



OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SUURJÄNNITELABORATORION UUDISTAMISEN SUUNNITTELU

Opinnäytetyö

TEKIJÄ: Olli Pehkonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Olli Pehkonen	
Työn nimi Suurjännitelaboratorion uudistamisen suunnittelu	
Päiväys	11.6.2019
Sivumäärä/Liitteet	29/0
Ohjaaja(t) Lehtori Timo Savallampi, Projekti-insinööri Henrik Sikanen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Savonian suurjännitelaboratorion päivittämismahdollisuuksia. Savonian Opistotien kampus siirtyy Microkadun kampuksen yhteyteen vuonna 2020 ja samalla suurjännitelaboratorion päivittäminen muuton yhteydessä on mahdollista. Tavoitteena oli tehdä mahdollisimman kattava suunnitelma uusien laitteistojen hankintaa varten, sekä kartoittaa vanhojen komponenttien vaihto- ja huoltotarvetta.</p> <p>Raportissa on käyty sähkömagneetiikkaan ja eristeisiin liittyvää teoriaa, jotka pohjustavat myöhemmin läpikäytävää eristeen syöksyjännitekoestusta.</p> <p>Tämä työ oli suunnittelutyötä, jonka tarkoituksena oli selvittää vaihtoehtoja, että miten Savonian uutta suurjännitelaboratoriota voisi uudistaa. Työ jaksotettiin kolmeen osaan. Ensimmäisenä oli mittaukseen ja laboratoriotiloihin liittyvien teorioiden ja standardien tutkiminen. Seuraavaksi kartoitettiin laboratorion eri järjestelmien ja komponenttien päivitystarve ja oltiin yhteydessä eri laitteistovalmistajiin. Lopuksi käydään läpi uudet järjestelmät ja muut uudistukset.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin kattava suunnitelma laboratorion mittausjärjestelmän päivityksestä. Suunnitelman avulla saatiin ensimmäinen laitehankinta toteutukseen.</p>	
Avainsanat Marxin generaattori, faradayn häkki, syöksyjännite, eristekestävyys, läpilyönti	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Olli Pehkonen			
Title of Thesis Designing the Renewal of a High Voltage Laboratory			
Date	11.6.2019	Pages/Appendices	29/0
Supervisor(s) Mr. Timo Savallampi, Lecturer and Mr. Henrik Sikanen, Project Engineer			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to find out the possibilities of upgrading the high voltage laboratory systems in Savonia University of Applied Sciences. The Opistotie campus will move to Microtekniä in spring of 2020 and the upgrading of the laboratory is possible at the same time. The goal was to produce as comprehensive a plan as possible for purchasing new hardware and to survey whether to replace or maintain the old components.</p> <p>The work was divided into three different sections. First, the theory and standards related to measuring and laboratory facilities were studied. The next step was to find out the needed upgrades for different systems and components. Finally, the new upgrades were tested.</p> <p>As a result, a comprehensive plan was achieved to upgrade the measurement system. The plan provided the first equipment acquisition for implementation.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Marx generator, Faraday cage, surge voltage, insulator resistance, breaktrough</p>			

SISÄLTÖ

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT	5
1 JOHDANTO	6
2 SÄHKÖMAGNEETTISET ILMIÖT	7
3 ERISTYSRAKENTEIDEN JÄNNITELUJUUS	9
3.1 Sähkölujuus.....	9
3.2 Kiinteät eristeet	9
3.3 Sähköpurkaukset	9
3.3.1 Sähkömekaaninen läpilyönti	10
3.3.2 Sähköläpilyönti	10
3.3.3 Osittaispurkausläpilyönti.....	10
3.3.4 Sähkö- ja vesipuut.....	11
3.3.5 Lämpöläpilyönti	11
4 SAVONIAN SUURJÄNNITELABORATORIO	12
4.1 Marxin generaattori	14
4.2 Suoritettavat mittaukset	15
4.2.1 Eristimen syöksyjännitekoestus.....	15
4.2.2 Katkaisijaöljyn koestus.....	15
4.2.3 Eristimen vaihtojännitekoestus.....	15
4.3 Ohjauspulpetti	16
5 UUSI SUURJÄNNITELABORATORIO	19
5.1 Mittausjärjestelmän päivitys	21
5.2 Ohjausten automatisointi	25
6 LOPPUPÄÄTELMÄ	27
7 YHTEENVETO	28
8 LÄHDELUETTELO.....	29

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

E	Sähkökentän voimakkuus tarkoittaa avaruuteen jakaantunutta jännitettä, jota mitataan yksikössä voltia per metri (V/m).
B	Magneettivuon tiheys kuvaa avaruuteen jakautunutta magneettista voimaa, joka saa liikkuvat varaukset eli sähkövirran muuttamaan suuntaansa. Magneettivuon tiheyttä mitataan yksikössä tesla (T) mikä on sama yksikkö kuin Vs/m ² .
D	Sähkövuon tiheys on vektorisuure, jolla on yksinkertainen yhteys sähkökentän voimakkuuteen E vapaassa tilassa, missä nämä ovat verrannollisia toisiinsa. Sähkövuon tiheyttä mitataan yksiköllä As/m ² .
H	Magneetikentän voimakkuutta mitataan suurella A/m. Magneetikentän voimakkuudella on yhteys magneettivuon tiheyteen.
F	Kapasitanssin yksikkö
Ω	Resistanssin yksikkö
ϵ	Permittiivisyys on suure, joka kuvaa, miten väliaine vaikuttaa siihen kohdistuvaan sähkökenttään.
μ	Permeabiliteetti on aineen magneettista käyttäytymistä kuvaava suure, jota SI-järjestelmässä mitataan yksiköllä henry per metri (1 H/m)
EMP	Electromagnetic pulse, eli sähkömagneettinen pulssi, on lyhytkestoinen ja korkeaenerginen sähkömagneettinen aalto
HEMP	High-altitude electromagnetic pulse. eli korkealla ilmakehässä tapahtuva sähkömagneettinen pulssi
Sampling rate	Sampling rate, eli näytteenottotaajuus, tarkoittaa sitä, että kuinka monta näytettä jokin mittalaite voi mitata sekunnin ajanjakson aikana.
Faradayn häkki	Johtavasta aineesta rakennettu häkki, joka estää sähkömagneettista säteilyä pääsemästä sen sisälle.
Syöksyjännite	Todella lyhytkestoinen ja korkeatasoinen jännitepulssi.
Marxin generaattori	Virtapiiri, jonka tarkoituksena on luoda korkeajännitteinen pulssi matalatehoisesta tasajännitevirtalähteestä.

1 JOHDANTO

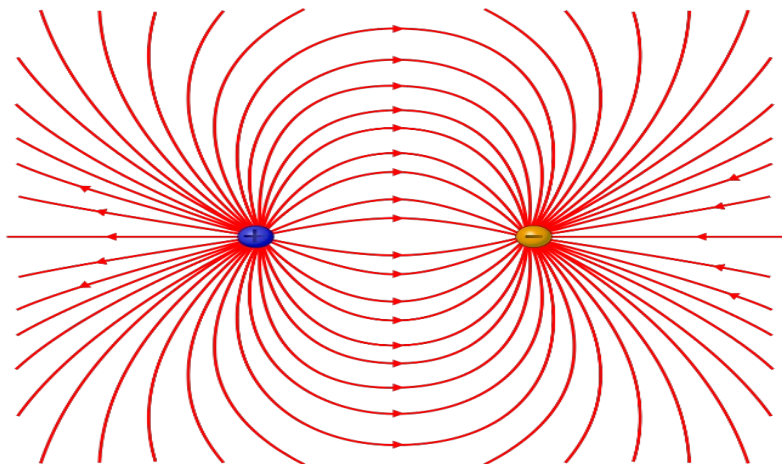
Tämä opinnäytetyö käsittelee Savonia-ammattikoulun suurjännitelaboratorion päivitystä. Työssä keskitytään pääasiassa ohjauspöydän mittausjärjestelmän uusintaan ja kuinka uudistuksia voidaan hyödyntää suurjännitelaboratoriossa suoritettavassa eristimen syöksyjännitekoestuksessa.

Opinnäytetyön ajankohdaksi valikoitui tämä kevät, koska Savonian Opistotien kampus sulkeutuu vuoden 2020 kevääseen mennessä ja samalla myös suurjännitelaboratorio siirtyy Microkadun kampukselle. Suurjännitelaboratorio joudutaan muuton aikana purkamaan ja samalla korjataan kaikki vanhentuneet sekä vialliset komponentit. Tämä purku antaa hyvän mahdollisuuden myös päivittää suurjännitelaboratoriota.

Työn tarkoituksena on tehdä valmis suunnitelma Savonialle, että miten tätä laboratoriotilaa voitaisiin päivittää. Työssä selvitetään, millaisia laitteistoja voidaan hyödyntää tulevaisuuden mittausten laadun parantamisessa.

2 SÄHKÖMAGNEETTISET ILMIÖT

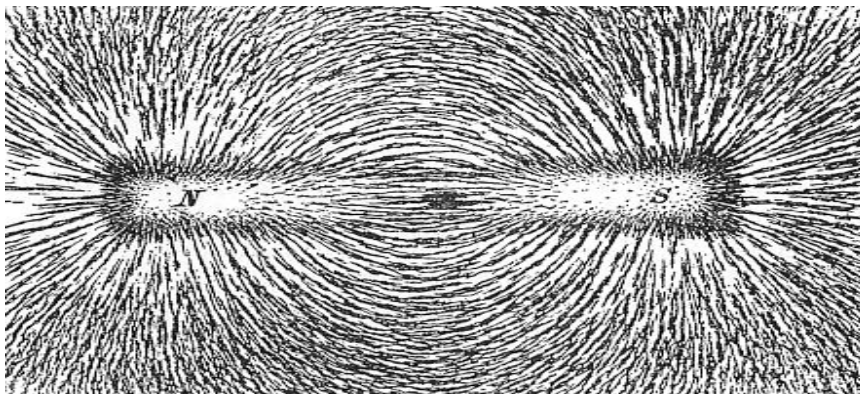
Sähkövarausten välinen etävuorovaikutus selitetään sähkökentän avulla. Sähkökenttää kuvataan kenttäviivoilla, jotka suuntautuvat positiivisesti varautuneesta kappaleesta kohti negatiivisesti varautunutta kappaletta, joka on kuvattu kuvassa 1. (Peda.net)



KUVA 1. Kahden pistevarauksen ympärille muodostuva sähkökenttä. (Sharanyanan, 2007)

Varaukset ja virrat aiheuttavat siis ympäröivään avaruuteen tilan, jota kutsutaan sähkömagneettiseksi kentäksi. Tämän kentän täsmälliseksi kuvaamiseksi tarvitaan neljä vektorisuuretta, jotka ovat: sähkökentän voimakkuus E , magneettivuon tiheys B , sähkövuon tiheys D ja magneettikentän voimakkuus H .

Sähkökentällä ja magneettikentällä on monia yhtäläisyyksiä. Molemmat kentät ovat kuvattavissa vektoreilla. Sähkökentässä vektorit muodostuvat varauksien ympärille, kun taas magneettikentässä ne muodostuvat magneetin napojen ympärille. Sähkökenttää ei voida fyysisesti havaita, joten se voidaan havaita sen aiheuttamista häiriöistä. Johtavassa väliaineessa sähkökenttä panee sähkövirran liikkeelle. Esimerkiksi radioaallon sähkökenttä aiheuttaa antennilankaan jakautuneen jännitteen, joka puolestaan saa metallissa olevat varauksenkuljettajat liikkumaan ja näin syntynyt sähkövirta voidaan ilmaista elektroniikan avulla. Magneettikenttä voidaan todeta käytännössä kestopagneetin ja rautapölyn avulla. (Lindell & Sihvola, 2007) Alla olevassa kuvassa on havainnollistettu magneettikenttä.



KUVA 2. Magneettikenttä (Meyer, 2007)

Sekä sähkö- ja magneettikentän laatua voidaan kuvata kenttien voimakkuuksilla ja vuon tiheyksillä. Sähkökentän voimakkuus on voima, joka kohdistuu kaikkiin sähkökentän sisällä oleviin varauksiin. Magneettikentän voimakkuus taas kuvaa magneettikentässä sijaitsevaan magneettiseen kappaleeseen kohdistuvaa voimaa. Sähkö- ja magneettivuon tiheydellä kuvataan sähkö- ja magneettikenttien kenttäviivojen tiheyttä. Sähkövuon tiheys kuvaa kentän voimakkuutta siinä materiaalissa tai kappaleessa, johon se vaikuttaa. Tiheyteen vaikuttaa verrannollisesti kentän voimakkuus, sekä permittiivisyys ϵ , joka on väliaineen laatu. Theseuksessa julkaistussa opinnäytetyössä (Romppainen Elias, 2018) todettiin, että magneettivuon tiheydessä periaate on sama kuin sähkövuolla, mutta magneettikentän kenttäviivojen tiheyteen vaikuttaa permittiivisyyden sijasta väliaineen permeabiliteetti μ , joka kuvaa kuinka hyvin väliaine tukee magneettikentän muodostumista. (Lindell & Sihvola, 2007)

Elektromagneettinen pulssi (EMP) on hetkellinen, voimakas energiakenttä, joka voi ylikuormittaa tai häiritä etäisyydellä lukuisia sähköjärjestelmiä ja korkean teknologian mikropiirejä, jotka ovat erityisen herkkiä virtapiikeille. Suuren mittakaavan EMP-vaikutus voidaan tuottaa yhdellä ydinräjähdyksellä, joka on räjäytetty korkealle ilmakehään. Tätä menetelmää kutsutaan nimellä High-Altitude EMP (HEMP). Samankaltainen, pienimuotoinen EMP-vaikutus voidaan luoda käyttämällä muita kuin ydinalan laitteita, joissa on tehokkaita paristoja tai reaktiivisia kemikaaleja. EMP-vaikutus voidaan myös luoda Savonian suurjännitelaboratorion laitteistolla, jolla simuloidaan salaman vaikutusta luomalla erittäin lyhyt suurjännitepiikki. (Wilson, 2008)

3 ERISTYSRAKENTEIDEN JÄNNITELUJUUS

Eristysrakenteen jännitelujuudella tarkoitetaan sen kykyä kestää jänniterasituksia ilman haittaa tai vahinkoa tuottavia sähköpurkauksia. Jännitelujuuden ja siihen vaikuttavien asioiden tunteminen on tärkeä tekijä laitesuunnittelussa. Mikäli eristysrakenteeseen kohdistuvaa jänniterasitusta suurennetaan riittävästi, tapahtuu purkauksia, jotka tekevät eristysvälin osittain tai täysin johtavaksi. (Elovaara & Laiho, 2007)

3.1 Sähköljuus

Varausta voidaan siirtää kappaleesta toiseen johtimen avulla, mutta sitä siirtyy myös eristeissä tapahtuvien sähköpurkausten yhteydessä. Riittävän suuri sähkökenttä irrottaa elektroneja eristeen rakenneosista. Elektronit törmäävät toisiin rakenneosiin, jolloin vapautuu lisää elektroneja. Aine siis ionisoituu ja alkaa johtaa sähköä. Ilmiö havaitaan esimerkiksi ilmassa johdekappaleen kärkien lähellä tai tilanteessa, jossa kaksi varattua johdepintaa on lähellä toisiaan. Riittävän voimakas sähköpurkaus synnyttää valoa ja ääntä, joten sen voi nähdä ja kuulla. Kipinäpurkauksessa varaus purkautuu äkillisesti yhtä kanavaa pitkin. Sähkövirta on suhteellisen suuri, ja lämpötila purkauskanavassa saattaa nousta kymmeniin tuhansiin asteisiin. Koronapurkauksessa eristeeseen muodostuu useita purkauskanavia ja varaus purkautuu hitaasti. Materiaalin sähkönlujuudella tarkoitetaan suurinta sähkökentän voimakkuuden arvoa, jolla aine pysyy eristeenä eikä ionisoidu. Sähköljuuteen vaikuttaa olennaisesti myös lämpötila-arvot, sekä aineen epäpuhtaudet, joten taulukkoarvot ovat yleensä likimääräisiä. (Suvanto & Laajalehto, 2011)

3.2 Kiinteät eristeet

Kiinteän eristyksen tärkeimpänä tehtävänä on tukea jännitteisiä osia mekaanisesti ja turvata riittävän luotettava sähköinen eristys. Kiinteän eristyksen tärkeimpiä ominaisuuksia ovatkin mekaaninen lujuus ja sähköljuus. Tavallisesti kiinteitä eristysaineita valittaessa riittävän jännitelujuuden saavuttaminen ei ole ongelma, ainakaan mikäli käytettävissä olevan tilan määrä ei ole rajoitettu. Tärkeimmäksi valintakriteeriksi muodostuu sen sijaan usein materiaalin lämpötilan kestävyys, sillä eristysmateriaalit joutuvat toimimaan varsin korkeissakin lämpötiloissa. (Aro;Elovaara;Karttunen;Nousiainen;& Palva, 2015)

3.3 Sähköpurkaukset

Kun eristyksen yli vaikuttaa jännite, sen läpi kulkee vuotovirta. Vuotovirran merkittävä kasvu ilmaisee, että eristeessä tapahtuu sähköpurkauksia tai että eristys on vaurioitumassa. Eristeessä tapahtuva sähköpurkausta kutsutaan täydelliseksi silloin, kun se johtaa eristeen eristysominaisuuden täydelliseen katoamiseen. Tällöin eristeen läpi kulkee suuri virta ja jännite sen yli on romahtanut pieneksi. Purkaushetkellä eristyksen yli tai läpi syntyy voimakkaasti ionisoitunut ja hyvin kuuma kanava, valokaari. Täydellistä purkausta kutsutaan läpilyönniksi, kun purkauskanava kulkee eristeen läpi. (Aro;Elovaara;Karttunen;Nousiainen;& Palva, 2015)

Läpilyönnin kehittyminen edellyttää, että jonkin termisesti tai sähköisesti aktivoituvan prosessin seurauksena varauksenkuljettajien määrä kasvaa niin suureksi, että eriste menettää eristysominaisuutensa. Käytännössä eristeen läpilyöntiprosessissa vaikuttavat monet muutkin seikat kuin jänniterasituksen aiheuttama vapaiden elektronien määrän kasvu. Näitä ovat esimerkiksi esipurkausvirran ja dielektristen häviöiden aiheuttama lämpeneminen, sähköstaattiset voimat rajapinnoilla ja itse eristeessä sähkökemialliset reaktiot. Yleisesti voidaan todeta, että läpilyönti aiheutuu energiasta, jonka eriste saa siihen vaikuttavalta sähkökentältä. Energian siirtyminen voi tapahtua esimerkiksi sysäysionisaation (sähköläpilyönti) tai lämpöhäviöiden (lämpöläpilyönti) kautta. Kiinteässä eristeessä läpilyönti johtaa alkuperäisessä mekanismista riippumatta lopulta eristeen termiseen tuhoutumiseen läpilyöntikohdassa (sulaminen, hiiltyminen, höyrystyminen). Näin ollen eriste menettää läpilyönnin seurauksena aina eristyskykynsä. (Aro;Elovaara;Karttunen;Nousiainen;& Palva, 2015)

3.3.1 Sähkömekaaninen läpilyönti

Tasajännitteellä elektrodeille kertyvien erimerkkisten varausten välinen voimavaikutus aiheuttaa paineen, joka pyrkii vetämään elektrodit yhteen. Esimerkiksi 100kV/mm jänniterasitus aiheuttaa elektrodien välille paineen, joka joillakin polymeereillä on riittävän suuri aiheuttaakseen kokoonpuristumisen. Puristuksen aiheuttama elektrodivälin lyheneminen lisää edelleen kokoon puristavaa voimaa. Eristeen paikallinen kuumeneminen ja pehmeneminen pahentaa tilannetta ja seurauksena voi olla eristyskykyä täydellinen mekaaninen romahdus. (Aro;Elovaara;Karttunen;Nousiainen;& Palva, 2015)

3.3.2 Sähköläpilyönti

Sähköläpilyönti on monivaiheinen tapahtumaketju, johon vaikuttavat erilaiset ionisaatio- ja viritysilmiöt, purkaukskanavaan kertyvät avaruusvaraukset, eristeen lämpeneminen sekä molekyyli-, ja kiderakenteessa tapahtuvat muutokset purkaukskohdissa. Läpilyöntiprosessin oletetaan alkavan jostakin eristeen tai elektrodipinnan epähomogeenisuuskohdasta, jossa syntyy sähköpurkauksia eristeen kriittisen kentänvoimakkuuden ylittyessä paikallisesti. Purkausten vaikutuksesta eriste tuhoutuu erilaisten kemiallisten ja fysikaalisten prosessien kautta ja eristeen läpi alkaa edetä johtava runsaasti varauksenkuljettajia sisältävä kanava. Lopullinen läpilyönti tapahtuu, kun tämä kanava on edennyt elektrodilta toiselle. (Aro;Elovaara;Karttunen;Nousiainen;& Palva, 2015)

3.3.3 Osittaispurkausläpilyönti

Eristeet ja eristysrakenteet sisältävät usein onteloita tai kaasukuplia, joissa on ympäröivää eristettä alhaisempi jännitelujuus. Kun ontelon täyttävän aineen permittiivisyys on yleensä pienempi kuin ympäröivän eristeen, ontelossa vallitseva jänniterasitus on vastaavasti ympäristöä suurempi. Ontelon yli vaikuttavan jännitteen ylittäessä kaasun jännitelujuuden tapahtuu ontelossa osittaispurkauksia. Purkausten vapauttamat positiiviset ionit ja elektronit törmäilevät ontelon seinämiin aiheuttaen seinämien eroosiota. (Aro;Elovaara;Karttunen;Nousiainen;& Palva, 2015)

3.3.4 Sähkö- ja vesipuut

Pitkän ajan kuluessa sähköpurkaukset voivat vahingoittaa kiinteät eristettä siten, että lopulta eristeen läpi kulkeutuu puumainen eroosiojälki (sähköpuu), jota pitkin lopullinen läpilyönti voi tapahtua. Sähköpuun kehittyminen voi alkaa myös elektrodeilla olevista epätasaisuuksista tai eristeen sisältämistä johtavista epäpuhtauksista. Erityisesti muovikaapeleissa ongelmia aiheuttavat sähköpuiden lisäksi vesipuut. Vesipuut aiheutuvat eristeen sisään kulkeutuvasta kosteudesta. Vesi etenee sähkökentän vaikutuksesta pitkän ajan kuluessa eristeen sisään puumaisina muodostelmina ja heikentää eristeen läpilyöntilujuutta. (Aro;Elovaara;Karttunen;Nousiainen;& Palva, 2015)

3.3.5 Lämpöläpilyönti

Sähkökentän rasittaessa eristettä siinä syntyy jatkuvasti lämpöä johtavuuden ja dielektristen häviöiden vuoksi. Yleensä eristeiden johtavuus lisääntyy niiden lämmitessä. Näin myös johtavuuden aiheuttama lämpeneminen lisääntyy eristeen lämmitessä. Vaihtojännitteellä dielektriset häviöt ovat johtavuutta merkittävämpiä eristeen lämpiämisen kannalta. Jos eristeeseen syntyy lämpöä nopeammin kuin sitä poistuu jäähdytyksen kautta, syntyy epästabiili tilanne, joka johtaa lopulta lämpöläpilyöntiin. (Aro;Elovaara;Karttunen;Nousiainen;& Palva, 2015)

4 SAVONIAN SUURJÄNNITELABORATORIO

Savonian opistotien kampuksella olevaa suurjännitelaboratoriota käytetään opetuskäytössä pääasiassa eristimen syöksyjännitekoestukseen. Laboratorion testausjärjestelmänä toimii Marxin generaattori. Kyseistä suurjännitelaitteistoa voidaan käyttää esimerkiksi seuraavanlaisiin tutkimus- ja harjoitustöihin:

- Suurjännitteiden erilaiset mittaussuunnitelmat.
- Erilaisten elektrodirakenteiden läpilyöntikokeet ja eristekaasun paineen vaikutus.
- Osittaispurkausmittaukset.
- Tuki- ja läpivientieristimien ylilyöntijännitteiden mittaaminen.
- Sähkökenttien mittaaminen.
- Johtojen ja muuntajien syöksyaaltorasituskokeet.
- Tasasuuntauskytkentöjen yliaaltokomponenttien mittaukset.
- Syöksyjännitteiden käyrämuotomittaukset.

Savonian suurjännitekoestuslaitteisto koostuu koestusmuuntajasta, peruselementistä, mittauslaitteista, koestuslaitteista ja ohjauspulpetista. Alkuperäisen koestuslaitteiston on valmistanut saksalainen yritys MWB Messwandler-Bau (nykyään Trench Germany GmbH). Suurjännitelaitteiston maksimi koestusjännitteet ovat vaihtojännitekoestuksessa 100 kV (tehollisarvo), 50 Hz, tasajännite 150 kV (15mA) ja syöksyjännite 280 kV.



KUVA 3. Savonian suurjännitelaboratorio.

Suurjännitelaitteistoon kuuluvat seuraavat osat:

1. Koestusmuuntaja TEO 100/10

- Öljyeristeinen
- 2x220 V/110 kV/220 V 5 kVA

- 2 kpl suurjännitepiitasuuntaaja GS (huippujännite 140 kV & suojavastus 100 k Ω)

2. Mittauslaitteet

- Käsitellään tarkemmin kappaleessa ohjauspulpetti

- 4 kpl tukieristin IS (vaihtojännite 100 kV & tasa- ja syöksyjännite 140 kV)

3. Peruselementit

- 2 kpl syöksyaaltokondensaattori CS25 (tasa- ja syöksyjännite 140 kV & kapasitanssi 25000 pF)

- 1 kpl maadoituskytkin ES (syöksy-, ja tasajännite 140 kV & ohjausjännite 24 V)

- 2 kpl kuormituskondensaattori CB (tasa- ja syöksyjännite 140 kV & kapasitanssi 1200 pF)

- 1 kpl maadoituselektrodi

- 1 kpl maadoitussauva (purkausvastus 100 Ω)

- 1 kpl mittauskondensaattori CM (vaihtojännite 100 kV & kapasitanssi 100 pF)

- 2 kpl pallokipinäväli KF, sähköisesti ohjattu (syöksyjännite 140 kV)

- 1 kpl mittausvastus RM (tasajännite 140 kV & resistanssi 280 M Ω)

- 1 kpl pallokipinävälin käyttömoottori AKF

- 1 kpl varausvastus RL (tasa- ja syöksyjännite 140 kV & resistanssi 10 M Ω)

- 4 kpl kytkentäsauva V

- 12 kpl kytkentäkuppi K

- 2 kpl aaltomuotovastus (nousu) RD (resistanssi 245 Ω & syöksyjännite 140 kV)

- 7 kpl lattiajalusta F

- 2 kpl aaltomuotovastus (lasku) RE (syöksyjännite 140 kV resistanssi 2400 Ω)

- 7 kpl tukisauva

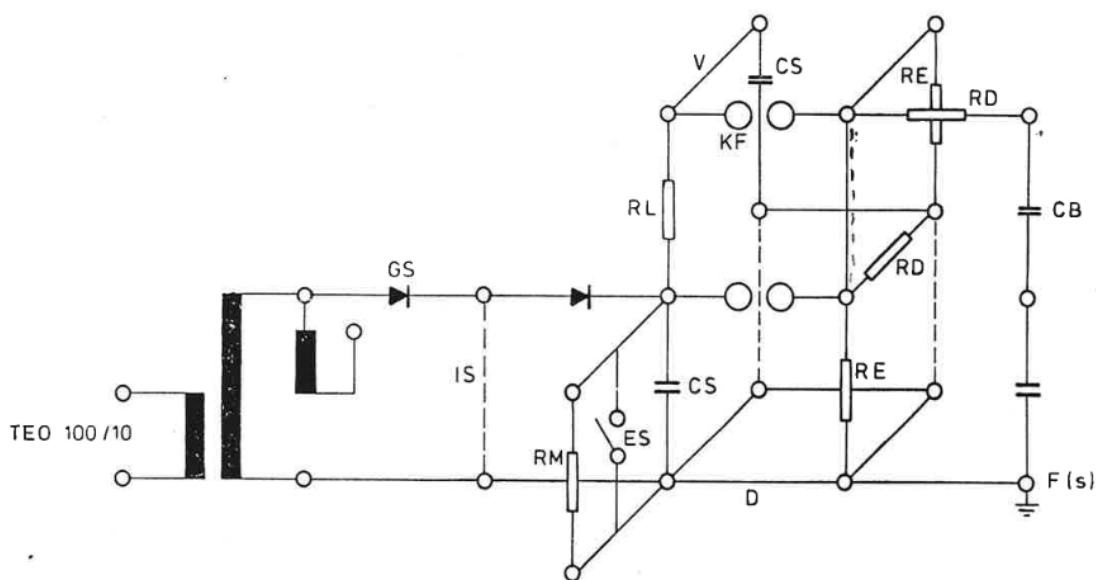
4. Ohjauspulpetti

Suurjännitelaboratorio on rakennettu Faradayn häkiksi. Faradayn häkki on johtavasta materiaalista valmistettu häkki, jota ei läpäise staattinen sähkökenttä tai sähkömagneettinen säteily. Suurjännitemittauksissa aiheutuvan pulssin hetkellinen sähkökenttä voi aiheuttaa häiriötä lähistöllä oleviin sähkölaitteisiin. Faradayn häkin sisällä vaikuttava sähkömagneettinen kenttä ei siis pääse vaikuttamaan sen ulkopuolella.

Suurjännitelaboratoriossa on vaara-alue. Vaara-alue on Faradayn häkin sisäpuoli. Vaara-alueella kiertää suoja-aita. Se estää henkilöitä joutumasta tahattomasti koestusalueelle. Vaara-alueen ovet on oltava suljettuina käytön aikana. Ohjauspulpetin takana on pistoke ovikoskettimen liittämistä varten. Jos suoja-aidan ovi avataan, katkeaa tällöin koestuslaitteiston jännitteen syöttö automaattisesti. (Ojala, 1987)

4.1 Marxin generaattori

Marxin generaattori on eräänlainen sähköpiiri, jota Erwin Otto Marx kuvasi vuonna 1924. Generaattorin tarkoitus on tuottaa korkea jännitepulssi. Sitä käytetään laajalti salaman vaikutuksen simulointiin. Marxin generaattorin toimintaperiaatteena on: "Kondensaattori C_1 varataan tasajännitteeseen U_0 . Kytkenä käytetään pallokipinäväliä, joka sytytetään esim. nostamalla jännite riittävän suureksi, jolloin ilman lämpilyöntilujuus kipinävälissä ylittyy. Kondensaattorin C_1 varaus jakautuu nopeasti sen ja kuormituspiirin kapasitanssin C_2 kesken. Tämän tasoitusvaiheen aikana jännite U_2 nousee piirin aikavakion (RC-piiri) mukaisesti. Tasoitusvaiheen jälkeen alkaa purkausvaihe, jolloin piiriin varastoitunut energia muuttuu lämmöksi piirin vastuksissa." (Aro;Elovaara;Karttunen;Nousiainen;& Palva, 2015)



KUVA 4. Marxin generaattorin kaksiportainen kytkentäkaavio. (MWB Messwandler-Bau, 1984)

Suurjännitelaboratoriossa sijaitsevaa marxin generaattoria käytetään eri mittauksissa yksi ja kaksiportaisena. Myös kolmiportainen käyttö on mahdollista.

4.2 Suoritettavat mittaukset

Suurjännitelaitteistolla on mahdollista suorittaa kappaleen alussa mainittuja mittauksia. Kuitenkin näistä vain muutamaa suoritetaan Savonian laboratoriossa.

4.2.1 Eristimen syöksyjännitekoestus

Suurjännitetestauksen tarkoituksena on joko määrittää tai osoittaa eristyksen jännitelujuus. Eristysrakenne voi olla esimerkiksi pylvään eristin, jonka tarkoituksena on estää sähköpurkaukset johtimesta pylvääseen. Keskijänniteverkon (20 kV) eristimen on kestävä 50 kV vaihtojänniterasitus ilman sähköpurkauksia. Tällöin eristimellä on riittävä jännitelujuus.

Koestuksen tuloksena voidaan määrittää, että millä todennäköisyydellä laite kestää ylijännitettä. Yksi usein käytetty soveltamisohje on, että laitteen tulee kestää standardin vaatimustaso 90% todennäköisyydellä; ylilyöntitodennäköisyys saa olla korkeintaan 10%. (Rouvali, Eristimen syöksyjännitekoestus, 2018)

4.2.2 Katkaisijaöljyn koestus

Mineraaliöljyjä käytetään mm. muuntajien, katkaisijoiden, mittamuuntajien, läpivientieristimien, kaapeleiden ja kondensaattoreiden eristeenä. Sähköteknillisten kojeiden öljyjen sähkölujuuden tulee täyttää normeissa määrätyt vaatimukset. Kansainväliset standardit, mm. IEC, antavat ohjeita ja raja-arvoja eri käyttötarkoituksiin tulevien öljyjen vesipitoisuudesta, puhtaudesta, tiheydestä, viskositeetista, syttymispisteestä, kemiallisista ominaisuuksista, vanhenemisesta ja eristyskyvystä. Puhtausvaatimus koskee uusia öljyjä, joilta vaaditaan, että öljy on kirkasta ja läpinäkyvää eikä sisällä vieraita aineita ja saostumia.

Mittauksessa suoritetaan kaksi koetta. Ensimmäisessä mittauksessa öljy otetaan säilytysastiasta. Toisen mittauksen öljy on sama kuin ensimmäisessä, mutta siihen on lisätty vettä. Jännitettä nostetaan tasaisesti noin 1...2 kV/s nopeudella läpilyöntiin asti ja merkitään tulokset pöytäkirjaan. Koe suoritetaan yhteensä kuusi kertaa. Näistä laskettu keskiarvo on öljyn läpilyöntijännite. (Rouvali, Katkaisijaöljyn koestus, 2018)

4.2.3 Eristimen vaihtojännitekoestus

Eristimen vaihtojännitekoestuksella on sama periaate kuin syöksyjännitekoestuksella, mutta tässä eristettä rasitetaan pitempiaikaisella jännitekuormalla. Toisin kuin syöksyjännitekoestuksessa, jossa simuloidaan esimerkiksi salamaniskua lyhyellä jännitepulssilla.

Tasa- ja vaihtojännitteellä käytetään pääasiassa kahta yksinkertaista testausmenetelmää:

- kestokoe tietyllä jännitteellä tietyn ajan, esimerkiksi 1 min, 5 min, 24 h
- jännitteen nosto tietyllä nopeudella (kV/s) yli- tai läpilyöntiin.

Kestokokeen tarkoituksena on jännitelujuuden toteaminen. Jännite nostetaan standardissa annetulla nopeudella vaadittuun koejännitteeseen ja pidetään siinä vaaditun ajan. Mikäli koekappaleessa tapahtuu yli- tai läpilyönti, koekappale ei läpäissyt koetta.

Yli- ja läpilyöntikokeen tarkoituksena on jännitelujuuden tarkempi määrittäminen ja monipuolisempi tieto jännitelujuudesta. Jännitelujuus on satunnaissuure ja sen vaihtelut johtuvat sähköpurkauksen mekaniikasta, eristeiden materiaalin vaihteluista, likaisuudesta, säätelästä ja muista ulkoisten tekijöiden vaihteluista koestuksen aikana.

Jännitelujuuden satunnaisuuteen vuoksi jännitetestausten tulosten käsittelemisessä on tarpeen käyttää tilastomatemattisia menetelmiä ja todennäköisyyslaskentaa. Jännitelujuuden määrittämisessä koetulos haetaan otosten eli samalla tavalla suoritettujen yksittäisten kokeiden avulla. Koetuloksista voidaan määrittää jakauma, jonka matemaattisena mallina käytetään yleisesti Gaussin jakaumaa eli normaalijakaumaa.

4.3 Ohjauspulpetti

Suurjännitelaitteiston ohjaamiseen käytetään tilassa sijaitsevaa ohjauspulpettia. Ohjauspulpetti sisältää kaikki suurjännitekoestuslaitteiston ja siihen liittyvien mittalaitteiden ohjauslaitteet. Ohjauspulpetissa on jännitteen säätöyksikkö, jonka muodostavat rengassydäminen säätömuuntaja ja erotusmuuntaja. Lisäksi koestusmuuntajan syöttöjärjestelmään kuuluvat ensiö – ja toisiokontaktori, ohjausjärjestelmä, sekä ylivirran ja –jännitteen valvontalaitteet. Ohjauspulpetin paneelissa ovat käyttökytkimet, mittarit sekä kytkentä ja vaaratilanteita osoittavat merkkilamput. (Ojala, 1987)

Ohjauspulpetti on sijoitettu suoja-aidan ulkopuolelle vaara-alueen oven viereen siten, että tutkittava laite ja koestuslaitteisto ovat selvästi havaittavissa. Ohjauspulpetin runko on yhdistetty syöttävän verkon maadoitusjärjestelmään. Ohjauspulpetin maadoitusruuvi on pulpetin takana. (Ojala, 1987)



KUVA 5. Suurjännitelaboratorion ohjauspulpetti

Ohjauspulpetti sisältää seuraavat suurjännitemittarit:

- SM 76 Huippujännitevolttimittari
- GM 78 Tasajännitevolttimittari
- StM 76 Syöksyjännitevolttimittari
- TEM Osittaispurkausmittari
- ZAG Pyyhkäisy-yksikkö

Näistä alkuperäisistä mittareista SM 76 huippujännitemittari on rikkonainen ja StM syöksyjännitemittari ja TEM osittaispurkaus mittari ovat pois käytöstä. Myöskään ZAG pyyhkäisy-yksikkö on pois käytöstä, mutta sille tulevat BNC liitännät ovat kunnossa ja niitä voidaan käyttää hyödyksi, jos halutaan mitata aaltomuotoja erillisellä oskilloskoopilla.

Ohjauspulpetin vasemmassa laidassa sijaitsee kytkinyksikkö, jolla ohjataan suurjännitejärjestelmään menevää jännitettä. Ennen ohjausta on pulpettiin kytkettävä jännite, se tapahtuu viereisestä JKL 06 keskuksesta. Ensiksi kytketään jännite laboratoriokeskukseen LK1, sen jälkeen ohitetaan maasulku rele. Seuraavaksi valitaan A pulpetti, eli ohjauspulpetti ja sitten kytketään laitekenttä.

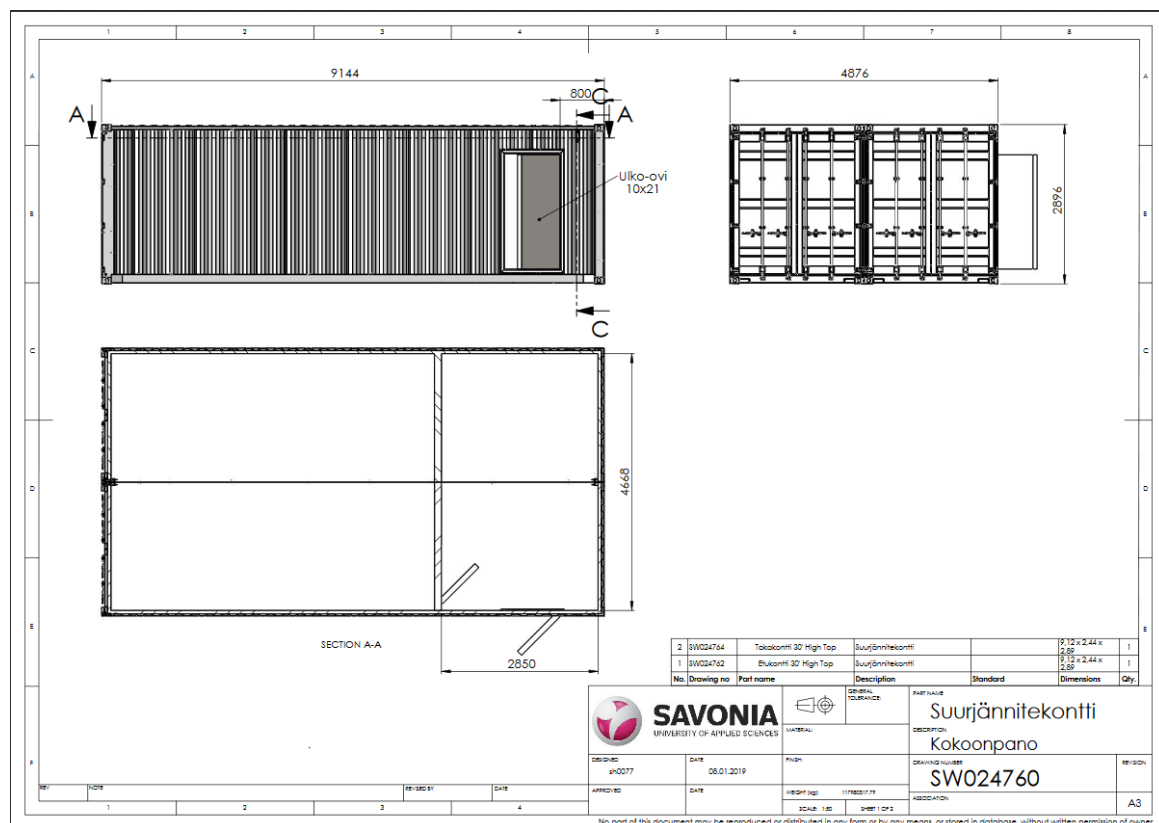


KUVA 6. Ohjauspulpetin kytkinyksikkö

Jännitteen kytkeminen laitteistoon tapahtuu seuraavalla menetelmällä. Varmistetaan, että hätäseis on yläasennossa. Kytetään jännite pulpettiin pääkytkimestä. Kytetään ohjausjännite ohjauskytkimestä, johon avaimen saa henkilökunnalta. Seuraavaksi jännite kytetään säätömuuntajan ensiöön kytkimestä S8 (primary on). Kun ensiössä on jännite, seuraavaksi kytetään jännite koestusmuuntaajaan, jonka jälkeen voidaan aloittaa mittaukset. Ohjauspulpetin ensiö- ja toisiokytkimellä sekä maadoituksella on merkkivalojärjestelmä. Punainen tarkoittaa vaaraa, eli kun ensiö- ja toisiopuolella on jännite ja maadoitus on kytketty pois. Maadoitus kytkeytyy automaattisesti pois, kun ensiöön kytetään jännite.

5 UUSI SUURJÄNNITELABORATORIO

Savonian tekniikka-alan siirtyessä Opistotien kampukselta Microkadulle jo olemassa oleviin tiloihin tuo mukanaan tilaongelmia. Tästä syystä jo ennen minun työtäni oli henkilökunta tehnyt päätöksen siirtää suurjännitelaboratorio kontteihin. Suurjännitelaboratorion osalta ratkaisu muodostuisi kahdesta merikontista.



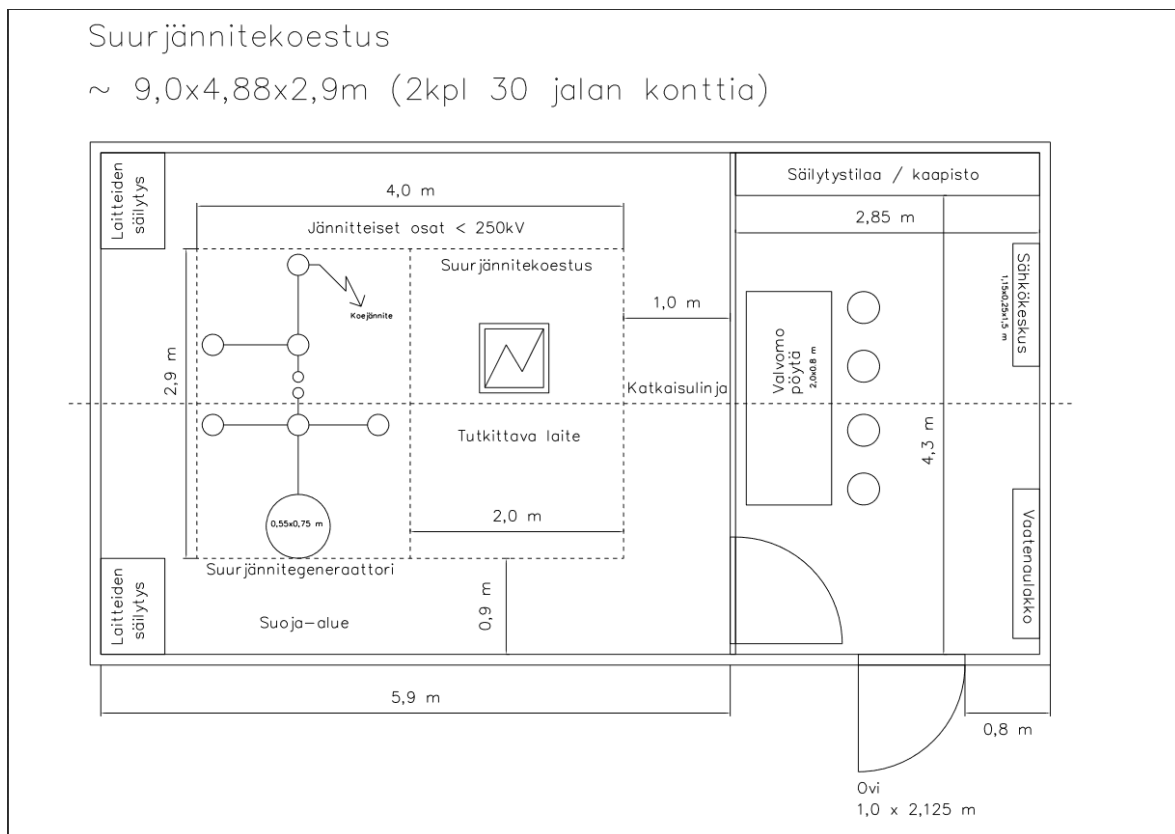
KUVA 7. Konttien layout. (Urpilainen, 2019)

Konttien suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon standardivaatimukset. Tässä tapauksessa noudatetaan SFS6001 suositusarvoja vähimmäisilmaväleistä jännitealueella 1 (1kV < $U_m \leq 245$ kV). Taulukon mukaisella jännitealueella 1 vähimmäisilmavälit perustuvat epäsuotuisiin elektrodirakenteisiin, joilla kaarevuussäde on pieni. Koska tällä jännitealueella salamasyökyjännitekestoisuus on sama sekä vaiheiden, että vaiheen ja maan väliselle eristykselle, vähimmäisetäisyyksiä sovelletaan molemmille eristysväleille. (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2015)

Jännitealue	Laitteen suurin käyttöjännite	Koejännite (kestotaso) vaihtojännitteellä	Koejännite (kestotaso) salamasyöksyjännitteellä	Pienin vaiheen ja maan ja vaiheiden välinen etäisyys (N)
I	U_m (tehollisarvo)	1 min. (teho-lisarvo)	1,2/50 μ s	
	kV	kV	kV	mm
	24	50	95 125	160 220

TAULUKKO 1. Vähimmäisilmavälit - Jännitealue I (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2015)

Yllä olevassa taulukossa 1. on otettu huomioon suurjännitelaboratorion laitteiston käyttö. Arvot on otettu suoraan laboratorion käyttötarkoituksia varten.



KUVA 8. Suurjännitekonttien tilaratkaisu (Sikanen, 2019)

Ylläolevassa kuvassa on Henrik Sikasen suunnitelma tulevan laboratoriotilojen tilaratkaisusta. Standardivaatimukset vähimmäisväleille toteutuvat. Uusi layout mukailee vanhaa laboratoriotilaa.

Suurjännitekonteille oli niitä suunnitelmassa henkilökunnan puolesta annettu lähtökohdat. Rakenne olisi kuvan 7. mukainen. Konttien ulkorakenne olisi yhtenäistä metallilevyä ja sisällä katto ja seinäpinnat olisi maadoitettua sinkkiä tai peltiä. Lattiaan on suunniteltu pinnoitettu vaneri, jonka kuormi-

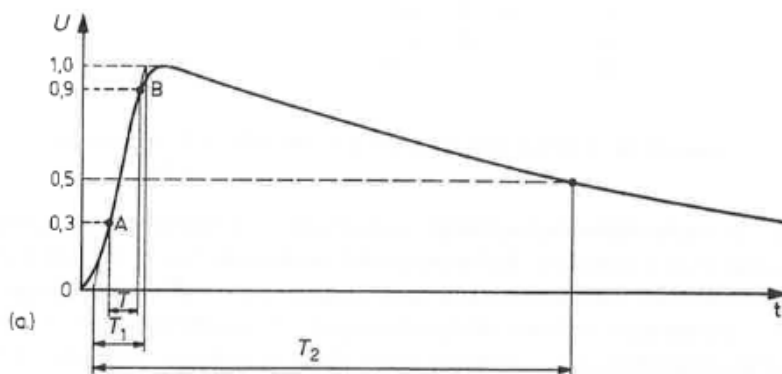
tettavuus on kuormitettavuus olisi vähintään 400 kg/m². Vanerin päälle tulee maadoitettava ja johtava metallilevy. Näin kontin johtavalla ja maadoitettavalla rakenteella pyritään toteuttamaan Faradayn häkin kaltainen suojaus, että ulkopuoliset sähkö- ja telekommunikaatiojärjestelmät eivät häiriinny mittauksissa aiheutuvista häiriöistä. Konttien sisällä valvomotila erotetaan testaustilasta esimerkiksi vaneriseinällä ja siihen asennetaan erillinen ovi ja pleksi-ikkunat, josta voidaan seurata mitausta.

Konttien sähköistyksen osalta on mietittävä sitä, että kontit on pystyttävä halkaisemaan keskeltä kahdeksi erilliseksi kontiksi. Tästä syystä suurin osa sähköistä kannattaa sijoittaa sähkökeskuksen kanssa samaan konttiin, niin kiinteitä johdotuksia ei tarvitse ruveta purkamaan. Suurjännitekonttiin tuodaan 32 A sähkönsyöttö roikalla. Valaistuksen osalta voidaan käyttää esimerkiksi enstonet liitäntäjärjestelmää, joka mahdollistaa valaisimien kytkennän pikakiinnikkeillä. Valaistuksessa ehtona on se, että valaisinten täytyy olla LED valaisimia. Mahdollisena valaistusratkaisuna olisi myös sijoittaa yksi tai kaksi turvavalaisinta mittaustilaan. Jos sähkönsyöttö jostain syystä katkeaa, ei laboratoriotilaan tulisi aivan pimeää. Helpoin tapa tähän olisi asentaa valaisin, jossa on oma itsenäinen akku, jota se käyttää, jos verkkovirta häviää. Kontin lämmityksestä vastaa ilmalämpöpumppu, jota tukee ainakin kaksi kappaletta pattereita. Tilaan tulee poistopuhallus säädinohjauksella sekä korvausilma tulee ristikkäisestä kulmasta esimerkiksi säädettävän lautasventtiilin kautta.

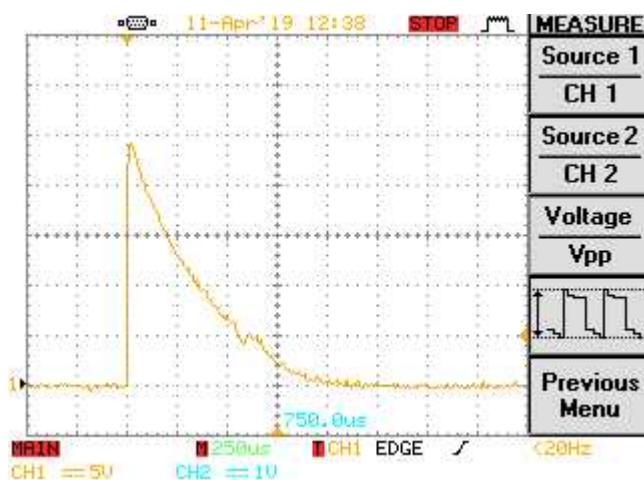
Konttiin olisi myös tärkeää mahdollisen etäkäytön kannalta saada internet yhteys joko langallisesti tai wlan tukiasemalla. Tässä kohdataan mahdollisesti ongelma, että kuinka jännitepulssin aiheuttama sähkömagneettinen häiriö vaikuttaa signaalin laatuun.

5.1 Mittausjärjestelmän päivitys

Mittausjärjestelmän päivityksessä on tarkoituksena selvittää, kuinka voisimme mitata suurjännitepulssia esimerkiksi eristimen syöksyjännitekoestuksessa. Muut vanhat mittarit on helpompi korvata uusilla digitaalisilla, kun niillä mitattavat arvot eivät ole suuria, eikä niissä tapahdu niin nopeita ilmiöitä. Päivitys muodostui alkuun hieman hankalaksi pulssin mittausvaatimuksien takia. Suurin on nopeuden mittaaminen, joka on 1.2/50 mikrosekuntia. Vanha ohjauspulpetti sisältää myös oskilloskoopin ja sen liitäntöjä käyttäen saimme mitattua mittauskondensaattoriin kiinnitettävän 300 kV vaihtimen avulla jännitepulssin aaltomuodon erillisellä oskilloskoopilla. Yritimme aluksi mitata signaalia mittapäillä, mutta avojohtojen ja pulssin aiheuttaman häiriön takia emme saaneet kunnon signaalia. Ratkaisuksi löytyi ohjauspulpetin oskilloskoopin mittapäiden hyödyksi käyttäminen, jolloin saimme mittajohdot suojattua ja minimoitua häiriön. Mitattu signaali on esitetty kuvassa 10.



KUVA 9. Syöksyjännitepulssin teoreettinen aaltomuoto. (Elovaara & Laiho, 2007)



KUVA 10. Mitattu jännitepulssin aaltomuoto.

Kuvista huomaamme, että mitaamamme pulssi on samanlainen, kuin teoriassa.

Aaltomuodon mittaamisen jälkeen selvittävänä oli järjestelmä, jolla pystyisimme mittaamaan ja dokumentoimaan pulssin ilmiön digitaalisessa muodossa. Parhaimmaksi ratkaisuksi tässä tuli National Instrumentsin laitteistot. Asettamamme vaatimukset laitteistolle olivat:

- Pulssin voimakkuuden mittaaminen 0-300 V.
 - o Pulssin nousuaika 1-2 mikrosekuntia ja laskuaika 50 mikrosekuntia.
- Säättömuuntajan ensiöpuoleen syötettävän jännitteen mittaaminen 0-70V DC
- Tarkoituksena olisi tallentaa mittauksen aikana syntynyt data ja osoittaa se näyttöltä tai tietokoneelta oppilaille ja mahdollinen etäkäyttö.
- Budjetti n. 10000 €.

Pidimme Asmo Jakorinteen ja National Instrumentsin edustajan Tomasz Dziendzielin kaksi Skype-palaveria, joiden pohjalta pääsimme seuraavaan kokoukseen.



KUVA 11. National Instruments PXIe-1071 Chassis. (National Instruments, PXIe-1071 Chassis, 2019)

PXIe-1071 on runko National Instrumentsin mittakortteille, sekä teollisuus pc:lle. Kyseisessä mallissa on neljäpaikkainen takalevy, johon saamme meille tarvittavat mittakortit. Kotelo sisältää myös virtalähteen ja lämpötilaohjatun jäähdytysjärjestelmän.



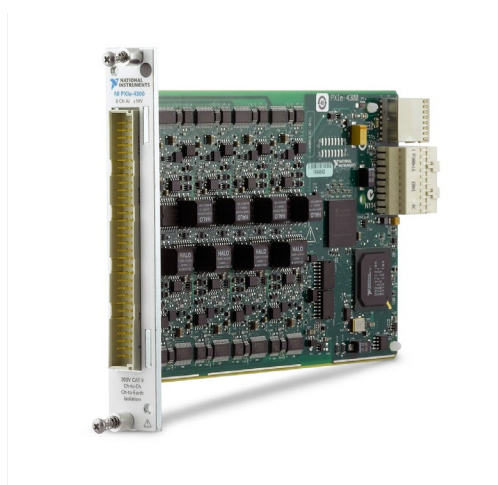
KUVA 12. National Instruments PXIe-8840 Controller. (National Instruments, 2019)

PXIe-8840 on kontrolleri National Instrumentsin PXI järjestelmille. Valitsemamme malli sisältää neliytimisen Intel Core i5 suorittimen, 250 gigatavuisen kovalevyn sekä käyttöjärjestelmänä toimii 64-bittinen Windows 10. Kontrolleri myös sisältää kaksi gigabitin ethernet porttia, kaksi USB 3.0 porttia, neljä USB 2.0 porttia, kaksi displayport liitäntää näyttöjä varten ja sarjaportin. Kontrolleri ei itse sisällä keskusmuistia, mutta tukee yhtä 64-bittistä DDR3L SDRAM kannalla olevaa maksimissaan kahdeksan gigatavuista kappaa. Tarjoukseen sisältyy kyseinen muistikampa, mutta lisähinnalla, joten tämän muistin voi ostaa myös muualta ja lisätä kontrolleriin ohjeiden avulla. Kyseisen kontrollerin Windows pohja mahdollistaa mittalaitteiston liittämisen Savonian omaan verkkoon. Tästä saisimme suuren hyödyn, että voisimme tulevaisuuden mittauksien pöytäkirjat pitää sähköisenä, sekä mittauksista syntyvä data voitaisiin siirtää verkon välityksellä oppilaiden jatkokäyttöä varten. Myös työohjeet ja muu dokumentaatio voitaisiin paperin sijasta säilyttää sekä verkkolevyllä ja paikallisesti. Tarkoituksena oli tämän kontrollerin avulla luopua vanhoista analogisista mittareista ja pystyä näyttämään mittaustulokset digitaalisessa muodossa näytöltä.



KUVA 13. National Instruments PXIe-4080. (National Instruments, 2019)

PXIe-4080 on tehokas -300-300 V toiminta-alueella toimiva korkearesoluutioinen digitaalinen yleismittari ja digitaalimuunnin. Digitaalimuunnin muuttaa analogisen mittasignaalin digitaaliseen muotoon. Digitaalisena yleismittarina kortilla voidaan mitata nopeata ja tarkkaa vaihto- ja tasajännitettä ja -virta, 2- tai 4- johdolla resistiivisyyttä, taajuus ja jaksomittauksia ja kortilla voidaan myös testata diodeja. Suurjännitteillä eristettynä digitaalimuuntimena kortilla voidaan saada jopa aaltomuotoja 1.8 MS/s sample ratella. Tämä tarkoittaa, että kortti ottaa 1 800 000 näytettä sekunnissa ja on ajallisesti n. 0.5 mikrosekunnin luokkaa, joka riittää hyvin koulun tarpeisiin. Signaalin tuonnissa mittakortille on pieniä ongelmia. Suoria mittapäitä on hankala löytää tätä tarkoitusta varten, joten yksi vaihtoehto on tehdä mittajohto itse. Mittakondensaattoriin liitettävän vaimentimen liitin on mallia UHF/RG ja se liitetään ohjauspulpettiin samalla liittimellä. Toisella puolella ohjauspulpettia tuo UHF/RG on vaihtunut BNC liittimeksi, josta saadaan suora signaali oskilloskoopille. Ratkaisuna olisi joko haaroittaa vaimentimelta tuleva koaksiaalikaapeli ja tehdä siitä mittajohto kortin plus ja miinusnavoille tai pöydän toiselta puolelta ottaa signaali BNC liittimen kautta ja liittää se korttiin.



KUVA 14. National Instruments PXIe-4300 Analog input module (National Instruments, PXIe-4300, 2019)

PXIe-4300 on 16-bittinen analoginen mittakortti, jonka näytteenottotaajuus on 250 kS/s (250 000 näytettä sekunnissa, nopeus 40 mikrosekuntia). Kortti tarjoaa integroidun tiedonhankinnan ja signaalihankinnan korkean jännitteen mittauksiin. Kortti tarjoaa suuremman tarkkuuden, samanaikaisen näytteenotto ja synkronointiominaisuuden skaalautuville mittausjärjestelmille. Kortti sisältää myös 300 V_{rms} channel-to-channel eristyksen ja 3.3 kV viisi sekuntia kestävä eristyksen kanavasta maihin suojaamaan laitteita vaarallisilta ylijännitteiltä. Kortilla myös voidaan ohjelmoida alavirran suodatuksen, DC-tuloliitännän ja kaksi PFI-linjaa digitaalisen tulon laukaisuun. (National Instruments, National Instruments PXIe-4300, 2019).

Tämän mittakortin tehtäväksi jäisi kaikkien muiden jännitteiden mittaaminen, koska niissä mittauksissa ei ole tarvetta todella nopealle sampling ratelle. Mittauksiin kuuluu säätömuuntajan jännitteen mittaaminen ja ensiöpuolen jännitteen mittaaminen mittausvastukselta. Mittakorttiin jää myös ylimääräisiä input paikkoja mahdollisia muita mittauksia varten.

5.2 Ohjausten automatisointi

Kun mittauspuolen uusimisesta alkoi tulla visio siitä, kuinka se toteutetaan, kiinnostus kääntyi siihen, että mitä muuta voisimme uusia ja automatisoida ohjauspulpetista. Kappaleessa ohjauspulpetti käytiin läpi, kuinka ohjauspulpetilla saadaan jännite laitteistoon käyttämällä kiinteitä kytkimiä. Tämän voisi korvata esimerkiksi logiikalla. Kytkinyksikössä on jo ennalta tiedossa, että kaikki kytkimet tulee testata muuton yhteydessä ja uusia rikkinäiset komponentit. Siirtymällä logiikkaohjaukseen, nykykaistaisimme järjestelmän ja mahdollistaisimme esimerkiksi jännitteensäädön helpommaksi.

Jos ajatellaan suurjännitekonttia omana pienenä rakennuksena, siihen voitaisiin soveltaa myös kiinteistöautomaatiota. Kontteihin tulee lämmitys ja ilmanvaihto, niin logiikkaohjausta voitaisiin soveltaa myös niiden ohjaamiseen. Voisimme mitata huoneen lämpötilaa, ilman kosteutta ja painetta. Esimerkiksi Produalin tuotteilla voitaisiin tuoda nämä tiedot logiikalle Modbus väylää käyttäen.

Lisänä turvajärjestelmiin voisi olla paikallinen paloilmaisin. Logiikkaan yhdistettynä se voisi toimia myös katkaisimena, että jos ilmaisin huomaa savua, niin logiikka katkaisee sähköt. Optiona voisi myös olla, että se tekee paikallisen hälytyksen vartiointiyritykselle. Kuitenkaan sitä ei kannata yhdistää Mikrokadun rakennuksen omaan paloilmaitinjärjestelmään, koska suurjännitelaboratoriokontit ovat erillinen rakennus pihalla, joten siitä ei ole välitöntä tulipalon leviämiskaavaa muualle rakennukseen. Myös turvajärjestelmään voisi mahdollisesti ajatella murtohälytintä.

Logiikkavalmistaja Beckhoffin edustaja kävi vierailmassa suurjännitelaboratoriollamme ja hänen kanssaan käydyssä keskustelussa tuli ilmi, että Beckhoffin laitteet voivat kommunikoida National Instrumentsin laitteiston kanssa, joten esimerkiksi jatkossa jännitteen säätö voisi tapahtua syöttämällä jännitearvo logiikkaan ja lukemalla mittakortin lähettämää tietoa logiikka osaisi itse säätää arvon kohdalleen. Tarkoituksena olisi myös ohjelmoida turvapiiri logiikkaan, että jännitettä ei voisi nostaa, ennen kuin tarvittavat toimenpiteet on tehty. Nykyinen ohjauskytkin toimii avaimella ja sen voisi myös nykyaikaistaa esimerkiksi korttikytkimeen, jossa toimivat kortit jaetaan vain henkilökunnalle.

Ilman korttia ei laitteistoon voisi syöttää jännitettä. Eli logiikka tekisi tarkastuksen ennen jännitteen nostamista, että ohjaamon ja testaustilan ovi on kiinni, ohjauskytkin on päällä, ensiöpuolella on jännite, maadoitus on kytketty pois ja toisiossa on jännite. Hätäseis kytkin antaisi logiikassa myös hälytyksen ja silloin logiikka katkaisee sähköt säätömuuntajalta välittömästi. Logiikalla voitaisiin kehittää myös algoritmi, jolla se hakee nämä tiedot ja syöttää ne suoraan eristimen syöksyjännitekokeessa laskettavan laskun kaavaan. Esimerkiksi aikaisemmin mainitsemani Proidualin tuotteiden mittausarvot tulisivat hyötykäyttöön myös eristimen syöksyjännitekokeessa, kun lasketaan lopputulosta korjauskertoimilla.

”Ilman tiheys vaikuttaa ilmassa tapahtuvien ionisoivien sysäysten todennäköisyyteen ja sitä kautta jännitelujuuteen. Tavallisissa säätiloissa ilmapälin jännitelujuus on suoraan verrannollinen ilman tiheyteen, eli suoraan verrannollinen paineeseen ja kääntäen verrannollinen absoluuttiseen lämpötilaan.” (Rouvali, SJ3 Eristimen syöksyjännitekoestus - työohje, 2017). Eli täten säätila on otettava aina huomioon. Koejännitteet ilmoitetaan aina normaaliolosuhteita vastaavana. Normaaliolosuhteet ovat standardin IEC mukaan:

- Lämpötila $t_0 = 20^{\circ}\text{C}$
- Paine $p_0 = 1013 \text{ mbar}$
- absoluuttinen kosteus $h_0 = 11 \text{ g/m}^3$

”Kaavasta 1. voidaan laskea ylilyöntijännitteen arvo, mikä ottaa huomioon edellä mainittujen tekijöiden vaikutuksen korjauskertoimena

$$U = \frac{U_0}{d \times k} \quad (1)$$

Missä:

- U = todellinen, korjauskertoimin laskettu arvo
- U_0 = laboratoriossa mitattu arvo
- d = ilman kosteuden ja paineen huomioiva kerroin
- k = kosteuden huomioiva kerroin

Kerroin d lasketaan kaavasta 2.

$$d = \frac{0,289 \times b}{273 + T} \quad (2)$$

Missä:

- b = ilmanpaine koeolosuhteissa (mbar)
- T = lämpötila koeolosuhteissa ($^{\circ}\text{C}$)”

(Rouvali, SJ3 Eristimen syöksyjännitekoestus - työohje, 2017)

Uusi mittakortti ja logiikka voisivat mahdollistaa esimerkiksi näiden laskujen automatisoinnin. Mittakortti mittaisi laboratoriossa mitatun syöksyjännitteen arvon ja logiikka mittaisi lämpötilan, paineen ja kosteuden. Näitä ominaisuuksia voitaisiin käyttää myös muissa mittauksissa ja jopa mahdollistaa kokonaan uusia koestuksia.

6 LOPPUPÄÄTELMÄ

Mittauslaitteiston päivittämisestä muodostui odotettua hankalampi prosessi, kun tuollaiseen käyttö-tarkoitukseen olevat laitteet ovat aika harvassa ja sitten kun päästään todella high-end laitteistoihin, niiden kanssa mentäisiin budjetista yli. Ongelmaksi muodostui myös se, että vaikka jostain saimme-kin tarvittavan mittalaitteen, sen mukana ei tullut muuta kuin se yksi ainut mittalaite, jonka taakse olisi pitänyt hankkia koko loppu järjestelmä. National Instruments oli ainut valmistaja, keneltä saimme kokonaisen paketin mittakortin kanssa. Beckhoffilta tarjottiin myös tähän mittausjärjestel-mää, mutta kyseisellä kortilla oli mahdollista päästä vain 200 kS/s sample rateen, eli kortin nopeus olisi ollut 50 mikrosekuntia.

Löysimme koululta vanhemman version PXIe-4080 kortista ja koitimme mitata pulssia mittauskon-densaattorin kautta. Kyseisessä järjestelmässä ei ole erillistä kontrolleria, joten jouduimme käyttä-mään PCIe-sarjaportti liitännällä kannettavaa tietokonetta ja Labview sovellusta. Huomasimme mi-tattaessa, että jo 20 kV pulssi sekoittaa järjestelmän. Uskomme tämän johtuvan pulssin aiheutta-masta sähkömagneettisesta häiriöstä, joka ottaa kiinni adapterin paljaisiin metalliosiin. Vielä on sel-vityksessä, saisimmeko jotenkin koulun laitteilla testattua kokonaan suojattua yhteyttä. Saamalla hyvät mittaustulokset, voisimme näin perustella myös miksi National Instruments-laitteiston han-kinta olisi hyvä.

Ohjauspöydän automatisointi olisi iso askel suurjännitelaboratorion modernisoinnissa. Ohjaukset ja jännitteen säädöt tietokoneohjauksella ja tulosten dokumentointi digitaalisesti ja tulosten lähettämi-nen verkon kautta omalle levyille. Lisäksi logiikkaohjaukseen voitaisiin yhdistää kiinteistöautomaatiota. Kuten esimerkiksi ilmastoinnin ohjausta tai kuten konttien ohjeistuksessa oli, että valaistuk- sessa haluttiin myös sellainen moodi, että vain osa valoista palaa. Nämä on helpompia toteuttaa pel-killä kytkimillä, mutta tarkoitus olikin selvittää ja suunnitella, että mitä voitaisiin toteuttaa.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella kuinka suurjännitelaboratorion laitteistoa voisi päivittää ja tehdä siitä suunnitelma sekä Savonialle, että minulle, kun jatkan tämän hankkeen kehittämistä kesätöinä. Pääasiallisena tavoitteena oli selvittää, kuinka voisimme mitata suurjännitepulsseja, sekä selvittää millä järjestelmällä onnistuisi myös mittaustulosten käsittely.

Tämänlaiset suurjännitetestaukset opiskelijakäytössä eivät ole kovinkaan yleisiä, joten laitteistokokonaisuuksien tarjoajia markkinoilla ei ole niin paljoa. Mielestäni kuitenkin löysimme tarkoituksiin sopivan laitteiston ja järjestelmän, jonka pohjalta voi aloittaa työstämään jatkoa.

Työni onnistui mielestäni suhteellisen hyvin, vaikka aihe oli osittain hieman hankala, kun pelkän mitauslaitteiston uusiminen oli aika suppea aihe sopivien laitevalmistajien puutteen takia. Työn aikana kuitenkin aloitettiin selvittämään myös ohjauksen uusimista logiikkakäyttöön ja sitä kautta tuli paljon uusia ideoita, mitä voitaisiin toteuttaa uudessa laboratoriotilassa. Joten uskon, että suunnitelmassa tulleista ideoista suurta osaa voidaan käyttää ja hyödyntää todellisessa skenaariossa.

Mielestäni sain tarjottua omia näkökulmiani Savonialle, sekä tehtyä itselleni vankan pohjan, mistä aloittaa käytännön työt laitteiston uusimiselle. Tämä raportti on tiivistelmä vanhasta laitteistosta, sekä siitä miten me voidaan se korvata, sekä mitä kaikkea lisää voimme sen yhteydessä integroida samaan laitteistoon. Opinnäytetyö oli mielenkiintoinen ja toivon, että tästä työstä on apua, kun konttihankkeen rakentaminen alkaa.

8 LÄHDELUETTELO

- Aro, M.;Elovaara, J.;Karttunen, M.;Nousiainen, K.;& Palva, V. (2015). *Suurjännitetekniikka*. Helsinki: Gaudeamus Oy.
- Elovaara, J.;& Laiho, Y. (2007). *Sähkölaitostekniikan perusteet*. Helsinki: Otatieta / Gaudeamus Oy.
- Lindell, I.;& Sihvola, A. (2007). *Sähkömagneettinen kenttäteoria 1*. Helsinki: Hakapaino.
- Meyer, B. (2007). Magnetfeld mit Eisenfeilspänen sichtbar gemacht. *Magneetikenttä*. Haettu 21. 5 2019 osoitteesta <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5c/Magnet0873.jpg>
- MWB Messwandler-Bau. (1984). *Suurjännitelaitteiston ohjekirja*. Bamberg. Haettu 21. 5 2019
- National Instruments. (2019). *PXIe-8840 Controller*. Haettu 23. 5 2019 osoitteesta <http://www.ni.com/fi-fi/support/model.pxi-8840.html>
- National Instruments. (23. 5 2019). *National Instruments PXIe-4300*. Noudettu osoitteesta <http://www.ni.com/fi-fi/support/model.pxi-4300.html>
- National Instruments. (2019). *PXIe-1071 Chassis*. Haettu 23. 5 2019 osoitteesta <http://www.ni.com/fi-fi/support/model.pxi-1071.html>
- National Instruments. (2019). *PXIe-4080*. Haettu 23. 5 2019 osoitteesta <http://www.ni.com/fi-fi/support/model.pxi-4080.html>
- National Instruments. (2019). *PXIe-4300*. Haettu 23. 5 2019 osoitteesta <http://www.ni.com/fi-fi/support/model.pxi-4300.html>
- Ojala, R. (10. 10 1987). Ohjauspulpetin ohjeet sähkölaboratorio. Kuopio: Kuopion teknillinen oppilaitos.
- Peda.net. (ei pvm). *Peda.net Siikalatvan lukio*. Haettu 15. Huhtikuu 2019 osoitteesta <https://peda.net/siikalatva/siikalatvan-lukio/oppiaineet/fysiikka/fy6/mappi/s%C3%A4hk%C3%B6kentt%C3%A4-pdf:file/download/d43d4c8b00b44257eeb4a93ef4691b60c3f20132/S%C3%A4hk%C3%B6kentt%C3%A4.pdf>
- Romppainen, E. (2018). Opinnäytetyö. *Selvitys EMP-simulaattoreista ja niiden rakentamisesta*. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu. Noudettu osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018120319791>
- Rouvali, J. (6. 11 2017). SJ3 Eristimen syöksyjännitekoestus - työohje. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.
- Rouvali, J. (20. 11 2018). Eristimen syöksyjännitekoestus. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu. Haettu 9. 6 2019
- Rouvali, J. (1. 11 2018). Katkaisijaöljyn koestus. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu. Haettu 6. 9 2019
- Sharanyanan. (20. Elokuu 2007). *Wikipedia*. Haettu 2019. Huhtikuu 15 osoitteesta https://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6kentt%C3%A4#/media/File:Electric_dipole_field_lines.svg
- Sikanen, H. (2019). *Suurjännitekonttien tilaratkaisu*. Savonia, Kuopio.
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. (2015). *SFS-Käsikirja 601*. Helsinki: SFS.
- Suvanto, K.;& Laajalehto, K. (2011). *Tekniikan Fysiikka 2*. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Urpilainen, A. (2019). *Suurjännitekonttien 3D mallinnus*. Savonia, Kuopio.
- Wilson, C. (7 2008). *Research Gate*. Noudettu osoitteesta https://www.researchgate.net/publication/235113029_High_Altitude_Electromagnetic_Pulse_HEMP_and_High_Power_Microwave_HPM_Devices_Threat_Assessments