

**SÄHKÖKONEEN SÄHKÖTURVALLISUUSMITTAUSTEN
AUTOMATISOINTI**
**Automatization of Electrical Safety Measurements of an
Electrical Drive**
Aleksi Kettunen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT
LUT School of Energy Systems
Sähkötekniikka

Aleksi Kettunen

Sähkökoneen sähköturvallisuusmittausten automatisointi

2020

Kandidaatintyö.

18 s.

Tarkastaja: Katja Hynynen

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan sähkökoneiden sähköturvallisuusmittausten tulosten raportointiin käytettäviä erilaisia ratkaisuja. Työ on tehty yhteistyössä The Switch Drive Systems Oy:n (myöh. TSW) kanssa, ja työ on kohdennettu TSW:llä valmistettavaan SRM0355 sähkökoneelle tehtäviin mittauksiin. Työn tavoitteena on kartoittaa erilaisia vaihtoehtoja, joilla voitaisiin mittausraportointi toteuttaa automaattisesti, sekä lisäksi toteuttaa tarvittavat muutokset mittausprosessille, jotta mittaus tuloksista saadaan automaattisesti luotua mittausraportit. Koneille suoritetaan IEC-60034-1 mukaisesti sähköturvallisuusmittaukset, joista tähän työhön rajattiin eristysvastusmittaus, sekä korkeajännitekoestus. Molemmille mittauksille on asetettu tarkat ohjeet niiden suorituksesta, sekä rajat joihin koneiden tulee päästä. Nämä rajat muuttuvat koneen teholuokan, sekä konetyypin mukaan. Eri mittauksille on asetettu tietyt ajalliset pituudet, sekä kriteerit, joten ei suoralla mittalaitteiden päivityksellä välttämättä saada suoraa etua ajallisesti. On olemassa kaupallisia ratkaisuja, jotka pystyvät toteuttamaan tulosten automaattisen raportoinnin yhteensopivan mittalaitteen kanssa. Ei kuitenkaan ole kaupallista ratkaisua, joka pystyisi toteuttamaan molemmat, eristysvastusmittauksen, sekä korkeajännitekoestuksen, vaan vaadittaisiin tähän 2 erillistä mittausohjelmaa ja mittalaitetta. Asiaa tarkasteltiin myös itse toteutettavan tietokoneohjelman näkökulmasta, jolloin voitaisiin toteuttaa juuri tarkoitukseen sopiva mittausjärjestelmä. Jo käytössä olevissa mittalaitteissa on RS-232 sarjaportti, joka mahdollistaa mittalaitteiden ja tietokoneen välisen kommunikoinnin. Koska kaupalliset mittausohjelmat olisivat vaatineet mittalaitteipäivityksiä, joiden kustannukset voivat olla korkeat, sekä niiden heikon muokattavuuden vuoksi päädyttiin toteuttamaan mittausohjelma itse. Ohjelman ohjelmointikieliksi valittiin Python, sillä se on monipuolinen dynaaminen ohjelmointikieli, jolle on jo olemassa ammattiosaaminen. Ohjelmalle asetettiin seuraavat vaatimukset: kyetä toteuttamaan mittaukset automaattisesti, raportoida tulokset automaattisesti, sekä yksinkertainen helppokäyttöinen graafinen käyttöliittymä. Ohjelman tulisi myös olla jatkossa laajennettavissa muillekin konetyypeille kuin SRM0355. Ohjelman kirjoittamiseen käytettiin avoimen lähteen kirjastoja, jolloin välttyttiin kirjastojen uudelleen kirjoittamiselta. Ohjelmaa testattiin White-Box-testauksella, sekä käytännön kokeiluilla, jotta sen toimivuudesta varmistuttaisiin. Lopputuloksena saatiin mittausohjelma Windows 7- ja 10-käyttäjärjestelmille, joka pääsee lähes sille asetettuihin tavoitteisiin. Mittausohjelma ei pysty toteuttamaan eristysvastusmittausta suoraan tietokoneelta ohjattuna vaan täytyy mittalaitetta ohjata käyttäjän itse, johtuen mittalaitteen rajoituksista. Tämä voitaisiin tulevaisuudessa korvata uudella mittalaitteella, jossa on kyseinen toiminnallisuus. Voidaan myös todeta, että itse toteutettava mittausohjelma on vakavasti otettava vaihtoehto kaupalliselle ratkaisulle, ja tarjoaa suuremman muokattavuuden, sekä käyttötarkoitukseen sopivuuden.

ABSTRACT

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT
LUT School of Energy Systems
Electrical Engineering

Aleksi Kettunen

Automatization of Electrical Safety Measurements of an Electrical Drive

2020

Bachelor's Thesis.

18 p.

Examiner: Katja Hynynen

In this bachelor's thesis we examine automatization of electrical safety measures of electrical drive, and different solutions to perform that. This thesis has been produced in co-operation with The Switch Drive Systems Oy (later. TSW). This thesis is focused on measurements done to SRM0355, an electrical machine model produced at TSW Lappeenranta factory. Goal of this thesis is to map out different options to perform these measurements, made so that measurement reports are generated automatically. This contains making necessary changes that have to be made on the production line. Measurements are based on IEC-60034-1 standard, and following measurements are included in this thesis: voltage withstand test, insulation resistance measurement, and polarization index measurement. All these measurements have strict criteria determined in the standard. These criteria are different based on the machine, and criteria will vary based on machine rated power and machine type. Different measurements have also strict guidelines on how these measurements should be performed. These guidelines include measurement time, so upgrading measurement devices doesn't translate directly to time savings. There are commercial applications that does automatized measurement reports, with a compatible device. There isn't a single device that does all of these measurements, and meet the required criteria, so it's required to use two different devices to perform these measurements. This also makes it so, that you will require two different software to use these devices. Since the initial financial cost of these devices can be high, looking into self-made measuring programs using existing hardware became a reasonable solution. Since you could fuse the functionality of two different commercial software under one. Upon further inspection, it came into realization that already used measurement devices at TSW, have the required functionality for this software. Devices have RS-232 serial port, that makes communication with devices on PC possible. Also, self-made software could have better customization options. Based on these arguments, self-made software was chosen as the approach. Chosen programming language for application was Python, because it is a versatile dynamic programming language, and there was already solid foundation on it. Following requirements were made for the program: it should be able to make the test report automatically, and it should have easy to use graphical user interface. Application should also be later to be updated to support more machine models. Application was built on open-source libraries, so writing unnecessary code was avoided. Application was tested using White-Box testing method, with frequent on-field tests. Result was a measuring application based on Windows 7, and 10 operating system, that almost meets all the requirements that were made for it. Measurement application can't perform all of the measurements without user intervention. Reason for this is, not all used devices support it. This could be fixed in the future, with upgrading of this particular device to a one that supports this functionality. It can also be stated that, self-made measuring application is a good alternative to a commercial solution, since it offers greater flexibility, and it is made with a clear purpose.

SISÄLLYSLUETTELO

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

1.	Johdanto.....	6
1.1	Sähköturvallisuusmittaukset.....	6
1.2	Sähkökoneiden turvallisuusmääräyksistä.....	7
1.3	Mittausjärjestelyt nykytilassa.....	7
1.4	Tutkimuskysymys ja tavoitteet.....	8
2.	Käytettävät Menetelmät.....	8
2.1	Käytetyt työkalut.....	8
2.2	Mittalaitteet.....	10
2.3	Ohjelmointikieli ja alusta.....	10
2.4	RS-232-väylä mittalaitteiden ja tietokoneen välillä.....	11
3.	Työn vaiheet.....	12
3.1	Vaatimukset ja ominaisuudet.....	12
3.2	Ohjelman rakenteen suunnittelu ja toteutus.....	12
3.3	Testaaminen.....	14
4.	Lopputulos.....	14
5.	Johtopäätökset ja Yhteenvedo.....	16
	Lähteet.....	18

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

AR	Associated Research
TSW	The Switch Drive Systems Oy
PI	Polarisaatioindeksi
R_{600}	Eristysvastusmittaus tulos 600 sekunnin jälkeen
R_{60}	Eristysvastusmittaus tulos 60 sekunnin jälkeen

1. JOHDANTO

Tässä työssä tarkastellaan sähkökoneiden sähköturvallisuusmittausten raportoinnin automatisointia. Mittaustulosten automaattisella raportoinnilla voidaan säästää merkittävästi aikaa mittauksen tekijältä, sekä mittaustulosten tarkistajalta. Samalla voidaan myös nostaa laadun- tarkkailun tasoa. Sähkökoneiden sähköturvallisuusmittauksilla tarkoitetaan koneelle suoritettavia mittauksia, joilla varmistetaan koneen turvallisuus siltä vaadittavien laatustandardien mukaisesti. Nämä mittaukset pitävät sisällään eristysvastusmittaukset, sekä korkeajännitemittaukset.

Työn tavoitteena on kartoittaa eri vaihtoehtoja, joilla sähköturvallisuusmittausten tulosten- raportointiprosessia voitaisiin kehittää, niin eri mittauslaitteiden kuin mittausraportoinnin automatisoinnin toteuttamisen näkökulmasta. Tavoitteena on myös toteuttaa prosessille tarvittavat muutokset, jotta mittausraportointi saadaan järjestettyä automaattisesti.

Ongelmaa lähestyttiin sekä kaupallisten sovellusten, että itse toteutetun järjestelmän näkö- kulmasta. Työ on tehty yhteistyössä The Switch Drive Systems Oy kanssa, jonne työn lop- putulos tulee käyttöön sen valmistuttua. Työssä päädyttiin itse toteutettuun järjestelmään, sen mahdollistaman muokattavuuden, ja kustannustehokkuuden vuoksi. Toteutustavaksi va- littiin ohjelman kirjoittaminen, joka kommunikoi jo olemassa olevien mittalaitteiden kanssa RS232-sarjaportin välityksellä, käyttäen USB - RS-232 muunninta.

Vaikka olemassa on jo kaupallisia järjestelmiä, joissa on halutut ominaisuudet, ovat kysesei- set ohjelmat (PowerDB ja AutoWare 3) monimutkaisempia käyttäjälle, vaatisivat suuria mit- talaiteinvestointeja, eivätkä ne mahdollista samanlaista muokattavuutta kuin itse toteutettu järjestelmä mahdollistaa.

Ohjelmalle tehtiin vaatimusluettelo, jonka mukaan ohjelmaa lähdettiin suunnittelemaan. Mittausjärjestelmä toteutettiin Windows-käyttöjärjestelmälle, käyttäen Python-ohjelmointi- kieltä, sen kattavan avoimien kirjastojen määrän vuoksi. Lopputuloksena työlle saatiin mit- tausjärjestelmä, jossa on helppokäyttöinen graafinen käyttöliittymä, osittainen mittalaiteoh- jaus, ja mittaustulosten tallentaminen paikalliselle verkkokiintolevyille.

The Switch Drive Systems Oy on suomalainen megawattiluokan sähkökoneita valmistava yritys, joka toimii japanilaisen Yaskawan tytäryhtiönä. The Switch (myöh. TSW) valmistaa sähkökoneita turbo-, meri-, sekä tuulivoimakäyttöön. Työ rajattiin SRM0355-sähköko- neelle, jota valmistetaan TSW:n Lappeenrannan toimipisteellä.

1.1 Sähköturvallisuusmittaukset

Sähkökoneiden viat johtavuudessa ja eristyksissä on jo vuosikymmenet todettu eristysvas- tusmittauksella, jotta varmistuttaisiin sähkökoneiden sähköturvallisuudesta. Tässä työssä tarkasteltavat sähköturvallisuusmittaukset on rajattu eristysvastusmittaukseen ja korkeajän- nitemittaukseen. Koneille suoritetaan eristysvastusmittauksia monessa eri valmistuksen vai- heessa, jotta mahdolliset valmistusvirheet saadaan minimoitua. Eristysvastusmittauksessa koneen suojamaan ja mitattavan pisteen välille nostetaan korkeatasajännite, yleensä 500 V- 1000 V, ja mitataan kulkevaa virtaa. Virta koostuu normaalista resistanssin eli vuodon, ka- pasitanssin, sekä lisäksi absorption aiheutumasta virrasta. Kapasitanssin aiheuttama virta on mittauksen alussa suuri, mutta lähestyy nolaa mittauksen edetessä. Absorptiovirta lähestyy nolaa mittauksen edetessä. Tämä aiheuttaa sen, että eristysvastusmittauksen arvo riippuu

mittauksen pituudesta. Pidemmässä mittauksissa virta muodostuu kuitenkin lähes kokonaan kapasitanssin ja resistanssin aiheuttamista virroista. (IEEE, 2014).

Polarisaatioindeksimittaus on 10 minuuttia kestävä eristysvastusmittaus, missä polarisaatioindeksi saadaan jakamalla 10 minuutin arvo minuutin arvolla

$$PI = \frac{R_{600}}{R_{60}}. \quad (1.1)$$

Mikäli halutaan käyttää muita pituuksia mittaukseen, jaetaan pidempi aika aina matalammalla. Polarisaatioindeksimittauksen tulos tulisi olla aina yli 1, sillä alle 1 polarisaatioindeksi viittaa vakavaan eristyksen laatuongelmaan. IEEE:n 43-2013 standardissa määritellään myös suositeltavat minimiarvot polarisaatioindeksille. Pienin suositeltu arvo on 1.5, joten vaaditaan lähes poikkeuksetta mittaukselta yli yhden tulosta. (IEEE, 2014).

Polarisaatioindeksimittauksen ja eristysvastusmittauksen tulosta ei kuitenkaan voida verrata eri konetyyppien välillä, vaan tuloksia voidaan aina verrata vain saman tyyppisiin koneisiin. Eristysvastusmittauksen tulokseen vaikuttavat suuresti myös ilmankosteus, sekä koneen ja ympäristön lämpötila (Bhumiwat, 2011).

Koneille suoritetaan myös korkeajännitekoestus, jolla varmistetaan, ettei koneen eristyksistä tapahdu läpilyöntejä. Korkeajännitekoestuksessa koneen vaiheiden ja suojamaan välille ajetaan konetyypistä riippuva korkea vaihtojännite, esimerkiksi 2.4 kV, jonka jälkeen ajetaan testiä minuutin ajan. Mikäli läpilyöntiä ei tapahdu, on kone läpäissyt kokeen. Kokeen maksimivirralla on myös asetettu virtaraja, jonka käytettävän mittalaitteen tulee kyetä tarvittaessa ylittämään. Tämä arvo voi olla tyypillisesti 50 mA. Tämä virtaraja määräytyy IEC-60034 standardin mukaan, joka määrittää vaatimukset eri teholuokkien koneille, sekä eri konetyypeille (IEC 60034-1).

1.2 Sähkökoneiden turvallisuusmääräyksistä

IEC-60034 on laatustandardi ja vaatimustaso, mikä on asetettu pyöriville sähkökoneille, mikä on asetettu kansainvälisen sähköalan standardointiorganisaation puolesta. Kaikkien TSW:llä valmistettavien sähkökoneiden tulee olla tämän standardin mukaisia. Standardissa on määritetty mitä koneesta tulee mitata, sekä mitkä ovat näiden kyseisten mittausten raja-arvot. Myös miten mittaukset suoritetaan, sekä niiden suoritusolosuhteet on määritetty (IEC 60034-1).

1.3 Mittausjärjestelyt nykytilassa

TSW:llä työn alkaessa mittaukset toteutettiin täysin itsenäisesti, ja tulokset kirjattiin NET-MES-verkkokäyttöliittymään. Käytössä olevat mittalaitteet ovat mittauksiin sopivia. Kuitenkin on huomattava, että tämä järjestely ei ole ideaalinen. Mittaustuloksia kerätään suuret määrät, ja jokainen niistä täytyy syöttää käyttäjäkokemukseltaan heikkoon järjestelmään yksitellen. Tässä syntyy myös mahdollisuus kirjoitusvirheille, mikä voi aiheuttaa mittausten uusimisen. Myöskään vaatimuksiin riittämättömistä tuloksista ei ilmoiteta, vaan on tämä kokonaan mittauksen tekijän vastuulla. Mittauksista luodaan automaattisesti kooste verkkopalveluun, josta sitä tarvitsevan täytyy käydä itse lataamassa. Koneen mittausraportit kuitenkin sijaitsevat eri sijainnissa, joten täytyy koneen tietoja etsivän kerätä ne useasta eri paikasta.

Työn aloittamishetkellä oli siis useita epäkohtia, joita pystyttäisiin korjaamaan mittausjärjestelyitä parantamalla.

1.4 Tutkimuskysymys ja tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa sähköturvallisuusmittausten mittausprosessi tehokkaammin. Kun tavoite oli määritetty, aloitettiin kehityskohtien paikantaminen. Suurimpana kehityskohtana havaittiin mittaustulosten kirjaamiseen käytetty järjestelmä. Järjestelmä on hidas, eikä ole käyttäjäystävällinen. Myös järjestelmän ikä alkaa näkyä sen käytössä. Mittalaitteet alkavat myös ikääntyä, joten tutkitaan, onko olemassa mittalaitteita, jotka voisivat edistää mittausprosessia. Kuitenkin tehtävät mittaukset ovat standardin IEC-60034 mukaisia, joten mittauksiin kuluva aika pysyy samana, vaikka käytettäisiin uudempia mittalaitteita. Tämä johtuu siitä, että standardissa on määritetty mittauksille määrätyt pituudet, joista ei voida joustaa.

Keskeisimpänä ongelmana tässä tutkimuksessa on sähkökoneiden sähköturvallisuusmittausten tulosten kirjaamisen hankaluus ja aikaa vievyys, mikä on kuitenkin korjattavissa tietokoneohjelmalla, tai uusilla mittalaitteilla. Tavoitteena on siis suorittaa mittaustulosten tehokkaampi tallettaminen siten, että se ei ole asentajalle hankalaa (onnistuu jokaiselta pienellä koulutuksella), ja tarjoaisi myös samalla testausinsinööreille helpomman tavan päästä käsiksi dataan. Näin voitaisiin lisätä prosessin tehokkuutta, mikä säästää varmasti pitkällä aikataululla rahaa.

2. KÄYTETTÄVÄT MENETELMÄT

2.1 Käytetyt työkalut

Sähkökoneiden sähköturvallisuusmittausten tulosten kirjaamisen haastetta lähestyttiin tutkimalla erilaisia vaihtoehtoja. Vaihtoehdot rajattiin kahteen kategoriaan: itsetoteutettu mittausjärjestelmä, ja uudet mittalaitteet, joihin yhteensopiva ohjelmisto. Uusien mittalaitteiden tulisi pystyä suorittamaan vaaditut mittaukset, lisävaatimuksena mittausedatan automaattinen tallentaminen.

Associated Research valmistaa laadukkaita ylijännitetestereitä, joista HypotUltra-linjas-tossa, yhdistettynä valmistajan Autoware 3 mittausohjelmaan löytyy vaaditut ominaisuudet. Sillä pystyy kuitenkin toteuttamaan vain ylijännitetestauksen vaadituilla kriteereillä. Eristysvastusmittausta ei kyseisellä laitteella pysty toteuttamaan vaadituilla ehdoilla, sillä tyypilliset eristysvastusmittauksen tulokset eivät ole mittalaitteen mittaalueella. Koska eristysvastusmittauksen arvot voivat usein ylittää mittalaitteessa olevan 50 GOhm ylärajan, ei laitteella saada toteutettua polarisaatioindeksimittausta. Tämä johtuu siitä, että sekä 60 sekunnin, että 600 sekunnin arvon ollessa 50 GOhm saadaan yhtälöstä (1.1) tulokseksi 1, mikä ei ole vaatimukseen riittävä tulos. Sillä tulosta käytetään koneiden eristyksen laadun mittaamiseen, ei voida kahden koneen, joiden molempien mittauksen tulos on 1, verrata keskenään.

Jokaiselle konetyypille on myös asetettu raja-arvo, jonka polarisaatioindeksi mittauksen tuloksen täytyy ylittää hyväksytysti. Tutkimuksen ajanhetkellä vaatimukset täyttävien HypotULTRA-mittalaitteiden hinnat liikkuvat 5000 €-8000 € välillä, riippuen mittalaitteen mallista.

Tarvittaisiin siis toinen mittausjärjestelmä toteuttamaan eristysvastusmittaus. Jo käytössä olevat mittalaitteet tukevat niiden valmistajan Megger:n tuottamaa PowerDB-ohjelmistoa, joka mahdollistaa tulosten automaattisen kirjaamisen. Näin ollen eristysvastusmittauksen toteuttamiseen ei tarvita uusia mittalaitteita.

Tutkimuksen ajanhetkellä käytössä oleva ylijännitesteri, Associated Research:n valmistama Hypot 7704, täyttää kuitenkin suorituskyvyltään kaikki vaatimukset, joita mittaukset vaativat. Mittalaitteesta löytyy lisäksi RS-232 sarjaportti, jonka avulla mittalaitteen kanssa voidaan kommunikoida tietokoneen välityksellä. Sama ominaisuus löytyy myös Megger:n valmistamista eristysvastusmittareista, mikä mahdollistaa mittalaitteiden ohjaamisen ja lukemisen yhdistämisen saman ohjelman alle.

Kun ruvetaan harkitsemaan uusiin mittalaitteisiin investoimista, täytyy niiden tarpeellisuutta pohtia. Koska nykyhetkellä käytössä olevien mittalaitteiden ominaisuudet mahdollistavat ohjelman toteuttamisen, jolla päästäisiin tavoitteisiin, yhdessä korkeiden kustannuksien, joita vaadittaisiin uuteen korkeajännitesteriin, suhteutettuna itse toteutettavan ohjelman arvioituihin kustannuksiin. Yhdistettynä siihen, että uusi korkeajännitesteri vaatisi kahden mittausohjelman käyttämisen, kun taas itsetoteutettu ohjelma mahdollistaisi suuren muokattavuuden ja räätälöinnin juuri sille tarkoitettuun käyttötarkoitukseen. Taulukossa 2.1 on vertailtu erilaisia toteutustapoja, sekä kaupallisten ratkaisujen, että muidenkin lähestymistapojen näkökulmasta.

Taulukko 2.1 Eri mittausjärjestelmien vertailu. Kaupalliseen ratkaisuun sisällytetty sekä uudet mittalaitteet että mittausohjelmat.

Kategoria	Nykytilanteen mittausjärjestelmä	Kaupallinen ratkaisu	Itsetoteutettu järjestelmä
Mittausraporttien kirjoittaminen	Täytetään manuaalisesti	Automaattisesti. Jokaiselle mittaukselle oma raportti	Automaattisesti. Jokainen mittaus samassa raportissa
Mittauksien toteuttaminen	Täysin manuaalisesti	Automaattisesti	Automaattisesti mittalaitteilla, joissa toiminnallisuus siihen
Mittausohjelman muokattavuus	Ei mittausohjelmaa	Heikko	Ohjelman lähde täysin muokattavissa
Ulkopuolinen tekninen tuki	Vain mittalaitteilla	Täysi tekninen tuki, sekä ohjelmalla, että mittalaitteilla	Vain mittalaitteilla
Kustannukset	Ei kustannuksia	Uusien mittalaitteiden kustannukset,	Mittausohjelman kehittämiskustannukset

		sekä mahdolliset lisenssit mittausohjelmiin	
--	--	---	--

Tarkemman tarkastelun jälkeen, oli itsetoteutettava ohjelma selkeä valinta. Erilaisia ratkaisuja vertaillaan taulukossa 2.1, joista voidaan havaita seuraavat edut. Käyttöliittymien määrä pysyy mahdollisimman pienenä, sillä ei tarvitse käyttää kahta erillistä kaupallista ohjelmaa. Myöskään mittalaitteinvestointeja ei tarvitse tehdä, sillä vanhat mittalaitteet kykenevät vaadittaviin mittauksiin. Käyttöliittymä voidaan myös nyt räätälöidä juuri sellaiseksi kuin tarve vaatii. Kun ohjelma lopulta tulee käyttöön tuotantolinjalla, täytyy ajatella myös helppokäyttöisyyttä. Itsetoteutettuna saadaan mittausohjelma toteutettua suomeksi, kaupallisten ratkaisujen ollessa englanniksi. Myös kylmävastusmittauksien sijoittaminen samaan mittausohjelmaan on mahdollista tässä toteutuksessa. Kolmannen osapuolen mittausjärjestelmässä olisi kuitenkin yksi etu, mitä ei tälle ratkaisulle voida taata: Ohjelmistojen mukana tuleva tuki puuttuu, kun ohjelma toteutetaan itse.

Ohjelman ohjelmointikieleksi valittiin Python kattavan avoimen lähteen kirjastojen määrän, sekä jo olemassa olevan ammattitaidon vuoksi. Näin saatiin minimoitua uusien kirjastojen kirjoittaminen, ja voitiin lähteä toteuttamaan mittausohjelmaa sille laadittujen vaatimusten mukaisesti. Ohjelman vaatimuksia avataan enemmän kappaleessa 3.1.

2.2 Mittalaitteet

Tutkimuksessa käytettäviksi mittalaitteiksi valittiin jo käytössä olevat mittalaitteet, joilla sähköturvallisuusmittaukset suoritetaan. Eristysvastusmittauksia suoritetaan kolmella eri mallisella megger:n valmistamalla eristysvastusmittarilla. Mallit ovat: MIT525, MIT520/2, sekä MIT1020/2. Kaikki mallit täyttävät vaaditut vaatimukset, jotta eristysvastusmittauksia voidaan toteuttaa. Mallien erot ovat minimaaliset, poiketen toisistaan vain maksimimittausjännitteessä. MIT1020/2 mallin yltäessä 10 kV mittausjännitteeseen, yltävät MIT525 ja MIT520/2, 5 kV mittausjännitteeseen.

Korkeajännitekoestukseen käytetään Associated Research HypotMAX 7704 korkeajännite-testeriä. Laite on suorituskyvyltään riittävä mittauksiin. Maksimimittausjännite vaihtovirralla on 5 kV, kun taas virta tällä jännitteellä on 100 mA. Mittaukseen vaaditaan 2.4 kV, sekä 50 mA. Laitteesta löytyy myös RS-232 sarjaportti, jonka avulla mittalaitetta voidaan ohjata tietokoneella.

Koska kylmävastusmittaukset sijoitetaan samaan ohjelmaan, käytetään kylmävastusmittauksiin Hioki RM3545-01 mikro-ohmimittaria. Mittalaite käyttää myös RS-232 sarjaporttia, ja kykenee suorittamaan kylmävastusmittaukset riittävällä mittaustarkkuudella.

2.3 Ohjelmointikieli ja alusta

Ohjelman käyttöalustaksi valittiin heti aluksi jo Windows 10-käyttöjärjestelmä, sekä mikäli mahdollista, tutkittaisiin mahdollisuutta myös tukea Windows 7-käyttöjärjestelmää. Nämä valinnat tehtiin sen takia, että nämä käyttöalustat olivat jo käytössä työpisteillä, joihin järjestelmä sijoitettaisiin.

Ohjelmointikielen valinnassa vaikutti, niin jo löytyvä ammattitaito, kuin myös ohjelman vaatimukset. Pienen tarkastelun jälkeen vaihtoehdoiksi valittiin, Python, C, sekä LabVIEW-

ympäristö. Koska LabVIEW:stä ei ollut aikaisempaa kokemusta, ja sen opetteleminen olisi vaatinut suuria ajallisia sijoituksia, jätettiin se pois vaihtoehtoista. Ei myöskään ollut varmuutta siitä, että mittausjärjestelmän kaikki komponentit saataisiin toimimaan LabVIEW-ympäristössä. C- ja Python-ohjelmointikielille molemmille löytyi taas omat hyödyt ja haittansa.

Toteutustavaksi valittiin lopulta kuitenkin Python-ohjelmointikieli, sen yksinkertaisemman syntaksinsa, sekä kattavan valmiiden kirjastojen määrän vuoksi. Myöskään C-ohjelmointikielen tuomaa nopeutta ei tässä tulnaisiin tarvitsemaan. Järjestelmän ohjelmointialustaksi valittiin Visual Studio Code -ympäristö, jota käytetään myös ohjelman testaukseen.

Python on erittäin monipuolinen dynaaminen ohjelmointikieli. Python on saavuttanut suosionsa sen yksinkertaisen syntaksin, kattavien kirjastojen, sekä laadukkaiden kolmannen osapuolen kirjastojen ansiosta. Tässä tutkimuksessa päädyttiin siis siihen, että toteutetaan mittausjärjestelmä, jossa käytetään useita avoimen lähteen kirjastoja Python-ympäristössä. Eri laatuorganisaatiot tarkkailevat, että kyseisiä standardeja noudatetaan.

2.4 RS-232-väylä mittalaitteiden ja tietokoneen välillä

Tässä tutkimuksessa suuressa osassa on myös RS232-väylä, jonka välityksellä mittalaite ja tietokone kommunikoivat. RS-232, eli recommended standard 232, on yksinomaan kahden tietokonelaitteen väliseen kommunikointiin luotu väylä. Tässä tapauksessa väylää käytetään Associated Research HypotMAX 7704:n kanssa kommunikoimiseen, mittalaitteesta löytyvän USB:sta RS-232 muuntimen välityksellä. Myös kaikki megger:n eristysvastusmittareiden mallit käyttävät samaa RS232-USB kytkentää tietokoneen kanssa kommunikoimiseen.

Tätä väylää kutsutaan yleisesti sarjaportiksi, jossa data kulkee yksi bitti kerrallaan sarjamuotoisena. Tietokoneelta lähetetään USB:n välityksellä mittalaitteen ohjainkortille komento ja sen parametrit, jolloin mittalaite toimii komennon mukaisesti. Sarjaportti toimii myös toiseen suuntaan, mikä tarkoittaa sitä, että tietokoneella voidaan lukea mittalaitteen lähettämää informaatiota esimerkiksi mittaustuloksista, taikka muista mittauksen parametreistä (Park, J; Mackay, S; Wright, E. 2003).

Tämä tarkoittaa sitä, että mittalaitteiden kanssa kommunikoimiseen voidaan käyttää yhtä kirjastoa, muuttaen vain parametrejä, joilla mittalaitteet kytketään. Taulukossa 2.2 on esitelty korkeajännitemittauksessa käytettävän mittalaitteen sarjaporttikomennot.

Taulukko 2.2 Käytetyt Associated Research HypotMAX 7704 sarjaporttikomennot.

Komento:	Toiminto:
FB	Palauttaa mittalaitteeseen oletusasetukset.
FC	Asettaa mittalaitteen tilaksi ACW, joka on lyhennys AC Withstand:sta. Käytetään korkeajännitekokeessa
SA "Arvo"	Asetetaan mittalaitteeseen haluttu mittaussjännite
SB "Arvo"	Asettaa maksimimittausvirran arvon
SE "Arvo"	Asettaa mittauksen pituuden sekunneissa

FA	Aloittaa valitun laitteen valitun mittauksen
?1	Tulostaa mittalaitteen ensimmäisen muistipaikan mittaustuloksen.

Mittalaitteiden datalehtiä lukemalla voidaan havaita, että Megger:n mittalaitteet eivät tue etäkomentoja, vaan kykenevät pelkästään lähettämään mittaamansa datan väylää pitkin. Tästä syystä voimme käyttää tässä tapauksessa tietokonetta vain datan tallentamiseen.

3. TYÖN VAIHEET

3.1 Vaatimukset ja ominaisuudet

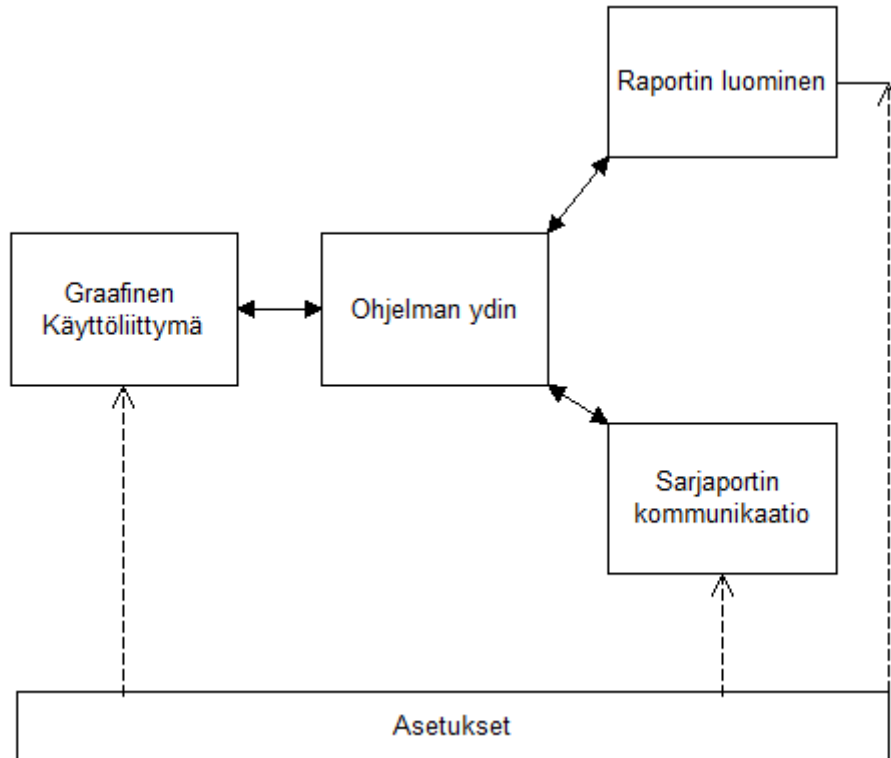
Mittausjärjestelmälle asetettiin vaatimukseksi, että sen pitää säästää aikaa, sekä tallentaa mittausdata helposti luettavaan muotoon. Ohjelmalla pitää myös pystyä suorittamaan mittauksia ilman, että sen käyttäjä itse käyttää mittalaitteita, vaan, että laitteita ohjataan ja luetaan tietokoneella. Näin saadaan prosessista poistettua inhimillisiä virheitä, sekä voidaan samalla hyväksikäyttää tietokonetta virheiden havaitsemisessa.

Ohjelman pitää myös olla laajennettava useille eri sähkötietokoneille. Lisäksi ohjelman lähdekoodia ei tarvitse muuttaa näiden laajennuksien tekemiseen vaan pystyttäisiin muutokset tekemään ohjelmaan muuttamalla ohjelman asetukset tiedostoa. Asetukset tiedostolla tarkoitetaan ohjelman juuressa sijaitsevaa tiedostoa, johon on tekstimuodossa talletettu kaikki ohjelmaan ladattavat asetukset sen käynnistyksen yhteydessä. Samaa tiedostoa sijoitettaisiin myös kaikki ennalta määritettävät arvot, kuten raporttien tallennussijainnit, raja-arvot tuloksille, sekä mittalaittekohtaiset asetukset. Vaatimuksena on, että vain yhtä mittalaitetta ohjataan kerrallaan, mutta mittalaitetta tulee pystyä vaihtamaan lennosta.

Ohjelmassa tulee myös olla graafinen käyttöliittymä, jotta se on selkeä ja helppokäyttöinen. Sen täytyy myös olla käytettävissä ilman mittalaitteita, joten arvojen manuaalinen muuttaminen ja ylös kirjaaminen tulee olla mahdollista. Mittauksesta täytyy pystyä tekemään kommentteja, ja ohjelman tulee tarkistaa, että kaikissa mittausvälilehdissä on vähintään käyty, että mitään ei voi tiedostamattaan jättää tekemättä.

3.2 Ohjelman rakenteen suunnittelu ja toteutus

Ohjelma tulisi toteuttaa aliohjelmarakenteella, jossa ohjelman ydin, raporttien kirjaaminen, sarjaportin kommunikaatio, sekä graafinen käyttöliittymä jaettaisiin kaikki omiin aliohjelmiinsa, ja ne kommunikoisivat keskenään tarvittaessa. Ohjelmalle suunniteltu lohkokaaquio on esitetty kuvassa 3.1.



Kuva 3.1 Ohjelman suunniteltu lohkokaavio.

Ohjelman kirjoittamiseen valitut kirjastot on lueteltu taulukossa 3.2. Ohjelmien kirjastot valittiin niiden avoimen lähteen vuoksi. Kaikkiin kirjastoihin löytyy myös kattava dokumentaatio, ja ovat jokainen omaan käyttötarkoitukseensa sopivia.

Taulukko 3.2 Ohjelmassa käytettävät kirjastot. Käytetyt kirjastot ovat Python software foundationin avoimen lisenssin alla, ellei toisin mainita.

Kirjaston nimi:	Lisätietoja:
tkinter	Graafisen käyttöliittymän luomiseen käytetty kirjasto
time	Kellonaikojen ja päivämäärien saaminen
matplotlib	Kuvaajien reaaliaikainen piirtäminen
threading	Mahdollistaa usean Python ohjelman samanaikaisen ajamisen
configparser	Luetaan asetukset sisältävä tiedosto
json	Asetustiedoston, datalistojen purkaminen
serial	Sarjaporttien avaamiseen ja kommunikointiin käytetty kirjasto. Erillisen lisenssin alla.
csv	Käytetään csv-tiedostojen kirjoittamiseen
os	Järjestelmäpolkujen tarkistaminen, tiedostojen luominen ja olemassaolontarkistaminen.
errno	Vianhallinta
re	Tulodatan suodattaminen, ja turhien tekstien pois karsiminen

Graafisen käyttöliittymän suunnittelussa ja toteutuksessa ei käytetty erillisiä työkaluja sen yksinkertaisen rakenteen vuoksi, vaan toteutettiin näyttöelementtien sijoittaminen näytölle automaattisten geometriamanagereiden avulla, jotka ovat valmiina käytettävissä tkinter-kirjastossa. Koska näyttörakenteiden muodostaminen haluttiin pitää yksinkertaisena ja yksiselitteisinä, ei yhdelle välilehdelle tule monimutkaisia näkymiä.

Sillä Python ohjelmointikielenä ei salli kuin yhden ohjelman ajamisen kerrallaan. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että kun ohjelmassa halutaan käyttää graafista käyttöliittymää, ei voida lukea mittalaitetta yhtä aikaa. Sama toimii myös toiseen suuntaan. Jos luetaan mittalaitteita, ei voida graafista käyttöliittymää käyttää. Johtaen siihen, että käytetään usean ohjelman samanaikaisen ajamisen mahdollistavaa kirjastoa threading. Threading-kirjaston avulla voidaan ajaa mittalaitteita lukevaa SerialInterface-aliohjelmaa taustalla, mahdollistaen käyttöliittymän käytössä pysymisen (Python Software Foundation, 2019).

Ohjelmassa muokattavuus on suuressa osassa, sekä ohjelman nopean käyttöönottamisen kannalta, on kannattavaa käyttää erillistä tiedostoa, pitäen sisällään ohjelman muuttujat, joita ei tarvitse muuttaa usein. Muuttujat kuten, raporttien tallettamispaikka pysyy aina samana, ja niitä ei tarvitse jokaisella käynnistyksellä muuttaa. Ei ole myöskään järkevää kirjoittaa näitä muuttujia ohjelman lähdekoodiin, sillä ne voi olla maallikolle tarpeettoman vaikeita muuttaa. Todennäköisyys siihen, että näitä muuttujia joudutaan joskus muuttamaan, on kuitenkin suuri. Käytetään siis jonkinlaista erillistä tiedosta tämänlaisien muuttujien tallettamiseen. Tiedostomuodoksi valittiin ".ini" sillä se oli dokumentoituuna sen lukemiseen tarkoitettavassa configparser-kirjastossa. Lisäksi listojen lukemiseen käytettiin json-kirjastoa, mahdollistaen sen, että suuri määrä dataa tallennetaan tiedostoon yhden muuttujan alle.

Raporttien tallentaminen hoidetaan csv-kirjastolla. Aliohjelmaan lähetetään kirjoitettava data käyttöliittymästä, jonka jälkeen se kirjoitetaan ".csv"-tiedostoon, johon kirjataan tarvittava informaatio mittauksesta. Raporttiin tulee lyhyt yhteenveto kaikista mittauksista, jonka jälkeen mittauksien arvot kirjataan tiedostoon sekunnin tarkkuudella, mahdollistaen mittauksen tarkastelemisen jälkikäteen.

3.3 Testaaminen

Ohjelman testaamiseen, toimintavarmuuden varmistamiseen käytettiin white-box testausmetodia, yhdistettynä ajoittaisiin käytännön testeihin. White-box testauksessa testaaminen pohjautuu ohjelman rakenteeseen, ja testiehdot suunnitellaan ohjelman sisäisten ehtojen mukaisesti suoraan pohjautettuna lähdekoodiin. Näin käydään läpi kaikki haarat testattavassa ohjelmassa. Tätä testaustapaa käytetään usein yksikkötestien suorittamiseen, kuten tässä tutkimuksessa (Roman, 2018).

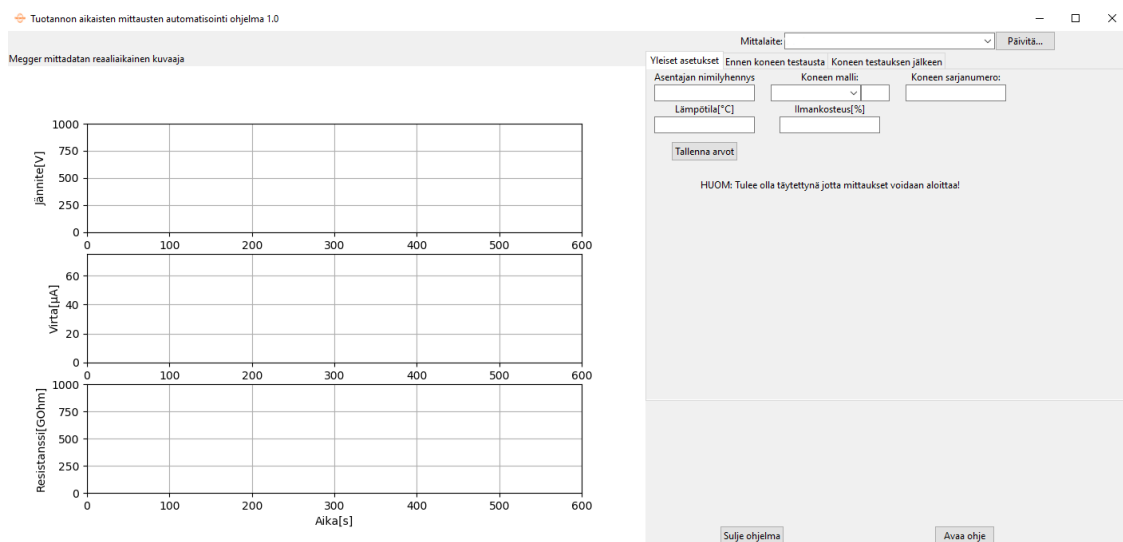
Käytännön testeillä tarkoitetaan ohjelman kokeilemista sen tulevassa käyttöympäristössä, kun se on mahdollista. Näin varmistetaan ohjelman tarkoituksenmukaisuudesta.

4. LOPPUTULOS

Kandidaatintyön tuloksena saatiin toteutettua toimiva mittausjärjestelmä TSW:n sähkökoneiden tuotantolinjalle sähköturvallisuusmittausten toteutukseen ja raportointiin. Työhön

kuului suoritettavien mittausten vaatimuksien kartoittaminen, niin tarvittavien mittausjärjestelmien, kuin virtojenkin puolesta. Mittalaitteiden riittävän suorituskyvyn varmistaminen, sekä eristysvastusmittauksessa, että korkeajännitemittauksessa. Jo käytössä olevien mittalaitteiden suorituskyky, sekä muu ominaisuusluettelo todettiin riittäväksi itsetoteuttavan mittausohjelman käyttöön. Tarkasteltiin vaihtoehtoisia mittausjärjestelmiä, ja tarkemman tarkastelun alla, olosuhteet huomioon ottaen, kannattavimmaksi vaihtoehdoksi osoittautui itsetoteutettava tietokoneohjelma, joka täyttäisi mittausjärjestelmältä vaadittavat ominaisuudet. Pythonilla toteuttavassa tietokoneohjelmassa on yksinkertainen graafinen käyttöliittymä, josta voidaan nopeasti suorittaa vaadittavat mittaukset, sekä tarkkailla mittausten tuloksia reaaliajassa.

Mittausohjelma on jaettu kahteen eri lohkoon, ja ne on tarkoitettu koneen kahteen eri tuotannonvaiheeseen. Käyttöliittymän yksinkertaistamiseksi on mittaukset, jotka tehdään toisensa jälkeen, sijoitettu yhdelle välilehdelle. Kuten kuvasta 4.1 voidaan havaita, ovat mittaukset jaettu sekä ennen testausta että jälkeen testauksen tehtäviin mittauksiin. Ohjelma pystyy luomaan kaikista sillä suoritetuista mittauksista mittausraportin, johon se kirjaa kaiken sen mittaaman datan, sekä luo tiivistelmän mittausten tuloksista.



Kuva 4.1 Mittausohjelman avausnäky. Vasemmassa reunassa nähdään eristysvastusmittauksen reaaliaikaiset kuvaajat, kun taas oikealla on yleisasetukset. Ohjelman alareunassa ovat painikkeet ohjelman sulkemiselle, sekä ohjeen avaamiselle.

Mittausohjelma suorittaa mittalaitteiden kanssa kommunikoinnin RS-232 sarjaporttiväylän välityksellä, josta se lukee mittalaitteiden mittaustuloksia. Tämä toiminto toimii kaikkien käytettävien mittalaitteiden kanssa. Mittalaitteisiin komentojen lähettäminen ei kuitenkaan megger:n valmistamien eristysvastusmittareiden kanssa toimi, sillä niistä puuttuu toiminnallisuus etäohjaukseen, kuten aikaisemmissa kappaleissa on mainittu. Tältä osalta ei siis päästy mittausohjelmassa sille asetettuihin tavoitteisiin. Voidaan kuitenkin todeta itsetoteutettava järjestelmä vakavasti harkittavaksi vaihtoehdoksi kaupalliselle järjestelmälle, sillä on lähes kaikki ohjelmalta vaadittavat kriteerit saavutettu.

Ohjelmalla pystyy suorittamaan korkeajännitekoestuksen AR 7704:llä automaattisesti. Kylmävastusarvojen lukeminen ja arvojen tarkistaminen, sekä prosentti eroavaisuuden laskeminen on sisällytetty ohjelmaan. Eristysvastusmittauksen data saadaan luettua ohjelmaan ja sen analysoiminen onnistuu. Ohjelman laajennettavuus on toteutettu siten, että voidaan ohjelmaan lisätä uusia konetyyppejä, lisäämällä ne ohjelman sisäiseen asetukset-tiedostoon. Tämä mahdollistaa sen, että ohjelman lähdekoodia ei tarvitse muuttaa, kun siihen halutaan tehdä laajennuksia.

Mikäli puuttuva toiminnallisuus haluttaisiin lisätä mittausohjelmaan eristysvastusmittausten suhteen, täytyisi tehdä investointeja mittalaitteisiin, joista löytyy tarvittava toiminnallisuus mittausten suorittamiseen. Myös mittausohjelman lähdekoodiin tulee tehdä tarvittavat muutostyöt, jotta mittaus voidaan aloittaa vanhoista painikkeista, sekä tarvittaessa myös muutokset datan analysoimiseen. Muutokset ovat kuitenkin varsin tehtävissä, eivätkä rajoita uuden mittalaitteen valintaa tiettyyn malliin, taikka merkkiin.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Työssä on kehitetty mittausjärjestelmä The Switch Drive Systems Oy:n sähkökoneiden tuotantolinjalle. Mittausjärjestelmän tarkoituksena on tehostaa sähkökoneiden tuotantoprosessia, automatisoimalla sähköturvallisuusmittausten tekemistä sekä raportointia. Vaatimuksena on sähköturvallisuusmittauksien standardien mukainen suorittaminen, sekä raporttien tallettaminen automaattisesti samoihin kansioihin kuin muutkin testattavan sähkökoneen mittausraportit.

Työn alussa on käyty läpi sähköturvallisuusmittauksia. Mitä ne pitävät sisällään, sekä mitkä ovat ne standardit, joiden mukaan niitä tehdään. Käytiin myös läpi kriteereitä mitä mittalaitteilta vaadittiin, jotta ne täyttäisivät työn mukaiset vaatimukset. Työ kohdennettiin maksimissaan 600 kW-teholuokan suurnopeuskoneille.

Vaatimuksia esitellessä, käydään läpi myös eri toteutusvaihtoehdot, sekä niistä ilmenevät edut ja heikkoudet. Työn toteuttamistavaksi valittiin itsetoteutettava järjestelmä, kaupallisen ratkaisun sijaan, ohjelman tuoman muokattavuuden ja räätälöitävyyden juuri haluttuun käyttötarkoitukseen. Myös suoraan tehtävään tarkoitettua kaupallisen ratkaisun puuttuminen, oli iso tekijä päätöksessä. Työssä käytettävät teknologiat on esitelty, sekä perustelut niiden käyttämiseen. Mittausjärjestelmä alustaksi valittiin Windows 10- ja Windows 7-käyttöjärjestelmät, ja ohjelmointikieleksi valittiin Python. Mittalaitteiden kanssa kommunikoimiseen käytetään RS-232 sarjaporttia, USB-RS-232 muuntajan välityksellä.

Työssä käytettiin eri mittalaitteita eri mittausten suunniteltuun toteuttamiseen. Eristysvastusmittauksen toteutettaisiin käyttämällä Megger:n MIT-sarjan mittalaitteita. Korkeajännitekoestus toteutus tehtäisiin Associated Research:n HypotMAX 7704:lla, myös työhön sisällytetty kylmävastusmittaus, voitaisiin toteuttaa Hioki RM3545-01 mikro-ohmimittarilla. Kaikissa laitteissa, tietokoneen kanssa kommunikoimiseen käytetään RS-232 sarjaporttia, jonka välityksellä voidaan lähettää, sekä vastaanottaa dataa mittalaitteista tietokoneeseen.

Mittausohjelmalle asetettiin vaatimukseksi graafinen käyttöliittymä, laajennettavuus tulevaisuudessa, sekä mittausraporttien luominen. Ohjelmaa lähdettiin toteuttamaan aliohjelma

rakenteella, jossa toiminnallisuus jaettaisiin eri aliohjelmiin, jotka kommunikoisivat keskenään. Ohjelman toteuttamiseen käytettiin Python Software Foundationin lisensoimia avoimen lähteen kirjastoja. Ohjelmaa testattiin white box-testausmetodilla.

Lopputuloksena on mittausjärjestelmä, joka on hyvä vaihtoehto kaupalliselle tuotteelle, jota ei voi jättää huomioimatta, suunnitellessa sähkökoneiden sähköturvallisuusmittausten automatisointia. Suuri muokattavuus ja laajennettavuus ovat järjestelmän suurimpia etuja.

LÄHTEET

Park, J; Mackay, S; Wright, E. 2003 Practical Data Communications for Instrumentation and Control. Elsevier. ISBN 978-0-7506-5797-6

Bhumiwat, S.A. 2011. Insulation resistance and polarization of rotating machines. Teoksessa: 2011 Electrical Insulation Conference (EIC). Annapolis, MD, USA. IEEE. S. 249-253.

IEEE. Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery. 2014. IEEE. ISBN 978-0—7381-8937-6

Roman, A. 2018. A Study Guide to the ISTQB® Foundation Level 2018 Syllabus: Test Techniques and Sample Mock Exams. Springer International Publishing. ISBN 9783319987408

Python Software Foundation, Threading – Thread-based parallelism. [verkkoaineisto]. [viitattu 29.11.19]. Saatavissa: <https://docs.python.org/3/library/threading.html>

IEC 60034-1. 2017 Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance. 148 s.