä LabVIEW-ympäristössä.</p> <p>Insinöörityö sisälsi laitteistoon tutustumisen ja LabVIEW-ohjelman tekemisen. Ohjelmat sisältävät esimerkiksi sarjamoitoista tiedonsiirtoa spektrografin kanssa kommunikoidemiseksi tehtävän LabVIEW-ajurin yhteydessä, ilmaisimena toimivan CCD-viivakameran ohjaamista ja lukemista sekä tiedostojen ja MySQL-tietokannan käsittelyä.</p>	
Kieli	suomi
Asiasanat	LabVIEW, spektrometri, emissio, spektri, spektrianalyysi, spektrometria, spektroskopia
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Verkkokirjasto Theseus <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto



School School of Engineering	Degree Programme Information Technology
Author(s) Arttu Korhonen	
Title A Spectrometer Control Program with LabVIEW	
Optional Professional Studies Vehicle Information Systems / Embedded Systems	Instructor(s) Dr Pentti Romppainen, Principal Lecturer
	Commissioned by Centre for Metrology and Accreditation (MIKES) / Dr Petri Koponen, Dr Toni Laurila
Date Spring 2012	Total Number of Pages and Appendices 56 + 2
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to design and develop a control program for a spectrometer system using the LabVIEW development environment. The thesis was commissioned by the Centre for Metrology and Accreditation (shortly MIKES from the Finnish name Mittatekniikan keskus). The experimental work of this thesis was done at the MIKES-Kajaani unit. The MIKES-Kajaani was established in the year 2011 and along some more regular calibration measurements the unit also does research and development related to new environmental measurement systems. The spectrometer system is going to be used to develop new environmental measurement systems that are both real-time and more affordable.</p> <p>Firstly, studying was needed considering what a spectrometer is and how to program with LabVIEW. Secondly, possible connections and possibilities for database connection directly from LabVIEW were evaluated. After the spectrograph hardware had arrived, the research for the control protocol and possible commands could be started. After the protocol was known, the development of the LabVIEW driver for the spectrograph and example control program was started. Later on, a CCD line camera for getting the spectrum to a computer arrived and it was tested. The CCD line camera came with good LabVIEW examples, so those were used as a basis for the final measurement program.</p> <p>As a result of this thesis, a working spectrometer system with a control program was made. The spectrograph can be controlled from the program and the spectrum can be acquired to the program with the CCD line camera. Finally, the measurement data can be saved to be analyzed at a later point of time.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	LabVIEW, spectrometer, emission, spectrum, spectral analysis, spectrometry, spectroscopy
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Electronic library Theseus <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
1.1 Toimeksiantaja	1
1.2 Työn tavoite.....	2
1.3 Työn rakenne ja sisältö.....	2
2 FYSIKKAA TYÖN TAUSTALLA.....	3
2.1 Spektroskopia	3
2.1.1 Sähkömagneettinen säteily.....	3
2.1.2 Spektrit	5
2.2 Prisma	8
2.3 Hila.....	9
2.4 Spektrometri	10
3 TYÖSSÄ KÄYTETYT LAITTEET JA OHJELMISTOT	11
3.1 Spektrografi / monokromaattori.....	11
3.2 Mittaustietokone	13
3.3 Ilmaisimien	14
3.3.1 Point Grey Research -CCD-kamera.....	15
3.3.2 Alphas-CCD-viivakamera.....	16
3.4 Newport Oriel -elohopeakynälamppu	18
3.5 Käytettyjä ohjelmia	19
3.5.1 LabVIEW.....	19
3.5.2 LabVIEW'n apuohjelmia ja lisäosia	20
3.5.3 Tietokantojen hallinta, suunnittelu ja käyttö.....	21
3.5.4 Muita ohjelmia ja työkaluja.....	22
4 TYÖN ETENEMINEN	23
4.1 Tietojen tallennus ja tietokanta.....	23

4.1.1 Mittausdatan sisältävien tekstitiedostojen nimeäminen.....	23
4.1.2 Tietokantapalvelimen hallinta ja tietokantojen suunnittelu	24
4.1.3 LabVIEW [®] hun kerätyn tiedon siirto MySQL-tietokantaan	24
4.1.4 Tietokantayhteys	25
4.2 Spektrografin ohjaus.....	27
4.2.1 Spektrografin ja ohjainlaitteen liittäminen yhteen.....	27
4.2.2 Spektrografin ohjaus tietokoneelta.....	28
4.2.3 Spektrografin ohjainlaitteen protokolla	28
4.2.4 Spektrografin LabVIEW-ajurin kehitys.....	30
4.2.5 SP-275-ajurin ja sen esimerkkiohjelman ominaisuuksia	30
4.3 Firewire-kameran kokeilua	37
4.4 Alphalas-CCD-viivakamera	38
4.5 Mittausohjelman kehittäminen	39
4.5.1 Aallonpituusasteikko	40
4.5.2 Tallennuksesta	41
4.5.3 Käyttöliittymän muokkausta	44
4.5.4 Tietokantaan tallennus	45
4.6 Testauksesta.....	46
5 VAIHTOEHTOISIA RATKAISUJA JA JATKOKEHITYSMAHDOLLISUUKSIA....	47
6 YHTEENVETO.....	49
7 LÄHTEET	50
LIITTEET	

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

aallonpituus	jaksollisen ilmiön kahden peräkkäisen vastaavan kohdan välinen etäisyys, kääntäen taajuus
askelmoottori	sähkömoottori, jota voidaan askeltaa moottorin mallista riippuen tietynsuuruinen kulma kerrallaan
CCD-kenno	Charge-Coupled Device on valoherkkä kenno, jonka avulla sähkömagneettinen säteily saadaan muutettua digitaaliseksi signaaliksi
CMOS-kenno	Complementary Metal Oxide Semiconductor -tekniikkaan perustuva valoherkkä kenno, jonka avulla sähkömagneettinen säteily muutetaan digitaaliseksi signaaliksi
DSN	Data Source Name, tietokantayhteyttä varten määritettävä ja nimettävä tietolähde
Firewire	Firewire 400 (max Mbps), katso IEEE standardi 1394(a) tai Firewire 800, katso IEEE standardi 1394b
GPIB	General Purpose Instrumentation Bus, HP:n kehittämä ja myöhemmin IEEE:n standardoima mittalaitteiden ohjausväylä
hila	usein lasista tai metallista tehty naarmutettu levy, jolla sähkömagneettinen säteily voidaan hajottaa spektriä
I/O	Input/Output, erityisesti digitaalisten laitteiden tulot ja lähdöt
IEEE 1394	IEEE standardi 1394-1995 määrittä 6-napaisen liittimen ja max 400 Mbps siirtonopeuden
IEEE 1394a	IEEE standardi 1394a-2000 täydensi aiempaa määrittystä ja virallisti 4-napaisen liittimen, jossa ei ole tehonsyöttöä
IEEE 1394b	IEEE standardi 1394b-2002 lisäsi 800 Mbps beta-tilan ja uuden 9-napaisen liittimen
kalibrointi	mittalaitteen näyttämän arvon vertaaminen luotettavampana pidettyyn mittaukseen tai mittanormaliin
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, National Instrumentsin kehittämä graafista G-kieltä käyttävä ohjelmointi- ja kehitysympäristö

monokromaattori	laite, jolla sähkömagneettisesta säteilystä voidaan valita pieni aallonpituusalue esimerkiksi prisman tai hilan avulla
MySQL	yksi tietokannan hallintajärjestelmä
NI	National Instruments, muun muassa LabVIEW-ohjelmiston ja mittalaitteiden valmistaja
ODBC	Open Database Connectivity, avoin tietokantarajapinta
referenssi	vertailumittaus tunnetusta kohteesta tai tarkemmasta mittalaitteesta
SNR	Signal/Noise Ratio, signaali-kohinasuhde
spektri	tarkoittaa tässä yhteydessä sähkömagneettisen säteilyn intensiteettiä aallonpituuden mukaan jaettuna
spektrografi	laite, jolla sähkömagneettinen säteily voidaan jakaa spektriiksi esimerkiksi prisman tai hilan avulla
SQL	Structured Query Language, tietokantojen käsittelyssä käytettävä kyselykieli
TCP/IP-yhteys	Transmission Control Protocol / Internet Protocol -protokollaparia käyttäen muodostettava yhteys
turret	torni, tässä yhteydessä pyörivä alusta, jonka kolmelle sivulle on kiinnitetty erilaiset hilat
viritys	mittalaite viritetään/säädetään näyttämään nolaa tai muuta tunnettua sillä hetkellä mitattavaa lukemaa
VISA	Virtual Instrument Software Architecture (NI LabVIEW - tietoliikenne-rajapinta)

1 JOHDANTO

Insinööriyön tavoitteena oli kehittää spektrometrin ohjausohjelma LabVIEW-ohjelmointiympäristöä käyttäen. Työn toimeksiantajana oli Mittatekniikan keskus (MIKES). Spektrometriä tullaan käyttämään MIKES-Kajaanissa erityisesti uusia ympäristömittauksia kehitettäessä. Ensimmäisenä käyttökohteena on liuosten sisältämien aineiden määrittämiseksi tehtävät emissiospektrimittaukset.

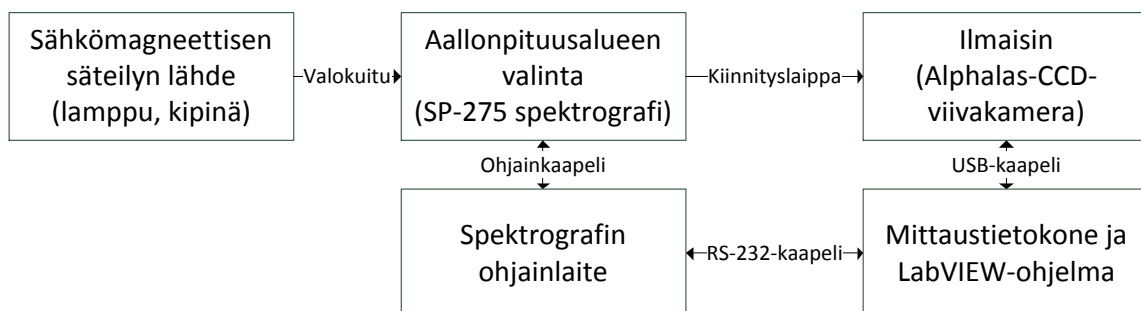
1.1 Toimeksiantaja

Mittatekniikan keskus (MIKES) on Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) alainen tutkimuslaitos, ja sen olemassaolo ja toiminta perustuvat lakiin Mittatekniikan keskuksista. MIKESin toiminta jakautuu käytännössä kahteen yksikköön, jotka ovat MIKES-metrologia ja FINAS-akkreditointipalvelut. MIKES metrologia toteuttaa SI-järjestelmän mittayksiköt Suomessa, tekee metrologista huippututkimusta, kehittää mittaussovellutuksia teollisuuden kanssa sekä tuottaa kalibrointi- ja asiantuntijapalveluita. FINAS akkreditointipalvelu akkreditoi eli toteaa päteviksi laboratorioita, tarkastuslaitoksia, sertifiointielimiä ja erityisalojen edustajia, esimerkiksi ympäristötodentajia sekä arvioi toimielinten toiminnan pätevyyttä säädösten tai erityisvaatimusten mukaan. Akkreditointitoiminta perustuu kansainvälisiin standardeihin ja sopimuksiin. [1.][2, s. 2.]

MIKESin Kajaanin yksikkö, MIKES-Kajaani, ylläpitää ja kehittää voiman, vääntömomentin, suurten massojen ja nestevirtausten kansallisia mittanormaaleja. Kajaanissa toiminta alkoi virallisesti vuoden 2011 alussa. MIKES-Kajaani toimii osana mittaus- ja tietojärjestelmien koulutus- ja tutkimuskeskus CEMISiä (Centre for Measurement and Information Systems). MIKESin tutkimusryhmä tukee yhtä CEMISin valitsemaa sovellusalueita, ympäristömonitorointiin ja teollisiin prosesseihin liittyvää nestevirtausten on-line -mittaustoimintaa. [2, s. 4–5.]

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena oli ohjata spektrografia, lukea spektri kameralta ja saada mittaustiedot talteen ainakin tiedostoon, mahdollisesti myös tietokantaan. Kuva 1 esittää toteutuneen järjestelmän lohkokaaviotasolla.



Kuva 1. Lohkokaaviokuva järjestelmästä

1.3 Työn rakenne ja sisältö

Insinööriyön raportin teoriaosassa kerrotaan yleisesti spektrometreistä ja niiden taustalla olevasta fysiikasta sekä järjestelmän osista. Raportin käytännön osassa kerrotaan ohjausohjelman tekemisestä LabVIEW-ympäristössä.

Insinööriyö sisälsi laitteistoon tutustumisen ja LabVIEW-ohjelman teon. Ohjelmat sisältävät esimerkiksi sarjamuotoista tiedonsiirtoa spektrografin kanssa kommunikoimiseksi tehtävän LabVIEW-ajurin yhteydessä, ilmaisimena toimivan CCD-viivakameran ohjaamista ja lukemista sekä tiedostojen ja MySQL-tietokannan käsittelyä.

2 FYSIKKAA TYÖN TAUSTALLA

Seuraavassa käydään läpi teoriataustaa koskien spektrometriin liittyvää fysiikkaa ja fysikaalisia ilmiöitä.

2.1 Spektroskopia

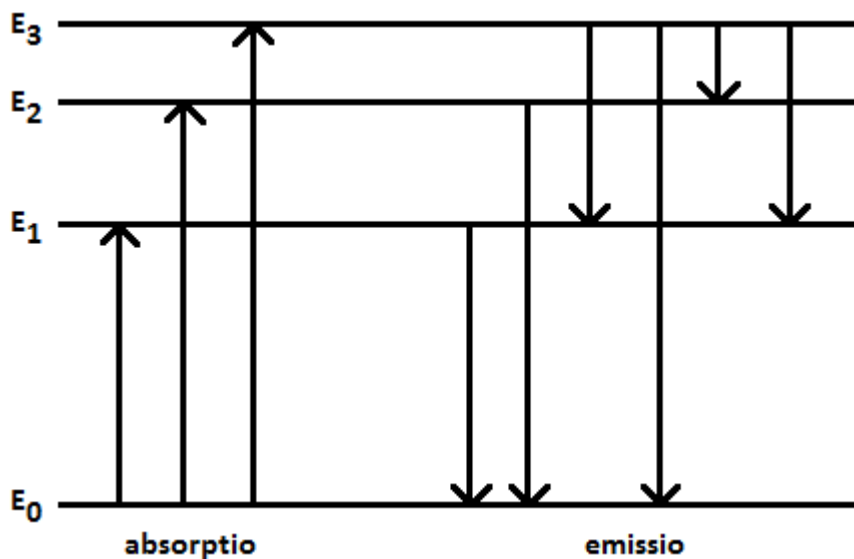
Spektroskopiaa kuvataan tutkimuksen alaksi, joka tutkii sähkömagneettisen säteilyn ja aineen vuorovaikutusta [3, s. XXVIII].

2.1.1 Sähkömagneettinen säteily

Atomin elektroniverhon rakennetta kuvataan usein atomin kuorimallilla. Atomin jaksollisen järjestelmän järjestysluvun kasvaessa elektronit sijoittuvat atomin kuorille siten, että energia perustilassa on mahdollisimman pieni. Virittymisessä vähintään yksi elektroni siirtyy ulommalle kuorelle. [4, s. 133.][5, s. 470–473.]

Sähkömagneettista säteilyä syntyy ja häviää atomin elektronien muuttaessa energiatilaansa. Atomi voi saada vain tiettyjä energian arvoja (E_n), alkaen atomin perustilasta. Siinä atomia kiertävät elektronit ovat täyttäneet kaikki paikat alhaalta alkaen ja atomin energia on pienimmillään. Muulloin atomi on virittyneessä tilassa. [4, s. 132.][5, s. 470–473.][6.]

Energian arvo atomissa voi muuttua vain atomin energiatilojen kvanttien suuruisin askelin ($\Delta E = E_n - E_m$). Atomin vastaanottaessa eli absorboidessa energiaa se virittyy. Atomeilla on luontainen pyrkimys kohti pienintä energiatilaa. Atomin siirtyessä virittyneestä tilasta alempaan energiatilaan se luovuttaa eli emittoi energiaa. Viritykset voivat purkautua joko suoraan perustilaan tai portaittain alempien viritystilojen kautta. Kuva 2 esittää elektronien energiatilojen muuttumista.



Kuva 2. Yksinkertainen atomin elektronien energiatilakaavio

Atomin vapauttaessa eli emittoidessa energiaa siitä lähtee tilojen energioiden eroa vastaava kvantti eli fotoni. Atomien viritystilojen purkautumisen seurauksena syntyy energiaperiaatteen mukaisesti säteilyä yhtälön (1) mukaisesti, jossa h on Planckin vakio, f on taajuus, λ (lambda) on aallonpituus ja ΔE on tilojen energioiden erotus. [3, s. 39–41.][4, s. 132–133.][5, s. 454–455, 470–473.][6.][7, s. 4–5.]

$$hf = hc/\lambda = \Delta E \quad (1)$$

Kun säteily kulkee aineen läpi, niin osa säteilystä absorboituu aineen atomeihin. Absorboitumisessa atomit virittyvät ja säteily vaimenee eksponentiaalisesti aineessa kuljetun matkan kasvaessa. Säteilyn vaimenemista aineessa voidaan kuvata niin sanotulla Beer-Lambertin absorptiolalla (2), jossa I on aineen läpi menneen säteilyn intensiteetti ja I_0 säteilyn intensiteetti ilman vaimentavaa ainetta, A absorbanssi eli vaimentuminen, ϵ aineen vaimennus- eli absorptiokerroin, c aineen konsentraatio eli esimerkiksi liuoksen väkevyyys ja l matka, jonka säteily kulkee aineen läpi. [3, s. 40, 43.][5, s. 446, 464–466.]

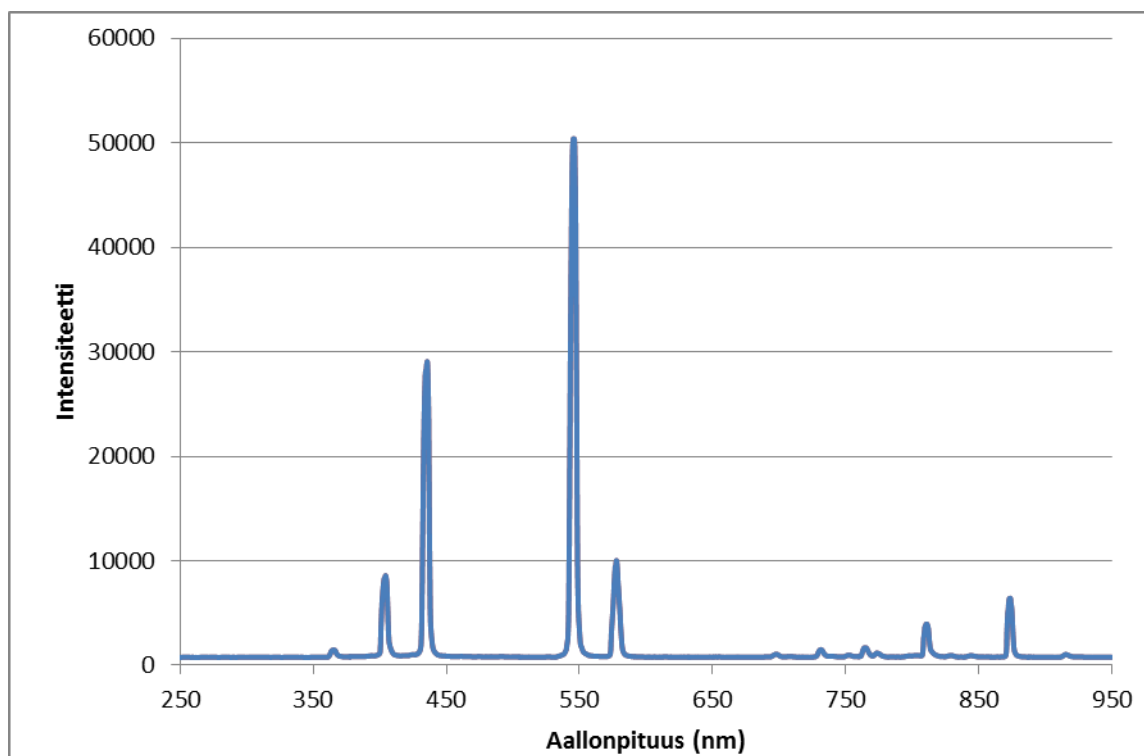
$$\log (I / I_0) = A = \epsilon cl \quad (2)$$

2.1.2 Spektrit

Sähkömagneettisen säteilyn spektrillä tarkoitetaan säteilyn voimakkuuden eli intensiteetin aallonpituusjakaumaa tai kääntäen taajuusjakaumaa. Valon tapauksessa käytetään yleensä aallonpituusjakaumaa. Spektrin määrittäminen edellyttää säteilyn jakamista sen sisältämiin aallonpituuksiin tai taajuuksiin. Aallonpituusjakauman tuottamiseen voidaan käyttää prismaa tai optista hilaa. [4, s. 132.][5, s. 467.][6.]

Näkyvälle valolle (Vis) ilmoitettu aallonpituusalue vaihtelee lähteestä riippuen ollen noin 390...750 nm [4, s. 132] tai 400...700 nm [5, s. 329, 331 ja 436]. Ultraviolettialueeksi (UV) kutsutaan aluetta, jonka aallonpituus on noin 30...400 nm [5, s. 331] tai yhdistettynä UV/Vis-alue on noin 175...750 nm [3, s. 48]. Infrapuna-alue on jaettu useisiin pienempiin alueisiin, jotka ovat lähi-infrapuna (NIR) 0,8...2,5 μm , keski-infrapuna (MIR) 2,5...25 μm ja kaukoinfrapuna (FIR) 25...1000 μm [3, s. 48][7, s. 41.].

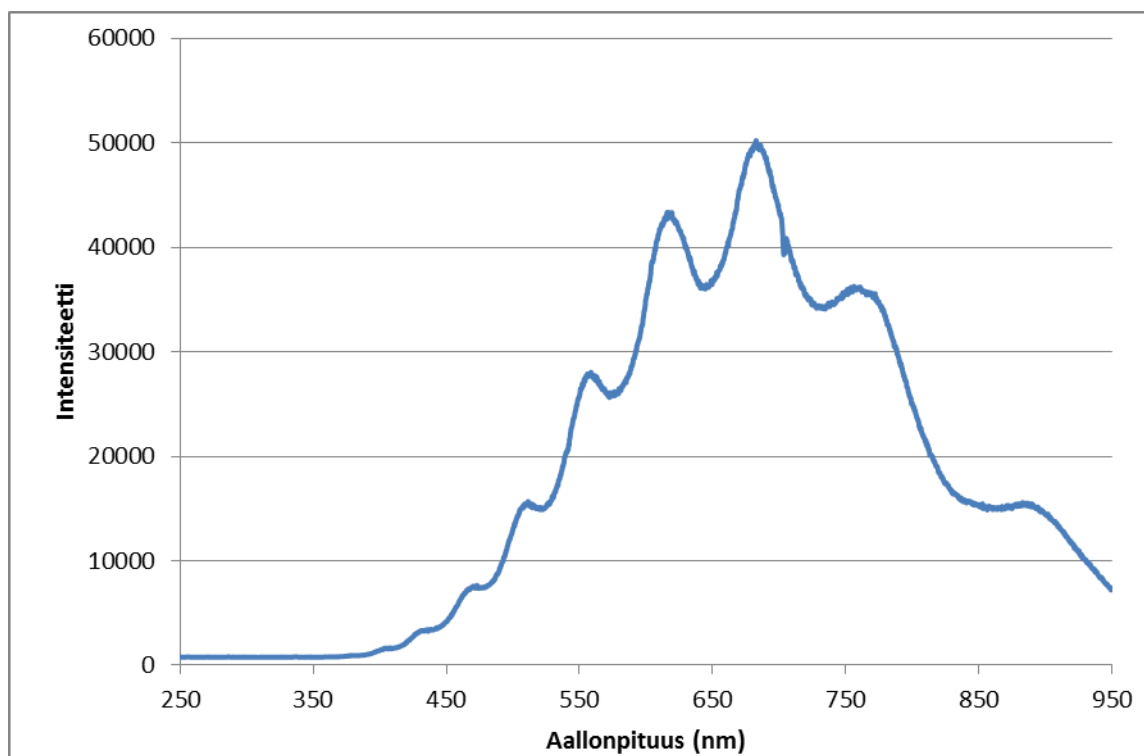
Spektri voi olla joko yhtenäisenä käyränä jatkuva spektri tai piikkejä sisältävä viivaspektri. Ihmissilmän havaitseman näkyvän valon väri riippuu sen aallonpituudesta. Hehkuvan kiinteän aineen, kuten hehkulampun tai hiilloksen sekä nesteen emittoiman (lähettämän) valon spektri on jatkuva. Jatkuva spektri tarkoittaa sitä, että se sisältää suuren määrän eri aallonpituuksille tasaisesti jakautuvaa sähkömagneettista säteilyä. Näkyvän valon alueella värit vaihtuvat toiseen ilman selviä rajoja. Epäjatkuva viivaspektri syntyy esimerkiksi harvennetussa kaasussa tuotettavalla sähkömagneettisella säteilyllä, kuten elohopeahöyrylampun spektri. Spektri on kaasun mukaan sille ominainen viiva- tai vyöspektri riippuen siitä, onko valo peräisin kaasuatomeista vai -molekyyleistä. Viivaspektri nähdään jatkuvasta spektristä poiketen siellä täällä erottuvina viivoina, jotka silmällä nähtävän valon tapauksessa näkyvät erivärisinä. [4, s. 132.][5, s. 467–469.][6.] Kuva 3 esittää esimerkiksi spektrometrien säätämiseen käytettävän elohopeahöyrylampun tuottamaa spektriä.



Kuva 3. Elohopea-argon, Hg (Ar), kynälampun tuottama viivaspektri, joka on mitattu tässä työssä kehitetyllä mittausjärjestelyllä.

Atomin perustilassa uloimmalla kuorella kiertäviä elektroneja kutsutaan valenssielektroneiksi. Valenssielektronien nostamisessa ylemmille kuorille tarvitaan vähiten viritysentergiaa. Juuri valenssielektronien palautumisesta takaisin alemmille tasoille aiheutuvat optiset spektrit eli näkyvän valon aallonpituudet. [4, s. 133–134.]

Jotta emissiospektri on havaittavissa, täytyy riittävän monen atomin purkautua viritystilosta kohti perustilaa. Viritystila voidaan saavuttaa monenlaisten prosessien kautta. Otetaan esimerkiksi hehkuva rauta/hilloso, hehkulamppu tai aurinko. Kiinteän kappaleen emittoimaa säteilyä kutsutaan mustan kappaleen säteilyksi. Mustan kappaleen säteilyn spektrin muotoa ja lämpötilariippuvuutta kuvaa Planckin laki. Riittävän kuumen aineen lähettämä valo on kirkaampaa, mutta jäähtyessään se muuttuu punertavaksi ja lopulta silmä ei enää erota sen lähettämää infrapunasäteilyä. Sähkövirralla kuumennetun hehkulampun hehkulangan tai auringon spektri valaisee kirkaasti, koska sen tuottama säteily sisältää kaikkia näkyvän valon aallonpituuksia, eli se tuottaa jatkuvan spektrin. [4, s. 133.] Kuva 4 esittää eräästä hehkulampusta mitattua spektriä.



Kuva 4. Hehkulampun tuottama jatkuva spektri, joka on mitattu tässä työssä kehitetyllä mittaussjärjestelyllä.

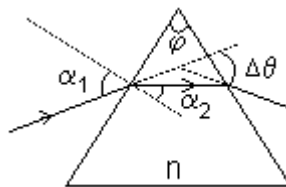
Harvennetussa kaasussa olevat atomit voidaan virittää kahden elektrodin välisellä sähköpurkauksella. Sähköpurkauksesta aiheutuu erillisistä terävistä viivoista koostuva viivaspektri, joka on jokaiselle alkuaineelle omanlaisensa, mistä seuraa se, että spektriä voidaan käyttää aineen tunnistamiseen. Edellä kuvatun mukaista sähkömagneettisen säteilyn analysointia kutsutaan emissiospektroskopiaksi. Toisaalta jatkuva spektri voidaan ohjata kaasun tai lioksen läpi. Osa aallonpituuksista absorboituu läpäistyyn aineeseen ja tämän jälkeen voidaan mitata absorptiospektri. Tätä analysointitapaa kutsutaan vastaavasti absorptiospektroskopiaksi. [5, s. 467–469.]

Alussa kerrottiin kaasumolekyyliden spektrien olevan vyöspektrejä, eli lähekkäisten spektriviivojen muodostamia vöitä. Vyöspektri muodostuu, koska molekyylin atomin viritystilan purkautuessa siihen voi liittyä erilaisia atomin pyörimis- ja värähtelyenergian muutoksia. Näiden muutosten takia molekyylien spektriviivat leviävät vöiksi, joiden tarkempi koostumus on nähtävissä vain hyvin tarkkoissa mittauksissa. [4, s. 134.]

2.2 Prisma

Sähkömagneettinen säteily voidaan jakaa spektriiksi prisman tai hilan avulla. Optinen prisma on yksinkertaisimmillaan kirkas (läpinäkyvä) kiilanmuotoinen lasi- tai muovikappale. Yksivärisen eli monokromaattisen valon kulkiessa prisman kylkien läpi taittuu valo molemmissa ilman ja kappaleen välisissä rajapinnoissa taittumislain (3) mukaisesti (Kuva 5). Prisman valmistusmateriaalista riippuva taitekerroin kyseiselle valolle on n , kulma φ (fi) on käytettävän prisman taittava kulma ja kulma $\Delta\theta$ (delta theeta) on valonsäteen kokonaispoikkeama. [4, s. 135.][5, s. 374.][6.]

$$\sin \alpha_1 / \sin \alpha_2 = n \quad (3)$$



Kuva 5. Monokromaattisen valon symmetrinen kulku prisman läpi [6]

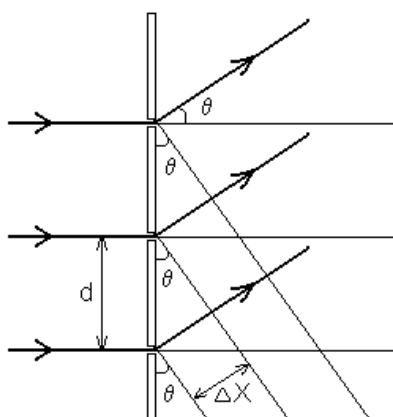
Tulo- ja lähtökulman välinen ero $\Delta\theta$ riippuu säteen tulokulmasta α_1 ja prismasta. Prisman materiaalista riippuvan taitekertoimen ja kulman φ kasvaessa poikkeamakulma $\Delta\theta$ kasvaa. Erikoistapauksessa (Kuva 5) valonsäde kulkee symmetrisesti eli yhdensuuntaisesti prisman kolmannen kyljen kanssa. Tässä tilanteessa poikkeama on minimissään θ_{\min} . Kuviota tarkastelemalla voidaan taittumislain (3) avulla taitekertoimelle johtaa yhtälö (4). [4, s. 135.][6.]

$$n = \sin^{1/2}(\varphi + \theta_{\min}) / \sin^{1/2} \varphi \quad (4)$$

Valo saadaan jaettua prismassa eri aallonpituuksiksi, koska aineen taitekerroin muuttuu valon aallonpituuden muuttuessa. Ilmiötä kutsutaan dispersioksi. Yleensä aineen taitekerroin suurenee aallonpituuden lyhentyessä, eli violetti valo taittuu enemmän kuin punainen ja infrapunasäteily taittuu vähemmän kuin ultraviolettisäteily. [4, s. 135.][5, s. 372–374.][6.]

2.3 Hila

Optinen läpäisyhila on yksinkertaisimmillaan lasilevy, johon on tehty tasaisin välein yhdensuuntaisia naarmuja esimerkiksi timanttia käyttäen. Naarmujen väleissä olevista raoista valo pääsee läpi. Tavallisissa optisissa hiloissa on noin 200...3000 rakoja per millimetri. Rakojen välinen etäisyys d määrää hilan hilavakion. Kuva 6 esittää miten monokromaattinen valo taipuu tullessaan kohtisuorasti hilaan. [4, s. 134.][5, s. 396–397.][6.]



Kuva 6. Monokromaattisen valon taipuminen hilassa [6]

Valon hajoaminen hilassa voidaan selittää interferenssin ja Huygensin periaatteen avulla. Sen mukaan hilan raot toimivat alkeisaaltojen lähtöpisteinä. Tietyissä suunnissa aallot interferoivat vahvistaen toisiaan. Interferenssi on vahvistava suunnissa, joissa viereisistä raoista lähtevien aaltojen matkaero $d \sin(\theta)$ on aallonpituuden λ monikerta. Hilaan kohtisuorasti tulevan valon taipuminen noudattaa hilayhtälöä:

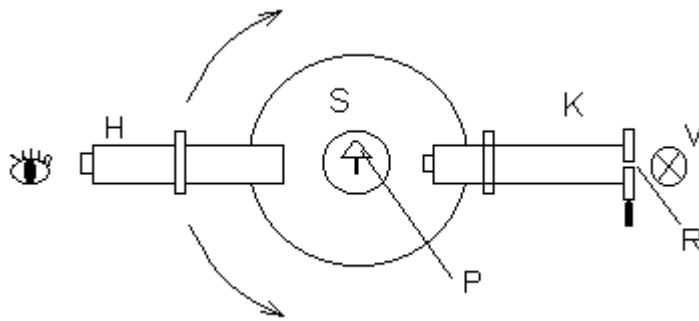
$$d \sin(\theta) = k\lambda, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (5)$$

jossa k on intensiteettimaksimin kertaluku.

Tarkasteltaessa tiettyä k :n arvoa säteen taipumiskulma kasvaa aallonpituuden kasvaessa. Näin hilaan tuleva eri aallonpituuksia sisältävä valo leviää havaittavaksi spektriiksi. [4, s. 134–135.][5, s. 387–390, 395–397.][6.]

2.4 Spektrometri

Kuten edellä on kerrottu, hilan tai prisman avulla sähkömagneettinen säteily voidaan jakaa havainnoimista varten. Sitä ja yksinkertaisia mittauksia varten voidaan käyttää yksinkertaista spektrometria (Kuva 7), jonka alustalle asetetaan joko prisma tai hila. [4, s. 136.]



Kuva 7. Yksinkertaisen spektrometrin periaatekuva [6]

Yksinkertaisen spektrometrin pääosat ovat kollimaattori K, kaukoputki/havaintoputki H sekä niiden välissä oleva taso S, jolle prisma P tai hila asetetaan. Tutkittavaa valoa V päästetään säädettävän raon R läpi kollimaattoriin K. Kollimaattoriputkessa olevan linssin avulla valosta saadaan yhdensuuntainen sädekimppu prismaan tai hilaan. Kun havaintoputken okulaarissa oleva hiusristikko asetetaan tutkittavan spektriviivan kohdalle, voidaan kulmalukema katsoa alustan noniusasteikolta. [4, s. 136.][6.] Kulmalukeman ja edellä esiteltyjen yhtälöiden avulla voidaan laskea tarkasteltavan spektriviivan aallonpituus.

Aallonpituuksien määrittämiseksi pitää tehdä asteikko tunnettujen aallonpituuksien avulla. Myöhemmin niiden avulla arvioidaan laitteiston toimintaa ja tarvittaessa säädetään asteikkoa. Prismaspektrometrin viivat ovat voimakkaita ja sillä havaitsee helposti viivoja, jotka eivät näy hilaspektrometria käytettäessä. Hilaspektrometrin erotuskyky, tarkkuus ja lineaarisuus ovat kuitenkin ylivoimaisesti parempia verrattuna prismaa käyttävään spektrometriin. [4, s. 136.][6.]

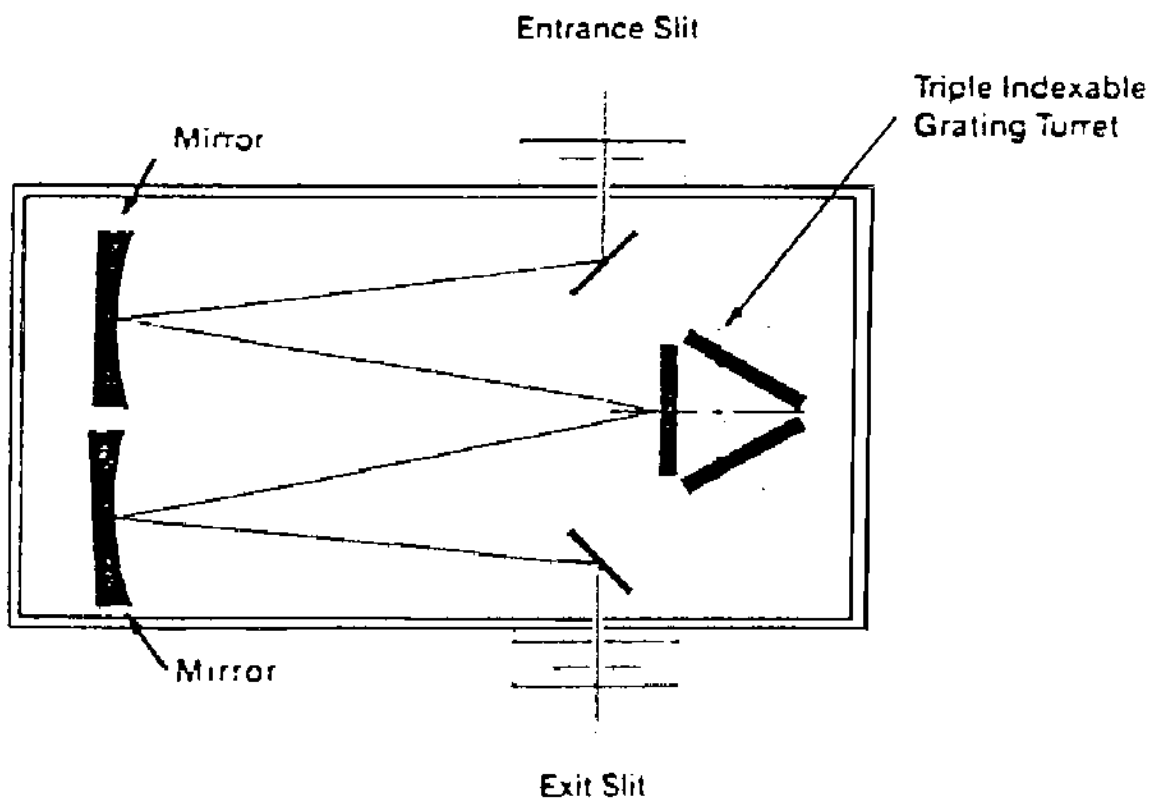
Spektrometrejä on ollut kaupallisesti saatavilla 1940-luvulta lähtien. Alussa säteilyn hajottamiseen spektriin käytettiin prismaa, mutta 1950-luvun puolivälissä hilan käyttö alkoi yleistyä. [7, s 1–2.] Kaupalliset spektrometrit ovat koteloituja ja niissä käytettävät hilat ovat yleensä heijastushiloja, joissa rakojen sijaan on esimerkiksi kiiltävään metallipintaan naarmutettuja uria.

3 TYÖSSÄ KÄYTETYT LAITTEET JA OHJELMISTOT

Seuraavassa esitellään laitteita ja ohjelmistoja, joita spektrometrin kehityksen aikana käytettiin. Spektrometriprojektin tarkka laitteistokokoonpano ei ollut tiedossa työn alkaessa. Niinpä alkuvaiheessa tutustuttiin vaihtoehtoihin tässä esiteltyä laajemmin.

3.1 Spektrografi / monokromaattori

Tätä spektrometrijärjestelmää varten tuli käytettynä hankittu spektrografi ja siihen kuuluva ohjainlaite. Spektrografikonaisuuden merkki ja malli on EG&G Princeton Applied Research Model 1235 Digital Triple Grating Spectrograph. Ohjainlaitteessa on myös merkinnät Acton Research Corporation ja Model 275355S. Tietojen perusteella Princeton Instruments lähetti käyttöohjeen [8] ARC SpectraPro 275 -malliin (myöhemmin lyhyesti SP-275). Kuva 8 esittää spektrografin rakenteen.



Kuva 8. Käytetyn SP-275 spektrografin periaatekuva [8]

Spektrografi on Czerny-Turner-tyyppinen, johon lisätyillä peileillä ulostulevat säteet on saatu samaan optiseen linjaan sisään menevien säteiden kanssa [8, s. 5]. Czerny-Turner on melko yleinen tyyppi ja periaatteeltaan samankaltainen Fastie-Ebert-tyypin kanssa. Fastie-Ebertin yhteen isoon koveraan peiliin verrattuna Czerny-Turner käyttää kahta peiliä, mikä antaa enemmän mahdollisuuksia peilien sijoittelussa ja rakenteen suunnittelussa. [9.]

Tuloaukossa oleva kapea rako (slit) on säädettävissä integroidun mikrometrin avulla. Ensimmäinen peili ohjaa sisään menevät säteet säädettävälle hilalle, joka heijastaa ne eri kulmassa aallonpituudesta riippuen. Spektrografissa on heijastushilat, joissa urat on naarmutettu kiiltävään metallipintaan, mutta niiden toiminta on samankaltaista kuin teoriaosuudessa käsitellyissä läpäisyhiloissa. Toinen peili kohdistaa säteet lähtöön, jossa ne ovat eri kohdissa aallonpituuksien mukaisesti. Monokromaattorina käytettäessä säteet ohjataan ulostuloon lisättävän kapean raon lävitse, jolloin ulos saadaan säteet kapealta aallonpituusalueelta. [9.] Spektrografina käytettäessä ulos halutaan kerralla laajempi aallonpituusalue, jota mitataan esimerkiksi CCD-kennolla, siten että kennon eri pisteet ilmaisevat eri aallonpituuksien intensiteetin.

Käytössä oleva spektrografi sisältää hilan vaihtoon ja asennon säätämiseen liittyvän mekaniikan. Spektrografissa on kääntyvä alusta (turret). Alustassa on kolmion muodossa kiinnityspaikka 3 hilalle, eli pyöräyttämällä alustaa noin 120° saadaan valo heijastumaan eri hilan kautta. Alustaa käännetään spektrografissa kiinni olevalla askelmoottorilla. Käytettävän hilan valinnalla voidaan vaikuttaa mittauksen resoluutioon. Heijastamalla detektorille pienempi osa aallonpituusalueesta saadaan suurempi resoluutio. Säätämällä käytettävän hilan asentoa askelittain saadaan haluttu aallonpituusalue kohdistettua detektorin alueelle, muiden aallonpituuksien vaimentuessa spektrografin seinämiin. Spektrografin aallonpituusalue alkaa 185 nm:stä ja päättyy 1400 nm:iin, kun käytetään hilaa, jossa on 1200 uraa/mm. Se kattaa hyvin mittauksissa tarvittavan alueen [8, s. 5].

3.2 Mittaustietokone

Aluksi kehityskäytössä oli Kajaanin AMK:n kannettava tietokone, jossa oli asennettuna LabVIEW 2009. Koska MIKESin ulkopuolista konetta ei voinut kytkeä lähiverkkoon, käytettiin tiedonhakuun ja tietokantayhteyden kokeiluun MIKESin kannettavaa tietokonetta.

Alussa mittauskäyttöön oli tulossa oma kannettava tietokone. Sen myötä mittauslaitteisto olisi helpommin siirrettävissä muualla tehtäviä mittauksia varten. Käytettävästä ilmaisimesta/kamerasta riippuen saattaa olla tarvetta Firewire-liitännälle. Vanhemman kameran mahdollisesti vaatima liitännäkortti on järkevästi kytkettävissä vain pöytäkoneeseen. Spektrografin ohjaus, tulevaisuudessa mahdollisesti näytepumpun ohjelmointi tai muutkin laitteet tarvitsevat sarjaportteja. Koneen saavuttua todettiin sen olevan minitornikoteloinen versio Dell Optiplex 780 -mallista ja havaittiin, että siinä on kaksi sarjaporttia, mutta ei Firewire-liitännää. Koneessa oli kuitenkin vapaita laajennuspaikkoja, joten tehtäväksi tuli etsiä kokoonpanoon sopiva Firewire-lisäkortti.

Firewire-lisäkortti

Vertailtaessa suomalaisissa verkkokaupoissa tarjolla olevia Firewire-lisäkortteja huomattiin mallien keskittyvän yhden valmistajan tiettyyn Firewire 800 -lisäkorttiin. Kuitenkin pelkkiä Firewire 800 - tai Firewire 400 -liitännöjä sisältävä kortti rajoittaa laitteiden käyttämistä. Lopulta valittiin sekä 6-napaisia Firewire 400 - että 9-napaisia Firewire 800 -liitännöjä sisältävä SUNIX SX-126 PCI-Express -laajennuskortti [10]. Yhdistelmäkortti saatiin lopulta halvemmalla hinnalla (29 €) kuin Firewire 800 -lisäkortit, joiden hinnat alkoivat 50 eurosta.

Sunix SX-126 -laajennuskortin käyttöohjeen mukaan korttiin pitää kytkeä erillinen virtaliitin jos kameran tai muun laitteen virrantarve ylittää 500 mA 12 V jännitteestä [10]. Ilmeisesti pelkän PCI Express -väylän liittimen kautta voi ottaa noin 6 W tehoa, mikä on hieman yli kaksi kertaa enemmän kuin 2,5 W, minkä alkuun käytettävä kamera tarvitsee [14][15].

Käyttöjärjestelmästä ja LabVIEW'n versioista

Alkuun käytössä olleella kehityskoneella Windows XP (32-bittinen) ei muodostanut yhteensopivuusongelmia, ja LabVIEW on yleensä uudempiin versioihin päin yhteensopiva.

Mittaustietokoneen käyttöjärjestelmäksi piti tulla Windows 7, ja siitä 64-bittinen versio. MIKESissä käytetään yhteensopivuuden varmistamiseksi vielä pääasiassa 32-bittistä Windows XP -käyttöjärjestelmää. Yksikössä, jossa työtä tehtiin, oli ennestään vasta yksi Windows 7 -käyttöjärjestelmällä varustettu kannettava tietokone. National Instrumentsin tukisivujen [11] mukaan LabVIEW on yhteensopiva 64-bittisen Windowsin kanssa versiosta 2009 eteenpäin. Mahdolliseksi ongelmakohtaksi olisi voinut muodostua vanha kamera erillisellä liitäntäkortilla.

Mittaustietokoneen asennus

Mittaustietokoneeseen tehtiin ennen sen käyttöä MIKESin toimesta Windowsin uudelleenasennus sekä verkkoasetusten ja perusohjelmien asennukset. Itse asiassa työ tehtiin kahteen kertaan jonkin Windowsin ongelman takia. Lopulta mittaustietokone saatiin käyttöön ja siihen päästiin asentamaan käyttötarkoituksen vaatimat asiat, mukaan lukien hankittu Firewire-lisäkortti. Alkuvaiheessa huomattiin, ettei koneessa ollutkaan 64-bittistä Windowsia, vaan 32-bittinen versio. Tiedossa ei kuitenkaan ollut 32-bittisyydestä aiheutuvia haittapuolia, sillä useimmat ohjelmat (ajurit) toimivat ainakin 32-bittisessä ympäristössä.

3.3 Ilmaisin

Työtä aloitettaessa käytettävästä ilmaisimesta ei ollut vielä tarkkaa tietoa. Tiedossa oli kuitenkin, että ilmaisimeksi tulee jonkinlainen kamera, koska kipinän tuottama emissiospektri täytyy saada mitattua kerralla usealta aallonpituudelta. Mahdollisen kameran tulee olla spektrometrikäyttöön soveltuva CCD- tai CMOS-kennolla oleva mustavalkokamera.

Tulevissa mittauksissa tarvitaan UV-alueelle yltävää aallonpituusaluetta. Erilaisten mittausten ja niiden toistettavuuden takia valotusajan tulee olla tarkasti säädettävissä laajalla alueella. Tuki ulkoiselle triggaukselle mahdollistaa mittauksen ohjauksen esimerkiksi mitattavaa tapahtumaa ohjaavasta järjestelmästä. LabVIEW-tuki helpottaa kameran käyttöä ohjelmallisesti.

Vanhat kamerat voivat vaatia oman erillisen liitäntäkortin käyttöä. Uusi kamera saattaa käyttää Firewire- tai USB-väylää. Jäähdytetty kamera kohisee vähemmän, ja sen ominaisuudet pysyvät vakaampina jäähdyttämättömään verrattuna. Jäähdytyksellä varustetut kamerat

kuitenkin maksavat useita tuhansia euroja. Lopullisen kameran suunniteltu hintaluokka oli noin 5000 euroa.

Normaalien televisio- ja kotikäytössä videoiden kuvaamiseen käytettävien kameroiden sijaan teollisuus- ja erikoiskäyttöön on olemassa paljon erilaisia ja erilaisilla ominaisuuksilla varustettuja kameroita. Vaikka osa niistä käyttää Firewire-väylää, standardi on kuitenkin eri kuin esimerkiksi kuluttajakäyttöön tarkoitetuissa videokameroissa.

2D-kamera tuottaa spektrometrikäyttöön tarpeettoman suuren kuvan pystysuunnassa, joten sitä pitää rajata. Kuitenkaan ei riitä, että kuvasta otetaan yksinkertaisesti vain yksi rivi spektriviivan kohdalta. Laskemalla spektrin arvo useammasta rivistä, saadaan signaali-kohinasuhdetta (SNR) paremmaksi. Spektrin leveys tai paikka kameran ottamassa kuvassa voi myös vaihdella, joten sitäkin voi samalla tarvittaessa rajata.

3.3.1 Point Grey Research -CCD-kamera

Kun varsinaista työssä käytettävää ilmaisinta vielä ei ollut päätetty, niin tilapäisenä vaihtoehtona kokeiltavana oli Point Grey Research (PGR) -merkinen Flea 2 -mallisarjan kamera. Tarkemmin kyseessä oli mallimerkinnältään Flea 2 FL2-08S2M oleva CCD-kamera, jonka resoluutio on 1036x776 kuvapistettä [12]. Kamerassa on 12-bittinen AD-muunnin, joten vaikka se antaakin 16-bittistä dataa, niin vain 12 bittiä ovat merkitseviä [13, s. 39, kappale 4.5.9].

Kamera ei ole jäähdytettyä mallia. Käytännössä asia on päinvastoin, sillä teknisissä tiedoissa kerrotaan, että on normaalia että pieneen tilaan pakatun kameran kotelon ulkolämpötila nousee +45 °C asti. [13, s. 11, kappale 1.7.1]. Kamerassa on 9-napainen IEEE 1394b / Firewire 800 -liitäntä, mutta mukana oli edellisen käytön jäljiltä vain adapterikaapeli 6-napaiseen IEEE 1394a / Firewire 400 -liittimeen. Kameran tietojen mukaan sen tehonkulutus on alle 2,5 wattia, kelvollisen käyttöjännitteen ollessa 8...30 V. [14.][15.]

Kameralle ei ole ilmoitettu suoraan aallonpituusalueita, mutta teknisistä tiedoista löytyvät herkkyyskäyrät aallonpituuden funktiona (Kuva 9). Tulkintatavasta riippuen PGR Flea 2 FL2-08S2M -CCD-kameran aallonpituusalue alkaa 200 tai noin 325 nm ja päättyy noin 1000 nm. [13, s. 49.]

3.3.2 Alphas-CCD-viivakamera

Myöhemmin spektrometrikäyttöön hankittiin Alphas CCD-S3600-D-UV -CCD-viivakamera. Laite vaikutti hyvin soveltuvalta käyttötarkoitukseen (UV-herkempi versio, laajalla alueella säädettävä lukunopeus). Lisäksi laitteelle luvattiin hyvää LabVIEW-tukea ja esimerkkejä, myös C++-kielisiä esimerkkejä [16, s. 18]. 2D-kameraan verrattuna 1-ulotteisen viivakameran data antaa spektrin valmiina, eikä sitä tarvitse rajata ja muodostaa isosta kuvasta. Laite maksaa noin 1300 euroa ilman toimituskuluja.

Manuaalissa kuvataan useita parannuksia vanhempiin malleihin ja kilpailijoihin verrattuna. Liitännän suhteen käytössä on uusi FTDI:n muokkaamaton USB 2.0 -ohjain, joka on käytännössä virtuaalisarjaportti. Muokkaaminen, uudelleennimeäminen tai muutettu laitetunnus voivat aiheuttaa ajuriongelmia, kun taas perustiedoilla käytettynä virtuaalisarjaportti asentuu jopa automaattisesti ja käytettävissä on FTDI:n uusimmat ajurit kaikilla tuetuilla käyttöjärjestelmillä ja niiden versioilla. [16, s.14.]

Laitteen ohjaus on toteutettu Xilinxin FPGA-piirillä, joka mahdollistaa mikrokontrolleripohjaisiin ratkaisuihin verrattuna nopeammat ja monipuolisemmat toiminnot. Laitteessa on 16-bittinen AD-muunnin [16, s. 12], kun aiemmin käytetyssä kamerassa on vain 12-bittinen. Laitteessa on myös runsas 32 Mt DDR2 SDRAM -muisti, kun muissa on yleensä vain muutama kilotavu muistia. Muistiin voidaan tallentaa jopa 4599 näytettä eli riviä maksimitaajuudella 269,5 kuvaa sekunnissa. [16, s. 11–13.]

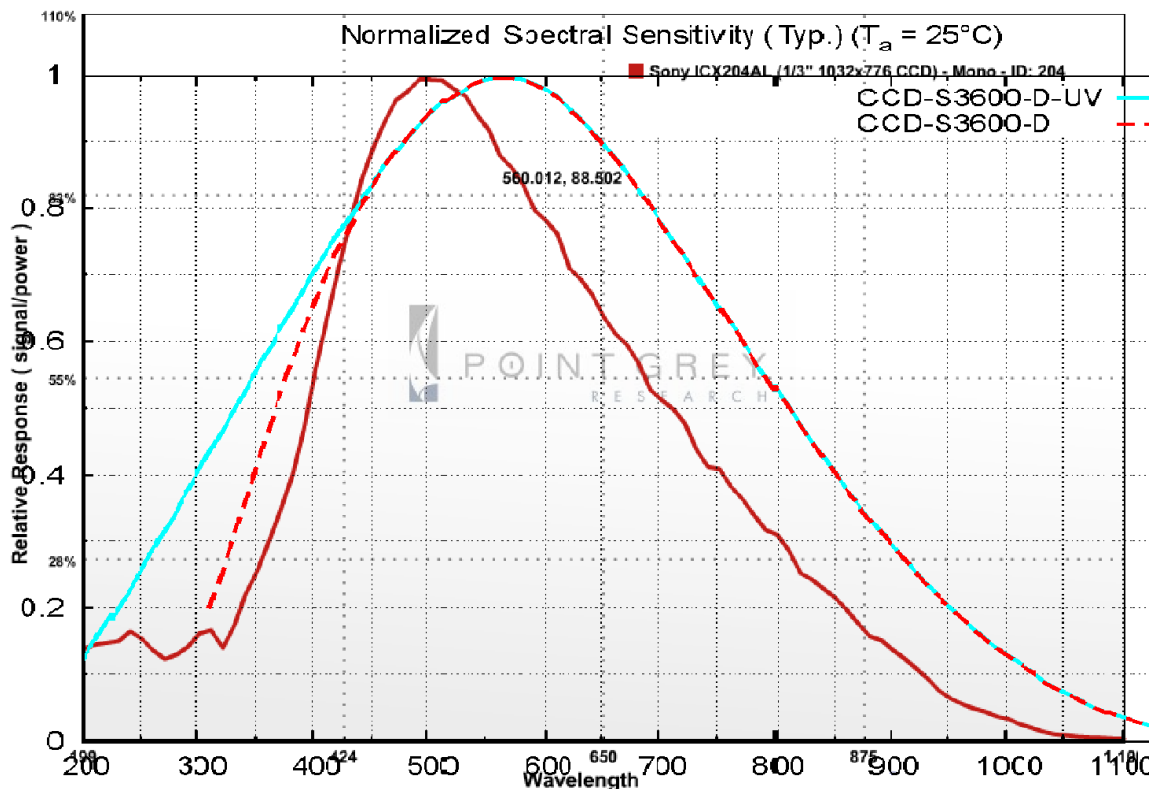
Rivikennossa on 3648 luettavaa pikseliä. Kennon pikselit ovat 8 μm leveitä, josta seuraa että kennon leveys on yhteensä 29,184 mm. Pikselit eivät ole neliön muotoisia, vaan ne ovat 200 μm korkeita, jotta saavutetaan suurempi valonkeräystehokkuus. [16, s.16.] Näytteitä voidaan ottaa peräkkäin ilman taukoja, eli peräkkäisten näytteiden välissä ei mene hetkeäkään hukkaan kun edellistä näytettä siirretään kennolta muistiin [16, s. 26]. Kuvien välinen aika ei voi olla lyhyempi kuin 3710 μs , eli 3,71 ms, koska edellisen valotuksen luenta ja siirtorekisterin alustus kestää sen ajan [16, s. 28], mutta kehittyneen tekniikan ansiosta valotusaika voi olla välillä 10 μs – 1 minuutti [16, s. 16].

Laitteessa on kaksi ulkoista triggaus-liitäntää, trig in ja trig out. Esimerkiksi kun tarkkailtava ilmiö on aktiivinen, voidaan näytteenotto aktivoida ulkoista liipaisua (external trigger) käyttämällä [16, s. 36]. Toisaalta CCD-viivakameran ohjaus voi antaa liipaisusignaalin ulos

(trig out) jopa hieman ennen valotusta, jolloin sitä voidaan käyttää esimerkiksi kipinän tuoton aktivoimiseen. Ainakin esimerkkiohjelmat on tehty niin, että ne jumittuvat, jos ilmaisinta käytetään ulkoisen liipaisun tilassa eikä signaalia sitten tulekaan. Ratkaisuna on vain käyttää laite irti USB-väylästä, mikä aiheuttaa aikakatkaisun. [16, s. 39.]

Kipinämittausten tapauksessa ollaan näkyvän valon aallonpituusalueen lisäksi kiinnostuneita myös ultraviolettialueesta, jonka aallonpituus on noin 30...400 nm [5, s. 331]. Piianturille on tyypillistä, että herkkyys muuttuu aallonpituuden muuttuessa. Alphalas-CCD-viivakameran UV-versiolla pystytään havaitsemaan aallonpituuksia jo 200 nm alkaen ja alue ulottuu infrapuna-alueelle 1100 nm asti (Kuva 9) [16, s. 9].

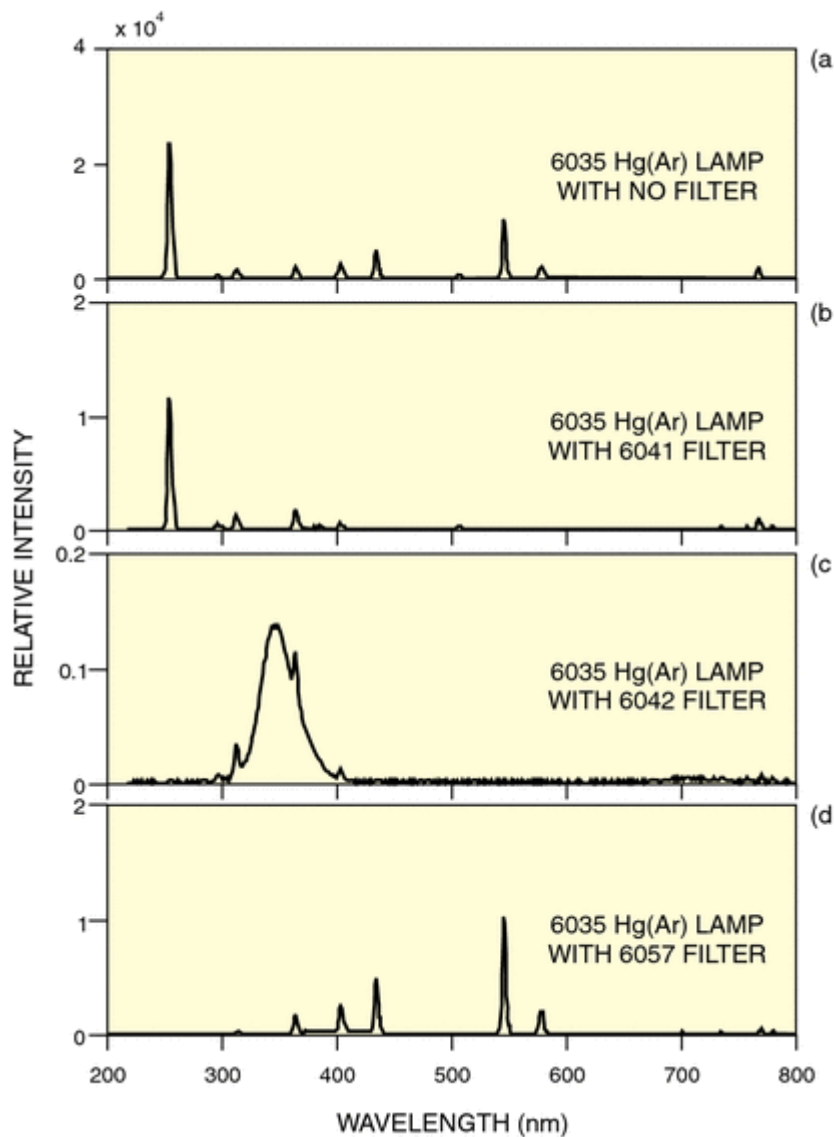
Kuva 9 esittää PGR Flea 2 FL2-08S2M -CCD-kameran ja Alphalas CCD-S3600-D(-UV) -viivakameran aallonpituuden suhteen kuvatut herkkyyskäyrät. Verrattuna ensin käytettyyn PGR Flea 2 -CCD-kameraan, Alphalas-CCD-viivakameran aallonpituusalue on hieman suurempi. [13, s. 49.][16, s. 20.]



Kuva 9. PGR Flea 2 -CCD-kameran (yhtenäinen punainen viiva) ja Alphalas CCD-S3600-D(-UV) -viivakameran herkkyyskäyrät päällekkäin sovitettuna. [13, s. 49.][16, s. 20.]

3.4 Newport Oriel -elohopeakynälamppu

Spektrometrin testausta ja säätöä varten käyttöön saatiin pidikkeellä (63670) ja kuitusovittimella (6058NS) varustettu elohopeakynälamppu [17]. Kyseessä on Newport Orielin tuote 6035 Hg (Ar), joka on elohopea-argon-kalibrointilamppu [18]. Kynälamppujen yleiseltä esittelysivulta löytyy taulukko aallonpituuksista ja muutamia kuvia kyseisen elohopeakynälampun spektreistä. Kuva 10 esittää 6035 Hg (Ar) -kalibrointilampun spektrejä ilman suodatinta ja erilaisten suodattimien kanssa. [19.]



Kuva 10. Newport Oriel 6035 Hg (Ar) -kalibrointilampun spektrejä [19]

3.5 Käytettyjä ohjelmia

Spektrometrin ohjausohjelman kehityksessä käytettiin seuraavia ohjelmointiympäristöjä, työkaluja ja muita ohjelmistoja:

- LabVIEW-ohjelmointiympäristö ja muut NI:n ohjelmistot
 - LabVIEW 2009 (+Run-Time Engine [20])
 - LabVIEW 2010 [21] (+Run-Time Engine [22])
 - NI-VISA (5.0.3 tai uudempi) [23]
 - NI-VAS (NI-IMAQdx lisenssi vaaditaan IEEE 1394 -kameraa varten) [24]
- Tietokantojen hallinta, suunnittelu ja käyttö
 - XAMPP (1.7.4) [25]
 - MySQL Workbench (5.2.34 Community Edition) [26].
 - MySQL GUI Tools Bundle (5.0-r17) [27], jolla saadaan yhteys vanhempaan tietokantapalvelimeen.
 - LabSQL [28]

3.5.1 LabVIEW

LabVIEW on National Instrumentsin tekemä ohjelmointiympäristö, jossa ohjelma tehdään graafisesti G-kielellä tekstimuotoisen ohjelmakoodin kirjoittamisen sijaan, kuten esimerkiksi C-kielellä ohjelmoidessa tehdään. Toisinkuin tekstipohjaisessa ohjelmakoodissa, missä käskyjen järjestys määrää ohjelman suorituksen, LabVIEW käyttää tietovuotyypistä ohjelmointia, missä tiedon (data, muuttujat) kulkeminen määrittää ohjelman suorituksen. [29, s. 1-2.][30, s. 1–4.]

LabVIEW:ssä käyttöliittymä rakennetaan valmiista ohjelmointiympäristön tarjoamista objekteista, kuten tekstikentät, napit ja graafiset näytöt. Käyttöliittymää kutsutaan LabVIEW:ssä etupaneeliksi (Front Panel). Käyttöliittymän elementit näkyvät koodipuolella, siltä osin kuin ne ovat muokattavissa. Joko käyttäjä antaa niillä tietoa ohjelmalle (kontrollit) tai ohjelma näyttää tietoja käyttäjälle (indikaattorit). Koodipuolta kutsutaan LabVIEW:ssä lohkokaavioksi (Block Diagram). Lohkokaaviossa funktioita eli toimintoja tekeviä aliohjelmia kuvataan erilaisilla ikoneilla. Käyttöliittymäelementtien ja funktioiden välillä tehdään langoituksia, jotka kuvaavat tiedon kulkua objektien ja funktioiden välillä. Tavallaan

LabVIEW'n lohkokaavio muistuttaa vuokaaviota, jota voidaan käyttää kuvaamaan perinteisten tekstipohjaisten ohjelmakoodien toimintaa. LabVIEW ohjelmia kutsutaan virtuaali-instrumenteiksi (VI). [29, s. 1-2-1-4.][30, s. 15-17.]

LabVIEW on kehitetty erilaisia mittaussovelluksia varten, ja se soveltuu esimerkiksi testaus- ja mittausohjelmien, tiedonkeräyksen, laitteiden ohjauksen ja mittausten raportoinnin tarpeisiin. LabVIEW tukee, ainakin esimerkiksi NI-VISA-lisäosan asentamalla, monia väyliä ja laitteita, esimerkiksi GPIB, VXI, PXI, RS-232, RS-485 ja NI DAQ -laitteet. LabVIEW tukee myös TCP/IP:tä ja voi toimia jopa web-palvelimena. Windows-ympäristössä voidaan käyttää myös ActiveX-rajapintaa kolmannen osapuolen sovellusten kanssa. [29, s. 1-2.][30, s. 2-4.]

3.5.2 LabVIEW'n apuohjelmia ja lisäosia

MAX

MAX-ohjelmassa (Measurement & Automation Explorer) voidaan testata ja varmistaa erilaisten laitteiden toiminta ennen kuin niitä yritetään käyttää LabVIEW-ohjelmissa. Esimerkiksi GPIB- tai USB-väyläisten laitteiden kanssa MAX-ohjelman avulla on hyvä testata ja varmistaa laite- ja ajuripuolen toimivuus. Jos laitteeseen ei saada yhteyttä MAXissa, on sitä turha yrittää LabVIEW-ohjelmasta käsin.

NI-VISA

NI-VISA-lisäosan [23] (Virtual Instrument Software Architecture) asentamalla MAX-ohjelmassa voidaan käsitellä liitäntöjä ja väyliä alkaen tavallisesta sarjaportista GPIB-väylään ja muihin VISA:n tukemiin liitäntöihin ja väyliin. Lisäosan asennus mahdollistaa VISA-funktioiden käytön myös LabVIEW-ohjelmissa.

IDNet

National Instrumentsin IDNet-palvelusta (Instrument Driver Network) [31] löytyy satoja LabVIEW-ympäristön kanssa käytettäväksi tarkoitettuja ajureita, varsinkin NI:n laitteille ja

muille vastaaville. Palvelussa ei kuitenkaan ole ajureita Acton-/Princeton-laitteille yhtä poikkeusta lukuun ottamatta. SP-150-ajuri [32] ladattiin ja sitä tutkittiin hieman. Vaikka ajuri käytti VISA-kirjastojen sijaan vanhoja GPIB-väylän funktioita, pystyttiin sen rakenteen pohjalta lähteä tekemään SP-275-spektrografin RS-232-sarjaliitintä käyttävää ajuria.

NI-VAS, NI-IMAQ ja NI-IMAQdx

NI-VAS (Vision Acquisition Software) on ajuriohjelma kameroiden käyttämiseen. NI-IMAQ on ajuri, jonka avulla pystytään käyttämään esimerkiksi NI:n älykaineroita. NI-IMAQdx on erillisen lisenssin vaativa ajuri, joka tukee muun muassa teollisuuskäyttöön tarkoitettuja IEEE 1394 -kaineroita ja sisältää kuvankäsittelyssä hyödyllisiä toimintoja. [24.]

3.5.3 Tietokantojen hallinta, suunnittelu ja käyttö

XAMPP, MySQL WorkBench ja MySQL GUI Tools

Ensimmäiseksi ladattiin ja asennettiin XAMPP, joka sisältää muun muassa Apache-web-palvelimen, MySQL-tietokantapalvelimen ja PHP-ympäristön. Näistä hyödynnettiin vain MySQL:ää ennen kuin käytettävissä oli verkossa oleva tietokanta. MySQL-palvelinten hallintaa ja tietokantojen suunnittelua varten ladattiin ensin MySQL WorkBench. Vanhemman palvelimen hallintaa ja tietokantojen suunnittelua varten ladattiin lisäksi vanha MySQL GUI Tools -ohjelmapaketti.

LabSQL

LabSQL on LabVIEW-lisäosa, jonka avulla voidaan käyttää ODBC-ajurin (Open Database Connectivity, avoin tietokantarajapinta) kautta SQL:ää (Structured Query Language, tietokantojen kyselykieli) tukevia tietokantoja. LabSQL:n toiminnot saadaan käyttöön LabVIEW-ohjelmointiympäristössä kopioimalla/purkamalla LabSQL:n sivuilta [28] ladatun paketin sisältö LabVIEW'n asennuskansion (esimerkiksi Program Files\National Instruments\LabVIEW 2010) alla olevaan user.lib-kansioon. Tämä on myös NI:n suosittelu tapa. [29 s. 10-21.]

3.5.4 Muita ohjelmia ja työkaluja

ARC SpectraPro SDK

ARC_SpectraPro_SDK.zip-tiedosto sisältää Windows dll-kirjastotiedoston ja sitä käyttäviä esimerkkejä monilla ohjelmointikielillä, mukaan lukien 5 LabVIEW-esimerkkiä. Ohjelmista yksi on tehty liian vanhalla LabVIEW'illä eikä se avaudu ja kaksi esimerkkiä eivät koske spektrografin käyttöä. Jäljelle jääneet esimerkit jumittivat koko LabVIEW-ympäristön niiden yrittäessä tunnistaa käytettävää sarjaporttia. Niinpä tästä SDK:sta ei ollut apua.

Scientific Imaging ToolKit

Princetonin tuki mainitsi myytävänä olevasta paketista, jossa on viimeistellymmät LabVIEW-toiminnot. Selvitettiin, että kyseessä on SITK (Scientific Imaging ToolKit) [33]. Pakettia myydään muidenkin spektrometrilaitteistojen yhteydessä ja se on R Cubed Software -yrityksen kehittämä [34]. Päätettiin olla hankkimatta kallista pakettia, jossa maksaa turhaan muiden laitteiden tuesta.

MonoControl

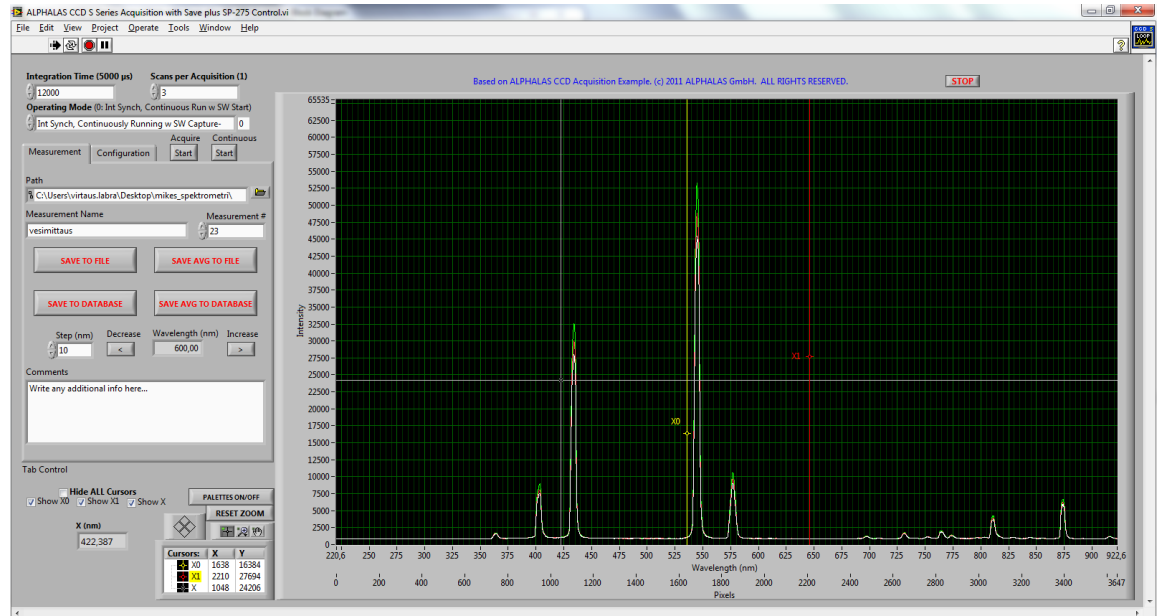
Princeton Instruments MonoControl tukee myös muilla nimillä myytyjä vanhoja laitteita [35]. Ohjeen [36] avulla voi tarvittaessa säätää spektrografin hilojen tietoja, jotta aallonpituudet tulevat paremmin kohdalleen.

Mittaustietokoneen ohjelmien asennus

Ensimmäisten ohjelmien joukossa asennettiin FlyCapture SDK, jonka avulla Point Grey'n kameraa pystyttiin kokeilemaan. LabVIEW'stä ladattiin ja asennettiin verkosta saatava kokeiluversio, josta lisenssin aktivoimalla saadaan täysversio. Tietokantayhteyttä varten asennettiin vanhempi MySQL ODBC-ajuri, LabSQL:n vi-tiedostot sekä MySQL GUI Tools Bundle. Jotta LabVIEW'n VISA-funktiot toimivat ja MAX-ohjelmassa näkyi edes aloitusikkunassa mainittu ”Devices and Interfaces”-kohta, piti NI-VISA paketti asentaa erikseen.

4 TYÖN ETENEMINEN

Seuraavassa on esitelty ohjausohjelman kehitystyötä. Kuva 11 esittää toteutetun ohjelman käyttöliittymän. Liitteissä on isommat kuvat käyttöliittymästä (LIITE 1).



Kuva 11. Mittausohjelman käyttöliittymä

4.1 Tietojen tallennus ja tietokanta

Koska aluksi käytössä ei ollut fyysisiä laitteita, aloitettiin LabVIEW-ympäristöön tutustuminen mahdollista tietokantayhteyttä kokeilemalla ja tietojen tallentamista suunnittelemalla.

4.1.1 Mittausdatan sisältävien tekstitiedostojen nimeäminen

Spektrometrilaitteistolla mitatut tiedot ja meta-tiedot saatetaan tallettaa ainakin joksikin aikaa varalta paikallisesti tekstitiedostoihin yksi mittaus per tiedosto. Windows-ympäristössä tiedostot lajittelevat luonnollisesti aikajärjestykseen, kun tiedostojen nimet alkavat muodossa ”yyyymmdd_hhmmss”, jossa y tarkoittaa vuotta, m kuukautta, d päivää, h tuntia, m

minuuttia ja s sekuntia. Tämän aikamerkinnän jälkeen voi seurata muuta tekstimuotoista ja/tai numeerista osaa tarvittaessa.

4.1.2 Tietokantapalvelimen hallinta ja tietokantojen suunnittelu

Tietokantojen hallintaa ja suunnittelua varten aluksi ladattu MySQL WorkBench ei toiminut MIKESin palvelimella olevan tietokantapalvelimen kanssa. Virheilmoitukselle ("connection using old pre-4.1.1 authentication protocol refused client option 'secure_auth' enabled") löytyi kuitenkin selitys. Tietokantapalvelimen versio on liian vanha (4.0.16<5.0), eikä se ole enää tuettu vaan on tullut elinkaarensa päähän [37]. Niinpä sen hallintaa varten ladattiin vanha MySQL GUI Tools -ohjelmapaketti.

4.1.3 LabVIEW:hun kerätyn tiedon siirto MySQL-tietokantaan

Tiedon vienti MySQL-tietokantaan oli alun perin osa toista työaihetta ja määritelty toteutettavaksi erillisenä ohjelmana, joka parsii LabVIEW-ohjelmasta tallennetun csv-muotoisen tekstitiedoston, ottaa yhteyden MySQL-palvelimeen ja tallentaa tiedot tietokantaan. Tiedon vienti tietokantaan onnistuu myös suoraan LabVIEW:sta [38][39], ja saatavilla on ilmaisia/vapaita komponentteja [28][40] (sisältäen kokoelman LabVIEW vi-tiedostoja), joilla voidaan ottaa yhteys tietokantaan ODBC-ajurin kautta ja käyttää SQL:n INSERT-käskyä tietojen lisäämiseksi tietokantaan. Edellä mainitun kaltaista lähestymistapaa käyttämällä säästetään yksi työvaihe, kun ei tarvita erillistä ohjelmaa tietojen tallentamiseen tietokantaan. Niinpä tietokantaan tallennus päätettiin tehdä ilman ylimääräisiä välivaiheita. Tosin jos aina mittauksia tehdessä ei ole tietokantayhteyttä, ei tallennusta voi jättää pelkästään tietokannan varaan, vaan paikallista tallennustakin tarvitaan.

National Instrumentsilla on myös kehitysasteella oleva, ilman ODBC:tä toimiva, suoraa TCP/IP-yhteyttä käyttävä vi-tiedosto, mutta Windows-ympäristössä suositellaan käytettäväksi edelleen ODBC-yhteyttä [41]. Lisäksi NI:llä on myytävänä noin 1000 euron hintainen Database Connectivity Toolkit -lisäosa [42].

4.1.4 Tietokantayhteys

Tietokantayhteys voidaan Windows-ympäristössä muodostaa ODBC-rajapinnan kautta. Tietokantayhteyttä varten voidaan määrittää tietolähde (DSN, Data Source Name), johon voidaan viitata yhteyttä muodostettaessa tai kertoa yhteyteen tarvittavat tiedot sen muodostushetkellä. Lisäksi niille tietokannoille, joille Windowsissa ei ole ennestään ODBC-ajuria, pitää se asentaa erikseen. [43.]

Tietolähde

Tietokantayhteyden määrittäminen tehdään ODBC-ohjauspaneelissa. Se löytyy Windows XP -käyttöjärjestelmässä polusta: Start - (Settings) - Control Panel - (Performance and Maintenance) - Administrative Tools - Data Sources (ODBC) [43]. Suomenkielisessä versiossa ODBC löytyy vastaavasti polusta: Käynnistä - (Asetukset) - Ohjauspaneeli - (Suorituskyky ja ylläpito) - Valvontatyökalut - Tietolähteet (ODBC).

LabSQL-paketin readme-tiedostosta löytyy ohjeet esimerkkietodostojen tarvitseman Access-tietokannan määrittämiseen [28]. Access-tietokanta-ajuri saattaa vaatia, että Microsoft Access on asennettuna.

Tekstimuotoinen tietokanta

Windowsista ja aiemmista asennuksista riippuen käytettävissä saattaa olla useitakin tietokanta-ajureita. Kehityskoneella oli esimerkiksi tekstimuotoisen tietokannan ajureita, joiden käyttöä pohdittiin vaihtoehtona paikallisten tiedostojen tallennukseen. Jos pääasiallinen tallennuspaikka on erillisellä palvelimella oleva tietokanta, niin verkkoyhteyden puuttuessa tietoja voidaan tilapäisesti tallentaa paikalliseen tietokantaan.

Tekstimuotoisessa tietokannassa on kuitenkin rajoituksia tallennettavalle tiedolle, joten soveltuvuudesta tähän käyttöön ei ole varmuutta. Erityisesti tärkeimmän eli spektridatan tallennuksen onnistuminen jäi epävarmaksi. Muut pienet tiedonpalaset voi tallentaa kunhan huomioi rajoitukset. [44.]

MySQL ja ODBC-ajuri

MySQL-tietokannan kanssa testaamista varten tehtiin Access-tietokantaa vastaavat kentät ja tiedot sisältävä pieni MySQL-tietokanta ja -taulu. Windowsin mukana ei ole valmista ODBC-ajuria MySQL-tietokantaa varten, joten se pitää ladata ja asentaa erikseen. Palvelimen MySQL-version ollessa 4.1.1 tai uudempi voidaan käyttää ajurin versiota 5.1 [45], vanhemmille pitää asentaa version 3.51 ajuri [46]. Ajurin asentamisen jälkeen määritetään tietokantapalvelimesta riippuvat yhteysparametrit ja valitaan käytettävä tietokanta [47]. Tämän jälkeen aiemmin Access-tietokantaa käyttäneet esimerkit toimivat kuten ennenkin ilman muutoksia koodiin.

Jos ajuria ei ole asennettuna, tulee lokiin virhe: "Exception occurred in Microsoft OLE DB Provider for ODBC Drivers: [Microsoft][ODBC Ohjaintenhallinta] Tietolähteen nimeä ei löydy, ja oletusohjainta ei ole määritetty in ADO Connection Open.vi->modExample - Fetch from Table.vi"

Tietokantapalvelimen version ollessa liian vanha, tulee lokiin virhe: "Exception occurred in Microsoft OLE DB Provider for ODBC Drivers: [MySQL][ODBC 5.1 Driver]Driver does not support server versions under 4.1.1 in ADO Connection Open.vi->modExample - Fetch from Table.vi". Näin tapahtui, sillä MIKESin palvelimella oleva tietokanta on vanhempaa versiota, joka ei ole enää tuettu. Tällöin pitää asentaa vanhempi ajuri.

Yhteysmerkkijono

Sen sijaan, että ohjelman käyttämä yhteys pitää määrittää ODBC-ohjauspaneelissa, loppukäyttäjän toimia voidaan helpottaa määrittämällä samat tiedot suoraan ohjelmassa syöttämällä DSN-nimen sijaan kaikki tiedot yhteysmerkkijonoon (Connection String). Yhteyden muodostamisessa tarvittavista parametreista löytyy lisätietoa ja esimerkkejä muun muassa MySQL:n sivuilta. [48][49][50][51][52] Huom. Yhteysmerkkijonossa pitää käyttää paikallisesti asennetun ajurin nimeä, esimerkiksi "Driver={MySQL ODBC 5.1 Driver};".

Merkkijonoja kokeillessa huomattiin, että LabVIEW ei tallenna käyttöliittymässä (Front Panel) olevien kenttien merkkijonoihin tehtyjä muutoksia automaattisesti. Muutokset pitää erikseen asettaa oletusarvoiksi etsimällä valikoista "Make Current Value Default". Alla on mallina muutama yhteysmerkkijono (Connection String) kopioitavaksi ja käytettäväksi.

Yhteysmerkkijono paikallisen XAMPP-asennuksen tietokantaan:

```
Driver={MySQL ODBC 5.1 Driver};Server=localhost;Database=mydb;User=root;
```

Yhteysmerkkijono kuvitteellisen vanhemman MySQL-palvelimen test-tietokantaan:

```
Driver={MySQL ODBC 3.51
Driver};Server=palvelimennimi;Database=test;User=kayttaja;Password=XYZ123;
```

Tietokantaan tallennettavan datan normalisointi ja optimointi

Normalisoinnilla optimoidaan tietokannan rakennetta, jolloin tallennettavasta tiedosta saadaan muun muassa pienennettyä toiston määrää. Esimerkiksi testaajan henkilötietoja ei tallenneta joka mittauksen yhteyteen erikseen, vaan tietokannassa on taulu testajat, jossa oleviin tietyn testaajan tietoihin viitataan mittauksissa. [38, s. 16.]

4.2 Spektrografin ohjaus

Alun perin oli määritelty, että spektrografin ohjaukseen tehdään oma ohjauselektroniikka piirilevyineen. Lyhyen kokeilun jälkeen päätettiin kuitenkin hyödyntää mukana tullutta ohjainlaitetta spektrografin ohjauksessa. Ohjainlaitteen käytössä on etuna, että se on suunniteltu ja tehty toimimaan spektrografissa olevien optohaarukoiden ja askelmoottorin kanssa. Näin oikea hila säätyy oikealle aallonpituudelle.

4.2.1 Spektrografin ja ohjainlaitteen liittäminen yhteen

Spektrografi hankittiin käytettynä ulkomailta, eikä kauppaan kuulunut välikaapelia sen ja ohjainlaitteen välille. Spektrografin päässä on tavallinen urospuolinen DA15-liitin. Ohjainlaitteen päähän tulee ei niin yleinen, alun perin AMP-liitinvalmistajan tekemä, kokoa 17 oleva 14-napainen pyöröliitin. Se koostuu hylsystä, johon erikseen tilattavat nastat asennetaan sekä erillisestä kuoresta ja vedonpoistosta. Täydellisen paketin tilauksesta huolimatta tarvittiin useita reklamaatioita, jotta saatiin kaikki liittimen osat. Työn

edistämiseksi tehtiin omista vanhoista kaapeleista ohjainlaitteen piirilevyn ja spektrografin välille tilapäinen liitäntä.

4.2.2 Spektrografin ohjaus tietokoneelta

Tietokoneen ja ohjainlaitteen välille kytkettiin suora sarjakaapeli. Koska LabVIEW-ympäristö ei ollut vielä tuttu, oli luontevaa aloittaa kokeilu Windowsin HyperTerminal-ohjelmalla. Ohjainlaite tarkastaa RS-232-yhteyden tilan initialisoinnin lopussa. Jos tietokone havaitaan, lähettää ohjainlaite sarjaporttiin merkkijonon ”Acton Research Corp. SpectraPro Monochromator V2.4” ja näppäinohjeiden sijaan ohjainlaitteen näytön alariville jää ”COMPUTER CONTROL” teksti.

MAXissa kokeiltuna spektrografin ohjainlaitteelta saatiin luettua käynnistyksen jälkeinen Acton-tunniste ja kirjoitettua käskyjä kuten ”hello\r\n”. Käskyjen jälkeen tarvitaan sekä rivinpalautus että rivinvaihto, jotta käsky suoritetaan.

Myöhemmin uuden mittaustietokoneen kanssa havaittiin, että sarjaportin oletustila on muuttunut, jolloin ohjainlaite ei automaattisesti havaitse tietokonetta. Tietokoneohjattu tila voidaan valita RATE-valikossa. Siihen pääsee initialisoinnin valmistuttua painamalla ohjainlaitteesta [F1] ja tietokoneohjattuun tilaan siirrytään painamalla [F2] jonka jälkeen [RESET].

4.2.3 Spektrografin ohjainlaitteen protokolla

Ohjainlaite tukee ainakin muutamaa sen omassa ohjeessa [8] dokumentoimatonta käskyä. Käskyllä ”hello” ohjainlaite suorittaa samat toimet kuin resetoinnin/käynnistyksen yhteydessä, eli laite initialisoi itsensä ja lähettää sarjaporttiin merkkijonon ”Acton Research Corp. SpectraPro Monochromator V2.4”. Lisäksi käskyn suorituksen merkinä on ”ok”. Huomioitavaa on, että ohjekirjassa ”ok” on kirjoitettu isolla, mutta merkkitarkassa vertailussa, jota esimerkiksi LabVIEW-korvausfunktio (Search and Replace String) oletuksena tekee, pitää muistaa käyttää pieniä kirjaimia. Täten ”hello”-käskyä voi käyttää osittain myös kytketyn laitteen tunnistamiseen. Tosin ”who”-käsky on siihen käyttöön parempi, koska sitä käytettäessä ei tarvitse odotella laitteen uudelleenkäynnistymistä. Laitteen

mallin tai sarjanumeron kyselykäskyt eivät toimineet. Sen sijaan oletusasetusten muuttamiseen tarkoitetut käskyt toimivat, kunhan ne syötetään täsmälleen oikeassa muodossa. Muuten ne voivat saada ohjainlaitteen sekoamaan niin, että se vaatii virtojen katkaisua tai vähintäänkin asetettu arvo on eri dekadiluokassa kuin haluttu. Taulukko 1 listaa kokeillut ja toimiviksi havaitut käskyt.

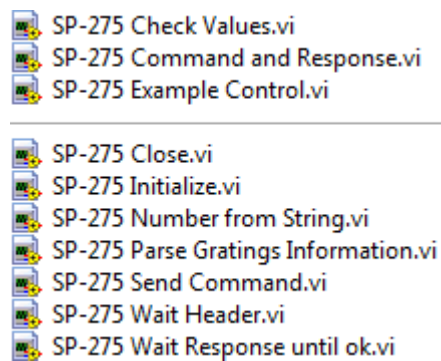
Taulukko 1. SP-275 spektrografin ohjainlaitteen käskykanta

Käsky	Esimerkki	Tarkennusta / Toiminta
who	who	Acton-tunnisteen kysely
hello	hello	Laitteen initialisointi, vähintään 14 sekuntia hilan asennosta riippuen
reset	reset	Ei toimintaa? Vain ok vastaus, eli käsky tunnistetaan kuitenkin.
restore	restore	Laitteen initialisointi, ei palauttanut tehdasasetuksia
no-echo	no-echo	Lopettaa kaiutuksen seuraavaan resettiin asti
echo	echo	Ottaa kaiutuksen takaisin käyttöön
input	input	Luovuttaa tietokoneohjauksen ohjainyksikön näppäimille
goto	700.0 goto	Menee suurimmalla nopeudella valitulle aallonpituudelle, vain yksi desimaali
<goto>	546.07 <goto>	Tarkempi siirtyä suurimmalla nopeudella, kaksi desimaalia
nm	700.0 nm	Aallonpituus, jonne lähdetään skannaamaan, vain yksi desimaali
<nm>	546.07 <nm>	Kahden desimaalin tarkkuudella skannaus
?nm	?nm	Nykyinen aallonpituus, yhden desimaalin tarkkuus
nm/min	6000.0 nm/min	Skannausnopeuden asetus yhdellä desimaalilla
?nm/min	?nm/min	Nykyinen skannausnopeus yhden desimaalin tarkkuudella
jog-dn	jog-dn	Askeltaa aallonpituutta pienemmäksi, oletusasetuksilla 1,7 nm
jog-up	jog-up	Askeltaa aallonpituutta suuremmaksi, oletusasetuksilla 1,7 nm
grating	1 grating	Vaihtaa käytettävän hilan
?grating	?grating	Käytettävän hilan kysely
?gratings	?gratings	Asennettujen hilojen tiedot
mono-eestatus	mono-eestatus	Sarjanumero, nykyiset asetukset ja säätöarvot
init-grating	1 init-grating	Initialisoinnissa asetettava hila
init-wavelength	500.00 init-wavelength	Initialisoinnissa asetettava aallonpituus, vaadittava tarkkuus 2 desimaalia
init-srate	6000.00 init-srate	Initialisoinnissa asetettava skannausnopeus, vaadittava tarkkuus 2 desimaalia
init-offset	0. 0 init-offset	Hilan poikkeaman asetus (arvoalue riippuu hilasta), vaatii desimaalipisteen ilman desimaaleja! Hilavaihtoehdot 0, 1 tai 2
init-gadjust	9995 0 init-gadjust	Hilan säätöarvon asetus (10000 +/- 1000), hilavaihtoehdot 0, 1 tai 2

scan-from	350.0 scan-from	Toistuvan skannauksen alkuaallonpituus
scan-to	700.0 scan-to	Toistuvan skannauksen loppuaallonpituus
#scans	10 #scans	Toistojen määrä
scan-delay	3 scan-delay	Viive skannausten välillä, aika sekunteina
start-scans	start-scans	Aloitetaan toistuva skannaus asetusten mukaisesti

4.2.4 Spektrografin LabVIEW-ajurin kehitys

Ajuri ja esimerkkiohjelma löytyvät tehdystä LabVIEW-kirjastotiedostosta (.llb), jonka nimi on ”ARC_SP-275_controller_serial_driver”. Sisältä löytyy useaan osaan/kerrokseen jaettu ajuri apufunktioineen, tärkeimpänä ”SP-275 Command and Response”- ja ”SP-275 Check Values”-vi-tiedostot sekä näiden käyttöä esittelevä ”SP-275 Example Control”-esimerkkiohjelma. Kuva 12 esittää toteutetun ajurin sisältämät funktiot.



Kuva 12. SP-275-ajurin sisältämät funktiot

Ajuria voidaan käyttää joko kutsumalla pelkästään kahta ylintä funktiota tai voidaan käyttää alemman tason funktioita suoraan. Esimerkkiohjelma kutsuu itse vain kahta ylemmän tason funktiota. Esimerkkiohjelma voidaan suoraan kopioida soveltuvilta osin muun sovelluksen yhteyteen tai käyttää sellaisenaan spektrografin ohjaukseen. Käskykannan soveltuvilta osin ajuria voidaan käyttää myös muiden spektrografien ohjaukseen.

4.2.5 SP-275-ajurin ja sen esimerkkiohjelman ominaisuuksia

Seuraavassa on lueteltu SP-275 spektrografin ohjaimelle kehitetyn LabVIEW-ajurin ja sitä käyttävän esimerkkiohjelman ominaisuuksia ja toimintoja.

Ajurin ominaisuuksia ja toimintoja:

- Tunnistaa spektrografin ohjaimen osin käyttämällä ”who”-käskyä ja tarkistaa, että vastausmerkkijonosta löytyy ”SpectraPro Monochromator”. Aikakatkaisun pituus tarkistuksessa on normaalia pidempi, jotta vasta äsken päälle laitettu ohjain on mahdollista tunnistaa.
- Aikakatkaisujen pituudet riippuvat käytetyistä käskyistä. Yksinkertaiselle kyselylle aika on huomattavasti lyhyempi, korkeintaan sekunteja, kun hilan vaihtokäskyn jälkeinen aikakatkaus on jopa minuutteja. Kuitenkin voi olla mahdollista, että jossain tilanteessa varattu aika ei riitä. Esimerkiksi hila-alustan joutuessa kääntymään suuren matkan voi aikakatkaus ilmetä.
- Jos aikakatkaus kuitenkin ilmenee edellä mainituissa tai jossakin muussa tilanteessa, kuten esimerkiksi spektrografin ollessa vaihtamassa käytettävää hilaa, voi aikakatkaisun kuittauksen jälkeen yrittää heti uudelleen. Kuitenkin kannattaa odottaa, että spektrografin askelmoottorin toiminta on valmis.
- Lähes kaikkien spektrografin ohjaimen tunnettujen käskyjen ja kyselyjen valinta. Säättö-/viritysarvojen muuttamiseen liittyvät käskyt on jätetty pois, jottei niitä muuteta vahingossa. Tarvittaessa käytetään säätöarvojen muuttamiseen MonoControl-ohjelmaa [35][36].
- Vastausmerkkijonon palauttaminen käskyjen jälkeen.
- Käytetyn hilan, sen g/mm-arvon, blaze-arvon ja käytetyn aallonpituuden valmiiksi parsittuna lukuarvona palauttava kysely.

Esimerkkiohjelman ominaisuuksia ja toimintoja:

- Mahdollisuus valita käytettävä sarjaportti (COM1, COM2 jne.). Sallimalla muut resurssit myös GPIB-väylän käyttö on mahdollista.
- Tarvittaessa kopioitavissa olevana tekstikenttänä hilan numero ja säädetty aallonpituus, jotta tiedot voidaan tallentaa mittaustietojen yhteyteen.
- Päivitys- eli Refresh-toiminto spektrografille annettujen komentojen jälkeen. Voidaan antaa tarvittaessa erikseen esimerkiksi ennen mittauksia, ettei jokin ole resetoitunut spektrografia ja palauttanut sitä alkuarvoihin.
- Jatkuva käskyn syöttö parametrin muuttuessa Continuous-napin avulla. Jatkuvaa käskytystä voidaan käyttää esimerkiksi haettaessa referenssivalon aallonpituuksia näkyviin sopivaan kohtaan kameran kuvaa
- Vastauskenttä, jossa näkyy viimeisin spektrografin ohjaimelta tullut vastaus.
- Busy-merkkivalo, josta on hyötyä varsinkin kun odotetaan turretin eli hila-alustan kääntymistä, mutta myös lyhyempien käskyjen suoritusta indikoivana.

VISAn käyttö

Laitteesta riippuen voi olla tarpeellista määrittää sarjaliikenneyhteyden parametreja, esimerkiksi databittien määrä, pariteetti ja baudinopeus. Spektrografin ohjaimen käyttämät parametrit (9600 baudia, ei pariteettia, 8 databittiä, 1 start- ja 1 stop-bitti [8] ja muissa ohjeissa mainittu ei-vuonohjausta) ovat kuitenkin sen verran tavallisia, että tiedonsiirto toimii niiden osalta LabVIEW VISA-funktioiden oletusarvoilla. Jokainen spektrografin ohjaimelle lähetetty komento pitää päättää vaununpalautus (CR, Carriage Return, '\r') -merkkiin. Spektrografin ohjain kuittaa suoritetun käskyn merkkijonolla ” ok<CR><LF>” eli ” ok\r\n”. Huomattavaa on että ohjekirjan isoista kirjaimista poiketen spektrografin ohjain käyttää pieniä kirjaimia.

SP-150-ajuri

Malliksi löydettiin GPIB-väylää käyttävä SP-150-monokromaattorin ajuri. Tämän ajurin pohjalta lähdettiin tekemään SP-275:lle sopivaa ajuria, joka käyttää suositeltuja VISA-funktioita ja RS-232-sarjaliitännää. Muutostyössä tehtiin seuraavia asioita. GPIB-laitteen valinnan tyyppiä muutettiin sarjaliikenneinstrumentin VISA-sessio. Tämä tieto käy suoraan muille myöhemmin käytetyille funktioille, joten turhaksi jäänyt GPIB-osoitteen parsiminen poistettiin. GPIB-osoitteen lisäksi GPIB-väylänumeron parametrit ja tila-parametrit poistettiin. GPIB-väylän lähetys- ja vastaanottofunktiot muutettiin yleisiksi VISA kirjoitus- ja luku-funktioiksi. Näiden varsinaisten muutosten lisäksi tehtiin tarvittavat langoitusmuutokset.

Pakollisten muutosten lisäksi tehtiin erinäisiä muutoksia ja lisäyksiä muun muassa siksi, että ajuripaketti muistuttaa enemmän vaatimusten [29] mukaista LabVIEW-ajuria, mutta toisaalta ihan toiminnan ja käytettävyyden kannalta. Suositusten mukaan Initialize-funktion pitää alustaa yhteys, tunnistaa käytettävä laite ja se voidaan haluttaessa ohjata alkutilaan. SP-150-ajurin Initialize-funktio vain lähettää tietyn tilan asettavat käskyt tarkistamatta ensin mikä laite on kytkettynä. SP-150-ajuri ei sisällä ollenkaan yhteyden sulkemiseen käytettävää Close-funktiota. Käsky- ja kyselyfunktiot muutettiin välittämään VISA-sessio edelleen, ja sitä käytetään sen sijaan, että alussa annettu resurssinimi välitetään erikseen kaikille. Lopulta SP-150-ajurin koodista on jäljellä vain yksi SP-150 Command -funktiosta peräisin oleva case-lohko, jossa eri käskyt ja niiden parametrit yhdistetään merkkijonoksi. Case-lohkoja on

kuitenkin lisätty SP-275:n tukemien käskyjen ja kyselyjen mukaisesti sekä aikakatkaisun toimintaa ja arvoja on muutettu.

SP-275 Initialize ja Close -funktiot

Sisällöltään uudessa SP-275 Initialize -funktiossa tyhjennetään (flush) sekä lähetys- että vastaanottopuskuri (LabVIEW-funktion parametriksi 0xC0). Lisäksi asetetaan puskurin koko esimerkiksi 512 tavuun, oletuksena olevan 4096 tavun sijaan. Tietojen kyselyssäkään suurimmat viestit eivät ole kuin noin 300 tavun mittaisia. Sarjaliikenteelle ei ole omaa yhteyden avaavaa VISA-funktiota, ja luku- ja kirjoitustoiminnot toimivat ohjelmissa suoraan ilman alustuksia. Kuitenkin LabVIEW'n sisäisessä ohjeessa kehoitetaan tekemään yhteysasetusten määrittely ennen puskurin koon asettamista. Lisäksi tehtiin funktio, joka sisältää VISA-session eli tässä tapauksessa sarjaliikenneyhteyden sulkevan VISA-funktion, jotta portti vapautuu ja sitä voi tarvittaessa käyttää välillä muuhunkin.

SP-275 Response until ok -funktio

Jotta vältytään turhan pitkältä odottelulta odottamattomissa tilanteissa, ei aikakatkaisun arvona käytetä paria sekuntia pidempiä arvoja muuten kuin niitä vaativilla toiminnoilla. Hila-alustan (Grating Turret) ympärikierto kestää hieman yli 150 sekuntia. Lisättyinä pienellä odotusvaralla virtojen päälle kytkemistä ja initialisointia varten, niin 180 sekuntia riittää pisimmän aikakatkaisun arvoksi. Hilan vaihto onnistuu oletusaallonpituudella 60 sekunnissa, mutta jos arvo poikkeaa enemmän keskikohdasta, niin käytetään aikakatkaisun arvona toistaiseksi 80 sekuntia. Monien muiden toimintojen, esimerkiksi kyselyjen, aikakatkaisun oletusarvoksi asetettiin 2 sekuntia.

Vastauksen lukemisessa poistettiin välillä käytöstä merkkijonon lopetusmerkki (Termination character), jotta saatiin luettua moniriviset vastausviestit. Tämä johti kuitenkin aina aikakatkaisun odottamiseen. Ratkaisuksi tehtiin uusi ”SP-275 Response until ok”-funktio, joka toimii seuraavalla tavalla. Sarjaliikenteessä palattiin merkkijonon päättävän merkin käyttöön, ja luetaan tarvittaessa useampi rivi while-silmukan sisällä. Takaisinkytkennän (Feedback Node) ja merkkijonojen yhdistämis- eli Concatenate-funktion avulla rivit saadaan yhdistettyä ja välitettyä eteenpäin yhtenä merkkijonona. Takaisinkytkentä pitää alustaa, sillä ilman alustusta takaisinkytkentä säilyttää jopa ohjelman edellisten suorituskertojen arvot.

Lisäksi kun ohjaus laitettiin tavallaan pääohjelman sisälle suoritettavaksi nappia painamalla, täytyi alkuarvon asetus siirtää vielä silmukan ulkopuolelle. Muuten koodin erillisilläkin suorituskerroilla tehtyjen ohjausten vastaukset kertyvät viestiin. Silmukasta poistuminen tapahtuu joko aikakatkaisun myötä esimerkiksi jos laitetta ei ole kytketty tai jostain syystä tuleekin virheilmoitus, tai kun merkkijono sisältää kuittauksen eli kun rivin päättää merkkijono ”ok\r\n”.

SP-275 Check Values -funktio

Ajan tasalla olevien tilatietojen saamiseksi tehtiin ”SP-275 Check Values”-funktio, joka hoitaa yhdellä VISA-yhteydellä aallonpituuden, hilan ja sen tietojen lukemisen. Sopivien numeroarvojen saamiseksi merkkijonoista poimitaan numerot ja pisteet Match Pattern -funktioilla ja muunnetaan ”Scan From String”-funktion avulla numeroksi. Kuitenkin laitteen merkkijonoon laittama desimaalipiste pitää ennen sitä muuttaa desimaalipilkuksi ”Search and Replace String”-funktion avulla. Muunnoksesta tehtiin oma apufunktio, ”SP-275 Number from String”. Lopuksi funktiolle jäi käyttöä vain aallonpituuden parsimisessa, sillä hilan tietojen hankkimiseen tehtiin oma ”SP-275 Parse Gratings Information”-apufunktio. Hilan tiedot ovat pelkkiä kokonaislukuja, joten samanlaista parsintaa ei tarvita. Yhdestä hilan tiedot sisältävästä merkkijonosta saadaan poimittua käytettävän hilan lisäksi kaikkien hilojen tiedot. Oletuksena annetaan käytettävän hilan tiedot tai tietyn hilan numero voidaan antaa parametrina. Hilan tiedoista saadaan hilan uurteiden määrä millimetriä kohden (g/mm) sekä hilan blaze-arvo, jota ei toistaiseksi hyödynnetä.

Tehdyille LabVIEW-funktioille tehtiin omat niitä kuvaavat LabVIEW-ikonit, joissa on teksti muotoa ”ARC SP-275 (VISA) INIT”.

SP-275-ajuria käyttävä esimerkkiohjelma

SP-275-ajuria käyttävään esimerkkiohjausohjelmaan laitettiin näkyviin sarjaportin valinta (COM1, COM2), käskyn ja parametrin valinta, tekstialue ohjainlaitteen vastauksille sekä ainakin toistaiseksi varalta virheklusteri. Esimerkkiin tulevat toiminnot laitettiin while-silmukan sisälle, kuten myöhemmin tehtävä ohjausohjelmakin oletettavasti toimii. LabVIEW-ympäristön while-silmukka vastaa do-while -rakennetta tekstipohjaisissa ohjelmointikielissä [54]. Kuva 13 esittää ohjelman yksinkertaisena lohkokaaavana.



Kuva 13. SP-275 Example Control -ohjelman lohkokaavio

Myöhemmin silmukan sisälle lisättiin ajastin (Wait Until Next ms Multiple) 1 ms arvolla. Ajastimen avulla voidaan rajoittaa sitä, että LabVIEW-ohjelma ei vie kaikkea suoritinaikaa. Rinnakkaisen suorittamisen myötä esimerkiksi LabVIEW-ohjelma vei noin 80 % kaksisyttimisen suorittimen ajasta.

Jatkuvasti suoritettavan pääsilmuksen takia käskyn antaminen laitettiin case-rakenteen sisälle ja käskynannon käynnistämiseksi lisättiin painike. Case-rakenne vastaa tekstipohjaisista ohjelmointikielistä tutun if-ehtolauseen toteuttamista LabVIEW-ympäristössä [55]. Tilan osoittamiseksi lisättiin led-indikaattori, joka aktivoidaan ehtolauseen suorituksen alussa ja sammutetaan VISA-session sulkemisen jälkeen virheulostulon kanssa samaan aikaan. Myöhemmin ajurin funktiorakenteeseen lisättiin kerroksia, jotta pääohjelmassa ei tarvitse käsitellä ollenkaan edes VISA-session välitystä eteenpäin, vaan välissä oleva kerros avaa VISA-session haluttuun COM-porttiin ja sulkee sen ennen vastauksen palautusta.

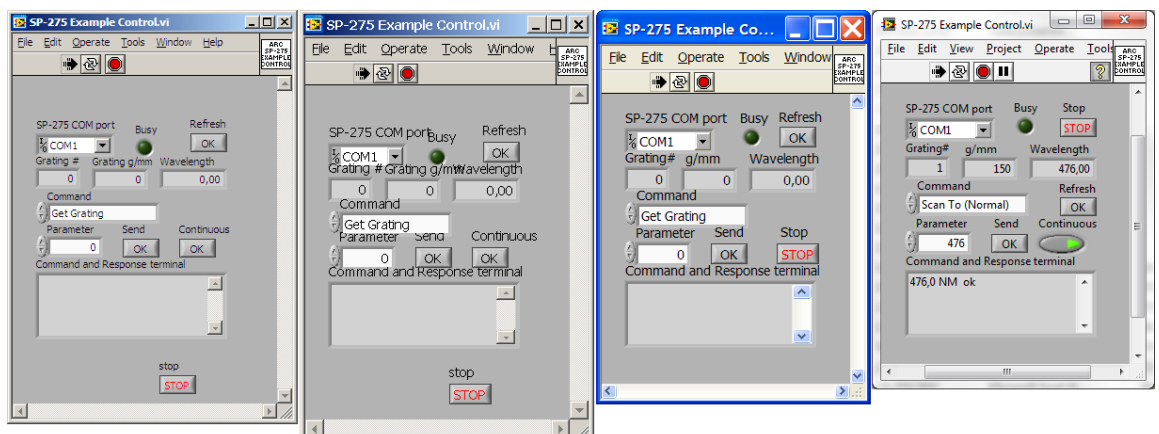
Ohjelmaan tehtiin kaksi painonappia. Refresh-napilla päivitetään tilatiedot esimerkiksi käyttämisen alussa. Send-napilla lähetetään käsky parametreineen, jonka jälkeen käskyn jälkeinen tilanne päivitetään automaattisesti. Kumman tahansa toiminnon suoritus aktivoi led-indikaattorin, mutta se sammutetaan vain tietojen päivityksen jälkeen. Painonappien mekaaniseksi toiminnaksi valittiin vapautettaessa vaihtaminen (Switch When Released), koska niiden tilaa halutaan muuttaa ohjelmallisesti. Sitä tarvitaan, jotta tietojen tarkistaminen voidaan käynnistää automaattisesti käskyn suorituksen jälkeen. Painettu nappi vapautetaan ohjelmallisesti samoihin aikoihin kuin led-indikaattori aktivoidaan toimintojen suorituksen alussa.

Suurin osa esimerkkiohjausohjelman ”SP-275 Example Control.vi” koodista sijoitettiin lopulta event-rakenteen sisälle. Ohjelman pysäyttämistä varten oletuksena oleva timeout-arvo -1, joka tarkoittaa että tapahtumaa odotetaan loputtomiin ilman aikakatkaisua, muutettiin 1:ksi, jolloin tapahtumaa odotetaan 1 ms. Käytännössä tässä tapauksessa tullaan aikakatkaisun jälkeen uudelleen odottamaan, jos Stop-painiketta ei ole painettu. Event-

rakenteen tapahtumien odottamisen myötä erillinen ajastimella tehty viive, joka estää suoritinaikaa kuluttavan silmukan taukoamattoman suorittamisen, on toistaiseksi turha. Ensimmäiseen event-lohkoon valittiin tapahtuman aiheuttajiksi Parameter-kentän tai Send-napin arvon muuttaminen. Tapahtumassa tarkistetaan vielä erikseen Busy-muuttujan ja painikkeiden tilat, jonka jälkeen tarvittaessa lähetetään spektrografin ohjaimelle valittu käsky mahdollisine parametreineen. Toiseen event-lohkoon valittiin tapahtuman aiheuttajaksi Refresh-napin arvon muuttuminen. Lohkossa tarkistetaan mahdollisuus ja tarve tilan päivitykseen, jonka jälkeen päivitys tehdään tarvittaessa kuten aiemminkin. Käskyn suorituksen jälkeinen Refresh-napin tilan ohjelmallinen muuttaminen muutettiin ”Value (Signaling)”-tyyppiseksi, jotta tieto muutoksesta välittyi event-rakenteelle.

Testaus

Lopuksi SP-275-ajuria käyttävää esimerkkiohjelmaa kokeiltiin MIKESin kannettavalla tietokoneella, jossa ei ole LabVIEW-ohjelmointiympäristöä, vain testausta varten asennettu LabVIEW RTE eli käytönaikainen LabVIEW-suoritusympäristö. Ohjelma toimi muuten yhtä hienosti kuin kehityskoneellakin, eli spektrografin ohjaaminen ja tilatietojen luku onnistuu, mutta ulkonäkö oli erilainen. Kuva 14 esittää vasemmalta alkaen kehityskoneen tilanteen ja seuraavaksi vastaavan tilanteen kun toisella koneella isommat tekstit menevät päällekkäin muiden elementtien kanssa ja kasvattavat ikkunan kokoa. Seuraavaksi on esitetty korjattu käyttöliittymä, jolloin myös isommat tekstit näkyvät kunnolla. Viimeinen kuva esittää esimerkkiohjelman tuoreimman version uudella mittauskoneella suoritettuna.



Kuva 14. SP-275-ajurin esimerkkiohjelman käyttöliittymän vaiheita

Tummemmalta näyttävät sävyt johtuivat näyttölaitteiden eroista tai olivat LabVIEW-ympäristön valikoissa. Sen sijaan valintojen otsikkotekstit ja muutkin elementit käyttävät huomattavasti isompaa fonttia, niin että tekstit menevät päällekkäin toisten tekstien ja kenttien kanssa niin pahasti että lukeminen vaikeutuu. Toisessa koneessa oli käytössä XP-tyylin teema (Themes) ja ulkoasu (Appearance), joten kokeiltiin vaihtaa ne ”Windows perinteinen” (”Windows Classic”) vaihtoehtoon, joka on käytössä kehityskoneessa. LabVIEW-ohjelman tekstien kokoon ja asetteluun valinnoilla ei kuitenkaan ollut vaikutusta, vaikka teeman muutos ohjelmaa ympäröiviä reunoja ja otsikkopalkkia muuttaakin. Asettelua korjattiin päällekkäisyyksien välttämiseksi

4.3 Firewire-kameran kokeilua

Point Greyn Flea2 Firewire -kameraa kokeiltiin ensin sen SDK:n testi-/demo-ohjelmalla FlyCap2. Kamerassa ei kuitenkaan ollut optiikkaa, joten kirkkauden vaihtelun lisäksi sillä ei havainnollisempaa kuvaa pystytty muodostamaan.

PGR:n sivuilta löytyy esimerkkikoodoja kameran ohjaukseen, mutta ne ovat lähinnä C++-ympäristöön, ja jotkut esimerkit C-, C#- tai VB.NET -ympäristöön [56]. LabVIEW-tuen mainostamisesta huolimatta tuki sille näytti olevan aika vähäistä. Kameran kuva saatiin näkymään MAX-ohjelmassa tietyillä perusasetuksilla, mutta esimerkiksi tarvittavaa integrointi-aikaa ei pystytty muuttamaan. Myöhemmin ilmeni, että kameran kanssa pitää käyttää jotain toista kuin valmistajan tarjoamaa ajuria, jonka avulla LabVIEW-tuki toteutuu paremmin.

Kameraa kokeillessa tutustuttiin hieman enemmän moniin asioihin, kuten ulkopuolisen koodin kutsumiseen LabVIEW:stä ja ActiveX-komponenttien käyttöön. Lisäksi ulkopuolisen koodin yhteydessä ja kuvadatan saamisen jälkeen sen käsittelyssä päästiin muokkaamaan bittejä eri ympäristöissä käytettyihin järjestyksiin ja todettiin jopa valmiiden esimerkkien suorituskykyongelmia.

4.4 Alphalas-CCD-viivakamera

Alkuvaikutelma laitteen manuaalista oli hyvä, sillä se selitti kameran ominaisuuksia ja niiden taustoja.

Asennus

Manuaalin mukaan ajurit löytyvät Windows-käyttöjärjestelmistä valmiina, koska Alphalas ei ole muuttanut sarjaliikenteeseen käytetyn FTDI:n USB-ohjaimen tunnistetietoja. Kytkemisen jälkeen Windows tunnistaa laitteen ja laitehallinnassa näkyy CCD-S3600-D(-UV)-nimiset laitteet, mutta ilmeisesti tämä ei vielä estä FTDI:n vakioajureiden käyttämistä. Windows yrittää ladata ajurit Windows Updatesta, mutta työpisteen lähiverkon ongelmien takia Windows Update ei toiminut muutenkaan. Joten uusin virallinen WHQL-allekirjoitettu ajuri ladattiin FTDI:n sivulta [57]. Ajureiden asentamisen jälkeen muutos ei tullut heti voimaan. Windows yritti edelleen hakea ajureita Windows Updatesta, vaikka se valittiin ohitettavaksi. Muutamien uudelleenkytkentäkertojen jälkeen ajurit olivat viimein asentuneet ja laite on valmis käytettäväksi.

Tämän jälkeen kopioitiin vielä manuaalin ohjeiden mukaisesti LabVIEW-ajurit ja -esimerkit sisältävä kansio LabVIEW'n instr.lib-kansioon. Seuraavaksi käynnistettiin LabVIEW ja testattiin laiteyhteyden toiminta laitteen tiedot (versio, sarjanumero jne.) hakevalla ohjelmalla. Ohjelma ajettaessa laitetta vastaavat tiedot ilmestyivät ohjelman tietokenttiin, joten yhteys siis toimi.

Kokeilua

CCD-kennon havaitseman tiedon lukemista kokeiltiin ensimmäisellä kerralla vain lyhyesti, koska kamera oli toistaiseksi vain irrallaan pöydällä. Kokeilu tehtiin käyttämällä muun muassa yhden valotuskerran tiedot hakevaa ohjelmaa. Pöydällä ollessa kenno saturoitui helposti ja arvot olivat maksimissaan. Oletusintegrointiaikaa (5000 μ s) pienennettiin arvoon 50 μ s. Tämän jälkeen muutama lukukerta tuotti vielä saturoituneita arvoja, mutta niiden jälkeen saatiin arvot vaihtelevaan kennon varjostusta muuttamalla.

Myöhemmin ilmaisimelle tehtiin MIKESin Espoon pajalla adapteri, jonka avulla se voitiin kiinnittää spektrografin ulostuloaukkoon. Aluksi ympäristöstä spektrografiin pääsevä loisteputkien valo näkyi niin voimakkaasti kuvassa, että elohopealampun säteilyn tuonti kuitua pitkin nosti tasoa vain hieman. Kuidusta tulevan valon kohdistamisesta ei ollut tietoa, pitääkö sitä vielä säätää vai oliko se jo säädetty kohdalleen.

Havaittiin, että ilmaisin on tavallaan väärin päin kiinni spektrometrin ulostulossa. Kun spektrometrin keskiaallonpituutta säädettiin pienemmäksi, niin ilmaisimen näyttämät piikit siirtyivät oikealta vasemmalle. Kuitenkin odotettiin, että niiden pitää siirtyä oikealle, eli nähdään enemmän pienempiä aallonpituuksia.

Myöhemmin videoneuvottelussa saatiin ohjeet kuidun tulolinjan säätämiseen. Lisäksi sovittiin, että viivakameran voi kääntää toisinpäin. Samalla kysyttiin useampaan kertaan, tarvitaanko useampien valotuksien keskiarvon laskentaa parantamaan signaalikohinasuhdetta. Joka kerralla vastaus oli kuitenkin sama. Keskiarvoistamiselle ei nähty tarvetta, vaan yksi jopa useita sekunteja pitkä valotus riittää.

Viivakameran ollessa irti nähtiin, että sen kenno oli muutaman millin liian ylhäällä tulevaan valoon nähden. Kuidusta tulevan säteilyn tulolinjaa säädettiin, jolloin elohopealampun spektri näkyi jo pienemmilläkin valotusajoilla kuin 5000 μ s oletusarvo.

4.5 Mittausohjelman kehittäminen

Mittausohjelman kehittämisen pohjaksi otettiin Alphalas-CCD-viivakameran esimerkkiohjelma, joka vaikutti parhaiten soveltuvan ohjelmalle asetettuihin vaatimuksiin ja haluttuihin toimintoihin. Käytetyn esimerkin nimi on ”ALPHALAS CCD S Series Acquisition Loop with Save and Load and FWHM Calc”. Suurimpana syynä tähän valintaan oli useimmissa esimerkeissä olevan viivakameran luennan ja näytettävän graafin lisäksi oleva tietojen tallennus ja kursorien käyttö.

Aiemmin itse tehdyn SP-275 spektrografin ohjauselementtien lisäys Alphalasin esimerkkiohjelmaan onnistui melko helposti. Muutaman kokeilun jälkeen elementtien kopiointi vi-tiedostosta toiseen onnistui niin, että logiikan lisäksi saatiin toisessa LabVIEW-ikkunassa taustalla siirtyvät käyttöliittymän elementit oikeille paikoilleen.

Graafissa ja tietojen tallennuksessa käytetty double (64-bittinen liukuluku) muutettiin etumerkittömäksi 16-bittiseksi kokonaisluvuksi eli u16-tyyppiseksi, jota ilmaisimena käytettävä viivakamerakin antaa. Liukuluvusta on hyötyä, jos käytetään useamman valotuksen keskiarvon laskentaa, mutta sitä ei haluttu käyttää. Kompaktimpi ja soveltuvampi u16-tietotyyppi voi olla hieman nopeampi käsitellä, mutta nopeusetu lienee nyky-pc:llä vähäinen. Suurempi hyöty saadaan siitä, kun tiedostoon ei tarvitse tallentaa ylimääräisiä desimaalierottimia ja nollia joka arvolle. Lisäksi tiedoston vienti Exceliin tai tietojen tallennus tietokantaan voi helpottua, kun tiedostossa ei ole turhaan ”väärää” desimaalierottimia.

4.5.1 Aallonpituusasteikko

Esimerkistä poistettiin y-akselin viivat/kursorit sekä muutettiin x-akselille jätettyjen kursorien nimet ja ominaisuudet tarpeita vastaaviksi. Kursorien avulla voidaan merkitä kalibrointilampun spektrin tunnettuja piikkejä vastaavat pikseliarvot. Lisättiin kentät merkittyjä piikkejä vastaavien aallonpituusarvojen syöttöä varten ja tulokset, joihin lasketaan spektrin alku- ja loppupään pisteitä vastaavat aallonpituusarvot. Näiden avulla voidaan laskea pisteitä vastaavat aallonpituusarvot.

Myöhemmin lisättiin myös kursori, jonka avulla on helppoa tarkistaa mikä tietyn piikin aallonpituusarvo on (tarkkuuden riippuessa siitä, miten tarkasti aallonpituuden sovituksessa käytettävät piikit on määritetty). Ylimääräisen kursorin lisäyksen jälkeen jo ennestään useita laskuoperaatioita sisältävä alue päätettiin pääohjelman selkeyttämiseksi muuttaa erilliseksi aliohjelmaksi. Tehtiin uusi Linear Fitting.vi -tiedosto, johon laskentaoperaatiot siirrettiin ja kopioitiin niihin liittyvät käyttöliittymän syöttö- ja tulostuskentät. Aliohjelman liityntöjen (Connectors) ja kuvakkeen lisäyksen jälkeen aliohjelma lisättiin pääohjelmaan ja kytkettiin tarvittavat syötteet ja tuloksia tarvitsevat elementit.

Graafin rinnalle haluttiin aallonpituutta näyttävä asteikko. Pikseliasteikon muuttaminen aallonpituusasteikoksi ei onnistunut ongelmitta, koska pikseliasteikon tietoja käytetään aallonpituuksien laskennassa. Ratkaisuna lisättiin toinen asteikko, jota käytetään vain aallonpituuksien näyttämiseen [58]. NI Tietämiskannan artikkelista saatiin hieman vihjettä, kuinka eri asteikkoja käsitellään, vaikka artikkelissa kerrotaan käytännössä eri käyrien aktivoimisesta [59]. Zoom Reset -lohkoon lisättiin aallonpituusasteikon x-akselin

palauttaminen alkuarvoihin, sillä muuten sen skaalaus ja suurennus jäävät eri arvoihin kuin pikseliasteikon.

Referenssinä käytettävän elohopeakynälampun spektreistä ja spektrometrin tuottamasta käyrästä havaittiin, että mitattu käyrä vastaa spektriä, jossa on käytetty Newportin suodatinta 6057, vaikka lampussa ei ole suodatinta. Suodatin poistaa 253,7 nm ison piikin kokonaan ja vaimentaa 312,6 nm pientä piikkiä [19]. Havainnon jälkeen aallonpituusalue ja siinä näkyvien piikkien laskettavat aallonpituudet näyttivät täsmäävän nanometrilleen. Spektrografille asetettu keskiaallonpituus poikkeaa joitain kymmeniä nanometrejä mittausalueen keskikohdasta. Todennäköisesti ilmaisimen paikka on sen verran sivussa keskikohdasta, sillä millillä aiheuttaa jo kymmenien nanometriä siirtymän. Toisaalta kuidusta tulevaa valoa siirtämällä eroa voidaan muuttaa jonkin verran, mutta ei tarpeeksi, sillä valo menee ohi tuloaukosta.

4.5.2 Tallennuksesta

Lopullisiksi tallennusvaatimuksiksi muodostui seuraava lista:

- Aikaleima
- Mittauksen nimi
- Mittauksen järjestysnumero (4 numeroa, 0000...9999)
- Edellisistä tiedoston nimi muodossa ”yyyymmdd nimi xxxx.txt”
- Input slit (10...3000 μm)
- Hila (g/mm-arvo, nykyiset 150, 600 tai 1200)
- Keskiaallonpituus (asetettu arvo, esimerkiksi 400.00 nm)
- Liipaisutapa (kameran asetusten numero 0...4)
- Lukutaaajuus (esimerkiksi 1 Hz, eli kuva 1 s välein)
- Valotusaika (10...100 000 000 μs (= 100 s))
- 2000 merkkiä tai enemmän tilaa lisätiedoille
- Itse data (3648 * 16-bit arvo), arvojen indeksit ja aallonpituus (nm)

Alphasin esimerkki käyttää Write To Spreadsheet File.vi -ohjelmaa. Useamman mittauksen tallennuksessa esimerkki tallentaa seuraavien mittausten arvot edellisten perään ilman mitään erotinta mittausten välissä. Esimerkin lukutoiminto lukee vain ensimmäiset 3648 arvoa eli yhden mittauksen ja jättää useammat samaan tiedostoon tallennetut mittaukset huomiotta. Tallennusosa käyttää tiedostonimen valintaan graafin kuvana tallentavaa ohjelmaa, josta tiedostonimi välitetään Write to Spreadsheet File -ohjelmalle. Aluksi poistettiin LabVIEW-graafin käyttöliittymäelementin kuvana tallentava osuus ja lisättiin pelkkä tiedoston tai

hakemistopolun valinta. Lopulta alkuperäinen tallennusosa korvattiin kokonaan omilla toiminnoilla.

Kirjoitettavalla ohjelmointikielellä, esim. C-kielellä, taulukot voi käydä helposti itse läpi. Käsittelemällä taulukot itse tehdyssä silmukassa halutut tiedot on helppo lisätä taulukosta poimittavien tietojen väliin. LabVIEW-ympäristössäkin tämä onnistuu, mutta merkkijonojen käsittely ei ole ehkä niin helppoa [30, s. 2], ainakaan C-kielestä LabVIEW-ympäristöön siirtyvälle. Todettiin, että useiden merkkijonojen käsittelyjen ja muutosten takia on selvempää tehdä tallennus omaksi ohjelmakseen. Niinpä aloitettiin uuden vi-tiedoston teko.

Tallennuksessa käytettävät merkkijonot

Uuteen vi-tiedostoon lisättiin aluksi tiedoston nimen tekemiseen tarvittavat kontrollit: Hakemistopolku (Path), aikaleima (Time Stamp), mittauksen nimi (Measurement Name) sekä mittauksen järjestysnumero (Measurement #). Näistä tiedoista muokattiin ja yhdistettiin (Concatenate) sopivien lisäysten avulla lopullinen tiedostopolku, jonka halutunlainen muoto varmistettiin tiedostopolun indikaattorilla. Hakemistopolun ja tiedostonimen väliin pitää muistaa lisätä käyttöjärjestelmästä riippuva hakemistoerotin, joka on Windows-ympäristössä kenoviiva '\'.

Seuraavaksi alettiin muodostamaan tiedostoon tallennettavaa sisältöä. Mittaustilanteen aika ja muut tiedot, jotka käytännössä tulevat omille riveilleen, muodostettiin ensin yhdistämällä kentän kuvaus ja erotinmerkit itse tietoon. Lopuksi nämä valmiit rivit yhdistettiin. Numerotiedot muutettiin ennen yhdistämistä merkkijonoiksi. Mittauksen järjestysnumerossa pakotettiin merkkijonon pituudeksi vähintään 4 merkkiä, ja tyhjät välimerkit korvattiin nolilla. Käyttämällä etunollia saadaan tiedostonimeen lisättävä juokseva numerointi sellaiseksi, että tiedostot lajittuvat oikeaan järjestykseen.

Aallonpituuden merkkijonoksi muuttamisessa käytetään kahta desimaalia, mikä on spektrografin ohjauksessa suurin mahdollinen tarkkuus. Triggauksen vaihtoehdot rajoitettiin kameran ajurin tukemiin vaihtoehtoihin. Triggauksien välistä aikaa määrittävä liipaisutaajuus lisättiin jo tulevaisuuden varalle. Vääristymien minimoimiseksi taajuuden tarkkuutta ei erikseen rajoitettu. Saatetaan esimerkiksi käyttää arvoa 5/3 Hz, jonka pyöristäminen tai katkaisu yhteen tai kahteen desimaaliin vääristää tietoa liikaa. Spektridatalle lisättiin omat sarkainmerkillä erotetut otsikkokenttänsä, joiden perään arvot sijoitetaan. Tiedostoon

tuotettavan sisällön muodostumista seurattiin testausta ja kehitystä varten tehdystä indikaattorikentästä.

Sisällön ollessa spektridataa vaille valmis päätettiin ohjelmaan lisätä varsinaiset tiedostonkäsittelytoiminnot. Tallentamisessa käytettiin Write to Text File.vi -funktiota. Vaikka tiedostoon kirjoitus toimii sellaisenaan, niin hyvän käytännön mukaisesti lisättiin tiedoston avaus- ja sulkemistoiminnot. Lisäksi haluttiin rajoittaa tietojen vahingossa tapahtuvaa ylikirjoitusta, joten avaustoiminnon parametreihin valittiin ”replace or create with confirmation”, mikä tuottaa varmistusdialogin jos yritetään käyttää olemassa olevaa tiedostoa. Lopuksi sulkemisen jälkeen lisättiin vielä Simple Error Handler, jotta mahdolliset virheet käsitellään. Olemassa olevan tiedoston ylikirjoittamisen peruminen on oma virheensä.

Pääohjelmaan lisättiin tallennettavien tietojen syöttämistä varten tarvittavat kontrollit. Lisäksi ohjelman muista osista tarvittavien tietojen, kuten valotusajan, saamiseksi lisättiin paikallisia muuttujia (Local Variables), jotta johdotuksia ei tarvita niin paljon. Lisättiin Index Array -funktio, jonka avulla useita mittauksia sisältävästä taulukosta voidaan poimia yhden mittauksen intensiteetit. Vaikka toistaiseksi tallennettiin vain yksi mittaus kerrallaan, niin tallennukseen lisättiin kuitenkin for-silmukka. Silmukkaan tuotavissa taulukkomuotoisissa tiedoissa voidaan käyttää automaattista indeksia. Silmukan poimiessa tarvittavat rivit automaattisesti, voitiin yksi Index Array -funktio poistaa. Toimintaa verrattiin aiempaan ja todettiin sen olevan edelleen halutunlainen.

Tehokkuuden lisäämiseksi kontrollit ja luettavat paikalliset muuttujat siirrettiin silmukan ulkopuolelle. Tällöin niitä ei tarvitse lukea jokaisella silmukan suorituskerralla, vaan yksi kerta tallennuslohkoon tullessa riittää.

Toimeksiantajalta pyydettiin mallia jostain hyvästä tai ainakin käytetystä mittaustietojen tallennustiedostosta, josta voi katsoa mallia. Mallitiedostoa ei kuitenkaan saatu. Lopulta tiedot on laitettu insinööriyön tekijän mielen mukaisesti, ja tiedoston rakenteeseen oltiin tyytyväisiä, sanottiin jopa että ”tämähän on kuin kaupallisissa mittausjärjestelmissä”.

4.5.3 Käyttöliittymän muokkausta

Tähän asti spektrografin ohjaus ja osa toiminnoista oli vain lisätty esimerkkiohjelman graafin ympärille. Uusia toimintoja lisättäessä käyttöliittymäpuoli alkoi käydä sekavaksi. Käyttöliittymään lisättiin välilehtikontrolli (Tab Control), johon laitettiin enemmän mittauksessa käytettäviä toimintoja ensimmäiselle välilehdelle ja enemmän aallonpituusasteikon ja spektrografin säätämiseen liittyviä toimintoja toiselle välilehdelle.

Aiemmin aallonpituusasteikon arvoja oli päivitetty koko ajan, ja ne muuttuivat, jos kursoria siirsi. Nyt kalibroinnille (asteikon määrittämiselle) lisättiin napit ja logiikkaa siirrettiin case-lohkoon, joka suoritetaan nappia painamalla, eli asteikkoa ei muuteta, jos kursoria siirretään kesken kaiken. Kuitenkin tietyn aallonpituuden näyttävä X-kursori jätettiin lohkon ulkopuolelle koko ajan päivitettäväksi. Resetoituna aallonpituusasteikko vastaa pikseliarvoja. Asteikko myös päivitetään spektrografin aallonpituuden muutoksen jälkeen, jos se on säädetty kohdalleen.

Välilehtikontrollin ulkopuolelle lisättiin napit, joista toisella pystytään suorittamaan yhden näytejakson lukeminen ja toisella pohjaan jäävällä napilla saadaan spektrin jatkuva lukeminen käyttöön. Jatkuva spektrin lukeminen on käyttökelpoinen varsinkin asteikkoa säädettäessä, jolloin näytteen päivittämiseksi ei tarvitse klikata uudelleen ja uudelleen.

Toivomuksena oli, että Measurement-välilehdeltäkin spektrografin aallonpituutta voidaan askeltaa ylös/alas. Spektrografissa on askellustoiminto jog-up- ja jog-down-käskyillä. Askelluksen suuruus vain on erikoinen, 1,7 nm. Lisäksi havaittiin, että eri suunnasta askeltamalla poikkeama oli noin 1,5 nm välyksien takia, kun käytettiin 600 g/mm hilaa. Normaalisti kun asetetaan tietty aallonpituus ja jos ollaan ylemmällä aallonpituudella, niin spektrografi ajaa kohdan ohi ja siirtyy asetettuun kohtaan aina samasta suunnasta, jotta tulos on mahdollisimman toistettavissa.

Measurement-välilehdelle lisättiin toivomusten mukaisesti Increase- ja Decrease-napit sekä Step-valinta. Näiden avulla tarkasteltavaa aallonpituusaluetta voidaan siirrellä kesken mittausten menemättä spektrografin säätöihin. Step-valinnalla voidaan valita napeista tapahtuva askelluksen suuruus. Aallonpituusasteikkoa päivitetään siirtymien mukaisesti.

4.5.4 Tietokantaan tallennus

Viimeisenä lisättävänä toimintona oli tietokantaan tallentaminen. Alkuvaiheessa mahdollisesti tallennettavia tietoja oli enemmänkin kuin lopullisessa listassa. Alkuperäisten määritysten perusteella ajateltiin, että jokainen tieto tallennetaan erikseen, sillä tietoja piti pystyä hakemaan esimerkiksi mittausajan perusteella. Kuitenkin myöhemmin vaatimukset tarkentuivat, sillä tietokanta on vain vaihtoehtoinen tiedostojen sisällön tallennuspaikka. Tietojen hakemiseen riittää aikaleima ja mahdollinen nimi ja järjestysnumero kuten tiedostojen nimissä. Lisäksi kokeiltavana olleen kameravaihtoehdon yhteydessä olisi saattanut olla tarvetta tallentaa paljon suurempia määriä tietoa, jopa lähes megapikselin raakakuvat. Yksinkertaisempien vaatimusten myötä ja lopullisen kameran ollessa kuitenkin vähemmän dataa tuottava viivakamera ei monimutkaisempaan tietokantaan liittyvää suunnittelua ja pohdintaa käsitellä tässä.

Koska edellisistä tietokannan kanssa tehdyistä kokeiluista oli kulunut yli puoli vuotta, tarkistettiin että tietokantayhteys vielä toimii ja käyttöön annettu tietokanta on vielä olemassa. Kokeiltiin MySQL Administrator -hallintaohjelmaa käyttämällä, että vieläkö aiemmin saadut tunnukset toimivat. Tunnuksilla päästiin kirjautumaan, ja hallinnasta nähtiin, että ajossa oleva LabVIEW-ohjelma oli yhteydessä tietokantaan. Muuttamalla parametrit sopiviksi tietokannasta löytyvälle yleiselle testi-tietokannalle saatiin LabSQL:ää käyttävään ohjelmaan luettua sinne jonkun aiemmin syöttämää tietoa.

Samaa MySQL Administrator -ohjelmaa käyttäen tehtiin yksinkertainen tietokantataulu, johon tallennetaan tiedostotallennusta vastaava sisältö sellaisenaan ja lisäksi mahdollisia hakuja varten muutama tieto (aikaleima, nimi, numero). Alla on esitetty tietokannan luontiin käytetty SQL-lauseke:

```
DROP TABLE IF EXISTS `kajaani`.`spektrifile`;
CREATE TABLE `kajaani`.`spektrifile` (
  `data` mediumblob NOT NULL,
  `filename` varchar(255) NOT NULL default "",
  `time` timestamp(14) NOT NULL,
  `name` varchar(200) NOT NULL default "",
  `no` smallint(5) unsigned NOT NULL default '0'
) TYPE=MyISAM;
```

Koska kaikki tiedot olivat jo valmiina tietojen tallennuksen tekevässä aliohjelmassa, lisättiin siihen vain valinta, käytetäänkö tietokantaa vai tiedostoja ja pääohjelmaan napit ja logiikka

tälle valinnalle. Tietojen tallennuksen lopullinen vaihe laitettiin case-rakenteen sisälle, johon toiseksi tapaukseksi lisättiin tietokannan osuus. Muodostettiin INSERT-käsky sisältäen paikan kaikille tiedoille, jotka sitten korvataan käytettävillä tiedoilla. MySQL Query Browser -ohjelman avulla tarkistettiin, että tiedot olivat menneet tietokantaan samassa muodossa kuin oli odotettukin.

4.6 Testauksesta

Testausta ei ole suoritettu mitenkään muodollisesti, vaan kehityksen aikana tehtyjä toimintoja on kokeiltu mahdollisuuksien mukaan. Esimerkiksi tallennustoiminnossa tallennettavia tietoja seurattiin, että tuleeko sisällöstä odotetun mukaista. Seuraamista tehtiin eri vaiheissa tietoja muodostettaessa sekä lopullisia tiedostoon ja tietokantaan tallentuvia tietoja tutkimalla.

Aallonpituuden sovituksen laskentaa ja asteikkoja on kokeiltu antamalla syötteiksi ääriarvoja lähellä olevia arvoja, jolloin on helppoa todeta, että arvot ovat ainakin oletetussa suuruusluokassa. Myös taulukkomuotoista tietoa käsittelevissä toiminnoissa taulukoihin on laitettu muutamia arvoja ja tarkistettu, että tulos on odotetunlainen tai tuotettua taulukkotietoa on tarkistettu esimerkiksi taulukon loppupään arvojen osalta. Debuggausta käytettiin tarvittaessa etsittäessä havaittujen ongelmien alkukohtaa.

5 VAIHTOEHTOISIA RATKAISUJA JA JATKOKEHITYSMAHDOLLISUUKSIA

Seuraavassa on esitetty muutamia asioita, jotka olisi voitu toteuttaa toisinkin. Kuitenkaan esitetyt vaihtoehdot eivät välttämättä ole parempia, vain erilaisia mahdollisuuksia asian tekemiseen.

Spektrografin ohjaus

Spektrografin ohjaimessa on myös GPIB-väylää varten lisäpiirilevy, joten sitäkin olisi voinut käyttää RS-232-muotoisen tiedonsiirron sijaan. Kuitenkin GPIB-väylät ovat normaalisti vieläkin harvemmassa kuin sarjaportit, joten sarjaportin käyttö on helpompaa vaihtuvien koneiden kanssa. Toteutetussa ajurissa käytetyt LabVIEW VISA-funktiot ovat yleiskäyttöisiä, ja sarjaportin lisäksi vaihtoehdoista löytyy niin GPIB kuin muitakin väyliä. Niinpä GPIB:n käyttö onnistuu helpoimmillaan vain portin nimeä muuttamalla, kun käytössä on GPIB-sovitin.

Spektrografin ajurin voisi viimeistellä tarkemmin NI:n LabVIEW-ajurisuositusten mukaiseksi. Käytännössä sille pitää tehdä oma projekti ja joitain täydennyksiä. Varsinkin sitten ajurin saattaisi lähettää NI:n kirjastoon muiden käytettäväksi.

Kamera

2D-kennollinen kamerakin on mahdollinen vaihtoehto, joskin viivakamera vaikuttaa helpommalta ratkaisulta.

Tietojen tallennus

Toimeksiantajalle olisi käynyt myös erillinen ohjelma tiedostoon tallennettujen mittaustulosten tallentamiseksi tietokantaan. Alun perin tarjottuna vaihtoehtona oli esimerkiksi mittausohjelmasta tallennettujen tekstitiedostojen syöttäminen PHP-kielillä tehdylle ohjelmalle, joka siirtää tiedot tietokantaan. Integroitu malli koettiin kuitenkin paremmaksi, varsinkin kun todettiin tietokantayhteyden olevan mahdollinen LabVIEW-ohjelmista.

Tietokannan hyödyntäminen

Tietokannan hyödyntämiselle ei ollut oikeaa tarvetta eikä sitä oikeastaan hyödynnetä. Käytännössä voi sanoa, että tietokantaa käytetään verkkolevyn korvikkeena. Alkuperäisissä työaiheissa spektrometrin ohjaus oli yksi työ ja tietokannan käyttö toinen, joten tässä insinööriyössä tehtiin osittain kaksi työtä. Tietokannan käyttöä LabVIEW'stä on selvitetty ja mittausohjelmassa on mahdollisuus tallentaa tiedostoa vastaavat tiedot tietokantaan. Tietokannan mahdollinen parempi hyödyntäminen, lukeminen tietokannasta, tietojen käsittely ja esittäminen jää mahdollisen jatkokehityksen piiriin.

Itsenäisesti ajettavan ohjelman ja asennuspaketin teko

Alkuun ohjelmistoa kehitettiin Kajaanin ammattikorkeakoulun kannettavalla tietokoneella ja LabVIEW-lisenssillä. Silloin spektrografin ohjausta ja tietokantayhteyden testaamista varten tehtiin myös ”itsenäisesti” ajettava exe-tiedosto, jonka lisäksi on käytännössä muutama muu tiedosto, sekä tarvitaan LabVIEW RTE, NI-VISA ja mahdolliset muut käytettävät lisäosat. Näistä on kuitenkin mahdollista tehdä LabVIEW-projekti, josta voi tehdä asennusta varten exe-tiedoston. Mittaustietokoneella olevaan LabVIEW-lisenssiin ei kuitenkaan kuulu Application Builder -lisenssi, jota tarvitaan exe-tiedostojen tekemiseen.

6 YHTEENVETO

Alussa käytiin läpi työn taustalla olevaa spektroskopiaan liittyvää fysiikkaa, kuten sähkömagneettista säteilyä ja spektrejä. Lisäksi esiteltiin spektrien tuottamisessa ja mittaamisessa hyödynnettäviä ilmiöitä ja välineitä.

Toiseksi esiteltiin laitteita ja ohjelmistoja joihin tutustuttiin työn aikana. Tärkeimpiä laitteita olivat tietenkin itse spektrografi ja ilmaisimena käytetty CCD-viivakamera. Ohjelmista esiteltiin lyhyesti LabVIEW'tä ja spektrografin ja käytettyjen ilmaisimien kanssa käytettäviä ohjelmia.

Välineiden esittelyn jälkeen kerrottiin laitteisiin tutustumisesta, spektrografin LabVIEW-ajurin sekä mittausohjelman kehityksestä. Tätä kirjoitettaessa ohjelmaan on toteutettu kaikki vaatimuksena esitetyt ominaisuudet ja toiveetkin mahdollisuuksien mukaan. Vaaditun perustoiminnallisuuden osalta ohjelman silloista kehitysversiona on myös käyty tilaajan edustajien kanssa läpi ja saatu hyvää palautetta. Käyttöliittymän osalta muutoksia voi vielä mahdollisesti tehdä ja selkeyttää asioita.

7 LÄHTEET

- 1 Mittatekniikan keskus 2012. MIKES - Mittatekniikan keskus. WWW-dokumentti. (Luettu 27.03.2012.) [<http://www.mikes.fi/>]
- 2 Mittatekniikan keskus 2010. Mittatekniikan keskuksen tiedotuslehti Tiimalasi 2/2010. PDF-versio saatavissa:
[http://www.mikes.fi/documents/upload/tiimalasi_2_2010.pdf]
- 3 Edited by Gauglitz, Günter – Vo-Dinh, Tuan 2003. Handbook of Spectroscopy, Volume 1. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- 4 Arminen, Erkki ym. 1998. Fysiikan laboratoriotyöt. Tampere: Tammertekniikka.
- 5 Inkinen, Pentti – Manninen, Reijo – Tuohi, Jukka 2003. Momentti 2: Insinöörfysiikka. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.
- 6 Romppainen, Pentti 2003. 18 Valon aallonpituus ja taitekerroin. Fysiikan laboraatioiden työohje. Päivitetty 11.03.2003. Kajaani: Kajaanin ammattikorkeakoulu. Ei saatavilla avoimessa verkossa.
- 7 Stuart, Barbara 2004. Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications. John Wiley & Sons, Ltd.
- 8 Acton Research Corporation 19xx. SpectraPro 275 0.275 Meter Focal Length Monochromator / Spectrograph Operating Instructions. PDF-kopio sähköpostin liitteenä. (Luettu 27.6.2011.) Ladattavissa:
[ftp://ftp.piacton.com/Public/Manuals/Acton/SP-275_Obsolete.pdf]
- 9 The Spectroscopy Net 2007. Gateway to Spectroscopy > Spectrometers > Monochromator > Cerny Turner Design. WWW-dokumentti. Päivitetty 10.12.2007. (Luettu 4.4.2012.)
[http://www.thespectroscopynet.eu/Index.php?Spectrometers:Monochromator:Cerny_Turner_Design]

- 10 Sunix 2011. SUNIX > FWB3414G > PCI Express 2 ext.1394B and 1+1 1394A Ports Card. WWW-dokumentti. (Luettu 20.7.2011.)
[\[http://www.sunix.com.tw/product/fwb3414g.html\]](http://www.sunix.com.tw/product/fwb3414g.html)
- 11 National Instruments 2011. National Instruments Product Compatibility for Microsoft Windows 7. WWW-dokumentti. Päivitetty 11.5.2011. (Luettu 20.6.2011.)
[\[http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/10383\]](http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/10383)
- 12 Point Grey Research, Inc. 2010. Point Grey Research Inc - Sales - Model and Part Numbers. WWW-dokumentti. (Luettu 2.8.2011.)
[\[http://www.ptgrey.com/sales/models.asp?product=flea2\]](http://www.ptgrey.com/sales/models.asp?product=flea2)
- 13 Point Grey Research, Inc. 2010. Flea2 Technical Reference. PDF-dokumentti. Päivitetty 10.6.2011. (Luettu 28.6.2011.) [Dokumentti on ladattavissa valmistajan sivuilta laitteen sarjanumerolla tapahtuvan rekisteröitymisen jälkeen.]
- 14 Point Grey Research, Inc. 2010. Point Grey - Imaging Products - Flea2 CCD FireWire 800 Cameras. WWW-dokumentti. Päivitetty 6.4.2011 tai uudempi. (Luettu 28.6.2011.) [\[http://www.ptgrey.com/products/flea2/flea2_firewire_camera.asp\]](http://www.ptgrey.com/products/flea2/flea2_firewire_camera.asp)
- 15 Point Grey Research, Inc. 2010. Flea2 Getting Started Manual. PDF-dokumentti. Päivitetty 6.4.2011 tai uudempi. (Luettu 28.6.2011.)
[\[http://www.ptgrey.com/support/downloads/documents/Flea2%20Getting%20Started%20Manual.pdf\]](http://www.ptgrey.com/support/downloads/documents/Flea2%20Getting%20Started%20Manual.pdf)
- 16 ALPHALAS GmbH 2011. ALPHALAS CCD-S3600-D(-UV) Manual 2011_10_26. PDF-dokumentti. (Luettu 28.12.2011.) Uusin versio ladattavissa:
[\[http://www.alphalas.com/images/stories/products/laser_diagnostic_tools/ALPHALAS_Advanced_Digital_CCD_Line_Camera_CCD-S3600-D\(-UV\)_Manual.pdf\]](http://www.alphalas.com/images/stories/products/laser_diagnostic_tools/ALPHALAS_Advanced_Digital_CCD_Line_Camera_CCD-S3600-D(-UV)_Manual.pdf)
- 17 Newport Corporation 2012. Light Sources / Calibration Sources / Pencil Style Calibration Lamps. WWW-dokumentti. (Luettu 17.2.2012.)
[\[http://search.newport.com/i/1/x1/pageType/q1/Products/q2/Light%20Sources/q3/Calibration%20Sources/q4/Pencil%20Style%20Calibration%20Lamps/x2/section/x3/chapter/x4/family/nav/1/\]](http://search.newport.com/i/1/x1/pageType/q1/Products/q2/Light%20Sources/q3/Calibration%20Sources/q4/Pencil%20Style%20Calibration%20Lamps/x2/section/x3/chapter/x4/family/nav/1/)

- 18 Newport Corporation 2012. Light Sources / Calibration Sources / Pencil Style Calibration Lamps / 6035 Spectral Calibration Lamp, Hg (Ar), 18, ± 5 mA, 5000 Hrs Rated Life. WWW-dokumentti. (Luettu 17.2.2012.) [http://search.newport.com/?q=*&x2=sku&q2=6035]
- 19 Newport Corporation 2012. Pencil Style Calibration Lamps. WWW-dokumentti. (Luettu 17.2.2012.) [<http://www.newport.com/Pencil-Style-Calibration-Lamps/377846/1033/info.aspx>]
- 20 National Instruments 2010. LabVIEW Run-Time Engine 2009 SP1 - (32-bit Standard RTE) - Windows 2000/7/7 64 bit/XP/Server 2008 R2 (64-bit)/Vista/Vista x64/Server 2003 R2 (32-bit). WWW-dokumentti. Päivitetty 1.2.2010. (Luettu 29.6.2011.) [<http://joule.ni.com/nidu/cds/view/p/id/1600/lang/en>]
- 21 National Instruments 2011. Download LabVIEW 2010. WWW-dokumentti. (Luettu 20.7.2011.) [<http://lumen.ni.com/nicif/us/evallvuser/content.xhtml>]
- 22 National Instruments 2010. LabVIEW Run-Time Engine 2010 - (32-bit Standard RTE) - Windows 7/7 64 bit/Server 2003 R2 (32-bit)/XP/Vista/Vista x64/Server 2008 R2 (64-bit). WWW-dokumentti. Päivitetty 1.8.2010. (Luettu 29.6.2011.) [<http://joule.ni.com/nidu/cds/view/p/id/2087/lang/en>]
- 23 National Instruments 2011. ni.com: Support :: Drivers and Updates > Instrument Connectivity Instrument Drivers/IVI. WWW-dokumentti. (Luettu 21.7.2011.) [<http://search.ni.com/nisearch/app/main/p/bot/no/ap/tech/lang/en/pg/1/sn/catnav:du,n8:3.1637,ssnav:sup/>]
- 24 National Instruments 2011. NI Vision Acquisition Software. WWW-dokumentti. (Luettu 4.5.2012.) [<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/12892>]
- 25 Apache Friends 2011. apache friends – xampp for windows. WWW-dokumentti. Päivitetty 26.1.2011. (Luettu 20.6.2011.) [<http://www.apachefriends.org/en/xampp-windows.html>]

- 26 Oracle/MySQL 2010. Download MySQL Workbench. WWW-dokumentti. Päivitetty 26.5.2011. (Luettu 20.6.2011.) [<http://dev.mysql.com/downloads/workbench/>]
- 27 Oracle/MySQL 2010. MySQL GUI Tools Bundle: Archived Downloads. WWW-dokumentti. (Luettu 21.6.2011.) [<http://dev.mysql.com/downloads/gui-tools/5.0.html>]
- 28 Jeffrey Travis Studios LLC 2004. LabSQL. WWW-dokumentti. Päivitetty 16.8.2004. (Luettu 13.6.2011.) [<http://jeffreytravis.com/lost/labsql.html>]
- 29 National Instruments Corporation 2000. LabVIEW™ Basics I Course Manual. September 2000 Edition. Part Number 320628G-01.
- 30 Tikkanen, Tuomo 2011. Mittausjärjestelmien ohjelmointi -kurssi: LabVIEW esittely. Luentokalvot. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. PDF-dokumentti. Päivitetty 9.1.2011. (Luettu 24.2.2012.) [http://www.oamk.fi/~tikkanen/tte9snl/mittausjarjestelmien_ohjelmointi/labview_esittely.pdf]
- 31 National Instruments 2011. Instrument Driver Network. WWW-dokumentti. (Luettu 6.7.2011.) [<http://www.ni.com/devzone/idnet/>]
- 32 National Instruments 2010. Acton Research Corporation / Princeton Instruments SpectraPro-150. WWW-dokumentti. Päivitetty 10.2.2010. (Luettu 6.7.2011.) [http://sine.ni.com/apps/utf8/niid_web_display.model_page?p_model_id=3086]
- 33 Princeton Instruments 2011. Products - Software Overview - Scientific Imaging Toolkit (SITK®) for LabView. WWW-dokumentti. (Luettu 13.7.2011.) [<http://www.princetoninstruments.com/products/software/#4>]
- 34 R Cubed Software 2011. FAQ For Scientific Imaging ToolKit™ (SITK®) for LabVIEW™ Version 3.0.10.0. WWW-dokumentti. Päivitetty 27.10.2010. (Luettu 13.7.2011.) [<http://www.rcubedsw.com/Labview.htm>]
- 35 Princeton Instruments 2011. Acton Monochromator Control Software for Windows. Ver. 3.0. Asennustiedosto. Päivitetty 1.9.2009. (Ladattu 5.7.2011.) Ladattavissa: [<ftp://ftp.piacton.com/Public/Software/Official/Acton/monocontrol.exe>]

- 36 Princeton Instruments 2011. Acton Monochromator Control Software for Windows. Ver. 3.0. PDF-dokumentti. Päivitetty 1.2.2011. (Luettu 5.7.2011.) Ladattavissa: [ftp://ftp.piacton.com/Public/Manuals/Acton/Monochromator_Control_Software_Manual.pdf]
- 37 Zinner, Michael G. 2010. MySQL Workbench 5.2.34 » Blog Archive » EOL of MySQL Query Browser, MySQL Administrator, MySQL Migration Toolkit. Blogikommentti. Päivitetty 15.1.2010. (Luettu 21.6.2011.) [<http://wb.mysql.com/?p=470#comment-1233>]
- 38 Aivaliotis, Michael 2004. Using MySQL with LabVIEW. PDF-dokumentti. Päivitetty 16.7.2004. (Luettu 13.6.2011.) [http://forums.ni.com/ni/attachments/ni/170/565172/1/Using_MySQL_with_LabVIEW.pdf]
- 39 Beginner's guide to outputting data from Labview to MySQL. 2006. Keskustelupalstan viesti. Päivitetty 4.10.2010. (Luettu 13.6.2011.) [<http://forums.ni.com/t5/LabVIEW/Beginner-s-guide-to-outputting-data-from-Labview-to-MySQL/td-p/445108>]
- 40 Performance Microwave Inc. 2009. Free LabVIEW SQL/ODBC LLB. WWW-dokumentti. Päivitetty 23.9.2009. (Luettu 13.6.2011.) [http://performancemicrowave.com/sql_LV.html]
- 41 National Instruments 2011. Native LabVIEW TCP/IP Connector for mySQL Database. WWW-dokumentti. Päivitetty 18.5.2011. (Luettu 13.6.2011.) [<https://decibel.ni.com/content/docs/DOC-10453>]
- 42 National Instruments 2012. NI LabVIEW Database Connectivity Toolkit. WWW-dokumentti. (Luettu 4.4.2012.) [<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/209060>]
- 43 Microsoft 2011. Microsoft Windows XP - Using Data Sources (ODBC). WWW-dokumentti. (Luettu 20.6.2011.) [http://www.microsoft.com/resources/documentation/windows/xp/all/proddocs/en-us/app_mdac.aspx?mfr=true]

- 44 Microsoft 2011. Text File Driver Programming Considerations. WWW-dokumentti. (Luettu 20.6.2011.) [<http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms714091.aspx>]
- 45 Oracle/MySQL 2010. Download Connector/ODBC. WWW-dokumentti. (Luettu 22.6.2011.) [<http://dev.mysql.com/downloads/connector/odbc/>]
- 46 Oracle/MySQL 2010. Download Connector/ODBC 3.51.28. WWW-dokumentti. (Luettu 30.6.2011.) [<http://dev.mysql.com/downloads/connector/odbc/3.51.html#downloads>]
- 47 MySQL 2011. MySQL 5.1 Reference Manual: 20.1.4.3. Configuring a Connector/ODBC DSN on Windows. WWW-dokumentti. (Luettu 23.6.2011.) [<http://dev.mysql.com/doc/refman/5.1/en/connector-odbc-configuration-dsn-windows.html>]
- 48 MySQL 2011. MySQL 5.0 Reference Manual: 25.1.3.5 Connector/ODBC Connection Parameters. WWW-dokumentti. (Luettu 13.6.2011.) [<http://dev.mysql.com/doc/refman/5.0/es/myodbc-configuration-connection-parameters.html>]
- 49 ConnectionStrings.com 2011. Connection strings for MySQL. WWW-dokumentti. (Luettu 13.6.2011.) [<http://www.connectionstrings.com/mysql#p31>]
- 50 MySQL 2011. MySQL 5.1 Reference Manual: 20.1.4.6. Connecting Without a Predefined DSN. WWW-dokumentti. (Luettu 23.6.2011.) [<http://dev.mysql.com/doc/refman/5.1/en/connector-odbc-configuration-connection-without-dsn.html>]
- 51 Microsoft 2011. Microsoft Office - Access - Tietoja ODBC-tietolähteistä. WWW-dokumentti. (Luettu 23.6.2011.) [<http://office.microsoft.com/fi-fi/access-help/tietoja-odbc-tietolahteista-HP005241666.aspx>]
- 52 Microsoft 2011. Microsoft Office - SharePoint Designer - Tietokannan lisääminen tietolähteeksi. WWW-dokumentti. (Luettu 23.6.2011.) [<http://office.microsoft.com/fi-fi/sharepoint-designer-help/tietokannan-lisaaminen-tietolahteeksi-HA010100908.aspx#BM5>]

- 53 National Instruments 1996. Error 1073676294 from VISA Read in LabVIEW. WWW-dokumentti. Päivitetty 8.5.2007. (Luettu 8.7.2011.) [<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/C96C84C922DC3F978625632500482F78>]
- 54 LabVIEW Wiki 2007. While Loop. WWW-dokumentti. Päivitetty 26.12.2007. (Luettu 13.7.2011.) [http://labviewwiki.org/While_Loop]
- 55 National Instruments 2009. Case and Sequence Structures. WWW-dokumentti. Päivitetty 6.2009. (Luettu 13.7.2011.) [http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361F-01/lvconcepts/case_and_sequence_structures/]
- 56 Point Grey Research, Inc. 2010. Products and Services: Imaging Products: FlyCapture® SDK Samples. WWW-dokumentti. Päivitetty 29.10.2009 tai uudempi. (Luettu 18.7.2011.) [<http://www.ptgrey.com/products/pgrflycapture/samples.asp>]
- 57 Future Technology Devices International Ltd. 2012. D2XX Direct Drivers. (Luettu 28.12.2011.) [<http://www.ftdichip.com/Drivers/D2XX.htm>]
- 58 National Instruments 2009. LabVIEW 2009 Help: Adding Multiple X- and Y-Scales on Graphs or Charts. WWW-dokumentti. Päivitetty 6.2009. (Luettu 16.2.2012.) [<http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361F-01/lvhowto/addingmultiplexandyscales/>]
- 59 National Instruments 2009. KnowledgeBase: How to Graph Plots using Different Scales in LabVIEW. WWW-dokumentti. Päivitetty 3.3.2009. (Luettu 16.2.2012.) [<http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361F-01/lvhowto/addingmultiplexandyscales/>]

