



Lauri Kuusrainen

Elektromagneettinen yhteensopi- vuus lämpölaitoksella

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

24.4.2021

Tiivistelmä

Tekijä: Lauri Kuusrainen
Otsikko: Elektromagneettinen yhteensopivuus lämpölaitoksella
Sivumäärä: 30 sivua + 2 liitettä
Aika: 25.4.2021

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine: Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat: Lehtori Osmo Massinen
Projektipäällikkö Hanna Pietilä

Insinööritöiden tavoitteena oli käydä läpi Lahti Energian Oy:n ja STEP Oy:n yhdessä rakennuttaman biolämpölaitoksen suojaus sähkömagneettisilta häiriöiltä. Työ käsittelee suojausta niin suunnittelun kuin toteutuksen näkökulmasta.

Aihealueita käsiteltiin voimassa olevien standardien, kirjallisuuden, käyttöohjeiden sekä käytännön kokemuksen perusteella edellisistä projekteista. Työssä keskityttiin erityisesti voimassa oleviin SFS-standardeihin. Suojauksen osalta vahvasti esiin nousivat myös hyvä asennustapa sekä käytännön kokemukset sekä laitevalmistajien asennusohjeet.

Asennusvaiheessa tehdyt pienetkin poikkeamat voivat johtaa kulujen kertaantumiseen siirryttäessä laitoksen projektivaiheesta operatiiviseen vaiheeseen. Insinööritöntekijä tulee osallistumaan myös laitoksen operatiiviseen vaiheeseen, ja työssä on pyritty tuomaan esille myös käyttöhenkilöstön näkökulma projektivaiheessa, jossa tilaajan valvonta on merkittävässä osassa.

Työssä keskitytään prosessisähköasennuksiin ja erityisesti laitteiden syöttöjärjestelmiin. Työn ulkopuolelle on rajattu aihealueita, kuten talotekniikka ja pienoisjännitejärjestelmät. Sähkömagneettiset häiriöt vaikuttavat usein koko sähköjärjestelmään, ja häiriölähteitä voi esiintyä myös työn ulkopuolelle rajatuissa asennuksissa. Työssä käsitellyt asennukset kattavat kuitenkin yli 90 prosenttia laitoksen sähköenergian kulu- tuksesta. Työ antaa hyvän kokonaiskuvan teollisuuslaitoksen sähköasennuksien erityispiirteistä

Avainsanat: EMC, suojaus sähkömagneettisilta häiriöiltä, teollisuus- asennukset

Abstract

Author: Lauri Kuusrainen
Title: Electromagnetic Compatibility in a Boiler Plant
Number of Pages: 30 pages + 2 appendices
Date: 25th of April 2021

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Electrical Power Engineering
Instructors: Osmo Massinen, Senior Lecturer
Hanna Pietilä, Project Manager

The purpose of the thesis work was to review electromagnetic compatibility (EMC) of a bio boiler plant built by Lahti Energia Ltd and STEP Ltd. This thesis covers the compatibility from the perspective of design and implementation.

The topics were covered based on existing and valid standards, literature, installation manuals for the equipment and existing practical experience from the previous projects. This thesis work focused especially on the valid standards by SFS (Finnish Standards Association). In terms of the compatibility, good installation methods and practical experience, as well as manufacturers' installation manuals for equipment stood out.

At the implementation stage, even small deviations with installation can lead to a multiplication of costs when transition to operational phase has taken place. This thesis seeks to emphasize the perspective of the operating personnel in the project phase, where the control and supervision of the client plays a significant role.

Focus of the thesis work is on the electrification of the process system, especially power supply system from network to final consumption point in the process. Topics such as electrification of the civil construction part and low voltage systems of the plant has been excluded from this thesis work. Electromagnetic interference often affects the entire internal electrical system and interference can occur in the excluded parts of the electrical system. However, process system covers more than 90 percent of the total electrical energy consumption in the plant. Therefore, as a result this thesis gives a good overview of the special features of electrical installations inside a modern industrial plant.

Keywords: EMC, Electromagnetic compatibility, Industrial installations

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Projektin esittely	1
2.1	STEP Oy	1
2.2	Lahden biohöyrylaitos	2
3	Perustusten maadoitus sekä elektrodi	4
3.1	Maadoituselektrodin vaatimukset pienjännitejärjestelmässä	4
3.2	Biohöyrylaitoksen maadoitus	5
4	Sähkömagneettisen yhteensopivuuden sääntely	8
4.1	Sääntely ja standardointi	8
4.2	EMC-vaatimukset sähköasennuksissa	9
5	Oikosulkumoottorit	11
5.1	Yleistä	11
5.2	Oikosulkumoottorit ja Euroopan talousalueen sääntely	12
5.3	Biohöyrylaitoksen oikosulkumoottorit	13
5.4	Taajuusmuuttajaohjaus	18
5.5	Laakerivirrat	19
5.6	Taajuusmuuttajien asennukset ja asennusvalvonta	22
5.7	Johtotiet ja kaapelointi	25
5.8	Puhaltimien värähtelymittaus	26
6	Tarkastukset	27
7	Yhteenveto	28
	Lähteet	30

Liitteet

Liite 1: Laitoksen perusmaadoitus

Liite 2: Laitoksen maadoituskaavio

Lyhenteet

- EMC: Electromagnetic Compatibility eli sähkömagneettinen yhteensopi-
vuus – tällä tarkoitetaan sähköisen laitteen tai järjestelmän kykyä toi-
mia luotettavasti luonnollisessa toimintaympäristössään.
- EDM: Electrical Discharge Machining eli kipinätyöstö. Laakerissa tapah-
tuva läpilyönti, joka aiheuttaa tyypillisesti laakerin ennenaikaista vi-
kaantumista.
- PWM: Pulse width modulated eli pulssileveysmodulaatio.
- DOL: Direct-On-line eli sähkömoottori on kytketty suoraan syöttöverkkoon.
- IGBT: Insulated-Gate Bipolar Transistor eli eristehilabipolaaritransistori.

1 Johdanto

Nykyaikaisessa teollisuusprosessissa on kiinnitettävä huomiota sähkönlaatuun. Sähkö muokataan prosessille sopivaksi taajuusmuuttajilla, tasasuuntaajilla, jännitetasojen muokkauksella monin eri tavoin. Sähkön muokkaaminen on kuitenkin perinteistä resistiivistä suorakäyttöä vaativampaa sähköverkolle. Teollisuuden elektroniikka käyttää tasasähköä ja tehoelektronikalla muokataan sähkömoottoreiden taajuutta ja tämän kautta kierrosnopeutta halutulla tavalla.

Tämän insinööriyön tarkoitus on tarkastella, kuinka 2021 valmistuvan biohöyrylaitoksen suunnitellussa sekä toteutuksessa on otettu huomioon nykyaikainen sähkönkäyttö ja minkälaisia haasteita perinteistä tekniikkaa edustavan sähkönjakeluverkon sekä nykyaikaisen käytön yhdistäminen voi tuottaa. Sähkön muokkaaminen tehoelektronikan avulla aiheuttaa erityisesti järjestelmien elektromagneettisia häiriöpäästöjä, joita käsitellään työssä.

Insinööriyössä käydään myös läpi sähkö- ja automaatioasennusten asennusvalvontaa biolämpölaitoksella. Insinööriyön tekijä on ollut projektissa mukana ennen rakennusvaihetta sekä päässyt seuraamaan rakennusvaihetta maanrakennuksesta ja perustusurakasta lähtien (maaliskuu 2020).

2 Projektin esittely

2.1 STEP Oy

Insinööriyön tekijä on työskennellyt alkuvuodesta 2020 Suomen Teollisuuden Energiapalvelut - STEP Oy:ssä. STEP on Pori Energian sekä Veolian yhteisesti omistama yritys, joka tarjoaa energiaratkaisuita sekä energiaan liittyviä tuotteita teollisuuteen kumppanuusperiaatteita noudattaen. Tarjottavia tuotteita on mm. lämpöenergia, paineilma, prosessivedet, asiantuntijapalvelut, jäähdytysenergia, lämmöntalteenotto, polttoaineet sekä jätevesien käsittely.

STEP vastaa tällä hetkellä (kevät 2021) neljän teollisuusyrityksen tai yrityspuiston energiantuotannosta, jotka ovat:

- Harjavallan Suurteollisuuspuisto - mm. 30 MW biohöyrykattila, 20 MW höyrykattila, 12 MW lämmöntalteenottokattila, 5 MW tulistuskattila, paineilma, kaukolämpö
- Altia Koskenkorva - 10 MW biohöyrykattila, 20 MW kiertopetikkattila, 16 MW varakattila, paineilma sekä prosessivedet
- Hankkija Seinäjoki - 2,5 MW biohöyrykattila, 3 MW varakattila sekä kaukolämpö
- Findest Protein Kaustinen - 4 MW biohöyrykattila, 8 MW varakattila.

Näiden lisäksi vuonna 2021 valmistumassa ovat Lahteen yhteistyössä Lahti Energian kanssa biohöyrylaitos Fazer Oy:lle, Kirkkonummelle Avena Kantvik Oy:lle biohöyrykattila sekä Harjavallan suurteollisuuspuistoon uusi höyry-, paineilma sekä demivesilaitos.

Insinöörintyön tekijä työskentelee projekti-insinöörinä tällä hetkellä Lahdessa, jossa on tehnyt mm. asennusvalvontaa rakennusvaiheen ajan. Toiminnan vaikiutuessa insinöörintyön tekijä jatkaa käyttöinsinöörinä Lahdessa sekä Kirkkonummella. [1.]

2.2 Lahden biohöyrylaitos

Fazer Oy:llä on tuotantolaitos Lahdessa Metsäkankaalla, jossa toimii Fazerin eri yksiköitä kuten leipomo, mylly ja hapankorpputehdas. Oululaisen toiminta on alkanut kotileipomona Lahdessa 1909 ja ollut osa Fazer-konsernia vuodesta 1958. Toiminta on alkanut nykyisellä teollisuusalueella 60-luvun alussa. Alueelle on valmistumassa Fazerin uusi ksylitolitehdas, jossa myllyn sivuvirtana syntyvästä kauran kuoresta valmistetaan ksyloosia, joka jatkojalostetaan ksylitoliksi. [2.]

Tehdasaluetta on aikaisemmin palvellut Lahti Energian kaasukattilalaitos, joka on tuottanut prosessihöyryä Fazerin käyttöön maakaasusta 3 MW:n huipputeholla. Fazerin laajentaessa on energiantuotannon kapasiteetti jäänyt pieneksi ja energiantuotannossa on haluttu siirtyä kohti hiilineutraaliutta.

Biohöyrylaitos otetaan käyttöön kahdessa vaiheessa. Maakaasukattilan käyttöönotto tapahtui joulukuussa 2020 ja biokattilan sekä prosessihöyryä lukuun ottamatta muiden lämpötuotteiden käyttöönotto kesällä 2021. Näin ollen varakattila on tuottanut tehdasalueen prosessihöyryn joulukuusta. Uuden kattilalaitoksen pääpolttoaine on uuden ksylitolitehtaan sivuvirtana tuottama kauran kuori, josta on hydrolyysissä irrotettu ksyloosi. Laitoksen toimittaa liettualainen Eners-tena UAB. Biokattilan huipputeho on 8 MW sekä maakaasulla toimivan varakattilan 8 MW. Uudella kattilalaitoksella on tarkoitus tuottaa prosessihöyryn lisäksi tehdasalueen aluelämpö sekä kaukolämpöä Lahti Energian kaukolämpöverkkoon ja viilennystä höyrystä absorptiokylmäkoneella alueen kylmäverkkoon.



Kuva 1 Biohöyrylaitos kuvattuna 1.4.2021 länsipuolelta

Polttoaineena käytettävä kauran kuori toimitetaan ksylitolitehtaalta biohöyrylaitokselle kuljetinjärjestelmän avulla ja säilötään polttoainesiiloon ennen polttoa vinoarina tyypisessä tulipesässä. Polttoainesiiilo näkyy kuvan 1 vasemmalla puolella.

Energiatekniikan puolelle kuuluva höyrylaitostekniikka jätetään tässä insinööri-työssä taka-alalle ja keskitytään laitoksen sisältämiin oikosulkumoottoreilla toimiviin komponentteihin, kuten pumput, puhaltimet, kuljettimet sekä sähkönsyöttöön. Laitoksen kaikki prosessiin liittyvät yli 0,75 kW:n oikosulkumoottorit ovat taajuusmuuttajaohjattuja. DOL-käyttöisiä moottoreita löytyy ainoastaan talotekniikan puolelta sekä mm. pienikokoisia tuhkakonttien tasausruuvien moottoreita ja näkölasien jäähdytyspuhaltimien moottoreita.

3 Perustusten maadoitus sekä elektrodi

3.1 Maadoituselektrodin vaatimukset pienjännitejärjestelmässä

Maadoituksen ensisijainen tarkoitus on rajoittaa vikatapauksissa esiintyviä kosketus- ja askeljännitteitä. Tämän lisäksi maadoituksen tarkoitus on

- estää vaarallisten jännitteiden siirtymistä järjestelmästä toiseen
- estää vaarallisten vuotovirtojen, kipinöiden ja valokaarien synty
- luoda toimintaedellytykset maasulku- ja vikasuojaukselle.

Häiriösuojauksen toteutuminen TN-S järjestelmässä - potentiaalintasaus ja lisämaadoitus. [3, 54.1 s. 285.]

SFS 6000 5-54:n vähimmäisvaatimus maadoituselektrodille on 16 mm² poikkipinta-alaltaan olevaa kupariköyttä, -tankoa tai -levyä. Pienjänniteasennusten mukainen vähimmäistaso ei ole riittävä nykyaikaisen sähköjärjestelmän vaatimukseen verrattuna. Todellisuudessa teollisuudessa käytetään yleensä vähintään 50 mm² kuparia. Maaperästä tehdään esiselvitys, jossa myös maaperän johtavuus selvitetään, ja valinta tehdään näiden perusteella kohteeseen sopivaksi.

3.2 Biohöyrylaitoksen maadoitus

Biolämpölaitoksella maadoitus on toteutettu laitoksen ympäri kulkevalla 50 mm²:n kuparielektrodilla, josta kulkee myös johtimet perustusten, peruspilareiden sekä alapohjan läpi [kuvat 2 ja 3]. Johtimet ovat Cadweld-hitsattu betonin raudoituksiin sekä toisiinsa. Raudoitukset, rakennuksen teräsrunko sekä lisäpotentiaalintasaus päälaitteille sekä päätelaitteiden rungot on yhdistetty suoraan maadoituselektrodiin [liite 1]. Tämän lisäksi maadoituselektrodiin on jätetty varaus savupiipun ja laitoksen erilliselle salamasuojaukselle.



Kuva 2 Anturan raudoitukselle nouseva maadoitusjohdin sekä laitokselle tulevat syöttövesiputket



Kuva 3 Edellisessä kuvassa esitetty pilari valettuna sekä sokkeli asennettuna

Laitoksen pienjännite syötetään tehdasalueen ympäri kulkevasta Fazerin keskijänniteverkosta, pienjännite otetaan Fazerin omistamasta puistomuuntajasta [kuva 4]. Puistomuuntajan maadoituselektrodi on yhdistetty syöttökaapeleiden mukana tuodulla 50 mm²:n kuparilla laitoksen päämaadoituskiskoon. Fazerin keskijänniterengasverkossa on kuljetettu kupariköyttä, joka on yhdistetty puistomuuntajan maadoitukseen [kuva 6]. Edellisen perusteella voidaan sanoa, että lämpölaitos on osa tehdasalueen laajaa maadoitusjärjestelmää [5, liite O].

Cadweld-liitoksista on laadittu tarkastuspöytäkirja, josta ilmenee muutamia suunnitelmissa esiintyviä liitoksia, jotka on jätetty pois toteutuksesta – toteutus katsottiin kuitenkin riittäväksi. Tämän lisäksi maadoituksista on tehty mittauspöytäkirja, jossa kontaktien johtavuus maanpotentiaaliin on mitattu Fluke 1563 -testerillä ja maadoitusjohtimien impedanssi todettu riittävän pieneksi ja SFS 6000 -standardin mukainen turvallisuustaso saavutetuksi. Tehdasalue sijaitsee Lahden Metsäkankaalla hiekkaharjun päällä, ja maaperän johtavuudesta johtuen impedanssi on maanpotentiaaliin pieni.



Kuva 4 Laitosta tehdasalueen verkosta syöttävä keskijännitemuuntaja

Laitoksen sisäisessä sähköverkossa käytetään TN-S-järjestelmää, joka on myös uudisrakentamisessa pakollista. Tehdasalueen keskijänniteverkossa käytetään TN-C-järjestelmää.



Kuva 5 Lämpölaitos kuvattuna pohjoiselta sivulta huhtikuussa 2021



Kuva 6 Keskijännitekaapelointi sekä maadoitusjohdin



Kuva 7 Laitoksen pienjännitesyöttökaapelit sähkötilassa muuntajalta

4 Sähkömagneettisen yhteensopivuuden sääntely

4.1 Sääntely ja standardointi

Suomessa sähköturvallisuuslaissa (1135/2016) säädetään sähköturvallisuutta koskevat olennaiset vaatimukset. Sähköturvallisuuteen liittyvää sääntelyä on lisäksi Valtioneuvoston asetuksesta sähkölaitteistoista (1434/2016). Sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta säädetään Valtioneuvoston asetuksessa sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta (1436/2016), joka perustuu Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviin 2004/108/EY. Direktiivissä asetetaan vähimmäisvaatimukset kansalliselle sääntelylle, ja se on EU-jäsenvaltioita velvoittavaa.

Suomessa sähkö- ja elektroniikka-alan standardit muodostuvat kerroksista. Jos standardeja kuvattaisiin pyramidina, olisivat ylimpänä maailmanlaajuiset IEC-standardit tämän alapuolella eurooppalaiset EN-standardit, joihin perustuvat Suomen kansalliset SFS-standardit. Sähköalan eurooppalaiset EN-standardit julkaisee CENELEC, jonka standardeista 75 prosenttia perustuu IEC-järjestön kansainvälisiin standardeihin. EN-standardit ovat eurooppalaisen standardoinnin kattojärjestön CEN-jäsenmaita sitovia, ja jäsenmaat ovat velvoitettuja vahvistamaan kaikki eurooppalaiset standardit kansallisesti ja kumoamaan niiden kanssa ristiriidassa olevat standardit. [4.]

4.2 EMC-vaatimukset sähköasennuksissa

Sähkölaitteilta vaaditaan Euroopan markkinoilla CE-merkintää sekä vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyä (conformity assessment). Sähköasennusten osalta tulee noudattaa sähkölaitteen valmistajan antamia asennus-, käyttö-, ja hoito-ohjeita sekä hyviä suunnittelu- ja asennuskäytänteitä. Ratkaisut on dokumentoitava ja dokumentaatio tulee luovuttaa laitteiston haltijalle, jonka täytyy säilyttää dokumentit koko laitteiston käyttöiän ajan. [3, 44.3 s.165.]

Lisäksi kiinteissä asennuksissa täytyy käyttöohjeiden määrittellä käyttöpaikalle asetetut vaatimukset [3, 44.3 s.165]:

- määritellyt ympäristöolosuhteet
- vaatimukset tarvittavista lisälaitteista
- määrittelyt liittämiseen tarvittavista kaapeleista ja niiden pituuksista
- käytönehdot
- erityiset EMC-suojauksen tarvittavat toimenpiteet, esimerkiksi potentiaalintasaus.



Kuva 8 Biohöyrylaitoksen taajuusmuuttajia asennuksessa – syksy 2020

Häiriöiden syntymisen ja siirtymisen osalta on otettava erityisesti huomioon seuraavat asiat [3, 44.3 s.166]:

- häiriöpäästöt - häiriölähteiden vaimentaminen, kuten suodattimet.
- johtuminen ja säteily - riittävät etäisyydet, sopivat kaapelit ja suojaukset sekä potentiaalintasaukset.
- häiriönsieto - herkäät laitteet suojataan häiriöltä.

Suunnittelussa on otettava huomioon seuraavat asia:

- laitevalinnat ja laitteidensijoittelu
- maadoitukset ja potentiaalintasaukset
- johtotiet ja kaapelityypit
- häiriösuodattimien käyttö.

Peruseriaatteena on, ettei häiriönlähdettä ja herkkiä laitteita asenneta lähikäin.

5 Oikosulkumoottorit

5.1 Yleistä

Biohöyrylaitoksella on käytössä ainoastaan oikosulkumoottoreita sekä muutamia erityyppisiä askelmoottoreita venttiilien toimilaitteissa. Induktiomoottori eli oikosulkumoottorit ovat myös yleisin teollisuudessa käytetty sähkömoottorityyppi. Moottorityyppi on edullinen, ja niiden hyötysuhde on hyvä – yli 95 prosenttia. [6, 10.5 s.309]. Tässä insinööriyössä keskitytään käsittelemään laitoksen oikosulkumoottoreita, koska ne kattavat yli 95 % laitoksen moottoreiden kokonaistehosta. Moottoreita käytetään mm. kuljettimissa, pumpuissa, puhaltimissa, polttimissa sekä hydraulisyksikön voiman tuotossa. Moottorit asettuvat teholuokkaan 0,75 kW – 75 kW.



Kuva 9 Keskipakopumppuja asennuksessa laitoksella syksyllä 2020

5.2 Oikosulkumoottorit ja Euroopan talousalueen sääntely

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/125/EY asettaa vaatimukset energiaan liittyvien tuotteiden ekologiselle suunnittelulle, jotka on tarkoitus tuoda Euroopan yhteismarkkina-alueelle. Oikosulkumoottoreihin liittyvät vaatimukset määritetään Euroopan unionin komission asetuksessa 640/2009, joka täydentää edellä mainittua direktiiviä.

Asetuksessa moottorilla tarkoitetaan sähköllä toimivaa yksinopeuksista 50 Hz:n tai 50/60 Hz:n kolmivaiheista oikosulkumoottoria [artikla 2 kohta 1]:

- jonka napaluku on 2–6
- jonka nimellisjännite U_N on enintään 1 000 V
- jonka nimellisteho P_N on 0,75–375 kW — joka on suunniteltu jatkuvaan käyttöön.

Tämän lisäksi oikosulkumoottori on määritelty seuraavasti [artikla 3 kohta 3]:

- sähkömoottori, jossa ei ole harjoja, kommutaattoreita, liukurenkaita tai sähköisiä kytkentöjä roottoriin.

Artikla 3 kohta 3 alakohta i määrittää, että 1. tammikuuta 2017 lähtien markkinoille saatetut edellä mainitun määritelmän mukaisten moottoreiden tulee täyttää:

1. Moottoreiden, joiden nimellisteho on 0,75–375 kW, hyötysuhteen on vastattava vähintään liitteessä I olevassa 1 kohdassa määriteltyä hyötysuhdetasoa IE3 tai täytettävä liitteessä I olevassa 1 kohdassa määritelty hyötysuhdetaso IE2 ja oltava varustettu taajuusmuuttajalla.

Nykyisen asetuksen kumoaa komission asetus 2019/1781 alkaen 1. heinäkuuta 2021. Esimerkiksi taajuusmuuttaja ei laske enää hyötysuhdevaatimusta IE3:sta IE2:een:

2. Kolmivaihemootoreiden, joiden nimellisteho on 0,75–1 000 kW, joilla on kaksi, neljä, kuusi tai kahdeksan napaa ja jotka eivät ole Ex eb -tyypin korotetun räjähdyssuojan moottoreita, energiatehokkuuden on vastattava vähintään taulukossa 2 ilmoitettua hyötysuhdetasoa IE3.

Uuden asetuksen voimaantulon jälkeen myös oikosulkumootorit teholuokassa 0,12 kW – 0,75 kW otetaan mukaan sääntelyn piiriin.

5.3 Biohöyrylaitoksen oikosulkumootorit

Esimerkiksi seuraavat laitteet ja järjestelmät käyttävät oikosulkumootoreita voimanlähteinään:

- kahdesta kolakuljettimesta polttoainejärjestelmässä
- biokattilan syöttöruuvit
- lentotuhkan purkuruuvi
- sammutetun kalkin syöttöruuvit
- aluelämpöverkon pumput
- molempien kattiloiden syöttövesipumput
- lauhdepumput, kaukolämpöpumput
- kylmäverkon pumput
- maakaasunkattilan poltin

- primääri-, sekundääri-, kiertoilmapuhaltimet.

Oikosulkumoottoreita käytetään myös talotekniikan puolella mm. ilmanvaihdossa ja poistoilmapuhaltimissa. Tässä työssä on kuitenkin keskitytty prosessin laitteisiin, koska talotekniikan laitteiden teholuokka on prosessin laitteisiin verrattuna muutaman prosentin luokkaa.



Kuva 10 Syöttövesipumput – 2 kpl biokattila, 2 kpl maakaasukattila kesällä 2020

Oikosulkumoottorit tuottavat muutamia toimilaitteita lukuun ottamatta kaiken tarvittavan vääntömomentin laitoksessa. Vaihdemoottorien osalta yhteisteho on 44,11 kW ja puhaltimien 176 kW sekä pumppujen 319 kW. Yhteensä laitoksen oikosulkumoottoreiden akseliteho on talotekniikka mukaan lukien yli 0,55 MW. Ottoteho oikosulkumoottoreille on täten yli 0,6 MW. Kaikki moottoriteholtaan yli 0,75 kW:n moottorit ovat taajuusmuuttajaohjattuja [kuva 8].



Kuva 11 Linjattu juurivalua odottava glykolipumppu

Laitoksen puhaltimet ja pumput eivät toimi jatkuvasti huipputeholla. Pumppujärjestelmät on myös kahdennettu, koska esimerkiksi syöttövesipumput tai lauhdepumput ovat kriittisiä laitoksen toiminnalle ja laiterikon sattuessa voidaan pumppu huoltaa ajamatta lämpölaitosta alas. Jotta pumppujen elinkaari pysyi samalla tasolla, käytetään pumppuja vuorotellen – esimerkiksi käytössä olevaa pumppua vaihdetaan vuorokauden välein.



Kuva 12 Kolakuljetin, joka kuljettaa polttoaineen polttoainesiloon välivarastoon

Pumppuja ohjataan PID-säätimillä, kuten kuvassa 14 varakattilan syöttövesipumppuja. Syöttövettä kattilaan syöttäessä pumpun tuottama paine tulee olla korkeampi kuin kattilan ja syöttövesisäiliön välinen paine-ero sekä kattilan ja syöttövesisäiliön välinen korkeuserosta johtuva hydrostaattinen paine [6, 2.5 s. 150]. Laitoksessa syöttövesipumppujen virtausta säädetään sekä kuristamalla että pumppujen kierrosnopeutta ohjaamalla. Kuristaminen on epätaloudellinen tapa, koska pumppu tekee enemmän työtä kuin pelkän veden virtaaminen vaatisi.



Kuva 13 Tulipesän päälle sijoitettu puhallinryhmä; primääri-, sekundääri- ja kiertokaasupuhallin

Neliöllisellä kuormalla – kuten pumput ja puhaltimet – tehontarve on verrannollinen kierrosluvun kuutioon:

(Kaava 1)

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

(Kaava 2)

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$$

(Kaava 3)

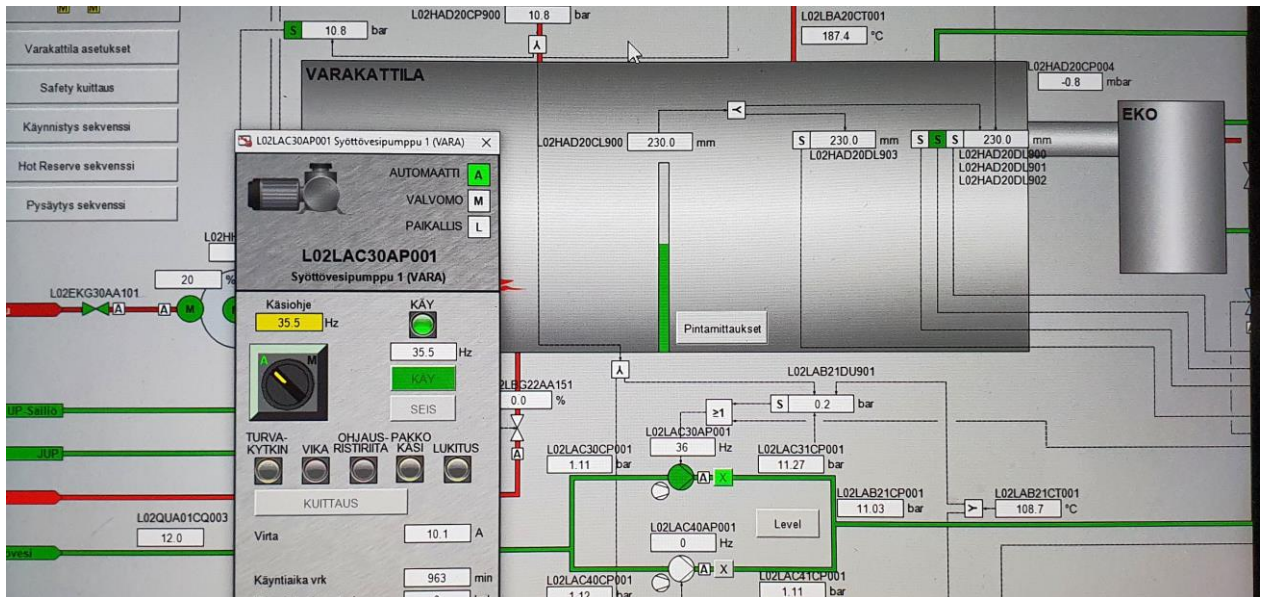
$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

Jossa:

Q_1 on pumpun tuntematon tilavuusvirta	(m ³ /s)
Q_2 on pumpun tunnettu tilavuusvirta	(m ³ /s)
n_1 on pumpun tuntematon tilavuusvirta	(rpm/s)
n_2 on pumpun tunnettu tilavuusvirta	(rpm/s)
H_1 on pumpun tuntematon nostokorkeus	(m)
H_2 on pumpun tunnettu nostokorkeus	(m)
P_1 on pumpun tuntematon teho	(kW)
P_2 on pumpun tunnettu teho	(kW)

Kaavoissa 1–3 on esitetty affiniteettikaavat, joista voidaan todeta, että tilavuusvirta muuttuu suoraan verrannollisesti pumpun kierroslukuun, nostokorkeus muuttuu verrannollisesti kierrosluvun neliöön ja teho kierrosluvun kuutioon. Toisin sanoen pumpun kierrosluvun kasvaessa kaksinkertaiseksi tehontarve kahdeksankertaistuu. Pumppu- ja puhallinkäytössä jo pelkästään sähköenergian säästö on merkittävä taajuusmuuttaja käytöllä verraten DOL-käyttöön.

Taajuusmuuttajakäytöllä saadaan prosessi myös muilta osilta paremmin skaalautuvaksi sekä energiatehokkaammaksi. Mm. moottorien käynnistysmomentti saadaan korkeammaksi sekä käynnistysvirta pienemmäksi, joka voi suoraikäytöllä olla 5–7-kertainen. Vaihtoehtoisesti käynnistysvirtaa voidaan pienentää pehmökäynnistimillä, tähti-kolmiokäynnistyksellä tai varokkeet voidaan varustaa ns. yliheittokytkimellä, jolla käynnistyksen ajaksi voidaan kytkeä korkeamman käynnistysvirran kestävät varokkeet ja käynnistyksen jälkeen käyntivirtaa kestävät varokkeet. Moderneissa teollisuuslaitosten asennuksissa taajuusmuuttajat ovat kuitenkin ylivoimaisesti yleisin käyttötapa.



Kuva 14 Biohöyrylaitoksen varakattilan syöttövesipumput käynnissä sekä pumpun ohjaus avattu valvomo-ohjelmistosta. Syöttövesipumppujen alla näkyy pumppujen erillistuuletus.

5.4 Taajuusmuuttajaohjaus

1-napaparinen oikosulkumoottori pyörii 50 Hz:n vaihtosähköverkossa 3 000 kierrosta minuutissa. Oikosulkumoottorin pyörimisnopeuden muuttaminen on haasteellista pyörimisnopeuden määräytyessä verkon taajuuden sekä moottorin napaparilukumäärän perusteella. Oikosulkumoottorin etuina on kuitenkin pienet huoltokustannukset, rakenteen yksinkertaisuus sekä halvat hankinta- ja elinkaarikustannukset. Heikkoudet voidaan suurimmaksi osaksi välttää taajuusmuuttajaa käyttämällä, jolla manipuloidaan verkon taajuutta halutuksi.

Vaihtosähköä käyttävässä taajuusmuuttajassa vaihtosähkö ensin tasasuunnataan (usein diodisillalla sekä jännitettä tasaavilla komponenteilla) tämän jälkeen syntyvä tasasähkö muutetaan takaisin vaihtosähköksi halutun moottorin kierrosnopeuden sekä vääntömomentin mukaiseksi. Nopeutta säädetään moottorille menevää jännitteen pulssisuhdetta säätämällä, eikä jännite ole enää sinimuotoista kuten verkossa.

Transistoreilla (IGBT) muodostettu vaihtojännite on pulssileveydeltään vaihtelevaa kanttiaaltoa, joka moottorin käämeillä on lähellä sinikäyrää. Yhteismuotoinen jännitteen summa ei ole nolla.

5.5 Laakerivirrat

Taajuusmuuttajaohjattujen moottoreiden oikea asennus ei ole tärkeää ainoastaan EMC-häiriöiden takia. Väärät asennustarvikkeet sekä asennus voivat aiheuttaa myös mekaanisia vaurioita sähkömoottoreissa.

Uusissa taajuusmuuttajissa käytetään IGBT-transistoreja, joiden kytkentätaajuus on korkea. EMC-suojaus on muodostunut tärkeämmäksi kuin aikaisemmin, jolloin taajuusmuuttajien kytkentätaajuudet olivat kymmeniä kertoja matalampia.



Kuva 15 Oikosulkumoottorin rungon lisämaadoitus suoraan perustuksista

Pahimmillaan taajuusmuuttaja ohjatuissa moottoreissa voi esiintyä laakerivaurioita hyvin lyhyen (pahimmillaan puhutaan kuukausista) ajan kuluttua käyttöönotosta. Laakerivirtoja aiheuttaa sähkömoottorin akselin yli induoituva suuritaajuinen jännite. EDM-tyyppiset viat ovat insinööriyön tekijän kokemuksen perusteella yleisiä taajuusmuuttajakäytöissä. Tällä menetetään yksi oikosulkumoottorin eduista eli huoltovapaus.

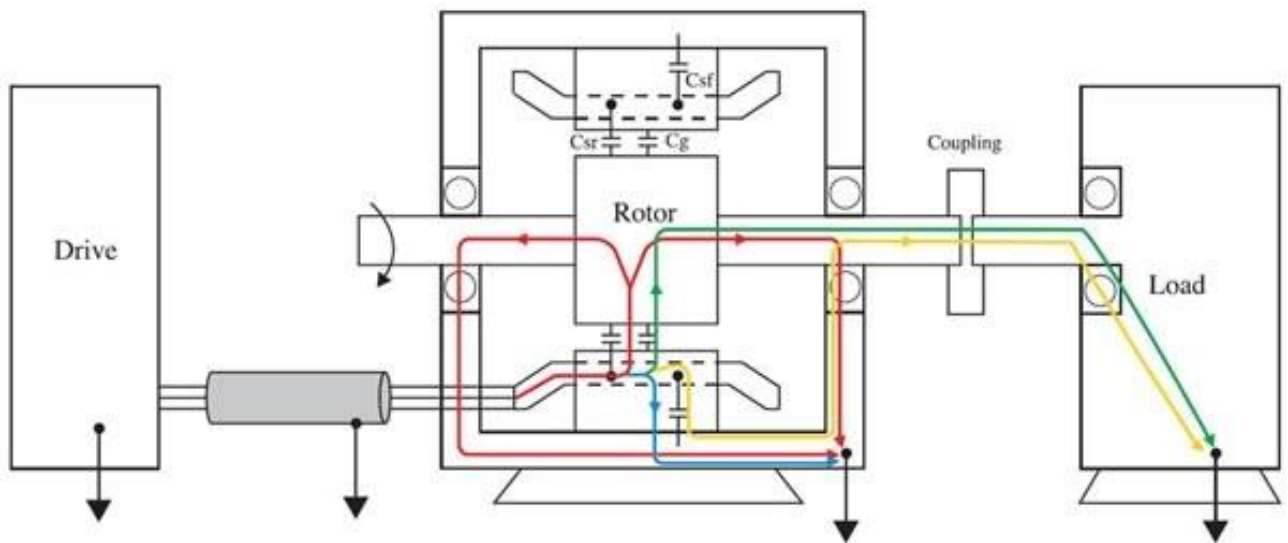
Kolmivaiheisessa DOL-käytössä syöttävä tehonlähde on normaalisti symmetrinen eli vektorien summa on nolla. PWM-taajuusmuuttajalla on kuitenkin tasajännitteestä mahdotonta muodostaa kolmivaihejännitettä, jonka hetkellinen summa on nolla eli toisin sanoen neutraalijännite ei ole nolla voltia. Neutraalijännite voidaan mitata kuorman nollapisteestä, esimerkiksi moottorin käämityksen tähtipisteestä. [8 s.7.]

Suurilla kytkentätaajuuksilla pienetkin kapasitanssit moottorin sisällä muodostavat pieni-impedanssisen reitin virralle. [8 s.8.]

Laakerivirtoja muodostuu kolmella eri tavalla:

- Kiertävä virta – Tyypillisesti yli 50 kW koko luokassa. Sähkömoottorin akselinpäiden välille muodostuu jännite. Jännitteen noustessa tarpeeksi korkealle akselin ja sähkömoottorin rungon välillä tapahtuu läpilyönti laakerin öljykalvosta. Voidaan asentamalla sähkömoottoriin eristetty laakeri, joka estää kiertävät virrat. Tyypillisesti laakerin joka ulko- ja sisäkehä tai molemmat on pinnoitettu alumiinioksidilla.
- Akselinmaadoitusvirta – Jos sähkömoottorin akseli on maadoitettu käytettävän laitteen kautta voi moottorin runkoon muodostuva jännite näkyä laakereissa. Staattorista moottorin runkoon vuota virta on ohjatta takaisin taajuusmuuttajalle. Ottamalla huomioon mahdollisimman pieni impedanssinen reitti lähdepotentiaaliin voidaan tämän tyyppiset virrat välttää.
- Kapasitiivinen purkausvirta – Yleinen pienissä sähkömoottoreissa, jossa yhteismuotoinen jännitteen jakauma moottorin sisäisissä

hajakapasitansseissa voi aiheuttaa niin suuria akselijänniteitä, että niiden seurauksena syntyy suuritaajuisia laakerivirtapulsseja. Eräs tapa on käyttää akselin maadoitukseen hiiliharjatyypistä galvaanista yhteyttä, mutta tällä menetetään yksi oikosulkumoottorin eduista – ei galvaanista yhteyttä akseliin.



Kuva 16 Laakerivirtojen vaihtoehdot a/b/c/d/e [9]

Kuvassa 16 esitetään taajuusmuuttajan, kuorman sekä sähkömoottorin roottorin ja staattorin välillä kulkevien mahdollisten laakerivirtojen reitti:

- Punainen – kuvaa kiertävää laakerivirtaa
- Keltainen – kapasitiivista virtaa rungon ja akselin välillä
- Vihreä – akselin maadoitusvirtaa
- Sininen – staattorin vuotovirtaa runkoon.

Suuritaajuisiin laakerivirtoja voidaan ennaltaehkäistä viidellä tavalla:

- Kaapelointi – Käytetään ainoastaan symmetrisiä monijohdinkaapeleita. Kaapelin maadoituksen tulee olla symmetrinen. Tämä saavutetaan PE-johtimella, joka ympäröi kaikki vaihejohtimia tai jossa maadoitusjohtimet ovat rakenteessa symmetrisesti.
- Lyhyt impedanssireitti - Maadoitus pyritään pitämään mahdollisimman pieni impedanssisena. Moottorikaapeleissa hyvin johtava ja jatkuva suojavaippa sekä kaikkien liitoksien oltava 360° [kuva 13].
- Maadoituskytkennät laitteen ja maatasojen välillä lisäksi käytettävän laitteen ja moottorin rungot oikosulkea.
- Laakerivirtapiiri katkaistaan eristävällä laakerilla.
- Suuritaajuinen yhteismuotoinen virta voidaan vaimentaa suodattimella. [8.]

5.6 Taajuusmuuttajien asennukset ja asennusvalvonta

Kuten aiemmin on mainittu on insinööriyön tekijä tehnyt asennusvalvontaa toteutusvaiheen alusta lähtien niin mekaanisten kuin sähköasennusten osalta. Aikaisempi kokemus EMC-suojausten osalta on ollut, että kaikki komponentit eivät välttämättä ole EMC-luokiteltuja (mm. turvakytkimet, läpivientiholkit) taajuusmuuttajan sekä moottorin kytkentäkotelon välillä. Tätä ilmenee erityisesti, jos prosessin sähköurakoitsijaksi on valittu pääasiassa talotekniikkaan keskittynyt sähköalan yritys.



Kuva 17 Lähteviä moottorikaapeleita taajuusmuuttajilta.

Tämän insinööriyön käsittelemässä projektissa sähköurakoitsijana toimi Kyrön Sähkö Oy, jonka asennusjälki on ollut erittäin korkeatasoista – huomautettavaa ei ole tullut. Kyrön Sähköllä on kokemusta teollisuusasennuksista ja myös kiinteän polttoaineen kattilalaitoksista. Signaalikaapelointi ja vahvavirtakaapelit kulkevat omilla hyllyillään siististi yhdensuuntaisesti eikä ”myttyjä” tai silmukoita ole jätetty [3, 44.11 s. 170]. Kaapelit risteävät ainoastaan 90° kulmassa.

Laitoksella käytettävien Vaconin taajuusmuuttajien ja niillä ohjattavien oikosulkumoottoreiden välillä tulee käyttää ainoastaan moottorikaapeleita, joissa on symmetrinen EMC-suojaus [7, 6.3 s.65]. Kuvassa 16 Kyrön sähkön kaapeloimia moottorikaapeleita – MCCMK eri poikkipinta-aloja – kaapelit ovat taajuusmuuttajan valmistajan ohjeiden mukaisesti kuorittu. Kaapelointi tulee kytkeä taajuusmuuttajalla maadoituspuristusliittimellä 360° maadoituksella taajuusmuuttajan runkoon [8].



Kuva 18 360 astetta maadoitettu MCCMK syöttökaapeli turvakytkimellä

Moottorin turvakytkin Q1 on kytketty EMC-holkeilla sekä taajuusmuuttajalta tulevalta sekä moottorille lähevällä puolella [kuva 18]. Tämän lisäksi moottoreiden rungot on lisämaadoitettu laatan läpi [liite 1/kuva 15]. Lisäpotentialintasauksella on pyritty pienentämään maadoituksen impedanssia.

Lisäksi Vacon industrial 100x taajuusmuuttajan asennusohjeissa annetaan enimmäispituudet moottorikaapeleille, jotka laitoksen asennuksissa eivät ylity.



Kuva 19 Biokattilan savukaasupuhallin

Pitkillä moottorikaapeleilla ohjeistetaan käyttämään hitaampaa kytkentänopeutta kapasitiivisten virtojen vähentämiseksi. Vacon myy taajuusmuuttajiin lisävarusteena moduuleja, kuten du/dt -suodattimia sekä yhteismuodon suodatinta, joilla pyritään vähentämään laakerivirtoja.

Taajuusmuuttajien sekä oikosulkumoottoreiden asennuksien osalta voitiin todeta, että asennukset on toteutettu valmistajan ohjeiden mukaisesti sekä voimassa olevien SFS 6000 -standardien mukaisesti.

5.7 Johtotiet ja kaapelointi

Signaalikaapelit ja tehokaapelit tulee asentaa riittävän etäälle toisistaan. Tämä riippuu kaapeleiden pituuksista, laadusta ja liitoksista. Suositeltavaa on erottaa eri järjestelmien kaapelit erilleen sekä kaapelijärjestelmien väliset risteämät

toteutetaan ainoastaan 90 asteen kulmassa. Tällä vältetään indusoituvien häiriöiden siirtyminen. [3, 44.3 s. 168.]



Kuva 20 Automaatiotilan kaapelihylly, jossa moottorikaapelit (MCCMK) ovat omalla hyllyllään ja signaalikaapelit (Nomak) omallaan sekä vielä aukinainen palokatko

5.8 Puhaltimien värähtelymittaus

Osana käyttöönottoa laitoksen puhaltimille tehtiin värinämittaukset, joissa mitattiin puhaltimien tasapainon lisäksi laakeriarvot. Laakerimittauksessa havaittiin laitoksen suuritehoisimmassa puhaltimessa harmonisia piikkejä. Nämä piikit huononsivat laakeriarvoja. Selvitystyö on edelleen kesken insinööriyön tekohtekellä. Puhallin on 75 kW:n savukaasupuhallin, joka sijaitsee noin 100 kaapelimetrin päässä sähkökeskuksesta, johon kaikki taajuusmuuttajat on keskitetysti koottu.

Mahdollisia korjaustoimenpiteitä ovat tällä hetkellä (25.4.2021) – edellä mainittu Vaconin du/dt-suodatin sekä d-pään laakerin vaihtaminen eristettyyn sähkömoottorissa.

400/690V 75KW 1490RPM. 132/76A

565KG

D- 6317-C3

N- 6314-C3 CIB

600 RPM.

25 Mar 2021 11.51.59 M4. 20HZ				
Asema	Suunta	um rms	mm/s rms	laakeri
1	Horizontal	A (14.33 µm)	A (0.972 mm/s)	A (0.156 gE-kaista3)
	Vertical			
2	Axial	A (20.32 µm)	A (1.20 mm/s)	A (0.222 gE-kaista3)
	Horizontal	A (17.90 µm)	A (1.09 mm/s)	A (0.182 gE-kaista3)
	Vertical			
	Axial			

1050 RPM.

25 Mar 2021 12.02.44 M4. 40HZ				
Asema	Suunta	um rms	mm/s rms	laakeri
1	Horizontal	B (36.49 µm)	C (3.91 mm/s)	C (1.69 gE-kaista3)
	Vertical			
2	Axial	C (53.05 µm)	C (3.08 mm/s)	C (1.63 gE-kaista3)
	Horizontal	B (35.20 µm)	C (3.77 mm/s)	C (1.74 gE-kaista3)
	Vertical	B (33.26 µm)	C (3.54 mm/s)	D (5.19 gE-kaista3)
3	Horizontal			
	Vertical			
	Axial			
4	Horizontal			
	Vertical			
	Axial			

Kuva 21 Laakerimittaukset savukaasupuhaltimen sähkömoottorille

Kuten kuvassa 21 voidaan nähdä, moottoria testataan ajettaessa kierrosnopeudella 20 Hz:n ja 600 RPM, ja testi toistetaan kierrosnopeudella 40 Hz ja 1050 RPM. Tärinäarvot ovat hyvät matalilla kierroksilla, mutta huonotuvat korkeilla kierroksilla. Laakeriarvoissa näkyvä huonontuminen arvioidaan johtuvan taajuusmuuttajasta.

6 Tarkastukset

Laitoksen käyttöönottotarkastuksen pöytäkirjaa ei ole vielä insinööriyön teko-
hetkellä toimitettu. Käyttöönottotarkastuksessa otetaan kuitenkin huomioon,
onko suunnitelmien mukaiset häiriösuojausvaatimukset toteutettu.

- TN-S-järjestelmän käyttö

- laitevalinnat ja laitteiden sijoittelu
- kaapeloinnin asennus
- maadoitukset
- asennusohjeiden noudattaminen.

Erityisiä mittauksia ei vaadita. EMC-vaatimusten toteuttaminen on kuitenkin kirjattava käyttöönottotarkastuspöytäkirjaan. [3, 44.3 s. 168.]



Kuva 22 Kaapelihylly, jossa signaalikaapelit (Nomak) sekä syöttökaapelit (MCCMK) omilla hyllyillään

Koska biolämpölaitos on sähköturvallisuuslain sähkölaitteisto luokkaa 2 c, suoritettiin laitoksella varmennustarkastus 15.4.2021. Häiriösuojauksiin ei ollut huomautettavaa varmennustarkastuksessa. Asennusten todettiin olevan hyvin toteutettuja.

7 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä keskityttiin lämpölaitoksen sähkömagneettiseen yhteensopivuuden arviointiin erityisesti häiriöpäästöjen osalta. Työ käsittelee

suojauksen huomioon ottamista suunnittelussa sekä asennuksissa. Kokemusperusteisesti suojauksen toteuttaminen on huomattavasti kustannustehokkaampaa projektin toteutusvaiheessa kuin laitoksen operatiivisen toiminnan jo ollessa käynnissä. Moottoreiden uudelleen kaapelointi, laitteiden vaihto yhteensopiviksi yms. aiheuttaa operatiivisessa vaiheessa myös välillisiä kustannuksia laitoksessa, joka on tarkoitettu huoltoseisakkeja lukuun ottamatta toimimaan 24 tuntia vuorokaudessa ympärivuoden.

Projektissa maadoitusurakka kuului perustusurakkaan ja maadoitukset herättivät selvästi eniten kysymyksiä perustusurakoitsijassa. Onkin hyvä huomioida, että maadoitus saattaa olla perustusurakoitsijalle tuntematon asia. Tilaajan valvonnan merkitys on merkittävä maadoituksen kaltaisessa piiloon jäävässä työssä. Projektin aikana liitosten sekä asennusten kuvaaminen ennen valamista ja maarakennusta todettiin tärkeäksi. Tämä helpottaa myös mahdollisten muutosten tekemistä tulevaisuudessa.

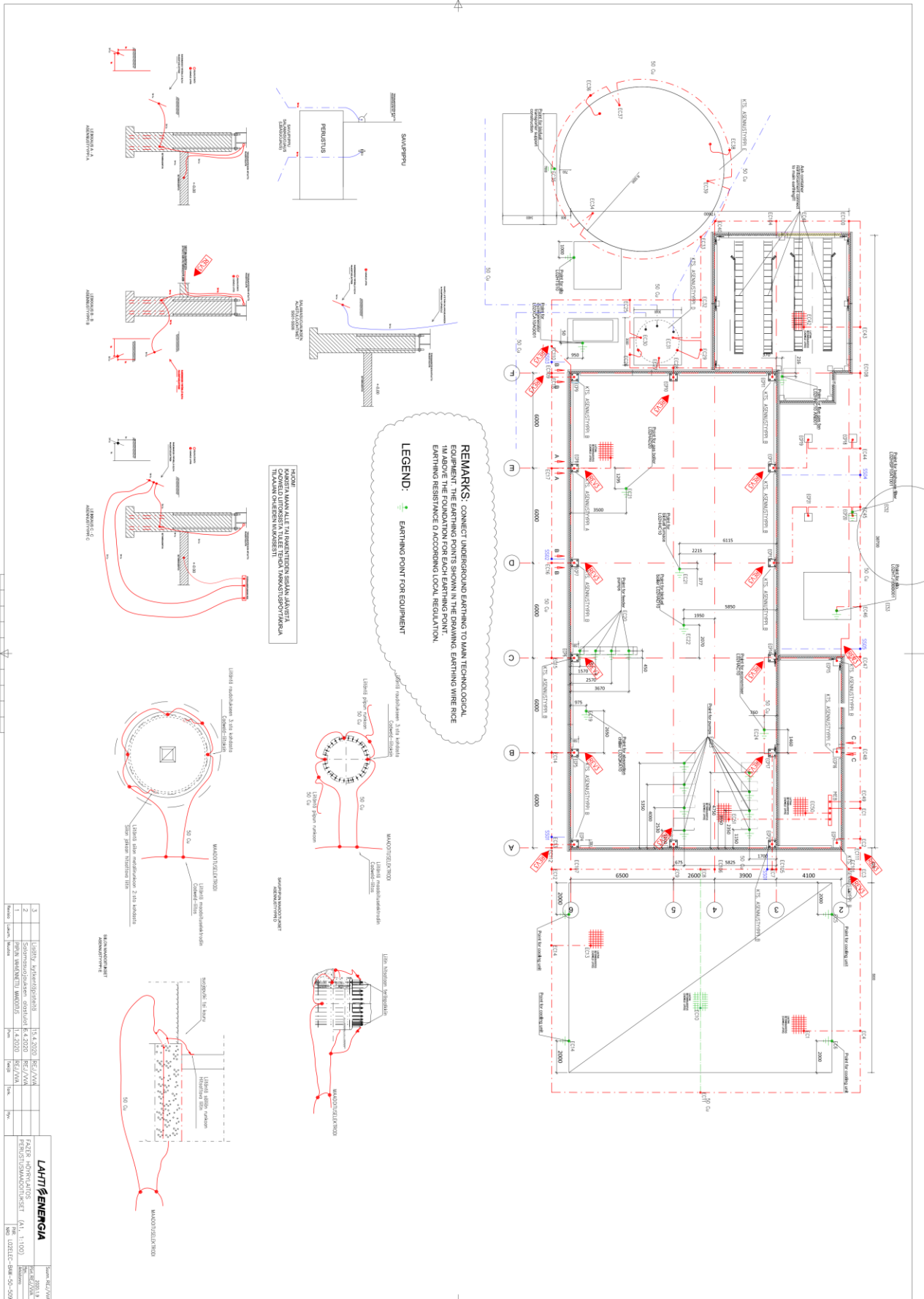
Keväällä 2021 tämän insinööriyön tekohetkellä projektin sähköasennuksien valmiusaste on yli 95 prosenttia ja kaapeloimatta oli ainoastaan yksittäinen päälaitteistosta erillinen laitekokonaisuus. Alun perin insinööriyöhön oli tarkoitus lisätä myös yliaaltomittaukset sekä mahdollinen sähkönlaadun tarkastelu. Tämä kuitenkin jouduttiin rajaamaan aikataulupaineen takia työn ulkopuolelle, koska valmiusaste vielä riittänyt mittaukseen.

Insinööriyön tekohetkellä projekti on vielä kesken, mutta kokonaisuudessaan projekti on antanut erittäin hyvän kokemuksen siitä, missä suunnittelun ja toteutuksen pullonkaulat todennäköisesti sijaitsevat. Projektin tilaajana toimii kumppaniperiaatteella kaksi energia-alan yritystä, joten tilaajalla on korkea osaaminen automaatio- ja sähköasennuksista.

Lähteet

- 1 STEP - Suomen Teollisuuden Energiapalvelut - Palveluntarjonta - Verkkoaineisto, <https://www.stepenergy.veolia.fi/palveluntarjonta/palveluntarjonta> - Luettu 4.4.2021.
- 2 Fazer Ksylitoli - Innovaatio kaurankuoresta - Verkkoaineisto, <https://www.fazermills.com/fi/tuotteet/fazer-ksylitoli/fazer-ksylitoli---inno-vaatio-kaurankuoresta/> - Luettu 1.4.2021.
- 3 D1 - 2017 Käsikirja Rakennusten Sähköasennuksista. Helsinki: Sähköinfo
- 4 Standardisointi Suomessa ja maailmalla - Verkkoaineisto, <https://sfs.fi/osallistu-ja-vaikuta/standardisointi-suomessa-ja-maailmalla/> - Luettu 1.4.2021.
- 5 601:2018. Suurjännitesähköasennukset ja ilmajohdos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- 6 Huhtinen, M. Korhonen, R. Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2008. Voimalaitostekniikka. Opetushallitus. Keuruu: Otava Kirjapaino.
- 7 Vacon käyttöohje. Industrial Flow 1000. Vaasa: Vacon Ltd.
- 8 ABB. Tekninen opas nro 5. Laakerivirrat uusissa vaihtovirtakäytöissä. 2000 Helsinki: ABB Industry Oy.
- 9 K. Vostrov, V. Frolov, V. Shestakov, E. Popkov, A. D. Mitrofanov. Influence of Material and Thickness of Slot Insulation of the Electric Machine on the Bearing Voltage Ratio. Venäjä, Pietari: St. Petersburg Polytechnic University.

Laitoksen perusmaadoitus



Laitoksen maadoituskaavio

