

Aatu Tella

TEHOELEKTRONIIKAN ELINIKÄTESTI- PAIKAN SUUNNITTELU

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Sähkö- ja automaatiotekniikka

2024



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Aatu Tella
Työn nimi	Tehoelektroniikan elinikätestipaikan suunnittelu
Toimeksiantaja	Danfoss Editron Oy
Vuosi	2024
Sivut	75 sivua, liitteitä 21 sivua
Työn ohjaaja(t)	Risto Kuitunen ja Juha Korpijärvi

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella tehoelektroniikan elinikätestaukseen soveltuva testipaikka. Testipaikalla tuli pystyä testaamaan Danfoss Editronin valmistaman EC-C1200-450-invertterin elinikää. Tavoitteena oli saada valmiit suunnitelmat ja kustannusarvio testipaikasta.

Työssä tutustutaan tehoelektroniikan perusmuunnoksiin ja elinikätestaamiseen, tarkastellaan mekaaniset tarpeet, vaatimukset ja suunnitelmat sekä sähköisen puolen tarpeet, vaatimukset ja suunnitelmat. Suunnitelmat ovat tehty noudattaen SFS 6000 -standardisarjan keskeisiä vaatimuksia.

Työ aloitettiin huolellisella tutustumisella Danfoss Editronin nykyisiin testijärjestelmiin ja elinikätestaukseen. Kun tarpeet ja nykyisten testilaitteiden ongelmakohdat oli selvitetty, voitiin aloittaa standardien vaatimuksiin tutustuminen. Suunnitelmat ja piirustukset tehtiin vaatimuksia mukailien Cadmatic Electrical-ohjelmalla.

Mekaanisten suunnitelmien pohjana toimii 20” merikontti, josta on muokattu ympäristökontti palosuojatuilla seinillä. Sähköiset suunnitelmat sisältävät keskuksien piirustukset, pääkaaviot, ohjaus- ja pääpiirikaaviot, layout-piirustukset sekä komponenttien valinnat. Lisäksi testipaikalle tehtiin valaistussuunnitelma ja lopuksi kustannusarvio.

Opinnäytetyöstä Danfoss Editron saa valmiit suunnitelmat elinikätestipaikasta, jossa voidaan testata EC-C1200-450-invertterin lisäksi myös EC-C1700B-420-inverttereitä kahdessa eri kokoonpanossa. Lisäksi testipaikalla voidaan myös testata muita tehoelektroniikkalaitteita.

Asiasanat: tehoelektroniikka, elinikätestaus, sähköistys, sähkösuunnittelu



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Aatu Tella
Thesis title	Designing lifetime test place for power electronics
Commissioned by	Danfoss Editron Oy
Time	2024
Pages	75 pages, 21 pages of appendices
Supervisor	Risto Kuitunen and Juha Korpijärvi

ABSTRACT

The objective of this thesis was to design test site suitable for lifetime testing of power electronics. At the test site, it was necessary to be able to test EC-C1200-450-inverters' lifetime. The target was to get plans and an estimated cost of the test site.

In this thesis, basic voltage conversions and lifetime testing were introduced, and mechanical needs, requirements and plans were investigated as well as electrical needs, requirements and plans. The plans were made to meet the main requirements of the SFS 6000 standard series.

The work began with a thorough examination of Danfoss Editron's current test systems and lifetime testing. Once the needs and issues of existing test equipment were identified, the exploration of standards' requirements commenced. Plans and drawings were then created in accordance with the specified requirements.

The base for mechanical plans is 20" container, which has been modified into an environmental container with fire-resistant walls. The electrical plans include drawings of cabins, main diagrams, control and main circuits, layout drawings and the selection of components. Also lightning plans to test site was made. Finally, all the cost were estimated.

From the thesis, Danfoss Editron receives ready plans for lifetime test site, where not only EC-C1200-450-inverter but also the EC-C1700-420-inverters can be tested in to separate setups. In addition, other power electronic devices can also be tested at the test site.

Keywords: power electronics, lifetime testing, electrifying, electrical designing

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	MENETELMÄT	6
3	TEHOELEKTRONIIKAN ELINIKÄTESTAUS	6
3.1	Tehoelektroniikka	7
3.1.1	AC→DC	7
3.1.2	AC→AC	8
3.1.3	DC→AC	9
3.1.4	DC→DC	9
3.2	Elinikätestaus	10
4	TESTIPAikka	13
4.1	Mekaaninen puoli	13
4.1.1	Tarpeet	13
4.1.2	Vaatimukset	14
4.1.3	Suunnitelmat	15
4.2	Sähköinen puoli	17
4.2.1	Tarpeet	17
4.2.2	Vaatimukset	18
4.2.3	Suunnitelmat	24
4.3	Kustannukset	24
5	POHDINTA	24
6	LÄHDELUETTELO	26

LIITTEET

Liite 1. Sähkökuvat elinikätestipaikasta

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan elinikätesteihin soveltuva testipaikka. Työn tarkoituksena on suunnitella pelkkä testipaikka ja siihen liittyvät sähköistyksen testit. Testi- tai mittauslaitteistoa ei tässä työssä suunnitella. Jotta aihe saadaan pidettyä opinnäytetyölle soveltuvissa rajoissa, on työstä jätetty sähkösuunnittelun näkökulmasta epäolennaiset osat pois. Työssä keskitytään sähköistyksen suunnitteluun eikä kokonaisvaltaisen valmiin tuotteen suunnitteluun.

Danfoss Editron Oy toimii toimeksiantajana työlle. Tehoelektroniikan elinikätestipaikalle on todellinen tarve. Työssä pyritään saamaan suunnitelmat, joita voitaisiin hyödyntää myöhemmin. Elinikätestaus on monesti hyvin pitkäkestoinen, vaikka testejä pyritään monesti nopeuttamaan muun muassa ympäristöoloja muokkaamalla. Pitkäkestoinen testaaminen alihankintana on kallista ja hankalaa aikataulujen sovittamista alihankkijan kanssa. Omalla elinikätestipaikalla voitaisiin testata kustannustehokkaammin ja joustavammin omien aikataulujen mukaan.

Työssä on ensin perehdytty kirjallisuuden ja standardien tarjoamaan teoriaan, joka toimii perustana testipaikan, sähköistysten ja valaistuksen suunnittelulle. Suunnittelutyössä on pyritty noudattamaan standardien vaatimuksia ja korostaa työturvallisuutta. Työssä on pyritty ratkaisemaan jo olemassa olevien testipaikkojen haasteita ja ongelmia heti suunnitteluvaiheessa.

Danfoss Editron Oy on yritys, joka valmistaa tehoelektroniikan laitteita ja sähkömoottoreita. Yritys kuuluu tanskalaiseen Danfoss-perheyrytykseen. Vuonna 2018 Danfoss osti lappeenrantaisten Visedonin, josta myöhemmin muodostui Danfoss Mobile Electrification ja vielä myöhemmin Danfoss Editron. Yrityksellä on toimipisteitä ympäri maailmaa, mukaan lukien Kiinassa ja Amerikassa. Koko Danfoss-konsernissa työskenteli vuonna 2022 noin 40 680 työntekijää /1/. Editronilla puolestaan oli noin 152 työntekijää vuonna 2021 /2/, s. 6/.

2 MENETELMÄT

Työn tekeminen aloitetaan kartoittamalla jo olemassa olevien testipaikkojen ongelmat ja kehityskohteet. Kartoituksessa haastatellaan Danfoss Editronin aikaisemman elinikätestipaikan rakentajaa ja testihenkilöstöä mahdollisista ongelmista ja toiveista, joita elinikätestipaikalla halutaan tai ei haluta kohdata.

Kartoituksen jälkeen tullaan syventymään vaatimuksiin, jotka tulevat standardeista, jotka halutaan täyttää. Vaatimuksiin syvennytään lukemalla tärkeimmät standardit läpi ja etsimällä vastaavia projekteja internetistä.

Lopuksi suunnitelmiin kootaan tarpeiden toteutus vaatimusten mukaan. Suunnitelmia tullaan katsomaan niiden valmistuessa Danfoss Editronin sähkötoimenjohtajan Pasi Kaskisen kanssa läpi. Sähkökuvat tullaan piirtämään Cadmatic Electrical -sovelluksella.

3 TEHOELEKTRONIIKAN ELINIKÄTESTAUS

Tehoelektroniikan valmistus sisältää monta eri vaihetta ja kehitys asiakkaan tarpeesta valmiiksi tuotteeksi voi kestää vuosia. Kaikki alkaa asiakkaan tarpeen kartoittamisella, jossa selvitetään ja tunnistetaan välttämättömät ominaisuudet, toivotut piirteet ja lisäominaisuudet. Tässä vaiheessa tarkastellaan myös sovellettavia standardeja ja hyväksyntöjä, jotka on täytettävä.

Laissa ja asetuksissa on määritelty velvoittavia vaatimuksia, joiden mukaan tuotteet on tehtävä. Standardit ovat yhteisen menettelytavan linjaavia asiakirjoja. Periaatteessa standardien noudattaminen on vapaaehtoista, mikäli voidaan muutoin osoittaa lain ja asetusten vaatimusten täyttyminen. Kuitenkin standardia noudattamalla laki ja asetukset tulevat noudatetuksi. /3./

Kun tiedetään, mitä tehdään, aloitetaan ensimmäisen laiteversion suunnittelu. Suunnitelmien valmistuttua ensimmäinen versio testataan toiminnallisuuksien osalta, ja korjataan mahdolliset ongelmat seuraavaan versioon. Toinen versio testataan laajemmin, myös muiden kuin toiminnallisuuksien osalta. Testausdatan kerryttyä voidaan aloittaa kolmannen version suunnittelu, joka on jo

lähellä lopullista versiota. Kolmatta versiota aletaan jo validoimaan aiemmin määriteltyjen vaatimusten mukaisesti. Mahdollisuuksien mukaan, tai tarvittaessa validointi voidaan aloittaa jo aikaisemmin. Elinikätestit tulevat mukaan yleensä kolmannessa version valmistuessa, jolloin laitteen suunnittelu alkaa olemaan valmis. Kun kaikki vaatimukset on täytetty ja hyväksynnät saatu, voidaan aloittaa sarjavalmistus.

Prosessin kulku on hyvin projektikohtaista. Joissain tapauksissa voi joutua tekemään useamman version, ennen kuin voidaan edetä eteenpäin, kun taas joissakin tapauksissa prosessi voi edetä edellä kerrottua nopeammin.

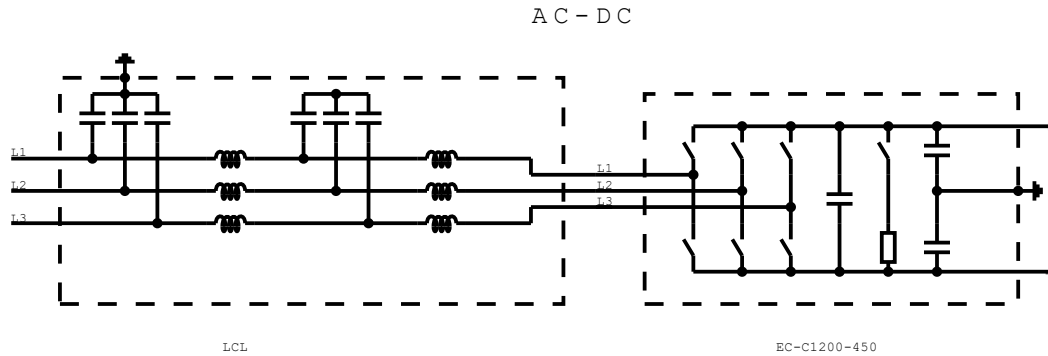
3.1 Tehoelektronikka

Tehoelektronikalla tarkoitetaan korkeiden jännitteiden, tehojen ja virtojen käsittelyä, ohjausta ja muokkaamista elektroniikan avulla. Tehoelektronikkaa käytetään laajalti esimeriksi sähkötehon tuotannossa, jakelussa ja sähkömoottorien ohjauksessa. Jokaisessa edellä mainitussa käytetään puolijohdetekniikkaa, jolla muunnetaan sähköä saatavilla olevasta muodosta haluttuun muotoon. Tällaisia muunnoksia on esimerkiksi AC→DC, AC→AC, DC→AC tai DC→DC. /4./

3.1.1 AC→DC

AC→DC-muunnosta käytetään muun muassa aktiivisessa etuasteessa (AFE). Danfoss Editronin valmistamalla invertterillä EC-C1200-450 ja LCL-filtterillä voidaan muuntaa AC-vaihtojännite haluttuun DC-jännitteeseen. Erona esimerkiksi diodisiltaan, joka vain tasasuuntaa vaihtojännitteen tasajännitteeksi, on mahdollisuus ajaa tehoa takaisin verkkoon päin. Tehon ajaminen takaisin verkkoon päin mahdollistaa laitteiden kuormittamisen ajamalla niitä

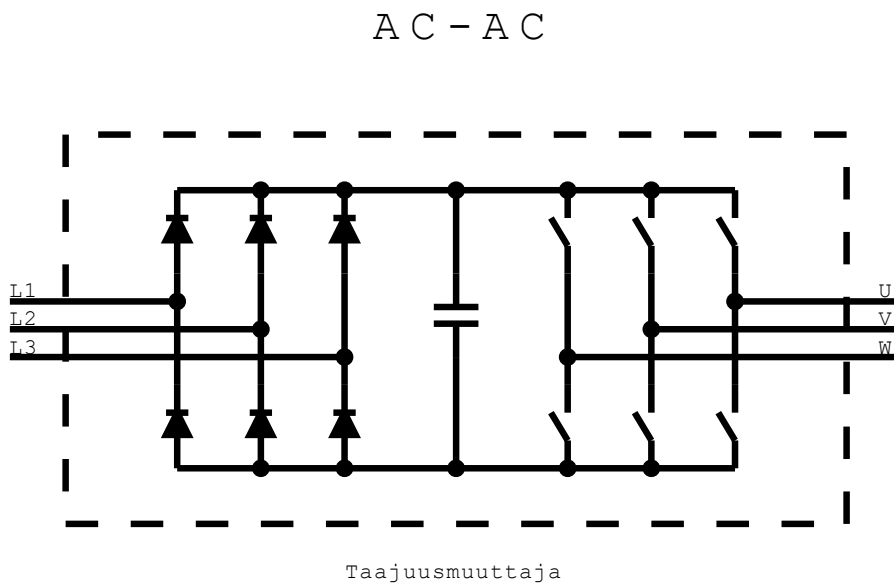
vastakkain, jolloin vain häviöt joudutaan ottamaan syöttävästä verkosta. Kuvassa 1 esimerkki AC-DC-muunnoksesta.



Kuva 1. AC→DC-muunnos /5/

3.1.2 AC→AC

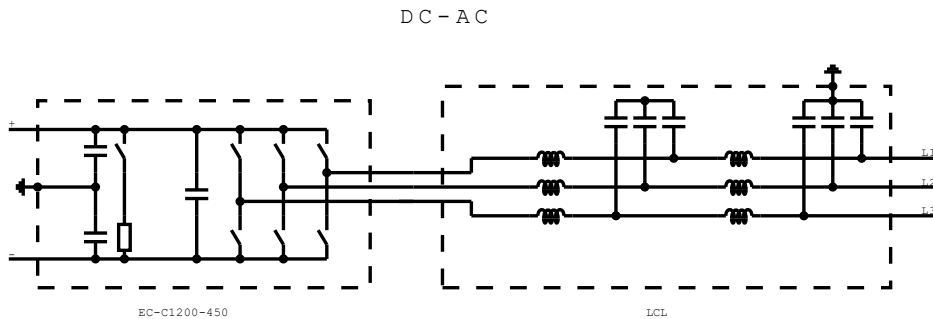
AC→AC-muunnosta voidaan käyttää muun muassa sähkömoottorien ohjauksessa. AC→AC-muunnoksessa, joka esitetään kuvassa 2, yleensä vaihtojännite tasasuunnataan ensin tasajännitteeksi, jonka jälkeen tasajännitteestä saadaan taas vaihtojännitettä hyödyntämällä esimerkiksi alla olevan kuvan IGBT-transistoreja. Näin voidaan esimerkiksi kontrolloida sähkömoottorin nopeutta portaattomasti.



Kuva 2. AC→AC-muunnos /6/

3.1.3 DC→AC

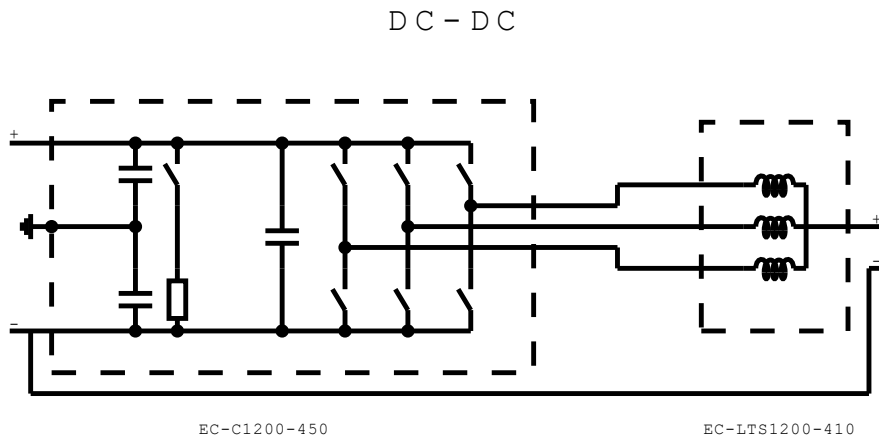
DC→AC-muunnosta käytetään muun muassa mikroverkkojen luomiseen (kuva 3) tai moottoreiden ohjaamiseen. Esimerkiksi isoissa laivoissa käytetään DC-jänniteverkkoja laivan sisällä, joista jaetaan virtaa eri laitteille, kuten akuille ja inverttereille. Danfoss Editron valmistaa EC-C1200-450-invertteriä, jolla voidaan ohjata moottoreita tai yhdessä LCL-filtterin kanssa voidaan luoda mikroverkko. Mikroverkkoa luodessa invertteri ja filteri toimivat kuten AFE, mutta teho otetaan toisesta päästä.



Kuva 3. DC→AC muunnos /5/

3.1.4 DC→DC

DC→DC-muunnosta (kuva 4) käytetään esimerkiksi akkujen tai superkondensaattoreiden lataamiseen ja purkamiseen, mutta myös DC-linkin luomiseen, jos DC-linkin halutaan olevan jännitetasoltaan alempi kuin tasasuuntausta käyttämällä. Danfoss Editron valmistaa EC-C1200-450-invertteriä ja LTS1200-410- ulkoista kelalaatikkoa, jolla tämä onnistuu.



Kuva 4. DC→DC-muunnos /5/

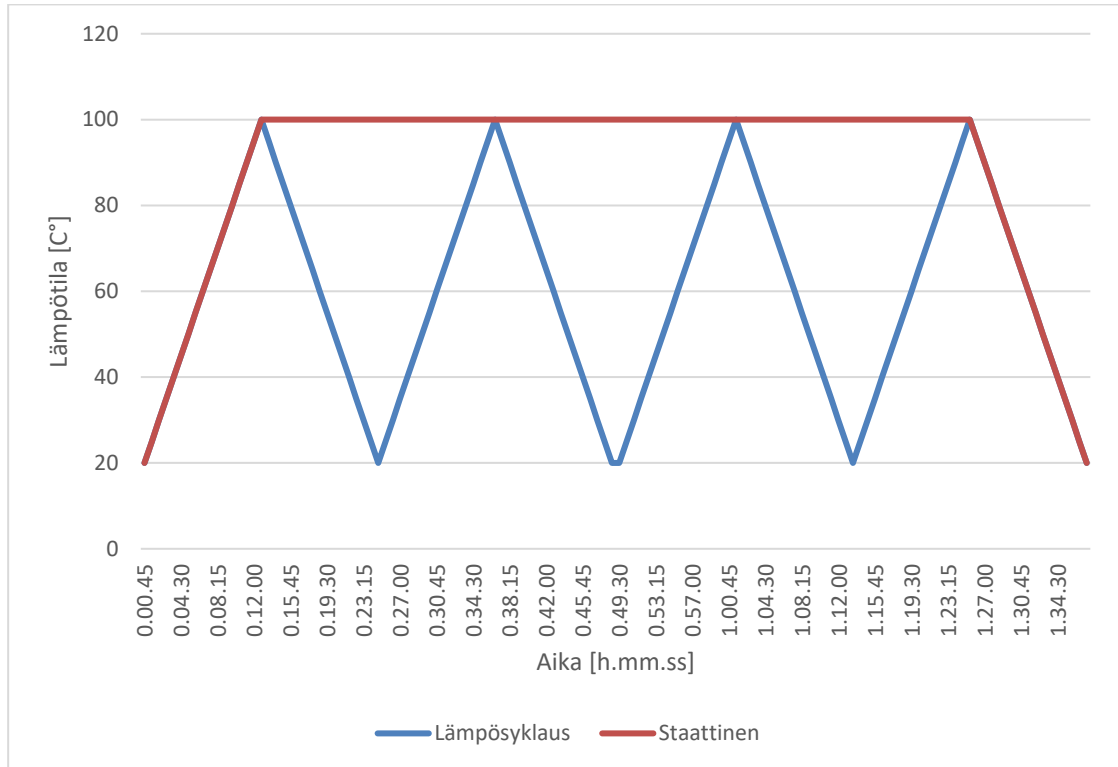
Edellä mainitut Danfoss Editronin valmistamat EC-C1200-450-invertterit ovat 500VAC-malleja, mutta yritys valmistaa myös EC-C1700B-420-mallia, joka soveltuu 690VAC.

3.2 Elinikätestaus

Elinikätestillä tarkoitetaan testiä tai testejä, joilla pyritään määrittämään laitteen eliniän pituutta määritellyissä olosuhteissa. Se on todella tarpeellista, koska vain harvoin prototyypilaitteet ovat täydellisiä. Suunnittelijan on todella hankala arvioida kaikkia mahdollisia ongelmia, joita käytössä ilmaantuu. /7, s. 306./

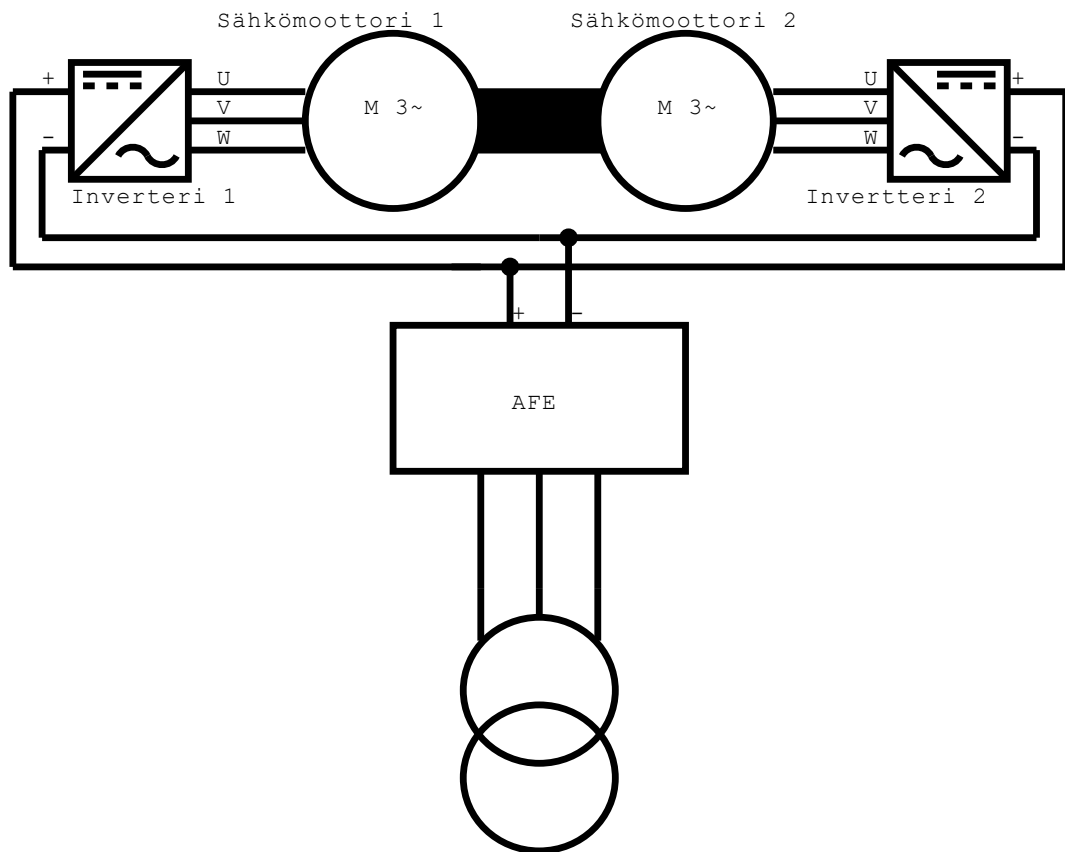
Testeissä voidaan keskittyä tietyn ominaisuuden kuormittamiseen tai suorittaa kokonaisvaltaista kuormitusta. Laitetta voidaan kuormittaa niin mekaanisesti kuin sähköisestikin. Mekaaninen rasitus käsittää muun muassa värinän, lämpötilanvaihtelut ja kosteudenmuutokset. Sähköinen rasitus voi tarkoittaa muun muassa, rasittamista nimelliskuormaa suuremmalla kuormalla tai korkeammalla jännitteellä. IEC 60068 -standardista löytyy kattavasti tietoa ympäristö- ja olosuhdetestaamisesta ja siitä, kuinka se tulisi toteuttaa. /8./

Elektroniikan odotetut eliniät ovat yleensä vähintään vuosia tai kymmeniä vuosia, jonka takia laitteiden "vanhenemista" pyritään kiihdyttämään, jotta testit eivät kestäisi vuosia. Niin sanottuna nyrkkisääntönä eliniän lyhentämiselle on pidetty "10°C lämpötilan nosto, lyhentää elinikää 50 %". Tämä riippuu kuitenkin aina testattavasta laitteesta. Lämpötilan noston ja tasaisen ylläpidon lisäksi voidaan laitteita kuormittaa myös lämpösyklauksella. Lämpösyklaamisessa lämpötilaa nostetaan ja lasketaan perän jälkeen, jolla saadaan joissain tapauksissa jopa nopeampaa vanhenemista laitteissa aikaan /9/. Kuvassa 5 on havainnollistettu, kuinka lämpötila muuttuu lämpösyklaamisessa verrattuna staattisen lämpötilan testiin.



Kuva 5. Esimerkki lämpötilan hallinnasta elinikätesteissä

Tässä opinnäytetyössä suunniteltavassa testipaikassa laitteita olisi tarkoitus kuormittaa vain sähköisesti. Kuormitus tulisi suorittaa hyväksikäyttämällä re-generaatiota, jossa testilaitteen syöttämä teho syötettäisiin takaisin verkkoon tai välipiiriin vastaan ajettavalla laitteella, jolloin vain laitteiden häviöt jouduttai-siin ottamaan verkosta. Kuvassa 6 on esitetty esimerkki siitä, miten re-generaatiota voitaisiin hyödyntää.



Kuva 6. Regeneraatiota hyödyntävä testilaitteisto

Kuvassa 6 AFE muuntaa muuntajalta saatavan vaihtojännitteen tasajännitteeksi, joka muodostaa välipiirin. Välipiiri syötetään invertteri 1:lle, joka pyörittää sähkömoottoria 1. Moottorit yhdistävää akselia pitkin pyörimisenergia siirretään generaattorina toimivalle sähkömoottori 2:lle. Invertteri 2 muuntaa sähkömoottoria 2 tulevan vaihtojännitteen takaisin välipiiriin. Näin saamme generoidun energian takaisin syöttävään piiriin ja voimme ottaa vain häviöt verkosta. Tämä vähentää sähkönkulutusta merkittävästi.

4 TESTIPAikka

Testipaikka tulee sijaitsemaan ulkotiloissa sisätilan puutteen vuoksi. Testipaikasta tehdään etäohjattava, jotta tilarajoitteiden ja turvallisuuden vuoksi testaajan ei tarvitse olla testipaikalla. Testipaikka on suunniteltu yhteen sopivaksi SFS 6000 -standardisarjan vaatimusten kanssa.

4.1 Mekaaninen puoli

Alaluku 3.1 keskittyy mekaaniseen puoleen, kuten testipaikan rakenteeseen ja komponenttien sijoitteluun. Työn toimeksiantajan mukaan testipaikka on tehtävä 20” merikonttiin.

4.1.1 Tarpeet

Elinikätestejä tehdessä laitteet lämmittävät kontin sisäilman lämpötilaa. Lämpenemisen estämiseksi testipaikan sisäilman lämpötilan tulisi olla jäähdytettävissä. Testejä tehdään ympäri vuoden, joten myös lämmitystä tarvitaan varsinkin talviaikaan.

Tilansäästämiseksi testilaitteita olisi tarkoitus pinota päällekkäin. Henkilöiden käsin nostettavalle taakalle on asetettu Danfoss Editronilla 20 kilogramman maksimiraja. Tämän takia testipaikalle tarvitaan nosturi, jolla laitteet voidaan turvallisesti nostaa päällekkäin. Nosturi helpottaa myös huomattavasti laitteiden muutakin siirtelyä. Nosturilla tulisi pystyä nostamaan laitteita kontin ulkopuolelta sisäpuolelle, jottei kuormalavanostimella tarvitse ajaa ajoramppia pitkien kontin sisäpuolelle.

Jotta lattiapinta-ala voidaan käyttää mahdollisimman hyvin hyödyksi, tulisi testipaikalla olla merikontin molemmissa päissä ovet, jolloin testilaitteita ei tarvitse kuljettaa kontin läpi. Ovien tulisi olla kokonaan aukeavat vähintäänkin toiselta puolelta, jolloin laitteiden nostaminen paikoilleen helpottuu.

Elinikätestit ovat osa tuotekehitysprosessia eli testattavat laitteet ovat yleensä prototyyppisiä. Tästä syystä välillä voi tapahtua odottamattomia rikkoontumisia, joissa kipinät ja valokaaret ovat mahdollisia. Tämän takia testipaikan pinnat tulisi tehdä palamattomasta materiaalista.

Danfoss Editronin valmistamat tehoelektroniikkalaitteet ovat kaikki nestejäähdytteisiä, jonka vuoksi testipaikkaan pitää tehdä tilavaraus jäähdytyksen toteuttamiseksi. Nestejäähdytyksen takia testipaikalla tulisi myös olla valuma-alas, jolla voitaisiin vikatilanteissa rajata nesteen pääsyä ei-toivottuihin paikkoihin.

Testipaikan tehokkuutta voitaisiin nostaa, jos testipaikalla voitaisiin testata ainakin kahta laitetta samanaikaisesti. Jotta vähintään kahta laitetta voidaan testata samanaikaisesti, tulee huolehtia riittävästä fyysisestä tilasta testilaitteistolle.

4.1.2 Vaatimukset

Jäähdytysnesteenä käytetään vaaralliseksi luokiteltua etyleeniglykolia sekoitus suhteella 50/50 veden kanssa /10/. Valtioneuvoston asetuksessa 20.12.2012/856 51§ ”Tuotantolaitoksen alueet, rakenteet ja laitteistot tulee suunnitella siten, että kemikaalien käsittelyn, varastoinnin, siirtämisen sekä säiliöiden täytön ja tyhjennyksen yhteydessä tapahtuvat kemikaalivuodot pysytään keräämään talteen”. Täten testauspaikalle on suunniteltava valuma-alas kaikille niille alueille, jossa vaaralliseksi luokiteltua kemikaalia käytetään /11, §51/. Valuma-altaan kokoa ei ole tarkkaan määritetty laissa, vaan sen tulee olla riittävä. Riittävällä tarkoitetaan yleisen käytännön mukaan, säiliön nimellismäärää lisättynä 10 % varmuusmarginaali. /12./

Nestejäähdytysjärjestelmän mahdollisten vuotojen tai mekaanisesti vaurioituneiden laitteiden takia testipaikalla voi roiskua jäähdytysnestettä. Jotta mahdolliset vuodot saataisiin rajattua mahdollisimman hyvin pois ei-toivotuista paikoista, asennusten halutaan täyttävän vähintään IP-X4-luokka. Standardin (SFS 6000-8-804:2022) mukaan, ”Epänormaaleja tilanteita, kuten rakenteiden tai putkistojen rikkoutumista tai palosammutuslaitteistojen toimintaa, ei tarvitse

ottaa huomioon sähkölaitteiden valinnassa”, mutta haluamme helpottaa työtämme mahdollisen vian sattuessa /13, s. 6/.

Kulkutasojen riittävästä leveydestä on huolehdittava, jotta turvallinen liikkuminen voidaan taata. SFS-EN ISO 14122-2:2016-standardin mukaan kulkutasojen leveyden tulee olla vähintään 800 mm, mutta kun käyttö on satunnaista, kulkutien leveyttä, voidaan pienentää 600 mm. Valmiissa testipaikassa testit ovat pitkäkestoisia, eikä testipaikalla kuljeta kuin testilaitteistoa kasatessa tai purkaessa. Nämä seikat huomioiden kulkeminen testipaikalla täyttää satunnaisen käytön vaatimukset (alle 30 päivänä vuodessa tai alle kaksi tuntia päivässä), ja kulkutasot voidaan tarvittaessa kaventaa 600 mm /14/. Testipaikkaa suunniteltaessa kulkutiet pyritään tästä huolimatta pitämään 800 mm leveydessä.

4.1.3 Suunnitelmat

Työn toimeksiantajan asettama rajoitus tehdä testipaikka 20’ merikonttiin luo mahdollisuuksia, mutta myös rajoittaa varsinkin käytettävissä olevaa tilaa. Testipaikka on pyritty suunnittelemaan siten, että kaikki tila saataisiin hyödynnettyä mahdollisimman tehokkaasti.

Merikontteja on monen kokoisia ja lukuisilla eri lisävarusteilla. Suosituimmat koot merikonteissa on 10’, 20’ ja 40’ jalan kontin. Kontteja käytetään moniin eri tarkoituksiin kuljetuksen aikaisen varastoinnin lisäksi, kuten toimistoina, saniteettitiloina ja myyntipaikkoina. Taulukossa 1 on esitetty yleisimpiä kontteihin liittyviä lyhenteitä. /15./

Taulukko 1 Konttien lyhenteitä /15/

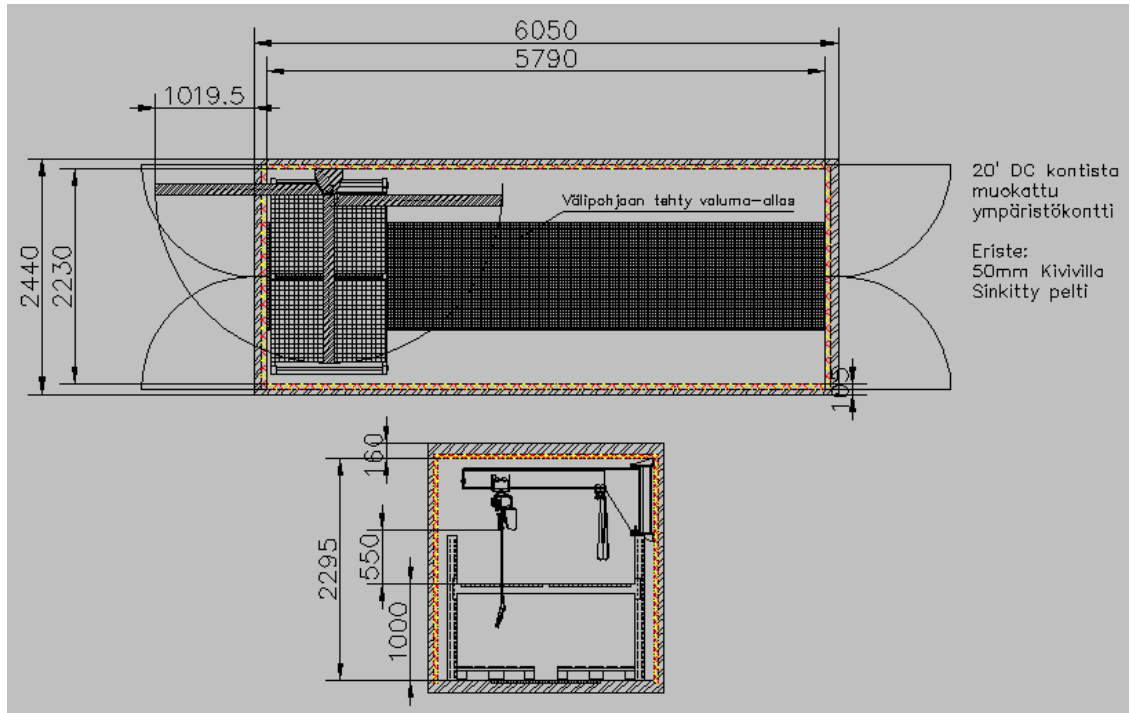
DC (Dry cargo)	Yleisin merikontti
HC (High cube)	30cm normaalia korkeampi
ISO-kontti	ISO Standardin mitat täyttävä kontti
DD (Double door)	Kontin molemmissa päissä on ovet
OS (Open side)	Koko sivu avattavissa päädyn lisäksi
RF (Reefer container)	Sisälämpötila kontrolloitu kylmäkontti

Testipaikan alustaksi valikoitui Scandic Containerin 20' ympäristökontti, joka on vaarallisten kemikaalien varastointiin tarkoitettu. Kontti on 20' DC kontin pohjalta rakennettu ympäristökontti. Seiniin on lisätty 50 mm kivivillaa, jonka päälle vielä sinkitty pelti, jolloin seinärakenteista saadaan palonkestävät. Lattian välipohjaan on tehty valuma-allas valmiiksi. Kontissa on myös molemmissa päissä pariovet helpottamassa kulkua.

Vaatimuksena oli ainakin kahden testilaitteiston mahdollisuus, joka mahdollistetaan asettamalla kuormalavahylly testipaikan toiseen päähän. Sopivan kokoista hyllyä ei löytynyt markkinoilta valmiiksi, niin joudumme kasaamaan hyllyn P90-pylväselementeistä ja vaakapalkeista. Pylväselementtien lyhyin versio on 1500 mm pitkä, joka soveltuu testipaikalle hienosti. Vaakapalkin pituudeksi valittiin 1850 mm, jolloin kaksi EUR-kuormalavaa mahtuu hyllyyn.

Testipaikalle suunniteltiin Konecranesin valmistama C series 02 -nostin. Nostin on niin sanottu seinäkääntönostin, jossa on jäykkä kääntyvä runko. Nostimen maksiminostokyky on 500 kg, joka on riittävä kaikkiin Danfoss Editron valmistamiin tehoelektroniikkalaitteisiin. Nostimesta tulee olemaan hyötyä tehokkuuden ja turvallisuuden kannalta.

Tarkoituksena olisi kasata testattava testilaitteisto aina EUR-kuormalavalle jo ennen kuin se tuodaan elinikätesteihin. Näin voidaan testilaitteiston kasaustyö saattaa valmiiksi tilavammissa tiloissa. Testipaikan piirros löytyy kuvasta 7.



Kuva 7. Testipaikan pohjapiirros /16; 17; 18; 19/

4.2 Sähköinen puoli

Alaluvussa 3.2 käsitellään sähköinen puoli elinikätestipaikasta. Tähän kuuluu valaistus, sähkösyötöt, kiinteästi asennettavat laitteet, turvalaitteet ja hätäpysäytys.

4.2.1 Tarpeet

Toimeksiantajan mukaan testipaikalla on tarkoituksena testata ainakin EC-C1200-450-invertteriä, jonka maksimiteho on 300 kW. EC-C1200-450-invertterin nimellisjännite on 500 V, mutta Danfoss Editron valmistaa myös EC-C1700B-420-invertteriä, jonka nimellisjännite on 690 V. Myös 690 V versiota tulisi pystyä testaamaan täydellä teholla. Toimeksiantajan invertteriä voidaan käyttää eri applikaatioissa, joten olisi tärkeää pystyä testaamaan invertterin toimintaa näissä eri applikaatioissa.

Jotta testipaikkaa voitaisiin käyttää mahdollisimman monipuolisesti, tarvitaan voimavirtapistorasioita muun muassa ulkoisten tehonlähteiden ja sähköisien kuormien käyttöön. Esimerkiksi toimeksiantajan valmistama EC-IDC24-

akkulaturi tarvitsee matalajännitteisen DC-jännitelähteen ja sähköisen kuorman, jolla voidaan kuormittaa akkulaturia sen nimellispisteessä.

Keskeinen osa testausta on mittaaminen, jolla todennetaan ja varmistetaan muun muassa lämpötiloja, virtoja ja jännitteitä. Mittalaitteille tulee varata sähkönsyötön lisäksi soveltuvat paikat, jolloin kaapelien hallinta helpottuu. Lisäksi ilmalämpöpumpulle ja nestejäähdytysasemalle on varattava riittävät sähkönsyötöt. Sähköt tulisi pystyä kytkemään ja katkaisemaan etänä, jolloin työskentely testialueella saataisiin minimiin jännitteiden ollessa kytkettynä. Testipaikka tulisi pystyä valvomaan myös visuaalisesti ilman jatkuvaa läsnäoloa ja tämä voitaisiin toteuttaa kameravalvonnalla.

Mahdollisen eristeiden heikentymisen ja rikkoutumisen havaitsemiseksi riittävän aikaisin tulisi testipaikalla olla tehonsyöttöjen reaaliaikainen eristysvastuksen mittaus. Eristeet heikkenevät ja kuluvat muun muassa lämpötilan, kosteuden ja jännitteelle altistumisen myötä.

Testilaitteet vaativat toimiakseen apusähköt, joilla laitteen ohjaus mahdollistetaan ennen tehonsyöttöjen kytkemistä. Apusähköinä toimeksiantajan valmistamat laitteet käyttävät 24VDC. Riittävä määrä lähtöjä apusähköille on kaapelien hallinnan kannalta keskeinen. Myös apusähköt tulisi olla kontrolloitavissa etänä. Kuitenkaan apusähköjen ei tarvitse katketa testialueelle tultaessa tai siellä ollessa, jolloin mahdollinen laitteiden konfigurointi onnistuu myös paikan päältä.

4.2.2 Vaatimukset

Vaatimusten osalta keskitytään turvallisuuden kannalta keskeisiin vaatimuksiin. Vaatimukset tulevat pääasiassa pienjännitesähköasennuksien SFS 6000-standardisarjasta.

Valaistus

Valaistuksen voimakkuus normaaleissa tilanteissa on työturvallisuuden kannalta tärkeää, mutta poikkeustilanteissa merkitys korostuu. Kytkeä- ja ka-sausvaiheessa rinnastetaan testitila sähkö- ja elektroniikkateollisuuden

tavanomaiseen kytkentätilaan. Valaistusvoimakkuuden täytyy tällöin olla suurempi kuin 750 lx ja valaistusvoimakkuuden tasaisuuden 0,6 /20, s. 33/. 500 lx olisi riittävä, jos valaistulla alueella työskentelyssä tehtävät virheet eivät aiheuttaisi suuria kustannuksia /20, s. 10/. Kun elinikätestiä suoritetaan, voidaan rinnastaa testitila kemianteollisuuden kauko-ohjatuksi prosessiksi. Tällöin valaistusvoimakkuus voidaan alentaa 50 lx valaistusvoimakkuuden tasaisuuden ollessa 0,4. /20, s. 32./

Testipaikalle on myös suunniteltava poistumisreittivalaistus ja varavalaistus. Käytännössä voimme toteuttaa varavalaistukseen ja poistumisreittivalaistukseen yhdessä standardin SFS-EN 1838 mukaan. /21, s. 8./ Poistumisvalaistuksen valaistusvoimakkuuden on oltava poistumisreitillä vähintään 1lx, ja valaistuksen tasaisuuden 1/40. Hätäpoistumisvalaistuksen on pysyttävä päällä vähintään 1 h ajan sähkönsyötön katkettua. Jos varavalaistuksen valaisuuden voimakkuus on pienempi kuin työhön vaadittava valaistus, on sitä käytettävä vain prosessin alasajoon tai lopettamiseen. /21, s. 10 - 11./

Suojausmenetelmät

Suojausmenetelmät koostuvat perussuojauksesta ja vikasuojauksesta. Perussuojaus toteutetaan estämällä jännitteisten osien koskettaminen. Suojaus voidaan toteuttaa joko esteillä ja sijoittamalla jännitteinen osa kosketusetäisyyden ulkopuolelle tai suojata jännitteinen osa koteloinnilla, suojilla tai eristeillä. Vikasuojaus koostuu suojamaadoituksesta, syötön automaattisesta poiskytkennästä ja lisävaatimuksista. /22 s. 7 - 15./

Suojamaadoitukseen tulee kytkeä kaikki jännitteelle alttiit osat. Koska testipaikka on merikontti, jonka rakenteet ja seinät ovat tehty metallista, tulee ne kytkeä suojaavalla potentiaalintasausjohtimella päämaadoituskiskoon /22, s. 7 - 8/.

Syötön automaattinen poiskytkentä

Syötön automaattisessa poiskytkennässä pyritään katkaisemaan syöttävä johdin, kun vika sattuu äärijohtimen ja jännitteelle alttiin osan tai suojamaadoituksen välille mitättömän pienen impedanssin kautta. Automaattinen poiskytkentä voidaan toteuttaa TN-järjestelmissä ylivirtasuojalla SFS 6000-4-43:n mukaisesti. /22, s. 11./

Automaattisen poiskytkennän tulee toimia TN-järjestelmissä jännitteen ollessa 230 VAC 0,4 sekunnissa ja jännitteen ollessa 400 VAC 0,2 sekunnissa.

Näissä tapauksissa mitoitusvirta ei saa ylittää 63 A, jos syötetään pistorasioita, tai 32 A, jos syötetään kiinteästi asennettuja laitteita. Kun mitoitusvirta ei täytä edellä mainittuja vaatimuksia poiskytkennän tulee tapahtua alle viidessä sekunnissa. /22, s. 31./ Yleisessä käytössä olevat enintään 32 A mitoitusvirran omaavat pistorasiat on suojattava lisäksi 30 mA vikavirtasuojalla. Oikosulkuvirran tulee olla riittävän suuri, jotta suojalaite toimii riittävän nopeasti. Oikosulkuvirta on laskemalla tai mittaamalla määriteltävä tarpeelliseksi katsotuissa pisteissä. Yksivaiheinen oikosulkuvirta saadaan yhtälöstä 1 /23, s. 5/:

$$I_k = (C * U) / (\sqrt{3} * Z) \quad (1)$$

jossa	I_k	Oikosulkuvirta	[A]
	C	Varmuuskerroin	
	U	Pääjännite	[V]
	Z	Vikapiirin impedanssi	[Ω]

TN-jakelujärjestelmän on lisäksi täytettävä yhtälö 2 /22, s. 11/:

$$Z_s * I_a \leq U_0 \quad (2)$$

jossa	Z_s	Vikapiirin impedanssi	[Ω]
	I_a	Virta, jolla suojalaite toimii riittävän nopeasti	[A]
	U_0	Pääjännite	[V]

Oikosulku on katkaistava viimeistään siinä ajassa, jossa johtimet saavuttavat korkeimman niille sallitun lämpötilan. Jos oikosulun kesto-aika on $< 0,1$ s, niin yhtälön 3 on toteuduttava /24, s. 12/:

$$k^2 * S^2 > I^2 T \quad (3)$$

jossa	k^2	Kerroin, joka määrittää SFS 6000-4-43:2023 standardin taulukossa 43.1	
	S^2	Johtimen poikkipinta-ala	[mm ²]
	$I^2 T$	Suojalaitteen valmistajan ilmoittama läpi kulkevan energian arvo	

Jos oikosulun kesto-aika on suurempi kuin 0,1 s, mutta lyhyempi kuin 5 s, voidaan aika, jossa kaapeli lämpenee suurimpaan sallittuun lämpötilaan laskea yhtälöstä 4 /22, s. 13/:

$$t = \left(k * \frac{S}{I}\right)^2 \quad (4)$$

jossa	t	Kesto-aika	[s]
	k	Kerroin, joka määrittää SFS 6000-4-43:2022 standardin taulukossa 43.1	
	S	Johtimen poikkipinta-ala	[mm ²]
	I	Oikosulkuvirta	[A]

IT-järjestelmän suojaaminen

Jotta pystytään joustavasti testaamaan 500 V ja 690 V nimellisjännitteellä, tulee testipaikka varustaa muuntajalla, jolla voidaan muuntaa tavanomainen 400 V verkko joko 500 V tai 690 V riippuen tarpeesta.

IT-järjestelmässä tulee olla eristystilanvalvontalaite, jos ensimmäisen vian satuessa syöttöä ei kytketä pois. Lisäksi vaaditaan hälytys, jossa hälytysääni

voidaan kytkeä pois, mutta visuaalisen hälytyksen on hälytettävä niin kauan kuin vika on olemassa. /24, s. 9./ Ylikuormitussuojat voidaan jättää pois, mikäli käytetään eristystilan valvontalaitetta ja vika poistetaan toiminnan vaatimusten mukaan. Vikaa poistaessa tulee huomioida toisen vian aiheuttama riski /19/. IT-järjestelmissä suositellaan vahvasti, ettei käytetä nollajohdinta, jolloin testattavien laitteiden tulee toimia ilman sitä. /24, s. 6./

Erottaminen ja kytkentä

Jokainen syöttö on oltava erotettavissa sähköasennuksista. Kuitenkin suoja-johtimessa kytkinlaitteet ovat kiellettyjä. TN-S-järjestelmässä nollajohdinta ei tarvitse erottaa, jos se on kytketty pienen resistanssin kautta luotettavasti maahan. Yhdellä erotuslaitteella voidaan erottaa useampi kuin vain yksi virtapiiri. Erottaminen on siis toteutettava siten, että estetään tahattomasti tai tahaton toiminta tai jännitteiseksi tuleminen. /25, s. 5./

Laitteet, jotka voivat tarvita ohjausta erillään muista, on varustettava käyttökytkimellä. Syöttöjen siirtämiseen käytettyjen käyttökytkimien on kytkettävä kaikki jännitteiset johtimet, eikä saa olla mahdollisuutta kytkeä syöttöjä rinnan, ellei se ole tarkoituksenmukaista. /25, s. 6./

Johtojärjestelmät

Johdot ovat valittava siten, ettei suurimman jatkuvan virran arvolla, jolla johdinta kuormitetaan, ylitetä eristysaineen lämpötilaraja-arvoa. Kaapeleiden asennustavalla on suuri vaikutus kuormitettavuuteen, jonka takia asennustapa on huomioitava kuormitettavuutta tarkastettaessa SFS 6000-5-52:2022-standardin liitteestä 52B. Asennustavat ovat määritelty SFS 6000-5-52:2022-standardin taulukossa A.52.3. /26, s. 14./

Yleisestä jakeluverkosta syötetyn pienjänniteasennuksen jännitteenalenema ei saa ylittää valaistuskäytössä 3 % tai muussa käytössä 5 %. Jännitteenalenema voidaan määritellä yhtälöllä 5. /26, s. 62 - 63./

$$\Delta u = 100 * \frac{b \left(\rho_1 * \frac{L}{S} * \cos \varphi + \lambda * L * \sin \varphi \right) * I_B}{U_0} \quad (5)$$

jossa	Δu	Jännitteenalenema	[%]
	b	kolmivaiheisille piireille 1 ja yksivaiheisille 2	
	ρ_1	Johtimen resistiivisyys kupari johtimille 0,0225, alumiini johtimille 0,036	
	L	Johtojärjestelmän pituus	[m]
	S	Johtimen poikkipinta-ala	[mm ²]
	$\cos \varphi$	Tehokerroin, jos ei tiedetä tarkkoja arvoja voidaan käyttää 0,8	
	$\sin \varphi$	Tehokerroin, jos ei tiedetä tarkkoja arvoja voidaan käyttää 0,6	
	λ	Johtimen reaktanssi, jos ei tiedetä tarkkoja arvoja voidaan käyttää 0,08	
	I_B	Suunniteltu virta	[A]
	U_0	Jännite vaihejohtimen ja nolajohtimen välillä	[V]

Hätäpoiskytkentä ja turvajärjestelmät

Hätäpoiskytkennän tulisi täyttää koneturvallisuusstandardi SFS 13849-1:2023. Standardi määrittelee prosessin, jota seuraamalla hätäpoiskytkentä tulisi suunnitella. Prosessi sisältää muun muassa standardin ISO 12100:2010 mukaan tehtävän riskianalyysin, SFS 13849-1:2023 mukaan tehtävän riskien pienentämisen ja SFS 13849-2:2012 mukaisen riskien pienennyksen kelpuuttamisen. Prosessi on erittäin työläs, joten tässä opinnäytetyössä pyritään suunnittelemaan vain standardin keskeisiltä osilta täyttävä hätäpoiskytkentä, mutta ei syvennytä standardien sisältöön eikä tarkastella yksityiskohtien täyttymistä. Tämä tehdään, jotta tämä opinnäytetyö saadaan pidettyä opinnäytetyölle soveltuvissa rajoissa.

Odottamattoman vaaratilanteen poistamiseksi tulee jokaisessa laitteiston osassa olla mahdollisuus syötön hätäpoiskytkentään. Kaikki jännitteiset johtimet tulee erottaa sopivalla laitteella kuitenkin niin, ettei nollajohdinta katkaista. Hätäpoiskytkentä pitää pystyä suorittamaan yhdellä toimenpiteellä. /25, s. 7./ Hätäpoiskytkentäpainikkeen vapauttaminen ei saa kytkeä jännitteitä takaisin päälle /27, s. 60/. Standardin SFS 6000-5-53:2022 liitteestä 537A löytyy kaikki hätäpoiskytkentään soveltuvat erottimet ja kytkimet.

Turvatoimia ei saa menettää yksittäisen vian ilmentyessä järjestelmään. Tällä tarkoitetaan redundanttisen järjestelmän suunnittelemista, joka tarkoittaa esimerkiksi hätäpoiskytkentäpainikkeella syöttävän johtimen katkaisemista useammasta kohtaa. /28, s. 45./

4.2.3 Suunnitelmat

4.3 Kustannukset

5 POHDINTA

Työn tavoitteena oli suunnitella tehoelektronikan elinikätestaamiseen soveltuva testipaikka. Suunnittelussa keskityttiin sähköistyksen kannalta keskeisiin asioihin eikä kokonaisvaltaisen valmiin tuotteen suunnitteluun.

Tavoitteet täytettiin kokonaisvaltaisella suunnitelmalla elinikätestipaikasta. Opinnäytetyöstä löytyy valaistussuunnitelma, sähköistysuunnitelmat piirustuksien kanssa ja testipaikan mekaaninen suunnitelma. Testipaikka täyttää sille asetetut vaatimukset EC-C1200-450-invertterin elinikätestaamisen osalta. Testipaikassa voidaan testata kyseisen invertterin lisäksi myös 690 V versio EC-C1700B-420 turvallisesti ja luotettavasti. Testipaikka täyttää keskeisimmät SFS 6000 -standardisarjan vaatimukset.

Testipaikkaa voidaan pienin muutoksin kehittää tulevaisuudessa myös sähkömoottoreiden testaamiseen. Poistamalla hylly testipaikan perältä ja korvaamalla se sähkömoottoreiden testipenkillä sekä asentamalla seinälle

esimerkiksi kuvan 6 mukainen kokoonpano. Muutoksilla saataisiin testattua Danfoss Editronin kestomagneettisähkömoottorit 300 kW asti täysitehoisesti.

Opinnäytetyön aihe oli laaja, ja työn aikana aihetta jouduttiin rajaamaan ja jättämään joitakin kohtia pois. Turvajärjestelmän dokumentaatio, nesteaseman ja ilmastoinnin suunnittelu sekä mittalaitteet olivat muun muassa työstä poistettuja aiheita. Poistettuja aiheita ei kuitenkaan voida unohtaa, vaan niihin tulee pureutua ennen lopullista rakentamista. Erityisesti turvajärjestelmän dokumentaatio tulee olla kunnossa ennen rakentamista, jotta turvatoimintojen riittävyydestä ollaan varmoja. Lisäksi ilmastointiin tulee paneutua kunnolla, jotta esimerkiksi laitteiden rikkoutumisesta tulevat savukaasut tai muut myrkylliset kaasut saadaan hallitusti poistettua ja suodatettua.

Työ oli mielenkiintoinen ja erittäin opettavainen. Aiemman suunnittelu kokemuksen puute oli suurin haaste opinnäytetyötä tehdessä. Selvittäminen, kuinka mikäkin tulisi tehdä, opetti paljon, mutta hidasti työn valmistumista.

6 LÄHDELUETTELO

1. Annual report 2022. Danfoss. PDF-dokumentti. Päivitetty 1.3.2023. Saatavissa: <https://www.danfoss.com/annual-report-2022/#financials> [viitattu 12.3.2023].
2. Danfoss Editron Oy. Alma media Oyj. WWW-dokumentti. Päivitetty 8.2.2023. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/22731701> [viitattu 12.3.2023].
3. Standardien asema vaatimustenmukaisuuden osoittamisessa. Tukes. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/vaatimustenmukaisuus/standardien-asema-vaatimustenmukaisuuden-osoittamisessa> [viitattu 8.2.2023].
4. What are power electronics. Synopsys. WWW-dokumentti. Päivitetty 4.1.2023. Saatavissa: <https://www.synopsys.com/glossary/what-are-power-electronics.html> [viitattu 6.2.2023].
5. Electric converters. Danfoss. WWW-dokumentti. Päivitetty 16.7.2021. Saatavissa: <https://www.danfoss.com/en/products/dps/electric-converters-and-machines/electric-converters-and-machines/electric-converters/#tab-overview> [viitattu 6.2.2023].
6. Taajuusmuuttaja. Sähkönet. Blogi. Päivitetty 17.8.2016. Saatavissa: <https://blogit.gradia.fi/sahkonet/sahko-ja-automaatioasennukset/oppimistehtavat/teollisuuden-sahkoasennukset/moottori-kaytot/taajuusmuuttajat/> [viitattu 7.2.2023].
7. O'Connor, P. Kleyner, A. Practical Reliability Engineering. New Jersey: John Wiley & Sons, Ltd. 2011.
8. IEC 60068-2:en. Environmental testing. 2007.

9. Wilcoxon, R. Does 10°C increase in temperature really reduce the life of electronics by half. Lectrix. WWW-dokumentti. Päivitetty 18.8.2017. Saatavissa: <https://www.electronics-cooling.com/2017/08/10c-increase-temperature-really-reduce-life-electronics-half/> [viitattu 15.1.2024].
10. Taulukko yhdenmukaistetuista merkinnöistä on CLP-asetuksen liitteessä VI. Tiedostossa vaaralliseksi luokitellut kemikaalit. Helsinki: European chemical agency. Excel-dokumentti. Päivitetty 1.12.2023. Saatavissa: <https://echa.europa.eu/fi/information-on-chemicals/annex-vi-to-clp> [viitattu 17.1.2024].
11. Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 20.12.2012/856.
12. Öljyn ja kemikaalien varastointi valuma-altaan päällä. Denios. WWW-dokumentti. Päivitetty 4.1.2023. Saatavissa: <https://www.denios.fi/palvelut/denios-asiantuntemus/valuma-altaiden-osto-opas> [viitattu 14.2.2023].
13. SFS 6000-8-804. Pienjännitesähköasennukset. Täydentävät vaatimukset: Kuivat ja kosteat ja märät tilat sekä ulkotilat. 2022.
14. SFS-EN ISO 14122-2. Koneturvallisuus. Koneiden kiinteät kulkutiet. 2018.
15. Opas konttien lyhenteisiin ja termeihin. Mattson Group. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.konttivuokraus.fi/konttivinkki-blogi/ukk-3-csc-dc-dd-ot-opas-konttien-lyhenteisiin-ja-termeihin/> [viitattu 15.2.2023].
16. Merikonttien mitat. Finncontainers Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.kontti.fi/mitat> [viitattu 15.2.2023].
17. Kuormalava. Logistiikan maailma. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikan-toimijat/varastointi/varastotyyppit-ja-teknikka/kuormalava/> [viitattu 16.2.2023].
18. Häyhä, J. Myyntipäällikkö. Sähköpostiviesti 25.1.2023. Konecranes.

19. Kuormalavahylly P90 Asennusohje. Constructor Finland Oy. PDF-dokumentti. Päivitetty 8/2023. Saatavissa: <https://www.elbest.ee/kasutusjuhendid/KASTEN%20-%20P90%20Assembly%20manual.pdf> [viitattu 16.2.2023].
20. SFS-EN 12464-1. Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1 Sisätilojen työkohteiden valaistus. 2021.
21. SFS-EN 1838. Valaistussovellukset. Turvavalaistus. 2014.
22. SFS 6000-4-41. Pienjännitesähköasennukset. Suojausmenetelmät. Suojaus sähköiskulta. 2022.
23. ST 53.25. Ohjeita vikasuojauksesta enintään 1000 V TN-järjestelmässä. 2018.
24. SFS 6000-4-43. Pienjännitesähköasennukset. Suojausmenetelmät. Ylivirtasuojaus. 2022.
25. SFS 6000-4-46. Pienjännitesähköasennukset. Suojausmenetelmät. Erottaminen ja kytkentä. 2022.
26. SFS 6000-5-52. Pienjännitesähköasennukset. Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. 2023.
27. SFS 6000-5-53. Pienjännitesähköasennukset. Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Erottaminen, kytkentä ja ohjaus. 2022.
28. SFS-EN ISO 13849-1. Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Yleiset suunnitteluperiaatteet. 2023.

29. Superkondensaattori korvaa perinteisen akun ESCAP-yksikkövalaisimissa. Teknoware Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.teknoware.com/fi/turvavalaistus/escap-turva-ja-opastevalaisimet-superkondensaattorilla> [viitattu 16.12.2023].
30. Dahua TPC-BF2221-T Hybridilämpökamera. Suomenturvaluote. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://suomenturvaluote.fi/product/40/dahua-tpc-bf2221-t-hybridilampokamera> [viitattu 18.12.2023].
31. NSX Compact Moottorihajin 220VAC MT400-630 s.a. Schneider. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.se.com/fi/fi/product/LV432641/nsx-compact-moottorihajin-220vac-mt400630/> [viitattu 18.12.2023].
32. Kahvasulakkeet, 2...1600 A gG ja aM -tyypit. ABB. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://library.e.abb.com/public/6bac18b236fde340c1257927002efd8c/1SCC317002C1801.pdf> [Viitattu: 19. 12 2023].
33. Johdonsuojakatkaisija 1-napainen 6kA C-käyrä 50A 1 moduulia. UTU Oy. WWW-dokumentti. Päivitetty 9.1.2024. Saatavissa: <https://www.utugroup.com/fi/tuotteet/johdonsuojakatkaisija-1-napainen-6ka-c-kayra-50a-1-moduulia#downloads> [viitattu: 10.1.2024]
34. Partanen, J. Huotari, K. Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeminen. Opetusmoniste. Lappeenranta teknillinen korkeakoulu. PDF-dokumentti. Päivitetty 12/1998. Saatavissa: https://www.uotila.cc/images/teollisuusverkkojen_oikosulkuvirrat.pdf [viitattu 20.12.2023].
35. The right solution for each application. Bender GmbH & Co. KG. WWW-dokumentti. Päivitetty 9.6.2018. Saatavissa: <https://www.pressebox.com/pressrelease/bender-gmbh-co-kg-gruenberg/The-right-solution-for-each-application/boxid/920653> [viitattu 20.12.2023].

36. ComPact NSX, uusi sukupolvi. Schneider. WWW-dokumentti. Päivitetty 3.1.2024. Saatavissa: <https://www.se.com/fi/fi/product-range/39910531-com-pact-nsx-uusi-sukupolvi/> [viitattu 5.1.2024].
37. Detailed information for: OT160E03WCP. ABB. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://new.abb.com/products/1SCA022772R8210/ot160e03wcp> [viitattu 27.12.2023].
38. Tarkemmat tiedot: Sentry SSR10. ABB. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://new.abb.com/products/fi/2TLA010050R0000/sentry-ssr10> [viitattu 28.12.2023].
39. Sentry connection diagrams with most safety devices. ABB. PDF-dokumentti. Päivitetty 7.7.2021. Saatavissa: <https://new.abb.com/products/fi/2TLA010050R0000/sentry-ssr10> [viitattu 28.12.2023].
40. Kennokeskus NALLE (2000A) IP34/44. UTU Oy. PDF-dokumentti. Päivitetty 1.11.2023. Saatavissa: <https://www.utugroup.com/fi/tuotekategoria/sahkokeskukset/kennokeskukset/kennokeskus-nalle-2000a-ip31-44-kennokeskukset-sahkokeskukset/> [viitattu 6.1.2024].
41. Pistorasiakeskus VOIMA - VOIMA 1113 125A IP44 Fe UUSI - Vohek. Sähkönumerot. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://sahkonumerot.fi/3434766> [viitattu 6.1.2024].