



Aki Fagerström

Suunnitelma simuloitun eristys- lasilinjaston toteuttamiseksi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

6.5.2023

Tiivistelmä

Tekijä: Aki Fagerström
Otsikko: Suunnitelma simuloidun eristyslasilinjaston toteutamiseksi
Sivumäärä: 35 sivua
Aika: 6.5.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine: Elektroniikka
Ohjaajat: Lehtori Anssi Ikonen,
Pekka Lehtinen, Service Manager

Eristyslasilinjastot ovat suuria, kalliita ja monimutkaisia kokonaisuuksia. Ne toimivat olennaisena osana lasiteollisuutta ikkunalasien ja muiden eristyslasielementtien valmistuksessa ja ovat siten rakentamisen energiatehokkuuden parantamisessa avainroolissa. Lasiteollisuuden liitännäisillä yrityksillä on kuitenkin hankalaa päästä käsiksi eristyslasilinjastoon omaa tuotekehitystä ja innovointia varten.

Tämän insinööriytyön tavoitteena oli luoda runko- ja toimintasuunnitelma eristyslasilinjaston simuloimiseksi. Työn tilasi Sparklike Oy testi- ja tuotekehitystarpeeseen. Sparklike Oy on suomalainen eristyskaasupitoisuuksia mittaavien lasermittalaitteiden valmistaja. Työssä selvitettiin eristyslasin kaasupitoisuuden mittaamisen tarvetta ja mittaustapoja. Sen jälkeen esiteltiin suunnitelma simuloidun eristyslasilinjaston toteuttamiseksi, mikä sisälsi ehdotuksen simuloidun eristyslasilinjaston rakenteesta, ohjauslogiikasta ja toteutuksesta.

Lopuksi selviteltiin jatkokehityksen mahdollisuuksia ja niiden toteutusta. Insinööri-työssä luotiin pohjustus projektin tulevalle toteutukselle. Alun perin työn piti sisältää toimiva laitesimulaatio, mutta valitettavasti käytettävä aika ja resurssit eivät siihen riittäneet. Projekti viedään loppuun kesän 2023 aikana, ja toimiva eristyslasilinjaston simulointi otetaan käyttöön syksyn 2023 aikana.

Avainsanat: eristyslasilinjasto, lasermittalaite, simulointi, toimintasuunnitelma, Sparklike Oy, Laser Integrated

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Aki Fagerström
Title: Plan for implementing a simulated insulated glass production line
Number of Pages: 35 pages
Date: 6 May 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and automation engineering
Professional Major: Electronics
Supervisors: Anssi Ikonen, Senior Lecturer
Pekka Lehtonen, Service Manager

Insulated glass production lines are large, complicated, and expensive entities. They function as an integral part of the glass industry in manufacturing insulated glass units such as windows and other glass elements, improving the energy efficiency of construction. Glass industry adjacent companies however have a hard time accessing insulated glass production lines for their own innovation and product development purposes.

The purpose of this thesis was to create a framework for implementing a simulated insulated glass production line. The work was commissioned by Sparklike Oy for testing and product development purposes. Sparklike Oy is a Finnish measuring device manufacturer, whose devices use laser technology to measure insulating gas concentration in glass. In the thesis the importance of measuring insulating gas in glass was examined as well as methods for measuring gas where presented. A plan for implementing a simulated insulated glass production line was presented including a suggestion of implementation for control logic, mechanical implementation, and general function.

Lastly ideas for further development of the project were explored. In the thesis a framework was presented for future realization of the project. Initially the thesis was to include a complete and functioning simulation of an insulated gas production line, but unfortunately due to the lack of resources and a time crunch this was not possible in the scope of this thesis. The project will be concluded during summer 2023 and the finished simulated insulated glass production line will be deployed in fall 2023.

Keywords: Insulated glass production line, laser measuring device, Sparklike Oy, Laser Integrated, action plan

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Projektin tarve ja toteutus	2
2.1	Toteutus	2
2.1.1	Suunnitteluvaihe	3
2.1.2	KytKentä- ja kokoamisvaihe	3
2.1.3	Testaus- ja käyttöönottovaihe	3
2.2	Miksi kaasupitoisuuksia eristyslasissa mitataan?	4
3	Menetelmiä eristyskaasun mittaamiseen lasissa	7
3.1	Destruktiiviset testausmenetelmät	7
3.2	Non-destruktiiviset testausmenetelmät	8
3.3	TDLAS (Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy)	9
3.3.1	TDLAS toimintaperiaate	10
3.3.2	TDLAS menetelmän edut ja rajoitukset	11
3.4	Sparklike Laser Integrated mittalaite	12
3.4.1	Mittatorni	13
3.4.2	Sähkökaappi	14
3.4.3	LI mittalaitteen toiminta	15
3.5	Vertical-cavity surface-emitting laser (VCSEL)	17
3.5.1	Rakenne	18
3.5.2	Vertailu muihin lasertyyppihin	19
3.5.3	Sovellukset	20
4	Suunnitelma simuloidun erityslasilinjaston toteutukselle	21
4.1.1	Mekaaninenosa	21
4.1.2	Ohjausosa	22
4.2	Optiset anturit	23
4.2.1	Miksi optinen anturi?	24
4.2.2	Optisten antureiden toiminta	24
4.3	Ohjauslogiikka ja kommunikaatio	25
4.3.1	Releohjaus	26
4.3.2	Profibus	26

4.4	Ohjauslogiikka	27
4.4.1	Mikro-ohjain	28
4.4.2	Servomoottori	30
4.4.3	Lineaariregulaattori	31
5	Seuraavat askeleet ja jatkokehitys	31
5.1	Jatkokehitys	31
5.2	Haasteet	32
6	Yhteenveto	33

Lähteet

Lyhenteet

- EPBD: *Energy performance of buildings directive*. Eu-direktiivi, joka koskee rakennusten energiatehokkuuden edistämistä.
- IEA: *International Energy Agency*. Kansainvälinen energiajärjestö energia-alan yhteistyön edistämäksi.
- LI: *Laser Integrated mittalaite*. Sparklike Oy:n valmistava eristyslasilinjastoon integroitava eristyskaasupitoisuuksia mittaava lasermittalaite.
- PLC: *Programmable logic controller*. Automaatiosovelluksissa käytettävä ohjelmoitava logiikka.
- SES: *Spark emission spectroscopy*. Mittausmenetelmä, jolla voidaan tarkasti todeta mitattavan kohteen kaasupitoisuuksia, hyödyntäen korkeajännite kipinää.
- TDLAS: *Tunable diode laser absorption spectroscopy*. Mittausmenetelmä, joka hyödyntää viritettävää diodilaseria kaasupitoisuuksien mittaamiseen väliaineessa.
- VCSEL: *Vertical-cavity surface-emitting laser*. Eräänlainen puolijohdelaserdiodi, joka on tyypiltään pintasäteilevä.

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä luodaan suunnitelma ja puitteet toteuttaa eristyslasilinjaston simulaatio testi- ja esittelykäyttöön. Laadukas eristyslasin valmistus on tärkeässä osassa energiatehokkuuden parantamisessa niin uudis- kuin korjausrakentamisessa, ja on merkittävässä osassa maailmanlaajuisessa kamppailussa ilmastonmuutosta vastaan. Eristyslasilinjastot ovat hyvin suuria, kalliita ja monimutkaisia kokonaisuuksia, joita on hyvin vaikea lasiteollisuuden liitännäisillä aloilla käyttää tuotekehitykseen ja innovointiin.

Työn tilasi Sparklike Oy, suomalainen yritys, joka valmistaa mittalaitteita erityskaasupitoisuuksien mittaamiseksi eristyslaselementeissä. Sparklike Oy on maailman johtava laserteknologiaa hyödyntävien non-destruktiivisten mittalaitteiden valmistaja. Sparklike Oy:n tuotteisiin kuuluu eristyslasilinjastoon integroitava Laser Integrated -mittalaite, jonka testaamiselle ennen toimitusta ja asennusta asiakkaalle on tarve, jota ei ole aiemmin voitu tyydyttää. Tämän insinööriyön tavoitteena on luoda toimintasuunnitelma, runko ja esivalmistelut eristyslasilinjaston simuloinnin toteutukselle. Työssä nostetaan esiin projektissa huomioitavia seikkoja sekä tehdään taustatyötä ja mitoitusta projektin loppuunviemiselle. Työssä esitellään ensimmäiseksi insinööriyön tarpeellisuus yritykselle. Sitten tutustutaan syihin eristyslasin kaasupitoisuuksien mittaamisen tärkeydestä ja käydään läpi erilaisia tapoja kaasupitoisuuden mittaamiseen erityslasin sisällä. Tämän jälkeen tarkastellaan mittausteoriaa ja teknologiaa, joka toimii perustana tämän insinööriyön mittalaitteen toiminnalle. Sparklike Oy:n Laser Integrated -mittalaite esitellään. Seuraavaksi esitetään ehdotus simuloidun erityslasilinjaston kokoonpanosta, toiminnasta ja ohjauslogiikasta. Lopuksi pohditaan projektin toteutusta, haasteita ja jatkokehityksen mahdollisuuksia.

2 Projektin tarve ja toteutus

Sparklike Oy:llä, joka valmistaa eristyslasilinjastoon integroitavia LI-mittalaitteita, oli tarve kehittää tapa, jolla voitaisiin tehdä koemittauksia ja tuotekehitystä simuloitussa tuotantoympäristössä. Aiemmin Sparklike Oy:llä ei ollut mahdollisuutta suorittaa laitetestejä ennen asiakkaalle myydyn mittalaitteen asentamista eristyslasilinjastoon.

LI-mittalaitteelle oli jo aiemmin tehty mittatornin prototyyppi, joka on varsinaista mittatornia pienempi yksikkö. Sitä ei kuitenkaan voitu kovin laajasti hyödyntää testaamiseen ja tuotekehitykseen, koska sellaisenaan siitä puuttui laajemmin käyttömahdollisuuksia, jotka vastaisivat niitä olosuhteita, joissa valmista laitetta käytetään. Aiemmin linjakommunikaation testaus on suoritettu mittalaitteen asentamisen yhteydessä asiakkaalla, mikä on vienyt turhaa aikaa ja työtunteja asiakkaan luona. Mahdollisten vikatilanteiden ilmetessä on voitu joutua palaamaan samalle asiakkaalle useampaan otteeseen ongelmien ratkaisemiseksi.

Simuloitu eristyslajilinjasto tarjoaa mahdollisuuden myös huollon tarpeiden ennakointiin ja mahdollistaa vianhaun ja ratkonnin ilman, että huoltohenkilökunnan edes tarvitsee matkustaa asiakkaan luokse.

2.1 Toteutus

Projekti toteutetaan yhdessä Sparklike Oy:n ja sen alihankkijoiden kanssa. Sparklike Oy toimittaa projektiin tarvittavat komponentit, työajan ja työtilat. Alihankkijat toimittavat tilauksesta sähkökaapin kytkemättömänä sekä hoitavat mekaanisen suunnittelun pienoiseristyslasilinjastolle Sparklike Oy:n toiveiden ja vaatimusten mukaisesti.

Projektin toteutus voidaan tämän suunnitelman mukaan karkeasti jakaa kolmeen osaan, jotka ovat:

1. suunnitteluvaihe.
2. kytkentä- ja kokoamisvaihe.
3. testaus- ja käyttöönottovaihe.

2.1.1 Suunnitteluvaihe

Suunnitteluvaiheessa projekti rajattiin ja sen tavoitteet asetettiin. Eristyslasilinjas-
ton toiminta projektia varten määriteltiin ja sen mukaan tehtiin komponenttikartoi-
tus. Toimintalogiikan suunnittelu aloitettiin kartoittamalla Sparklike Oy:n tarpeet
ja toiveet projektin suhteen, komponentteja ja osakokonaisuuksia mitoitettiin.
Työvaiheet kartoitettiin sekä mekaniikan toteutuksesta ja suunnittelusta tehtiin
tarjouspyyntö alihankkijalle.

2.1.2 Kytkentä- ja kokoamisvaihe

Sähkökaapin kytkennät ja johdotus suoritetaan kytkentä- ja kokoamisvaiheessa.
Samalla näistä luodaan kytkentäkuvat ja muu tarvittava dokumentaatio. Tässä
vaiheessa myös viimeistellään ohjauslogiikan suunnittelu ja ohjelmointi olettaen,
että mekaaninen kokoaminen on onnistuneesti viety loppuun. Eristyslasilinjas-
toon asennetaan ja kytketään raja-anturit, liukuhihnan servomoottori ja toiminta-
logiikan sisältävä ohjausmoduuli.

2.1.3 Testaus- ja käyttöönottovaihe

Tässä vaiheessa projektin toiminta testataan osittain ja lopuksi kokonaisuutena. Mittalaitteen sähkökaapin kytkemisen jälkeen sen toiminta testataan, jonka jälkeen mittatorni ja näiden yhteistoiminta testataan. Mittatornin servomoottorin toiminta testataan ennen yhteenliittämistä sähkökaapin kanssa.

Eristyslasilinjaston anturien ja servomoottorin toiminta testataan, sekä samoin niiden toiminta ohjelmoinnin mukaan.

Lopuksi mittalaite liitetään eristyslasilinjastoon ja mittalaitteen sekä eristyslasilinjaston kommunikaatio testataan.

2.2 Miksi kaasupitoisuuksia eristyslasissa mitataan?

Tutkimusten perusteella on todettu, että rakennuksien osuus kokonaisenergiankulutuksesta Pohjois-Amerikan ja Euroopan alueella on 40 %. Toimistotaloissa, joissa ikkunapinta-alat ovat tyypillisesti suurempia, on arvioitu, että on mahdollista päästä jopa 50 %:n energiasäästöihin käyttämällä argontäytteisiä ikkunoita. IEA on raportissaan todennut, että toimistorakennusten kokonaisenergiankulutus koostuu taulukon 1 mukaisesti [1]:

Taulukko 1 Toimistorakennusten kokonaisenergiankulutus

	Valaistus	Lämmittä- mien	Viilentäminen	Muut
Osuus energi- ankulutuksesta	20%	16%	14%	60%

On arvioitu, että tästä kulutuksesta 25 % pystyttäisiin vähentämään, mikäli rakennusten ikkunoissa käytettäisiin argontäytteisiä kaksi -tai kolmekerros-laseja verrattaessa ilmatäytteisiin ikkunoihin. Ikkunapinta-alan osuus rakennusten kokonaiseinäpinta-alasta vaihtelee tyypillisesti 15–20 %:n välillä. [2, s. 1.]

EU-tasolla on arvioitu, että rakennuskannasta 35 % on ainakin 50 vuotta vanhaa ja 75 % energiatehotonta. On myös havaittu, että vain noin 1 % rakennuskannasta uudistuu vuosittain. Ottaen huomioon edellä mainitun, on niin uudiskuin korjausrakentamisessa tärkeää erityisesti huomioida rakennusten energiatehokkuus kustannusten sekä ympäristön kannalta. Pinnoite- ja kemianteollisuuden alalla toimiva yritys AkzoNobel tutki vuonna 2012 eroja erilaisten ilma- ja argontäytteisten eristyslasikokoonpanojen välillä energiatehokkuutta ja öljynkulutusta silmällä pitäen. Tutkimuksessa ”*Energy saving without noble gas filling?*” päädyttiin siihen, että käyttämällä pinnoitettua argontäytettyä kaksi tai kolmekerrosasia voidaan öljynkulutusta vähentää jopa 757 % ja energiatehokkuutta parantaa 769 %, kun verrataan argontäytteistä kolmekerrosasia ilmatäyteiseen yksikerrosasiin. [3; 4 s. 1.] Taulukko 2 havainnollistaa eri lasikokoonpanojen energiatehokkuutta ja öljynkulutusta.

Taulukko 2 Eri lasikokoonpanojen energiatehokkuus ja öljynkulutus

	Yksikkö	Yksikerros- lasi ilma- täytöllä	Kaksiker- ros-lasi ilma- täytöllä	Kaksikerros-lasi argontäytöllä, Low-E pinnoit- teella	Kolmikerros-lasi argontäytöllä, Low-E pinnoit- teella
Energia- tehok- kuus U_g	$W/(m^2 * K)$	5,60	2,80	1,30	0,65
Öljynku- lutus	$l/(m^2 * y)$	60	30	15	7

Energiatehokkuus U_g jonka yksikkö on $W/(m^2 * K)$ on määre, jolla ilmaistaan kuinka, paljon lämpöenergiaa tietty väliaine päästää itsensä läpi. Mitä pienempi U_g :n arvo on, sitä vähemmän lämpöenergiaa väliaine päästää läpi. Argontäytteinen ikkuna toimii siis eristeenä, koska kaasuna argon on tiheämpää kuin ilma,

jolloin argontäytteisen väliaineen läpi ei pääse lämpöenergiaa siirtymään samalla tapaa kuin jos väliaine olisi ilmatäytteinen.

Pitämällä Ug-arvo mahdollisimman pienenä, voidaan energiatehokkuutta parantaa esimerkiksi rakennusteollisuudessa, mikä johtaa pitkällä aikajänteellä rahallisiin säästöihin asiakkaiden näkökulmasta. Laadunvarmistus on alati tärkeämmässä osassa eristyslasin valmistuksessa, koska niin tuotantoprosessin alkupäässä kuin valmiin tuotteen ostavalla loppuasiakkaalla on varmistua, että hankittu tuote vastaa laadultaan sitä mikä on odotuksissa. Käytännössä niin kaksi- kuin kolmekerroslasia valmistettaessa pyritään pääsemään 95 %:n argontäyttöön, jotta saavutettaisiin mahdollisimman korkea energiatehokkuus valmistetavalle lasille.

Myös niin kansallisesti kuin kansainvälisesti on rakentamisessa lasielementtien energiatehokkuudelle asetettu tiettyjä raja-arvoja, joiden sisällä elementtien Ug-arvon tulisi olla. Suomessa on esimerkiksi säädetty, että kaikissa uusissa asuintaloissa käytettävissä lasielementeissä Ug arvon tulisi olla vähintään $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Vaade koskee myös korjausrakentamisessa käytettäviä uusia lasielementtejä. EU-tasolla jäsenmaat saavat itse asettaa vähimmäistason Ug-arvolle, sekä määritykset energiatehokkuuden tasolle EU-asetuksien ja EPBD-direktiivin sisällä. [5.]

3 Menetelmiä eristyskaasun mittaamiseen lasissa

Menetelmät eristyskaasun mittaamiseen lasissa voidaan karkeasti jakaa kahteen pääryhmään: destruktiivisiin ja non-destruktiivisiin testausmenetelmiin. Menetelmiä erottaa mittaustapa, mittausteknologia sekä mitattavan eristyslasin käyttömahdollisuus mittauksen jälkeen.

3.1 Destruktiiviset testausmenetelmät

Destruktiivisella testausmenetelmällä mitattaessa on edellytyksenä, että mitattavaan eristyslasiin tehdään pieni reikä, johon mittalaite voidaan kaasun mittaamiseksi asettaa. Mittaus tapahtuu yleensä asettamalla injektioneula tehtyyn reikään. Injektioneula toimii mitta-anturina, jonka läpi kaasu pääsee virtaamaan itse mittalaitteelle.

Mittalaitteena tässä testausmetodissa toimii joko happimittari tai kaasukromatografi. Kaasukromatografilla saadaan tarkka mittatulos eristyslasin kaasupitoisuudesta ja koostumuksesta, mutta verrattuna happimittariin vaati kaasukromatografi käyttäjältään osaamista sen käytössä ja tulosten tulkinnessa. Kaasukromatografi on laitteena myös huomattavasti kalliimpi kuin happimittari.

Happimittari on halpa ja helppokäyttöinen väline erityskaasun mittaamiseen. Rajoituksena happimittarin käytölle on kuitenkin sen suhteellinen epätarkkuus. Happimittarilla voi nimensä mukaisesti vain mitata happea, jolloin erityskaasuna toimivan argonin tai kryptonin määrä joudutaan toteamaan ekstrapolaation avulla, eli tarkkaa tulosta ei voida happimittarilla saavuttaa. Destruktiivisten testausmenetelmien yleisenä haittapuolena on, että mitattavana oleva lasielementti joudutaan hävittämään, koska kaasun mittaamiseen tarvittava reikä erityslasissa tekee lasielementistä käyttökelvottoman eli sitä ei voida edelleen hyödyntää tai myydä. [6].

3.2 Non-destruktiiviset testausmenetelmät

Destruktiivisten testausmenetelmien vastakohtana ovat non-destruktiiviset testimenetelmät, joissa ei siis tarvitse kajota mitattavaan lasielementtiin, vaan mittaukset voidaan suorittaa lasielementin pinnalta. Mittausmetodeina tälle menetelmälle toimivat kipinäemissiospektroskopia (SES) tai säädettävä diodilaserabsorptiospektrografia (TDLAS).

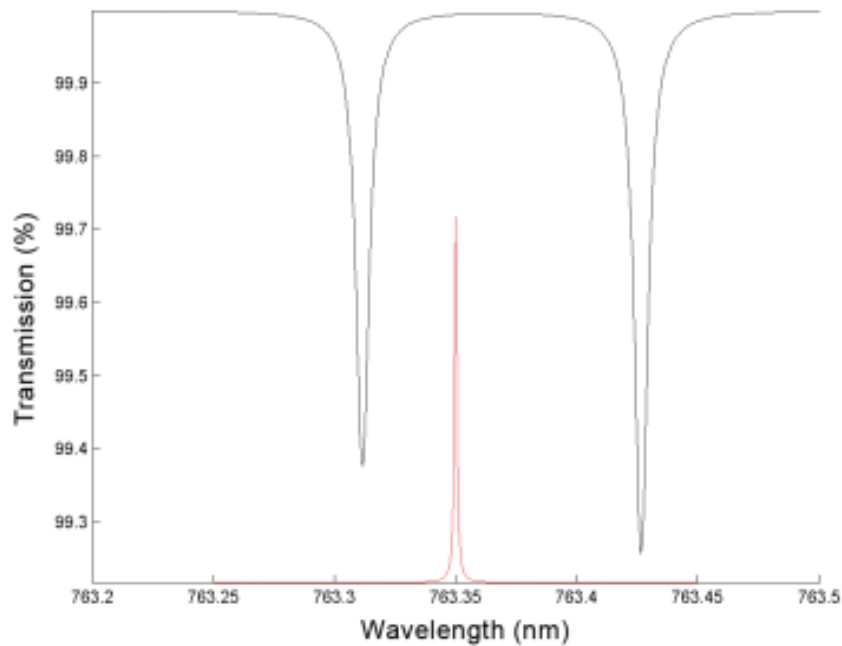
SES-menetelmässä lasielementin välitilaan kohdistetaan korkeajännitekipinä. Kipinä vapauttaa välitilaan fotoneja, joita spektrometri analysoi tietyillä näkyvän valon ja ultraviolettivalon taajuuksilla. Jokainen erillinen läsnä oleva kaasu näkyy spektrografilla ainutlaatuisina emissiolinjoina, joiden avulla voidaan määrittää jonkin tietyn kaasun määrä lasielementissä. SES-menetelmä on tarkempi kuin TDLAS-menetelmä, koska sillä voidaan mitata suoraan ja tarkasti eristyskaasun pitoisuus lasielementissä. SES-menetelmän rajoituksiksi muodostuu mahdollisuus mitata ainoastaan kaksikerroslasia. Kolmekerroslasia mitattaessa spektrografi ei pysty erottelemaan kahta eri välitilaa toisistaan eikä siten sovellu kolmekerroslasin mittaamiseen. SES-menetelmä myös kuluttaa mitattavaa lasia. Menetelmässä käytettävä korkeajännitekipinä aiheuttaa useasti mitattaessa lämpövauriota niin mitattavalle lasille kuin mahdolliselle lasilla olevalle pinnoitteelle.

TDLAS-menetelmässä laseriodi on säädetty mittaamaan hapen absorptiolinjaa. Erillinen anturi mittaa absorptiolinjan signaalivoimakkuutta, josta voidaan päätellä hapen määrä lasielementin kaasuvälitilassa. Koska TDLAS-menetelmä mittaa happea, ei voida eristyskaasupitoisuutta mitata tarkasti, vaan kaasupitoisuudet joudutaan ekstrapoloimaan hapen määrän perusteella. TDLAS tosin sopii kolmekerroslasin mittaamiseen, koska siinä käytetään itse mittalaitteen lisäksi erillistä anturia ja mittausalgoritmia käsittelemään mittasignaalia. Näillä voidaan erottaa kaasuvälitilat toisistaan ja samalla mittauksella mitata välitilojen kaasupitoisuudet erikseen. [6.]

Non-destruktiivisten mittausmenetelmien etu destruktiivisiin menetelmiin nähden on, että mitattavana olevaa lasielementtiä voidaan mittauksen jälkeenkin hyödyntää. Non-destruktiiviset menetelmät mahdollistavat, että mittauksia voidaan myös suorittaa suoraan lasitehtaalla linjastossa, heti erityslasin valmistuksen jälkeen, työmaalla hankitun lasin laadunvarmistukseen tai jälkitarkastuksiin jo valmiissa rakennuksissa.

3.3 TDLAS (Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy)

TDLAS on menetelmä tiettyjen kaasupitoisuuksien mittaamiseen kaasuseoksissa. TDLASissa hyödynnetään viritettäviä diodilasereita ja absorptiospektrografiaa halutun kaasun mittaamiseen. Kun tiedetään halutun kaasun absorptiopiste, voidaan diodilaser viritellä tietylle taajuusalueelle, jolloin voidaan havaita absorptiolinja, ja siitä saatavan absorbaatiovasteen (signaalin) avulla voidaan määrittää mitattavan kaasun pitoisuus. Mitatun kaasun pitoisuus on verrannollinen absorptiolinjan vahvuuteen nähden, joka itsessään on verrannollinen absorptiolinjan profiilin integraaliin. Kuvassa 1 esitetään tyypillinen hapen luoma absorptiolinja viritettävän diodilaserin emissiospektrissä. [7, s. 61.]



Kuva 1 Hapen absorptiolinja viritettävän diodilaserin emissiospektrissä [7, s. 61]

3.3.1 TDLAS:in toimintaperiaate

TDLAS koostuu yksinkertaistettuna viritettävästä diodilaserista valosäteilyn lähteenä, säteen kohdistusoptiikasta, optisesti saavutettavasta väliaineesta, säteen vastaanotto-optiikasta ja anturista.

Säteilyn lähteestä johdetaan valo halutun kaasureferenssin läpi, aallonpituudella lähellä mitattavan kaasun absorptiopistettä, josta valo ohjautuu mitattavaan kaasutäytteiseen väliaineeseen. Väliaineesta saatava heijastus kohdistetaan anturille vastaanottavan optiikan läpi. Kaasupitoisuutta voidaan siten mitata anturille tulevan valon intensiteetin voimakkuuden perusteella. Referenssinä käytettävän kaasun absorptiopisteen tulee olla aallonpituudeltaan lähellä mitattavan kaasun absorptiopistettä, jotta voidaan erotella mitattavan kaasun molekyylit muista kaasuista. [8.]

3.3.2 TDLAS-menetelmän edut ja rajoitukset

TDLAS-menetelmän yksi suuri etu vastaaviin menetelmiin nähden on sen häiriönsietokyky vaikeissakin olosuhteissa, mikä johtuu siitä, ettei kokoonpanossa ole tarve käyttää herkkiä liikkuvia osia tai kemiallista materiaalia. Myös mittauksessa käytettävän kaistan spektrin kapeus suo TDLAS-menetelmälle edun. Sen ominaisuutena on karsia mittatuloksesta ne kaasut, jotka eivät ole mittauksen kohteena. Jotta toinen läsnäoleva kaasu vaikuttaisi mittatulokseen tulisi, sen osua juuri sille kapealle aallonpituusalueelle, joka on mittauksessa käytössä. Kuva 2 voidaan todeta eri kaasujen absorptiovyöitä.

Molecule	Symbol	$\lambda(\mu\text{m})$	ppm
ammonia	NH_3	1.5	0.8
carbon dioxide	CO_2	1.96	3.0
carbon monoxide	CO	1.57	30
		2.33	0.5
methane	CH_4	1.65	0.6
nitric oxide	NO	1.8	60
		2.65	1.0
nitrogen dioxide	NO_2	0.68	0.3
nitrous oxide	N_2O	2.26	1.0
oxygen	O_2	0.76	80
water	H_2O	1.39	0.06

Kuva 2 Eri kaasujen absorptiovyöt [8]

TDLAS-menetelmälle haasteena voidaan todeta muiden mittauksessa läsnä olevien kaasujen molekyylien törmäysvaikutukset mitattavan kaasun molekyyliin. Molekyylien törmäykset aiheuttavat törmäyslaajennusilmiön, mikä johtaa absorptiolinjoiden laajenemiseen, eli vaikuttaa mittatulosten tarkkuuteen. Absorptiolinjoiden laajuuteen vaikuttaa myös mitattavana olevan kaasun paine. Teoreettisesti on haastavaa ratkaista muiden molekyylien ja paineen vaikutus

absorptiolinjoihin. Kuitenkin käytännössä asia pystytään ratkaisemaan oikealla mittausalgoritmin valinnalla ja nojautumalla aiempaan kokemukseen ja tietoon mittausprosessista ja ympäristöstä. [8.]

3.4 Sparklike Laser Integrated -mittalaite

Sparklike Oy:n tuottama ja myymä Laser Integrated -mittalaite on suoraan lasilinjastoon integroitava automaattinen eristyskaasun mittaamiseen tarkoitettu mittalaite. Laite koostuu sähkökaapista ja mittatornista (kuva 3). Mittatorni asennetaan eristyslasilinjastoon, yleensä heti kaasuprässin jälkeen. Kaasuprässi on osa eristyslasilinjastoa, jossa eristyslasielementti täytetään halutulla eristyskaasulla haluttuun täyttöasteeseen. Eristyslasivalmistuksessa pyritään yleensä noin 95 %:n kaasutäyttöön, mutta täyttöastetta voidaan säädellä tarpeen mukaan.



Kuva 3 Sparklike LI -mittalaite asennettuna eristyslasilinjastoon

Mittalaite toimii non-destruktiivisella TDLAS-erityskaasun mittausperiaatteella, kun hyödynnetään VCSEL-teknologiaa mitattaessa lasielementin eristyskaasupitoisuutta.

3.4.1 Mittatorni

Mittatorni koostuu tukirakenteista, jotka muodostavat itse tornin, y- ja z-liikuttelijoista, jotka mahdollistavat mittapään ajon y- ja z-akseleilla, mittapäästä, jossa osa mittauselektronikka ja optiikka sijaitsevat, servomoottorista, joka mahdollistaa liikuttelijoiden liikkeen ja näiden peittävästä ulkokuoresta. Kuvassa 4 voidaan nähdä LI-mittalaitteen mittatorni.

Mittatornissa ei ole mitään mittauslogiikkaa tai ohjauselektronikkaa, vaan sitä käskyttää sähkökaapissa oleva laitteisto. Mittatulosten nopeaan seurantaan on mittatornissa kolmivärinen valomajakka, joka osoittaa, onko mitattavan lasielementin kaasupitoisuus halutulla tasolla. Eristyskaasupitoisuuden taso määritellään ohjelmistossa. Sille voidaan antaa raja-arvoiksi esimerkiksi 90–95 %, jolloin majakka ilmaisee mitatun kaasun seuraavanlaisesti:

- Täyttö on raja-arvojen sisällä = majakassa vihreä valo
- Täyttö +- 5 % raja-arvojen ulkopuolella = majakassa keltainen valo
- Täyttö yli 5 % raja-arvoista tai mittavirhe = majakassa punainen valo.



Kuva 4 Sparklike L-mittatori

3.4.2 Sähkökaappi

Sähkökaappi sisältää LI-mittalaitteen mittauselektroniikkaa, liikuttelijoiden virransyötön, tietokoneen, signaalinkäsittelyyn käytettävän elektroniikan, moottoriajurit, turvareleet ja I/O signaalin, käsittelyn. Sähkökaappi on kytkettynä verkkovirtaan, mutta suuri osa mittaelektroniikasta ja servomoottori käyttävät joko 12V:n tai 24V:n jännitettä, joten osana sähkökaappia on siten myös tasasuuntaajakomponentit ja jännitteen suodattimia tuottamaan tarvittavan käyttöjännitteen.

Sähkökaapin etupaneelissa on HDMI- ja USB-portit ulkoisen näytön ja apulaitteiden kytkemiselle. Kuvassa 5 on esitetty LI-sähkökaappi avattuna.

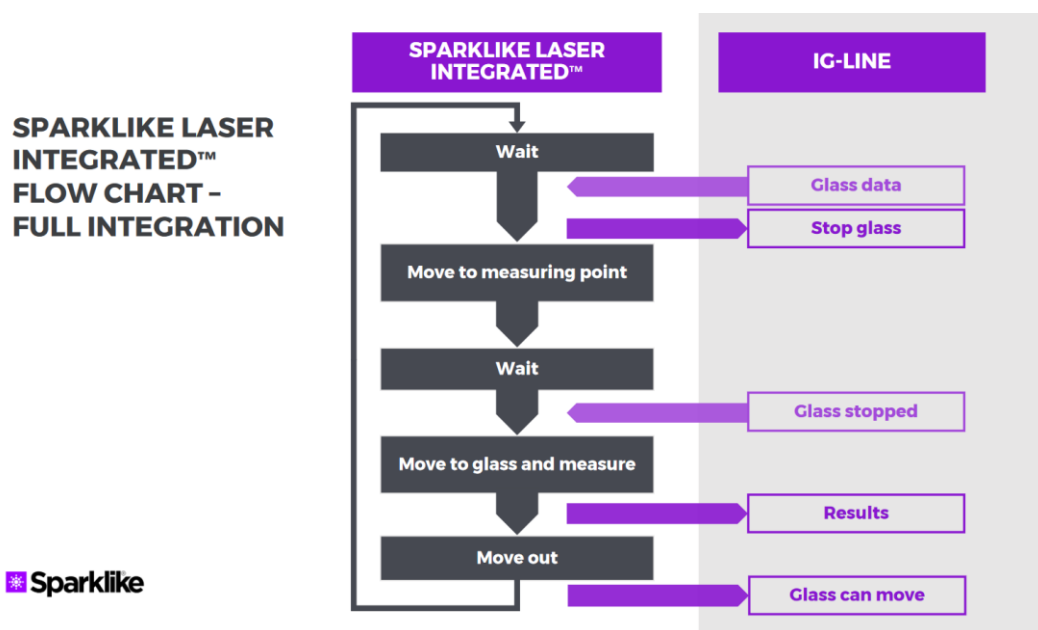


Kuva 5 Sparklike LI-sähkökaappi avattuna

3.4.3 LI-mittalaitteen toiminta

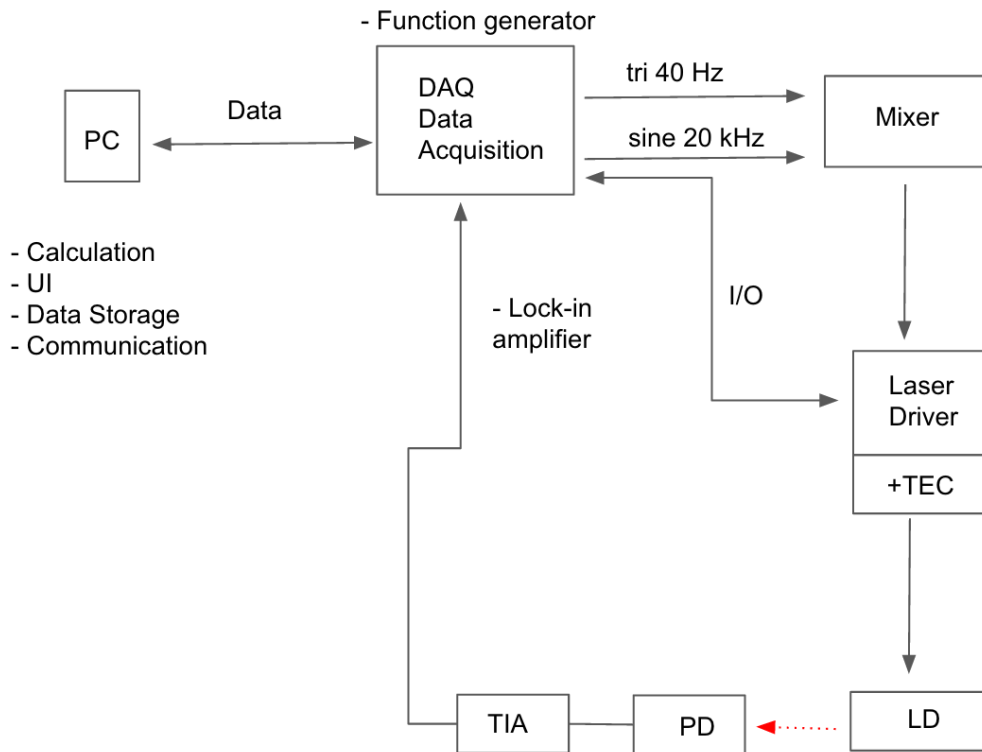
LI-mittalaite kytketään lasilinjastoon, jossa se kommunikoi lasilinjaston automatiikan ja ohjelmiston kanssa. Mittalaite saa tiedon linjastolta, missä tuotantovaiheessa kukin linjastossa käsiteltävä lasielementti on. Kun lasielementti saavuuttaa ennalta määrätyn mittauspisteen, pysäyttää linjasto lasin. Mittauspiste määritellään linjastossa sijaitsevilla optisilla antureilla, jotka havaitsevat lasielementin sijainnin. Kun lasielementti on pysäytetty mittauspisteeseen, käynnistää LI-laite

mittaussekvenssin. Mittatornissa sijaitseva etäisyysanturi havaitsee mitattavan lasielementin yläreunan mahdollistaen erikokoisten lasielementtien mittaamisen. Mittapiste lasilla on määritelty mittalaitteen ohjelmistossa, ja se riippuu etäisyysanturin antamasta datasta. Mittalaite mittaa lasin automaattisesti. Mittatulokset tallentuvat laitteen tietokoneelle myöhempää tarkastelua varten. Mittaussekvenssin päätyttyä lähettää mittalaite viestin eristyslasilinjastolle, jolloin linjasto käynnistyy uudelleen ja lasielementti jatkaa matkaansa. Kuvassa 6 voidaan nähdä vuokaavio LI-mittalaitteen pääpiirteinen toiminta lasilinjastossa.



Kuva 6 Sparklike LI-mittalaitteen toiminta [9]

Mittaustulosten käsittely tapahtuu sähkökaapissa sijaitsevan mittaus- ja signaalinkäsittelyelektronikan toimesta. Käsitelty signaali syötetään tietokoneelle, jossa LabViewpohjainen ohjelmisto tulkitsee ja kertoo käyttäjälle mittatuloksen. Signaalinkäsittelyyn käytetään NiDAQ-piirikorttia. Kuva 7 havainnollistaa mittausprosessin:



Kuva 7 Sparklike TDLAS-mittalaitteen mittausprosessi

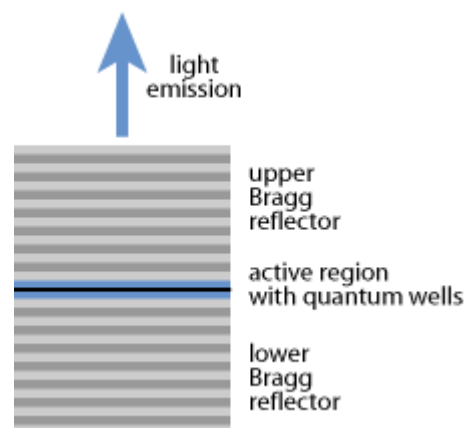
3.5 Vertical-cavity surface-emitting laser (VCSEL)

VCSELit ovat yhdenlaisia puolijohdinlaserdiodeja. Ne ovat tyypiltään pintasäteileviä, jotka kohdentavat resonaattorin luoman säteen kohtisuoraan piirilevyn pinnan kanssa. VCSEL pystyy tuottamaan korkealaatuisen laser äteen pienellä aallonmuodon pinta-alalla johtaen kuitenkin rajattuun tehon tuottoon. Tyypillinen VCSELin käyttöalue on 750:nm ja 980:nm välillä ja laserilta saatava teho 0,5–5 mW:n välillä.

3.5.1 Rakenne

VCSEL koostuu resonaattorikaviteetista, joka itsessään muodostetaan kahdesta puolijohdemateriaalista valmistetusta Braggin-peilistä, joiden välille muodostuu useita muutaman mikrometrin paksuisia kvanttikaivoja, joissa resonanssi ja siten lasersäteily muodostuu. [10.]

Kuva 8 8 kuvaa yksinkertaistettuna VCSELin rakennetta.



Kuva 8 VCSEL-rakenne yksinkertaistettuna [10]

Braggin peilit ovat peilirakennelmia, jotka koostuvat vuorotellen vaihtuvista korkean ja matalan taittoindeksin kerroksista optista materiaalia, joista jokainen kerros on paksuudeltaan neljännesaallonpituuden paksuinen halutun peilin kokonaispaksuudesta. Braggin peilin heijastavuus määräytyy heijastavien kerrosparien määrästä ja taittoindeksin kontrastista kerrosten välillä. [11.]

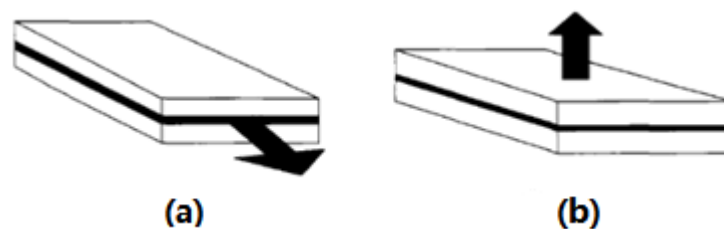
Braggin peilin toiminta perustuu Fresnelin heijastukseen. Fresnelin heijastus kuvaa tilannetta, jossa valonsäde saavuttaa kahden eri materiaalin rajapinnan. Saavuttaessaan rajapinnan osa valosta siirtyy saavutettuun materiaaliin ja osa heijastuu takaisin lähettävään materiaaliin. Fresnelin heijastus voidaan laskea yksinkertaistetun kaavan 1 mukaan seuraavasti:

$$R = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \quad (1)$$

Jossa R kuvastaa tehoheijastuskerrointa ja missä n_1 sekä n_2 kuvastavat heijastavien materiaalien taittokerrointa. [12.]

3.5.2 Vertailu muihin lasertyypppeihin

VCSELin suurin ero perinteisiin puolijohdelasereihin on niiden kyky tuottaa lasersäteily kohtisuoraan sirun pintaan verrattuna tavanomaisempiin reunasta säteileviin laserdiodeihin. Eli puhutaan pintasäteilevistä ja reunasäteilevistä lasereista. Kuva 9 havainnollistaa eroa näiden kahden välillä.



Kuva 9 Ero reunasäteilevän laserin (a.) ja pintasäteilevän laserin (b.) tuottamassa säteilyssä. [13]

Pintasäteilevän laserin yksi suuri etu verrattuna reunasäteilevään on mahdollisuus testata sen toimintaa koko tuotantoprosessin aikana, jopa ennen piilevyn halkaisemista. Näin voidaan huomioida ja korjata mahdolliset laadulliset ongelmat jo levyn kasvatusvaiheessa. [10.]

Muita huomattavia etuja verrattuna reunasäteilevään laseriin nähden ovat:

- Lasersäteen korkea laatu ja alhainen hajonta, mahdollistaen tarkan mitatuloksen saavuttamisen alhaisella käyttöteholla.
- Taajuuden modulaatio korkeillekin taajuuksille, jonka ansiosta reunasäteilevä laser on käyttöominaisuuksiltaan joustava.

- Säteen symmetrinen profiili, joka mahdollistaa säteen tarkan kohdistuksen hyödyntäen yksinkertaista linssirakennetta ulostulevalle säteelle. Säde on myös muodoltaan pyöreä mahdollistaen sen helpon käytön ja integroinnin valokuidun ja muiden optisten komponenttien kanssa.
- Rakenteen yksinkertaisuuden takia pintasäteileviä lasereita on suhteellisen helppoa ja halpaa valmistaa.
- Pintasäteilylaserit eivät hajoa yhtä herkästi kuin reunasäteilevät laserit, vaikka niitä käytettäisiin lähellä rajatehoja. [11; 13]

3.5.3 Sovellukset

VCSELeitä käytetään yleisesti sovelluksissa, joissa sen edut muihin vastaaviin lasertyyppeihin ovat yleisesti hyödynnettävissä. Näitä sovelluksia ovat muun muassa:

- Valokuitua hyödyntävä viestintä:

VCSELillä päästään korkeisiin datansiirtonopeuksiin lyhyillä matkoilla, johtuen mahdollisuudesta moduloida resonaatiota useamman gigahertsin taajuudelle. Noin sadan metrin matkalla on mahdollista päästä jopa 10Gb/s tiedonsiirtonopeuteen.

- Kaasun havainnointi:

Hyödyntäen infrapuna- ja säädettävää aallonpituuslaseria voidaan VCSELiä käyttää kaasupitoisuuksien mittaamiseen. Kaasupitoisuuksia mitattaessa lisätään VCSEL-rakenteeseen erillinen ulostulon kytkentäpeili, jonka sijaintia voidaan säätää lämpölaajennusta, elektrostaattista tai piezoelektronista elementtiä hyödyntäen. VCSELit sopivat hyvin etenkin

hapen mittaamiseen. Hapen absorptiopisteen 760: nm sijaitsee VCSELin käyttöalueen sisällä. [11.]

4 Suunnitelma simuloidun erityslasilinjaston toteutukselle

Erityslasilinjaston simulointi koostuu pääasiassa kahdesta osasta, mekaanisesta- ja ohjausosasta. Mekaaninen osa jakaantuu konkreettiseen eristyslasilinjarakennelmaan ja linjaston liukuhihnaa liikuttavaan servomoottorikytkentään. Ohjauspuoli koostuu mikro-ohjaimesta, antureista ja lineaarijänniteregulaattoripiiristä.

4.1.1 Mekaaninen osa

Mekaaninen osio on eristyslasilinjasto pienoiskoossa, jonka toteuttaa mekaniikkaan ja koneistukseen erikoistunut alihankkija. Linjasto tulee olemaan pituudeltaan noin 2 m pitkä ja 1,5 m korkea. Taustatuki asennetaan noin 5 asteen kulmaan. Vaakasuorassa lasia kuljettaa liukuhihna. Liukuhihnaa liikuttaa servomoottori, joka on integroitu linjastoon. Servomoottorin ohjaus tapahtuu erillisestä ohjauslaatikosta. Linjaston kaltevalle pinnalle asennetaan kolme optista anturia, joiden tehtävänä on määrittää linjastossa kulkevan lasin paikka ja lähettää tästä tietoa ohjauslaatikossa olevalle mikro-ohjaimelle.

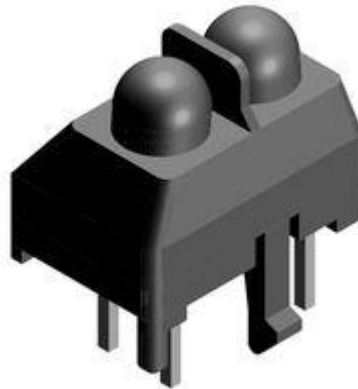
4.1.2 Ohjausosa

Eristyslasilinjan ohjaus tapahtuu erillisellä ohjausmoduulilla ja siinä sijaitsevalla mikro-ohjaimella. Mikro-ohjain ohjelmoidaan tunnistamaan optisten anturien avulla eristyslasilinjastossa sijaitseva lasipakka. Tämän tiedon avulla se ohjaa eristyslasilinjastoon kytketyn mittalaitteen toimintaa. Mikro-ohjain myös kommunikoi mittalaitteen kanssa antaen sille mittakäskyn, kun linjastossa oleva lasi on ennalta määrättyssä mittauspisteessä. Eristyslasilinjaston toiminta on estetty, mikäli mikro-ohjaimen ohjelmistosta ei ole annettu prosessin aloituskomentoa. Tämä on tarkoituksella suunniteltu näin, jotta mahdollisilta vahinko- ja vaaratilanteilta vältyttäisiin. Mikro-ohjainpiiri eristetään sekä mittalaitteesta että eristyslasilinjastosta optoerottimilla sähköisen kohinan vähentämiseksi ja mikro-ohjaimen suojaamiseksi jännitepiikeiltä, koska laitekokonaisuudessa on eri komponentteja, jotka toimivat eri jännitetasoilla kuin mikro-ohjain.

Optoerottimet ovat puolijohdekomponentteja, jotka mahdollistavat sähköisten signaalien lähettämisen kahden eristetyn piiriin välillä. Niiden toiminta perustuu valonlähteen ja valoa havaitsevan osan yhteistoimintaan. Optoerotin koostuu valonlähteestä, joka yleensä on LED, valoa tunnistavasta valoanturista. Kun optoerotimelle syötetään virtaa, alkaa LED säteilemään valoa, jonka valoanturi havaitsee luoden optoerottimen ulostulolle virran, joka on verrannollinen LED:ille syötetylle virralle. Optoerotin alkaa siis näin johtamaan ja mahdollistaa signaalien kulun kahden toisistaan eristetyn piirin välillä. [14.]

4.2 Optiset anturit

Eristyslasilinjastoon asennettavat kolme optisista anturia ovat tyypiltään heijastavia fotoerottimia. Kuvassa 10 on VISHAYn valmistama TCRT5000-fotoerotin, joka soveltuu käytettäväksi projektissa.



Kuva 10 TCRT5000-fotoerotin [15]

TCRT5000 toimii 5V:n käyttöjännitteellä, joten sille voidaan syöttää käyttöjännite suoraan mikro-ohjaimelta. Fotoerottimet asennetaan linjastoon siten, että mitattava lasi asetetaan linjaston alkupäähän, jossa ensimmäinen anturi sijaitsee. Mitattava lasielementti asetetaan niin, että sen etukulma peittää anturin. Kun anturi peittyy, se lähettää signaalin mikro-ohjaimelle, joka mahdollistaa eristyslasilinjaston liukuhinnan ajon, mikäli anturin antama data täyttää ohjelmassa asetetut parametrit. Kaksi muuta anturia asetetaan mittauspisteelle, mikä sijaitsee eristyslasilinjaston päädyssä. Kun molemmat anturit peittyvät, pysäyttää linjasto liukuhinnan ja antaa mittalaitteelle komennon aloittaa mittaussekvenssi. Mittaussekvenssin päätyttyä mittalaite lähettää mikro-ohjaimelle tiedon prosessin tilasta, jolloin koko mitta- ja ajosykli voidaan aloittaa mikro-ohjaimen ohjelmistosta uudelleen.

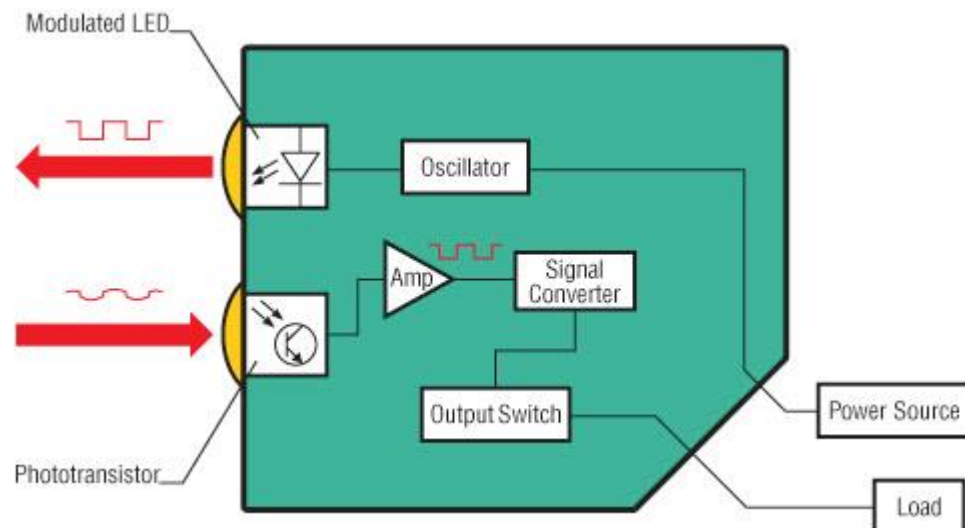
4.2.1 Miksi optinen anturi?

Eristyslasilinjastossa lasielementin tunnistukseen käytetään lähinnä optisia antureita niiden ominaispiirteiden vuoksi. Induktiiviset ja kapasitiiviset anturit, jotka ovat automaattioratkaisuissa yleisesti käytettyjä antureita, eivät toimi yhtä hyvin kuin optiset anturit lasin tunnistamiseen, koska niiden toiminta perustuu objektin havainnoimiseen objektin vaikutuksesta sitä ympäröivään sähkö- tai magneettikenttään. Eristyslasielementeissä on hyvin vähän sähköä johtavia osia, eivätkä induktiiviset tai kapasitiiviset anturit sovellu niiden havaitsemiseen.

Optiset anturit toimivat valon ja heijasteen avulla, joten ne soveltuvat hyvin sovelluksiin, joissa halutaan havaita sähköisesti inerttejä objekteja. Optisilla antureilla on tyypillisesti myös suurempi havainnointialue kuin muilla antureilla. [16.]

4.2.2 Optisten antureiden toiminta

Projektissa käytettävät optiset anturit ovat tyypiltään puolijohdefototransistoreita eli refleктоivia fotoerottimia. Fototransistorit ovat komponentteja, jotka havaitsevat valoa kollektorin ja emitterin välissä johtavan virran mukaan. Eri valonvoimakkuudet laskevat tai nostavat virtaa, jonka perusteella voidaan valonvoimakkuus todeta. Refleктоivat fotoerottimet ovat komponentteja, joissa yhdistetty valonlähde ja valoanturi on erotettu toistaan tavalla, jolloin ne eivät normaali tilanteessa kykene vaikuttamaan toisiinsa. Refleктоiva fotoerotin toimii siten, että kun komponentin eteen asetetaan objekti, heijastuu valonlähteenä olevan LED:in valo takaisin objektista fotoerottimessa olevalle fototransistorille, joka lähettää välipiirin kautta signaalin fotoerottimeen kytketylle laitteelle. Kuva 11 esittää refleктоivan fotoerottimen toimintaa. [16.]



Kuva 11 Refleктоivan fotoerottimen toiminta [16]

4.3 Ohjauslogiikka ja kommunikaatio

Vaatimuksena eristyslasilinjaston toiminnalle on väyläkommunikaatio linjaston eri osien, esimerkiksi antureiden ja liikuttelijoiden välillä. Yleisesti erityslasilinjas-toissa käytetään Profibus-väylää, joten myös tässä projektissa on välttämätöntä, että projektissa käytettävä linjakommunikaatio myös hyödyntää samaa Profibus-väylää. Profibus-yhteensopivuus on yksi määrittävä tekijä mikro-ohjaimen valin-nassa eristyslasilinjaston ohjauslaatikkoon. Väyläkommunikaatio toteutetaan projektissa linjaston ohjauslaatikkoon asennettavan mikro-ohjaimen ja mittalait-teen välillä. Tämä simuloi tilannetta lasitehtaalla, jossa oikean eristyslasilinjan PLC-ohjaimet kommunikoivat Sparklike Oy:n mittalaitteen kanssa. Itse väyläkom-munikaation toteuttaa Sparklike Oy:n tuotekehitysosasto.

4.3.1 Releohjaus

Mittalaitteen ja linjaston välinen kommunikaatio toteutetaan yksinkertaisesti releohjauksella. Sähkökaapissa jo valmiiksi olevat releet kytketään niin, että kun mikro-ohjaimella pyörivästä ohjelmistosta annetaan käynnistyskomento, aktivoidut releet sähkökaapissa. Ne ohjaavat mittalaitteen liikuttelijoita ja väyläkommunikaatiota ohjaavaa elektroniikkaa. Releohjauksen etuna on, että se ei vaadi mikro-ohjaimelta useampaa I/O porttia vaan vain yksi riittää releiden päälle ja pois -kytkemiselle.

4.3.2 Profibus

Profibus on maailmanlaajuisesti käytetyin teollisuuden prosessien hallintaan käytettävä kenttäväyläjärjestelmä, sen nimi on lyhennys termistä "Process Field Bus". Profibussia käytetään pääasiassa teollisuuden automaatoratkaisuissa ja prosessien hallinnassa. Profibus toimii isäntä-orjaperiaatteella, jossa isäntinä toimivat laitteet määrittävät, mitkä orjina toimivat laitteet saavat käyttää Profibusväylää kommunikointiin isännän kanssa. Orjalaitteet ovat yleensä aktiivisia laitteita esimerkiksi antureita, lähettimiä tai liikuttelijoita, jotka lähettävät dataa isäntälaitteelle, joka katsotaan passiiviseksi laitteeksi. OSI-mallissa Profibus toimii kerroksilla 1, 2 ja 7, mikä mahdollistaa laaja-alaiset käyttömahdollisuudet eri laitteistojen kanssa. [17.] Kuva 12 ilmaisee millä OSI-mallin tasoilla Profibus toimii.

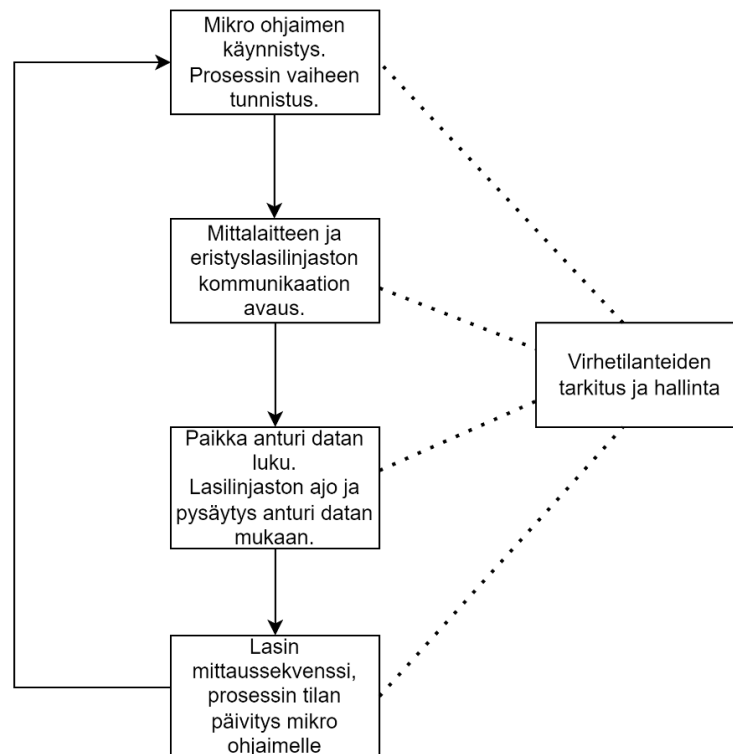
	User program	Application profiles
7	Application Layer	PROFIBUS DP Protocol (DP-V0, DP-V1, DP-V2)
6	Presentation Layer	Not used
5	Session Layer	
4	Transport Layer	
3	Network Layer	
2	Data link Layer	Fieldbus Data Link (FDL): Master Slave principle Token principle
1	Physical Layer	Transmission technology
	OSI Layer Model	OSI implementation at PROFIBUS

Kuva 12 Profibusin toiminta OSI-mallissa [18]

4.4 Ohjauslogiikka

Mikro-ohjain toimii eristyslasilinjaston ja siihen kytketyn mittalaitteiston isäntämoduulina. Sillä ohjataan eristyslasilinjaston toimintaa, ja se simuloi väyläkommunikaatiota mittalaitteen kanssa. Mittalaite toimii orjalaitteena suorittaen mittasekvenssin ainoastaan silloin, kun mikro-ohjain on anturidatan perusteella määrittänyt eristyslasilinjaston prosessin tilan, eli kun mitattava lasi on ajettu mittapisteelle ja eristyslasilinjaston liukuhihna on pysähtynyt. Mittasekvenssin päätyttyä kuittaa mittalaite mikro-ohjaimelle prosessin tilan, ja mikro-ohjain sulkee väyläkommunikaation mittalaitteen kanssa. Sykli voidaan aloittaa alusta, jos päättyneen mittaussekvenssin jälkeen eristyslasilinjaston prosessin vaihe on 0, eli linjastossa ei ole käynnissä mitään prosessia. Jos linjastossa on tässä vaiheessa käynnissä jokin prosessi, sulkee mikro-ohjain liukuhihnan, kunnes prosessi on nollattu. Linjaston voidaan turvallisuus syistä käynnistää ainoastaan antamalla mikro-ohjaimelle käynnistyskäsky, jolloin sykli alkaa alusta. Linjastoon

asennetaan myös erillinen hätäseis-kytkin, jolla voidaan pysäyttää linjasto vaara- ja virhetilanteissa. Hätäseis toimii myös pääkatkaisijana sen ollessa päälle kytkettynä, jolloin minkäänlainen toiminta eristyslasilinjastossa ei ole mahdollista. Kuvassa 13 esitetään yksinkertaistettuna eristyslasilinjaston ohjauslogiikka:



Kuva 13 Simuroidun eristyslasilinjaston ohjauslogiikka

4.4.1 Mikro-ohjain

Mikro-ohjaimen valintaan sovelletaan Sparklike Oy:n asettamia toiveita, jotka ovat kustannukset ja muokattavuus. Mikro-ohjaimen tulee olla tarpeeksi tehokas, jotta sitä voidaan käyttää mahdollisessa jatkokehityksessä. Sen on oltava Profibus ja Profinet -yhteensopiva. Sillä tulee olla useampi digitaalinen ja analoginen I/O-portti, jotta mahdollistetaan kommunikaatio LI-mittalaitteen,

eristyslasilinjaston antureiden, servomootorin ohjaimen, releohjauksen ja mahdollisten jatkokehityssovellusten hallintaan. Toimivana vaihtoehtona voisi olla Arduino Mega 2560 Rev 3, joka täyttää vaatimukset kommunikaation ja muokattavuuden osalta. Lisäksi Arduino on yleisesti käytetty ja helposti ohjelmitava, joten se on käyttömukavuudeltaan ja käyttöturvallisuudeltaan hyvä vaihtoehto. Kuvasa 14 esitellään Arduino Mega 2560 Rev 3:n tekniset tiedot.

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

Kuva 14 Arduino Mega 2560 Rev 3:n tekniset tiedot [19]

4.4.2 Servomoottori

Projektissa käytettävä servomoottori on eristyslasilinjaston liukuhihnan pyörittämiseen tarkoitettu HIWIN mikrosystemsillä valmistama FR-LS-40-2-B-5-06-A-tyyppin harjaton vaihtovirtamoottori. Moottorin ohjaamiseen käytetään niin ikään HIWINin valmistamaa D2 Drive -moottorinohjainta. Moottori ja ohjain ovat samat, joita käytetään LI-mittalaitteen liikuttelijan liikuttamiseen ja ohjaamiseen. Servomoottorilla on korkea nopeus- ja kiihtyvyyssvaste. Se voi vaihtaa pyörimisnopeutta ± 3000 kpm kuudessa millisekunnissa. [20.] Servomoottori ja ohjainyhdistelmä valikoituivat projektin käyttöön yksinkertaisesta syystä: Sparklike Oy:llä on niiden käytöstä ja ohjelmoinnista kokemusta, ja heillä on myös valmiiksi osia varastossa. Kuvassa 15 nähdään D2-tyyppin moottorinohjain.



Kuva 15 D2 Drive -tyypin servomoottorin ohjain [20]

4.4.3 Lineaariregulaattori

Eristyslasilinjaston servon moottorihjain toimii 24V:n jännitteellä, joka voidaan suoraan syöttää sille LI-mittalaitteen sähkökaapista tarvitsematta erillistä jännitelähdettä. Tämä on suuri etu, koska silloin ei tarvita erikseen jännitteen syöttöä, vaan voidaan hyödyntää jo olemassa olevaa lähdettä jakamalla se moottorin ohjaimelle. Mutta ehdotettu mikro-ohjain Arduino Mega 2560 Rev -käyttöjännite on 12V:n, jolloin se ei voi hyödyntää samaa lähdettä kuin moottorinohjain. Erillistä 12V:n lähdettä ei kannata asentaa, vaan sen sijaan asennetaan jännitettä laskevia katkoja 24V:n linjaan luodakseen mikro-ohjaimelle käyttöjännite.

5 Seuraavat askeleet ja jatkokehitys

Projekti jatkuu käytännön toteutuksella. Tarkoitus on saada simuloitu eristyslasilinjasto toimintakuntoiseksi kesän 2023 aikana ja saada valmis laitteisto Sparklike Oy:n käyttöön syksyksi. Tarkoitus on viedä kytkentä- ja johdotustyöt loppuun alkukesästä 2023 ja mikro-ohjaimen valinta ja välipiirien toteutus sen jälkeen. Mikro-ohjaimen ohjelmointi aloitetaan heti, kun mekaaninen toteutus on saatu päätökseen. Loppukesästä tehdään testejä toimivuuden takaamiseksi ja pyritään viimeistelemään projekti onnistuneesti. Testauksen jälkeen simuloitu eristyslasilinjasto on tarkoitus ottaa käyttöön Sparklike Oy:n toimesta tukemaan LI tuotantoa ja tuotekehitystä.

5.1 Jatkokehitys

Projektiä suunnitellessa tuli ilmi useita kehitysideoita ja ehdotuksia, jotka kuitenkin jäivät tämän insinööriyön laajuuden ulkopuolelle. Suunnitellut jatkokehitystoimet ovat:

1. Eristyslasilinjaston ajo mekaanisesti – toteutetaan erillisen ohjauspaneelin kautta. Ajatuksena painonapeilla suoritettava eristyslasilinjaston ajo,

pysäytys ja mittaaminen.

2. Profinet yhteensopivuus – Profinet on seuraava kehitysaskel Profibus-väyläkommunikaatiosta, se on kommunikaatioprotokolla, joka mahdollistaa tiedonsiirron Teollisuus-ethernetin välityksellä, mikä mahdollistaa nopeamman ja kehittyneemmän tiedonsiirron.
3. Kosketusnäyttö linjaston ohjaamiseen – kosketusnäyttö eristyslasilinjaston ohjaamiseen mekaanisen ja ohjelmallisen ajon rinnalle.
4. Visualisointi eristyslasilinjastolle – jonkinlainen valoindikaattori osoittamaan eristyslasilinjaston prosessin vaihetta.

Nämä toimet toteutetaan, mikäli niille edelleen on tarvetta perustoimivuuden toteutuksen jälkeen. Tärkeää on, että jatkokehitysmahdollisuuksia pidetään auki tulevaa varten. Tämä oli yksi Sparklike Oy:n kriteereistä projektille.

5.2 Haasteet

Projektin suurimmat haasteet liittyvät ajankäyttöön ja henkilöresurssien riittävyyteen. Projekti on itsessään suhteellisen laaja ja resurssit sen toteuttamiseen hyvin rajalliset. Projektia toteutettiin ja tullaan toteuttamaan Sparklike Oy:n päivittäisen toiminnan yhteydessä. Tämä on johtanut ja saattaa johtaa aikataulun venymiseen suunnitellusta, mikäli resursseja ei voida riittävästi kanavoida projektin toteuttamiseksi.

6 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tavoitteena oli luoda toimintasuunnitelma ja runko eristyslasilinjaston toteutukselle. Työn tilasi Sparklike Oy, joka tarvitsi simuloitua eristyslasilinjastoa mittalaitteidensa testaamiseen ja tuotekehitykseen. Alun perin projektin tarkoituksena oli myös toteuttaa itse linjasto, mutta valitettavasti työn laajuuden ja resurssien vähyyden takia tämä ei onnistunut. Insinööriyö tehtiin normaalin työn ohessa Sparklike Oy:llä

Työssä esiteltiin eristyslasin kaasupitoisuuksien mittaamisen tarvetta, sekä mitaustapoja ja -teknologiaa, joita Sparklike Oy:n mittalaitteet hyödyntävät. Lisäksi työssä pyrittiin luomaan runko eristyslasilinjaston simuloinnin toteutukselle jakamalla kokonaisuus osiin ja kartoittamalla mahdollisia ratkaisuja toteutukseen. Työ toimiikin pohjana tulevalle toteutukselle ja dokumentoinnille projektin ympärillä. Sparklike Oy on sitoutunut viemään projektin onnistuneesti päätökseen.

Projekti tullaan viemään loppuun kesän 2023 aikana. Työ jatkuu projektin parissa vakituisen työn ohessa sen valmistumiseen saakka. Kun perustoiminta projektissa on saavutettu, seuraava askel on tutkia jatkokehitysmahdollisuuksia ja niiden toteutusta.

Lähteet

- 1 Ürge-Vorsatz, Diana: Global Energy Assessment, Chapter 10 – Energy End-Use: Buildings, 2012, s. 660. Cambridge: Cambridge university press.
- 2 Hartikainen, Jarno; Saksala, Mauri. 2019. Menetelmiä eristyslasi-elementtien laadunhallintaan. s .1–2. Yrityksen sisäinen dokumentti. Sparklike Oy.
- 3 Energy performance buildings directive. 2018. Verkkoaineisto. European Commission. <https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en#energy-performance-of-buildings-standards> Luettu 7.4.2023.
- 4 Lange, Dieter: Energy saving without noble gas filling? 2012. E-kirja .Akzo Nobel. s. 1.
- 5 Minimum performance requirements for window replacement in the residential sector. 2017. Verkkoaineisto. Glass for Europe. <<https://glassforeurope.com/minimum-performance-requirements-for-windows/>>. Luettu 16.4.2023.
- 6 Haglin, Dan. 2021. Gas fill 101: Gas fill options for igus. Verkkoaineisto. Window and door. <www.windowanddoor.com/article/gas-fill-101-gas-fill-options-igus>. Luettu 25.3.2023.
- 7 Brunner, Raimund; Tacke, Maurus. 2002. Tunable diode laser line width and tuning measurements for gas analysis monitoring. s 61-62. E-kirja. Science Direct. < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350449501001256> >. Luettu 4.4.2023.
- 8 Laakso, Mikko; Laukkanen, Samuli; Talvitie, Hannu. 2007. Tunable Diode Lasers find their way to the factory floor. Vaisala article. Luettu 4.4.2023.
- 9 Sparklike integrated flow chart full integration. Verkkoaineisto. Sparklike Oy. < <https://campaign.sparklike.com/hubfs/sparklike-integrated-flow-chart-full-integration.pdf> > Luettu 22.4.2023.
- 10 Vertical cavity surface emitting lasers. Verkkoaineisto. RP-photonics. <https://www.rp-photonics.com/vertical_cavity_surface_emitting_lasers.html> Luettu 29.3.2023.
- 11 Bragg mirrors. 2020. Verkkoaineisto. RP-photonics. <https://www.rp-photonics.com/bragg_mirrors.html>. Luettu 29.3.2023.

- 12 Fresnel reflections. Verkkoaineisto. Rp-photonics. <https://www.rp-photonics.com/fresnel_reflections.html>. Luettu 6.5.2023.
- 13 Michalzik, Rainer; Ebeling, Joachim, Karl. Operating Principles of VCSEL. 2003. Verkkoaineisto. Univeristy of Ulm. <https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/iui.inst.140/Diverse/vcSEL-chapter-ram_kje-d.pdf>. sivu 5. Luettu 29.3.2023.
- 14 Tung ,Megan. What is an Optocoupler and How it Works. Verkkoaineisto. Jameco electronics. <<https://www.jameco.com/Jameco/workshop/How-itworks/what-is-an-optocoupler-and-how-it-works.html> >. Luettu 25.4.2023.
- 15 TCRT5000. Verkkoaineisto. Farnell. <<https://fi.farnell.com/vishay/tcrt5000/sensor-optical-transistor-op/dp/1470066>> Avattu 4.5.2023.
- 16 Frigyes, Gary; Myers, Ed & Allison, Jeff. Fundamentals of Photoelectric Sensors. 2010. Verkkoaineisto. Automation.com.<<https://www.automation.com/en-us/articles/2014-1/fundamentals-of-photoelectric-sensors>>. Luettu 4.5.2023.
- 17 What is Profibus : Working & Its Applications. Verkkoaineisto. Elprocus. <<https://www.elprocus.com/profibus/>>.Luettu 26.4.2023.
- 18 Verkkoaineisto. PI. <<https://us.profinet.com/wp-content/uploads/2020/03/osi-profibus-250x157.png>>. Avattu 26.4.2023.
- 19 Arduino Mega 2560 Rev 3. Verkkoaineisto. Arduino. <<https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>>. Luettu 5.5.2023.
- 20 AC Servo Motor & D2 Drive. 2017. Verkkoaineisto. HIWIN. <https://www.hiwin.us/wp-content/uploads/ac_servo_drive.pdf>. Luettu 6.5.2023.