

Joonas Hakala

KONESALIN ETÄVALVONTAJÄRJESTELMÄ

KONESALIN ETÄVALVONTAJÄRJESTELMÄ

Joonas Hakala
Opinnäytetyö
Kevät 2020
Sähkötekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikka, sähkötekniikka

Tekijä: Joonas Hakala
Opinnäytetyön nimi suomeksi: Konesalin etävalvontajärjestelmä
Opinnäytetyön nimi englanniksi: Remote Monitoring System in Data Center
Työn ohjaaja: Ismo Pitkänen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevätlukukausi 2020
Sivumäärä: 31

Opinnäytetyössä saatettiin loppuun kesken jäänyt PME-järjestelmän käyttöönotto. PME on Schneider Electricin kehittämä etävalvontajärjestelmä, jota voidaan soveltaa moniin erilaisiin kohteisiin. Tässä työssä kohteena oli yrityksen konesali, jossa testataan erilaisia tuotekehityksen 4G ja 5G -laitteita.

Työn yhtenä tavoitteena oli lisätä PME-järjestelmään konesalin pohjakuva, josta näkisi reaaliaikaisesti vaihekohtaiset sähkönkulutukset kaikista konesalin virtakiskoista sekä yhdestä tasasuuntaajasta. Lisäksi järjestelmää olisi haluttu testata lämpötilojen mittauksessa, mutta kaikki lisenssit oli jo käytetty virran mittauksiin, joten siitä päätettiin luopua. Työssä perehdytään myös konesalien sähkön laatua käsitteleviin ongelmiin. Isot laitemäärät sekä tietynlaiset laitteet, kuten PC:t, aiheuttavat ongelmia sähkön laadussa. Tällaisissa ympäristöissä etenkin harmoniset yliaallot sekä niiden merkitys korostuvat.

Työ aloitettiin keskustelemalla tilaajan sekä ohjaavan opettajan kanssa, millaista hyötyä PME-järjestelmästä halutaan ja mitä parametreja järjestelmällä kannattaa valvoa. Järjestelmä luotiin yhteistyössä Schneider Electricin kanssa. Kun konesalin pohjakuva oli valmis, alkoi PME-järjestelmään perehtyminen sekä tutustuminen siihen, miten hyvin sähkön laadun valvonta järjestelmällä onnistuu.

Lopputuloksena oli tilaajan haluama konesalin pohjakuva, josta nähdään sähkön vaihekohtaiset kulutukset. Järjestelmän jatkokehitys jäi harkintaan ainakin lämpötilamittausten osalta. Tämä työ toimi samalla myös pilottityönä PME-järjestelmälle. Mikäli järjestelmä osoittautuu käyttökelpoiseksi tällaisessa ympäristössä, sen käyttöönottoa harkitaan myös muissa yrityksen konesaleissa. Työn tilaaja haluaa pysyä tuntemattomana, joten tilaajan nimeä ei mainita.

Asiasanat: Etävalvontajärjestelmä, konesali, sähkön laatu, harmoniset yliaallot

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Electrical and Automation Engineering, Electrical Engineering

Author: Joonas Hakala
Title of thesis: Remote Monitoring System in Data Center
Supervisor: Ismo Pitkänen
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2020
Number of pages: 31

In this thesis an unfinished commissioning of a PME system was followed through. PME is a remote monitoring system developed by Schneider Electric and it can be used in many different places. In this work the place was a data center of a company, where different 4G and 5G devices of product development are tested.

One of the goals of the work was to add the layout of the data center to the PME system, so the electricity consumptions of the power bus bars and the one rectifier can be seen in real time in every phase. In addition, it would have been desirable to test the system for temperature measurement, but all the licenses were already used for the current measurements, so that idea was dropped. The work also examines problems in power quality in data centers. Large amount of equipment and some particular devices, such as PC's, cause problems in the power quality. In these kinds of surroundings, especially harmonics and their significance are emphasized.

The work was started by discussing with the commissioner and the teacher supervisor what kind of usage is wanted out of the PME system and which parameters are worth monitoring with it. The system was created in cooperation with Schneider Electric. After finishing the layout of the data center, we got acquainted with the PME system and started to explore how thoroughly the system can monitor the power quality.

The result of the work was a layout of the data center where electricity consumptions can be seen phase by phase, as the commissioner wished. Further development of the system, considering at least the temperature measurement, will be taken into account later. This work was also a pilot testing to the PME system. If the system proves to be useful in these kinds of surroundings, its usage will also be considered in other product development data centers. The commissioner of this work wishes to stay unknown, so its name will not be mentioned.

Keywords: Remote monitoring system, data center, electric power quality, harmonics

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
SISÄLLYS.....	5
1 JOHDANTO.....	6
2 KOHDE.....	7
2.1 Sähkö.....	8
2.2 Varmennus.....	10
2.3 Jäähdytys.....	11
2.4 Aikaisemmin ilmi tulleita ongelmia.....	11
3 ETÄVALVONTA.....	13
3.1 Valvottavia parametreja.....	13
3.2 Harmoniset yliaallot.....	14
3.3 Lämpötila ja ilmankosteus.....	18
4 POWER MONITORING EXPERT.....	20
5 LOPPUTULOKSET.....	22
6 HUOMIOITA SÄHKÖN LAADUSTA.....	25
7 JATKOKEHITYS.....	28
8 YHTEENVETO.....	29
LÄHTEET.....	31
LIITTEET.....	23

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin yritykselle, jonka nimeä ei mainita. Opinnäytetyössä saatettiin loppuun Schneider Electricin PME-järjestelmän käyttöönotto, joka oli jäänyt kesken. PME on siis Schneiderin kehittämä etävalvontajärjestelmä, jonka nimi tulee sanoista Power Monitoring Expert. Etävalvontajärjestelmä otettiin käyttöön pienehkössä konesalitilassa, jossa on noin 65 räkkipaikkaa. Tämä työ toimi samalla myös pilottikokeiluna PME-järjestelmälle. Mikäli järjestelmä osoittautuu käyttökelpoiseksi tällaisessa ympäristössä, sen käyttöönottoa harkitaan myös muissa tuotekehityksen konesaleissa.

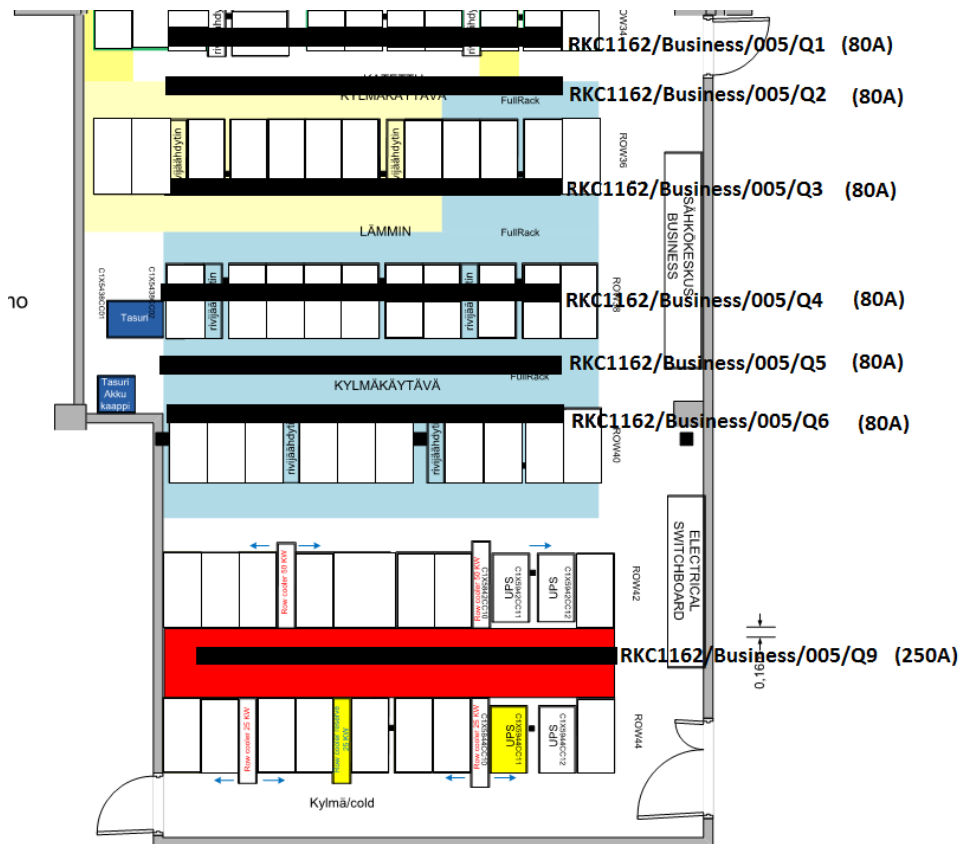
Konesalissa ei ollut minkäänlaista etävalvontaa tai laitteistojen seurantaakaan ennen tämän järjestelmän käyttöönottoa. Etävalvontajärjestelmällä pyritään saamaan lisää käyttövarmuutta ja valvottavuutta konesalitalaan. Konesaleissa oli aikaisemmin ollut ongelmia mm. sähkönjakelun kanssa. Osa virtakiskoista alkoi käydä kapasiteetiltaan liian pieneksi, ja kolmivaihekiskoissa esiintyi vinokuormaa.

Työn tavoitteena oli lisätä järjestelmään konesalin pohjakuva, josta näkisi kaikkien virtakiskojen vaihekohtaiset kuormitukset reaaliajassa. Lisäksi samanlainen pohjakuvaan lisättävä lämpötilojen mittaus oltaisiin haluttu testata tässä pilotti työssä, mutta niistä jouduttiin luopumaan lisenssien puutteen vuoksi. Työssä myös pohditaan millaista hyötyä tällaisesta järjestelmästä voisi olla ja miten helposti sitä pystyttäisiin jatkokehittämään tulevia tarpeita varten. Tarkoituksena oli saada etävalvontajärjestelmästä hyötyä konesalin käyttäjille ja konesalin testausympäristöjä rakentavalle tiimille.

Lisäksi PME-järjestelmän soveltuvuutta sähkön laadunvalvonnassa haluttiin testata. Yrityksen aikaisemmista tapauksista tiedettiin, että vastaavissa konesaliympäristöissä sähkön laatu saattaa heiketä merkittävästi, ja aikaisempiin konesaleihin olikin jouduttu lisäämään erilaisia suodattimia sähkön laadun parantamiseksi. PME-järjestelmästä pystytään näkemään jonkin verran sähkön laadun parametreja, ja tilan sähkön laadun riittävyttä haluttiinkin arvioida tässä työssä.

2 KOHDE

Konesali, johon etävalvonnan pilottiprosessi tehtiin, näkyy kuvassa 1. Konesalissa on n. 65 rakkipaikkaa, joissa testataan tuotekehityksen erilaisia 5G-ratkaisuita. Kuvaan on piirretty myös konesalin virtakiskot, jotka on merkitty kuvassa mustalla. Kuvaan on lisäksi merkitty virtakiskoja syöttävät katkaisijat sekä virtakiskojen kapasiteetti.



KUVA 1. Konesalin pohjakuva

Tilassa on kaksi keskusta, joista toinen palvelee kiinteistön laitteita, kuten valaistusta ja ilmastointilaitteita, ja toinen keskuksista, ns. "business keskus", syöttää sähköä tilassa oleville laitteille ja testiympäristöille. Molemmat keskuksat ovat kuvan 1 oikeassa reunassa. Testiympäristöt koostuvat erilaisista 4G- tai 5G-radiomoduuleista ja -tukiasemista sekä niiden kuormalaitteista, joiden lisäksi tilassa on testiympäristöjen servereitä.

Molempien keskuksien kaikki lähdöt ovat katkaisijoilla varustettuja lähtöjä. Katkaisijat ovat Schneider Electricin kompaktikatkaisijoita. 80 A:n virtakiskoilla katkaisijat ovat mallia NSX 100F ja 250 A:n virtakiskoilla katkaisijoiden malli on NSX 250F, joka nähdään kuvassa 2. Keskuksen sisällä kaikki katkaisijat on liitetty samaan Modbus-väylään, jolloin kaikki tiedot saadaan ulos yhdellä LAN-kaapelilla, mikä helpottaa katkaisijatietojen viemistä PME-järjestelmään.



KUVA 2. Katkaisija, Schneider NSX 250F

2.1 Sähkö

Osa laitteista käyttää normaalia 230 V:n vaihtosähköä, mutta lähes kaikki radiomoduulit sekä tukiasemat toimivat -48 V:n tasajännitteellä. Vaihtosähköllä toimivien laitteiden sähkönsyöttö on toteutettu tilan poikki menevillä virtakiskoilla. Kuvassa 1 nähtävät 80 A:n virtakiskot ovat SKS:n 80 A:n kiskoja ja 250 A:n keskoiset kiskot ovat Siemensin virtakiskoja, joihin voi asentaa virranottimet kiskon

molemmin puolin. Siemensin virtakisko sekä siihen asennettu virranotin on nähtävillä kuvassa 3. Kaikille virtakiskoille on oma katkaisijalähtö keskuksella. Virtakiskoista saadaan virranottimilla suoraan sähköt laitteille, tai vaihtoehtoisesti erilaisille etäohjattaville virtamoduuleille.



KUVA 3. Siemensin 250 A:n virtakisko

Tasasähköllä toimiville laitteille tilassa on tasasuuntaaja, jolle on keskuksella oma katkaisijalähtö. Tasasuuntaajan maksimikuorma tasajännitteellä on 2000 A. Tasasuuntaajalta on vedetty omat lähdöt kaapelihyllyn reunaan kiinni jokaisen rakin yläpuolelle, missä tasasähköä tarvitaan. Pääsääntöisesti kaikki tasasuuntaajan lähdöt ovat 125 A:n johdonsuojalähtöjä. Tasasähköä käyttävissä räkeissä on omat etäohjattavat virtalähteet, joissa on mallista riippuen 8 tai 16 etäohjattavaa johdonsuojalähtöä. Etäohjattava virtalähde on nähtävissä kuvassa 4. Kaikki 16 etäohjattavaa lähtöä on vaihdettavissa. Moduuleita on saatavilla eri kokoisilla johdonsuojilla.



KUVA 4. Etäohjattava DC-virtalähde.

2.2 Varmennus

Tilan laitteet on määritetty niin kriittisiksi, että ne tarvitsevat varmennettua sähköä. Vaihtosähkön osalta kaikki virtakiskot ovat varmennettu neljällä online UPS:lla. UPS-laitteilla pyritään saavuttamaan noin viiden minuutin varmennus. Varmennuksella pyritään estämään mikrokatkokset eli erittäin lyhyet sähkökatkot, jotka johtuvat verkossa tapahtuvista häiriöistä. Nämä mikrokatkokset vaurioittavat hyvin helposti konesalissa olevia herkkiä elektronisia laitteita.

Tasasähköä käyttävien laitteiden varmennus on hoidettu yhdellä tasasuuntaajaan liitetyllä akkukaapilla. Akkukaapissa olevilla akustoilla pyritään saavuttamaan noin viiden minuutin varmennus tasasähköä käyttäville laitteille. Varmennuksen aika vaihtelee tietysti konesalin kuormituksen mukaan.

Lisäksi osassa laitteista on mahdollisuus kaksinkertaiselle sähkönsyötölle. Tällä pystytään lisäämään varmuutta kriittisimmissä laitteissa. Tällaisten laitteiden sähkönsyöttö voidaan toteuttaa ottamalla sähköt toisistaan erillään olevista virranottimista. Mikäli se on mahdollista toteutetaan varmistus vielä paremmin ja otetaan laitteen sähkönsyötöt kokonaan eri kiskoista, jolloin vältetään laitteen sammuminen myös, mikäli koko kiskosta katkeaa sähköt ylikuorman tai oikosulun takia.

2.3 Jäähdytys

Sähkönjakelun lisäksi toinen hyvin kriittinen tekijä tällaisessa konesalissa on jäähdytys. Tilassa olevista laitteista kertyy hyvin paljon lämpökuormaa, minkä vuoksi laitteet tarvitsevat jäähdytystä. Jäähdytys on toteutettu rivijäähdyttimillä, joita on tilassa yhteensä 12 kappaletta.

Jäähdytys on toteutettu kylmä–kuuma-käytävä-tekniikalla, jossa joka toinen käytävästä on katettu kylmäkäytävä ja joka toinen on kuumakäytävä. Rivijäähdyttimet puhaltavat kylmän ilman kylmille käytäville, ja ilmanvaihto imee kuumaa ilmaa kuumilta käytäviltä pois. Jotta ilma saadaan kiertämään kylmiltä käytäviltä kuumille käytäville, tarvitaan puhaltimia. Osassa laitteista on itsessään puhaltimet, ja mikäli niitä ei laitteessa ole, lisätään räkkeihin kiinnitettävät puhaltimet laitteen kohdalle. Yleisesti konesalissa kaikille laitteille pyritään järjestämään jäähdytys puhalluksen avulla, että laitteet eivät ylikuumene tai rikkoudu lämmön vaikutuksesta.

2.4 Aikaisemmin ilmi tulleita ongelmia

Sähkönjakelun puolella on aikaisemmin ollut ongelmia lähinnä ylikuormituksen kanssa. Yksittäinen virtakisko palvelee yleensä useampaa eri testausympäristöä, ja varsinkin pienemmillä kiskoilla, kuten 16 A:n kolmivaiheisilla kosketinkiskoilla, on usein ollut ongelmana ylikuormitus. Kosketinkiskot ovat lisäksi varustettuja vikavirtasuojilla, ja mikäli yhdenkin vaiheen vikavirtasuoja laukeaa, se aiheuttaa katkon koko kiskolle. Yksittäisen virtakiskon katko vaarantaa siis useampia eri testaustiimien testejä. Ongelma on pyritty ratkaisemaan sillä, että hankkiudutaan eroon 16 A:n kosketinkiskoista, koska niissä on selvästi liian pieni kapasiteetti tällaiseen testauskäyttöön.

Uusissa tiloissa pyritään käyttämään siis vähintään 80 A:n kiskoja, joihin pystytään asentamaan sellaiset virranottimet, jotka ovat varustettuja omilla johdonsuojakatkaisijoilla, joihin on sisällytetty myös vikavirtasuojakytkimet. Tällöin kiskoissa

ei tarvita enää vikavirtasuojakytkimiä. Tietysti myös näillä isommilla 80 A:n kiskoilla ylikuormitus tai oikosulku ovat mahdollisia.

Epätasaista kuormitusta virtakiskoilla on pyritty välttämään. Se on kuitenkin hankalaa, koska virtakiskojen virranmittaus saattaa olla keskuksella lähdön yhteydessä tai kiskon päässä kaapelihyllyjen yläpuolella piilossa. Konesaleissa käy kuitenkin kymmeniä tai jopa satoja käyttäjiä viikossa, ja kaikilla ei ole ymmärrystä tai edes kiinnostusta tutkia virtakiskojen kuormia ennen sähköjen kytkemistä.

Tasasuuntaajilla on käynyt lisäksi pari kertaa niin, että ne ovat sammuneet täysin tuntemattomasta syystä. Ei tiedetä, onko kyseessä ollut koko konesalin katkos, vai onko vika ollut tasasuuntaajissa. Tämä tieto nähdään kuitenkin tasasuuntaajien lokitiedoista.

Jäähdytyksen puolella ongelmana ovat olleet kuormalaitealueet, joissa kuormalaitteiden käyttämä sähköteho on melko suurta, jolloin myös hukkalämpöä syntyy hyvin paljon. Näillä alueilla tarvitaan yleensä tehostettua jäähdytystä. Ongelmana on myös, että kuormalaitteet ajavat itsensä alas ja alkavat toimimaan epävaakaasti, mikäli lämpötila nousee liian suureksi.

Tiloissa, joissa jäähdytys on toteutettu niin, että kylmäkäytävälle pusketaan kylmää ilmaa asennuslattian alapuolelta, on ollut ongelmana erilaiset pyörrevirrät asennuslattian alla. Kun kylmälaitteet puhaltavat toisiaan vasten konesaliin asennuslattian alla, sinne syntyy pyörrevirtoja, jolloin joillain alueilla kylmää ilmaa ei nouse asennuslattian alta tarpeeksi kylmäkäytävälle. Tällaista ongelmaa ei ole kuitenkaan ollut tässä konesalissa, sillä jäähdytys on toteutettu eri tavalla.

3 ETÄVALVONTA

Etävalvonnalla tarkoitetaan esimerkiksi juuri konesalin laitteiden valvontaa etänä. Sillä pyritään luomaan käyttövarmuutta konesalitiiloihin sekä helpottamaan tilan käyttäjien elämää. Etävalvontajärjestelmästä on helppo nähdä yhdellä vilkaisulla koko konesalin tilanne, sekä mahdolliset hälytykset. Järjestelmä voidaan luoda asiakaskohtaisten tarpeiden mukaan, ja sillä voidaan seurata juuri niitä asioita, joita asiakas haluaa.

Asennustiimin arkea helpottaa se, että vian sattuessa voidaan etävalvontajärjestelmää käyttää apuna vikapaikan löytämiseen. Tähän asti konesalin käyttäjät ovat ilmoittaneet asennustiimille laitteiden olevan ilman sähköä, ja asennustiimi on joutunut selvittämään vikapaikan kaapeleita seuraten. Kun etävalvontajärjestelmä otetaan käyttöön, ei asennustiimillä kulu enää turhaa aikaa vian paikallistamiseen.

3.1 Valvottavia parametreja

Etävalvonnassa yksi tärkeistä valvottavista kohteista on sähköön laatu. Standardeissa on määritelty monia eri parametreja sähkölle sen laadun osalta. Sähköön tulee olla riittävän laadukasta, että laitteet toimivat moitteettomasti eivätkä rikoudu. Suomessa jakeluverkon sähköön ominaisuuksia koskeva standardi on SFS-EN 50160.

Yksi sähköön laatua koskevista parametreista on jännite. Jännitteestä ei ole säädetty kovin tarkkoja raja-arvoja standardeissa, vaan yleinen määräys on, että jännitetason vaihtelut eivät saisi ylittää $\pm 10\%$:a verkon nimellisjännitteestä. Poikkeustapauksissa syrjäseuduilla jännitetason alarajaksi on säädetty -15% verkon nimellisjännitteestä. Suomessa 400 V:n jännitteellä tämä tarkoittaisi, että jännitetason vaihteluiden tulisi pysyä 360 V:n ja 440 V:n välillä. (1, s. 20.)

Nopea jännitteen vaihtelu voi aiheutua esimerkiksi kuormien päälle- ja poiskytkemisistä keskijänniteverkon puolella. Tästä aiheutuvat jännitekuopat ja jännitteen nousut voivat saada aikaan valojen välkyntää tai jopa häiriöitä herkille laitteille. (2, s. 1.)

Erittäin nopeita, mikrosekunteja kestäviä jännitepiikkejä kutsutaan transienttiylijännitteeksi. Tällaiset piikit voivat johtua sulakkeiden palamisesta, ylijännitesuojan toiminnasta tai vaikka eristimen läpilyönnistä. Transienttiylijännitteet aiheuttavat ongelmia etenkin herkille elektronisille laitteille, kuten tietokoneille. Laitteet saattavat vahingoittua tai tietoja saattaa tuhoutua. (2, s. 3.)

Toinen sähköverkon parametri, jolle on määritelty standardeissa raja-arvot, on taajuus. Suomessa sähköverkon ominaistajuus on 50 Hz. Taajuuden vaihteluiden osalta standardeissa on määritelty taulukossa 1 nähtävät rajat. Erillisverkolla tarkoitetaan esimerkiksi yksittäisiä saaria tai muita vastaavia sähköverkkoja. Taajuuspoikkeamat johtuvat yleensä kuormien kytkemisistä sekä irrottamisista. Myös taajuuspoikkeamat voivat aiheuttaa erilaisia häiriöitä laitteille. (1, s. 20.)

TAULUKKO 1. Verkkotaajuuden sallitut vaihtelut 50 Hz:n verkossa (1, s. 20)

Yhteiskäyttöverkoissa		
50 Hz ± 1 %	eli 49,5–50,5 Hz	99,5 % vuodesta
50 Hz +4 % / –6 %	eli 47,0–52,0 Hz	100 % ajasta
Erillisverkoissa		
50 Hz ± 2 %	eli 49,0–51,0 Hz	95 % viikosta
50 Hz ± 15 %	eli 42,5–57,5 Hz	100 % ajasta

3.2 Harmoniset yliaallot

Yliaallot ovat poikkeamia normaalista sinimuotoisesta 50 Hz:n verkkotaajuudesta. Yliaallot voivat johtua useista eri syistä, esimerkiksi tasasuuntaajista, taajuusmuuttajista, hakkuritehonlähteistä tai epäsymmetrisestä kuormituksesta.

Hyvä esimerkkilaitte, joka aiheuttaa yliaaltoja, on PC. Yliaallot voivat olla harmonisia tai epäharmonisia. Harmoniset yliaallot ovat 50 Hz:n verkkotaajuuden monikertoja. Toinen yliaalto on 100 Hz, kolmas yliaalto on 150 Hz, viides yliaalto on 250 Hz ja niin edelleen. Epäharmoniset yliaallot eivät ole verkkotaajuuden monikertoja, vaan eri taajuuksia monikertojen välillä. Yleisimpiä yliaaltoja ovat kolmas, viides, seitsemäs ja yhdestoista yliaalto. Yliaallot jaetaan parillisiin ja parittomiin yliaaltoihin – parilliset yliaallot ovat negatiivisia ja parittomat positiivisia. Moottori-käytöissä positiiviset yliaallot saavat moottorin pyörimään nopeammin, ja negatiiviset yliaallot hitaammin. (2, s. 4.)

Yliaaltoja esiintyy sekä jännitteellä että virralla, mutta virralla esiintyvät yliaallot ovat yleensä merkityksellisempiä. Tasaisesti kuormitetussa kolmivaihejärjestelmässä, jossa ei esiinny yliaaltoja nollajohtimessa, ei kulje virtaa. Yliaallot eivät kuitenkaan kumoudu nollajohtimessa, vaan kuormittavat sitä. Mikäli siis kolmivaihejärjestelmän vaihekuormat ovat tasaisia, mutta nollajohtimessa kulkee merkittävä virta, kyse on luultavimmin yliaalloista. Merkittävin yliaalto, joka summautuu nollajohtimeen, on kolmas yliaalto. Pahimmissa tapauksissa nollajohtimen virta voi kasvaa jopa vaihevirtoja suuremmaksi, ja tämä täytyy huomioida nollajohtimen mitoituksessa. Mikäli harmonisten yliaaltojen tehollisarvo on yli 15 % kokonaisvirran tehollisarvosta, nollajohdin ei saa olla vaihejohtimia pienempi. Mitoitus tehdään taulukon 2 mukaisesti kolmannen yliaallon kohdalla. Muille yliaalloille sekä epäsymmetrisille kuormille voi olla tarpeen käyttää muita korjauskertoimia. (3, s. 64.)

Esimerkkinä on 80 A:n kestoisen virtakiskon syöttö. Mikäli kolmannen yliaallon osuus virtakiskossa olisi vaikkapa 20 %, käytettäisiin korjauskerrointa 0,86, jolloin mitoitus tehtäisiin vaihevirran perusteella, ja jokaisen kuormitetun johtimen tulisi kestää vähintään $80 \text{ A} / 0,86 = 93 \text{ A}$. Mikäli kolmannen yliaallon osuus olisi samaisella virtakiskolla 40 %, mitoitus tehtäisiin nollajohtimen perusteella, jolloin johtimien tulisi kestää $(80 \text{ A} \times 0,4 \times 3) / 0,86 = 110 \text{ A}$. Viimeisenä esimerkkinä on tapaus, jossa kolmannen yliaallon osuus on 50 %. Tällöin kaapeleiden kuormitettavuus laskettaisiin täysin nollajohtimeen perustuen, jolloin kaapeleiden kuormitettavuus tulisi olla vähintään $80 \text{ A} \times 0,5 \times 3 = 120 \text{ A}$. Laskuesimerkeissä ei ole

otettu huomioon asennusolosuhteista tai johdinmateriaaleista johtuvia korjauskertoimia. (3, s. 65.)

TAULUKKO 2. Kolmannen yliaallon vaikutus kaapeleiden mitoituksessa (3, s. 65)

Kolmannen yliaallon osuus vaihevirrasta %	Korjauskerroin	
	Mitoitus tehdään vaihevirran perusteella	Mitoitus tehdään nollajohtimen virran perusteella
0 – 15	1,0	–
15 – 33	0,86	–
33 – 45	–	0,86
>45	–	1,0

Jännitteellä yliaallot aiheuttavat jännitteen säröytymistä. Säröytynyt jännite ei ole puhdasta sinimuotoista jännitettä, vaan se on muuttunut epälineaariseksi. Laitteissa, kuten tietokoneissa tai vaikka releissä ja sulakkeissa, jännitesärö saattaa aiheuttaa erilaisia toimintahäiriöitä. Teknologisen kehityksen myötä erilaisissa laitteissa on entistä hienompaa elektroniikkaa, joka vaatii korkealaatuista sähköä toimiakseen oikein. (4, s. 3.)

SFS-EN 50160 -standardeissa on määritelty tarkat rajat sille, miten paljon sähköverkossa sallitaan yliaaltojännitteitä. Rajat on määritetty aina 25. yliaaltoon saakka. Viikon mittaisen mittausjakson aikana 10 minuutin keskiarvoihin pilkottuna jokaisen harmonisen yliaallon monikerran tulee pysyä 95 % ajasta taulukossa 3 annettujen arvojen sisäpuolella. Lisäksi kokonaissärökertoimen THD (Total Harmonic Distortion) tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin 8 %. (1, s. 22.)

TAULUKKO 3. Yliaaltojännitteille määritellyt rajat (1, s. 22)

Parittomat yliaallot				Parilliset yliaallot	
Kolmella jaottomat		Kolmella jaolliset			
Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (U_h)	Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (U_h)	Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (U_h)
5	6,0 %	3	5,0 %	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6...24	0,5 %
13	3,0 %	21	0,5 %		
17	2,0 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				
HUOM. Järjestysluvultaan yli 25 harmonisille ei anneta arvoja, koska ne ovat tavallisesti pieniä ja hyvin arvaamattomia resonanssitilanteiden vuoksi.					

Sähköverkossa sekä jännite että taajuus on määritelty pysyväksi suureeksi, ja virran kulutus vaihtelee kuormituksien mukaan. Yliaaltovirroille ei ole siis määritetty selviä raja-arvoja standardeissa. IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) antaa kuitenkin omissa standardeissaan suosituksia yliaaltovirtojen suuruuksista eri jännitetasoilla. Yliaaltovirtoja analysoitaessa oikosulkuvirta suhteutetaan kuormitusvirtaan. Lisäksi yliaaltovirtojen analysointiin käytetään usein TDD:tä (Total Demand Distortion), kokonaiskuormasäröä. TDD on parempi esimerkiksi pienikuormaisilla laitteilla. Pienillä virroilla kokonaissärökerroin THD saattaa olla suuri, vaikka verkkoon tämä laite ei aiheuttaisikaan isoja häiriöitä. Suuremmille kuormituksille asetetaan aina tiukemmat rajat yliaaltovirtojen suhteen, koska niillä on suuremmat vaikutukset sähköverkkoon. (5.)

Taulukossa 4 nähdään 0,12–69 kilovoltin jännitteille määritellyt raja-arvot IEEE std 519:n mukaan. Parillisten kertalukujen yliaaltovirtojen raja on 0,25-kertainen taulukon antamiin raja-arvoihin nähden. I_{sc} tarkoittaa oikosulkuvirtaa ja I_L kuormitusvirtaa. Ensin lasketaan oikosulkuvirran ja kuormitusvirran suhde, joka määrittää, mitä taulukon vaakariveistä käytetään. Mikäli oikosulkuvirran ja kuormitusvirran suhde on esimerkiksi 35, käytetään toista vaakariviä. Tällöin kolmannen ja yhdennessatoista yliaallon sekä niiden välillä olevien parittomien yliaaltojen prosenttiosuus kuormitusvirrasta saa olla 7 %. Parillisilla vastaava osuus on $0,25 \times 7 \%$, eli 1,75 %. (6, s. 6.)

TAULUKKO 4. IEEE-standardissa määritellyt rajat yliaaltovirroille (6, s. 6)

Kuormavirtaan I_L suhteutetut sallitut rajat prosentteina						
Harmonisen kertaluvun n parittomat yliaaltovirrat						
I_{SC}/I_L	$3 \leq n < 11$	$11 \leq n < 17$	$17 \leq n < 23$	$23 \leq n < 35$	$35 \leq n < 50$	TDD
<20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20<50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50<100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100<1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
≥ 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

3.3 Lämpötila ja ilmankosteus

Konesalissa olevien laitteiden kuormitukset saattavat vaihdella päivän aikana ja niin myös lämpötila saattaa muuttua. Pienet lämpötilan heilahtelut eivät ole vielä merkittäviä, mutta mikäli lämpötilat nousevat suuresti, tällaisiin tilanteisiin kannattaa puuttua riittävän ajoissa. Mikäli lämpötilat nousevat laitteille liian suuriksi, ne saattavat vaurioitua, tai älykkäimmät laitteet saattavat ajaa itsensä alas.

Yleensä lämpötilan muutokset konesaleissa johtuvat kuormituksen lisääntymisestä. Kattavalla lämpötilan etävalvonnalla pystytään näkemään helposti ne alueet, missä lämpötilan nousu on ollut kriittisintä. Tällaisissa tapauksissa voidaan koko konesalin lämpötilaa laskea, tai mikäli ongelma on kohdistunut vain tietylle alueelle, voidaan selvittää ne laitteet, jotka aiheuttavat lämpötilan nousua, ja niitä voidaan mahdollisesti hajauttaa. Mikäli mahdollista, tällaiselle korkean lämpökuorman alueelle pyritään vaihtoehtoisesti lisäämään kohdennettua jäähdytystä vaikkapa rivijäähdyttimin.

Ilmankosteutta on taas hyvä seurata mm. ESD:n (Electro Static Discharge) kannalta. Kun kaksi materiaalia hankaa toisiaan vasten, syntyy staattista sähköä, ja kappaleiden välille syntyy potentiaaliero. Kun eri potentiaalissa oleva johtava kappale koskettaa toista johtavaa kappaletta, näiden välinen potentiaaliero tasaantuu ja syntyy elektrostaattinen purkaus. Tunnetuimpana esimerkkinä elektrostaattisesta purkauksesta on ihan arkielämässä pieni sähköisku, jonka voi

saada koskettaessaan vaikkapa jotain metallista pintaa. Tällaisien pienien sähköiskujen jännitteet voivat olla jopa tuhansia voltteja.

Herkät elektroniset komponentit vahingoittuvat tällaisista elektrostaattisista purkauksista. Ne eivät välttämättä heti lakkaa toimimasta, mutta niiden elinikä saat-
taa lyhentyä merkittävästi. Herkimvät komponentit saattavat vaurioitua jo alle 100 voltin purkauksista. Tällaisia purkauksia ihminen ei pysty edes tuntemaan. Elektrostaattiset purkaukset ovatkin monesti täysin huomaamattomia, ja tästä syystä ESD-suojau-
sta vähätellään, koska ihminen ei pysty näkemään aiheutta-
maansa vahinkoa.

Elektrostaattisilta purkauksilta pystytään kuitenkin suojautumaan. Suojautumi-
sessa käytetään osittain johtavia materiaaleja, jotka poistavat pinnoilta varausta
tasaisesti niin, että vaurioita ei pääse syntymään. Suojautumiseen on monia ta-
poja, kuten ESD-vaatetus. Lisäksi konesalitilat on varustettu ESD-lattioilla, sekä
rakit on maalattu ESD-maalilla. Kaikille näille pinnoille on määritelty sopiva ilman-
kosteus, jotta materiaalit poistavat varauksia oikealla tavalla. Yleensä suhteelli-
nen ilmankosteus tällaisissa tiloissa pyritään pitämään yli 20 %:ssa, mutta myös
liian korkea ilmankosteus on haitaksi (7, s. 67). Suhteellinen ilmankosteus on
prosenttiluku, joka kuvaa vesihöyryn määrää tietyssä lämpötilassa suhteutettuna
tämän lämpötilan maksimaaliseen vesihöyryn määrään. Ilmankosteutta pysty-
tään hallitsemaan ilmanvaihtojärjestelmällä.

4 POWER MONITORING EXPERT

Power Monitoring Expert, lyhennettynä PME, on Schneider Electricin kehittämä energianhallintajärjestelmä. Järjestelmään voidaan liittää lähes mitä tahansa laitteita aina keskijänniteverkon suojareleista pienjänniteverkon mittareihin, katkaisijoihin, UPS-laitteisiin ja niin edelleen. Järjestelmällä pystytään mallintamaan sähkönjakeluverkkoa yksiviivaesityksenä, josta voidaan nähdä esimerkiksi katkaisijoiden tilat tai hetkellisiä kuormituksia reaaliajassa. Kuvassa 5 on nähtävissä yleisnäkymä PME-järjestelmän aloitussivusta. (8, s. 4.)



KUVA 5. Schneider PME-järjestelmä

Järjestelmään liitetyille laitteille pystytään määrittelemään ohjelmassa erilaisia hälytyksiä. Hälytykset tallennetaan järjestelmään aikaleimattuina. Järjestelmään pystyy myös luomaan eri tasoisia hälytyksiä esimerkiksi värikoodattuina, tai vaikka lähettämään sähköpostin käyttäjille, jos jotain oikein kriittistä tapahtuu. Järjestelmä pystyy myös luomaan erilaisia trendejä keräämästään datasta, ja sillä on helppo vertailla vaikkapa energiankulutuksen vaihteluita eri kuukausina tai vuositasolla.

Järjestelmää voidaan laajentaa ja muokata osissa: kaiken ei tarvitse olla heti valmiina ja järjestelmä on kuitenkin käytettävissä. Lisäksi eri näkymiä ja raportteja voidaan muokata sitä mukaa, kun laitteita saadaan liitettyä verkkoon. Mikäli kohderakennuksissa on käytössä muita kiinteistönhallintajärjestelmiä, PME pystyy keskustelemaan niiden kanssa ja joko saamaan niiltä erilaisia tietoja, tai itse antamaan omasta järjestelmästänsä dataa muiden kiinteistönhallintajärjestelmien käyttöön.

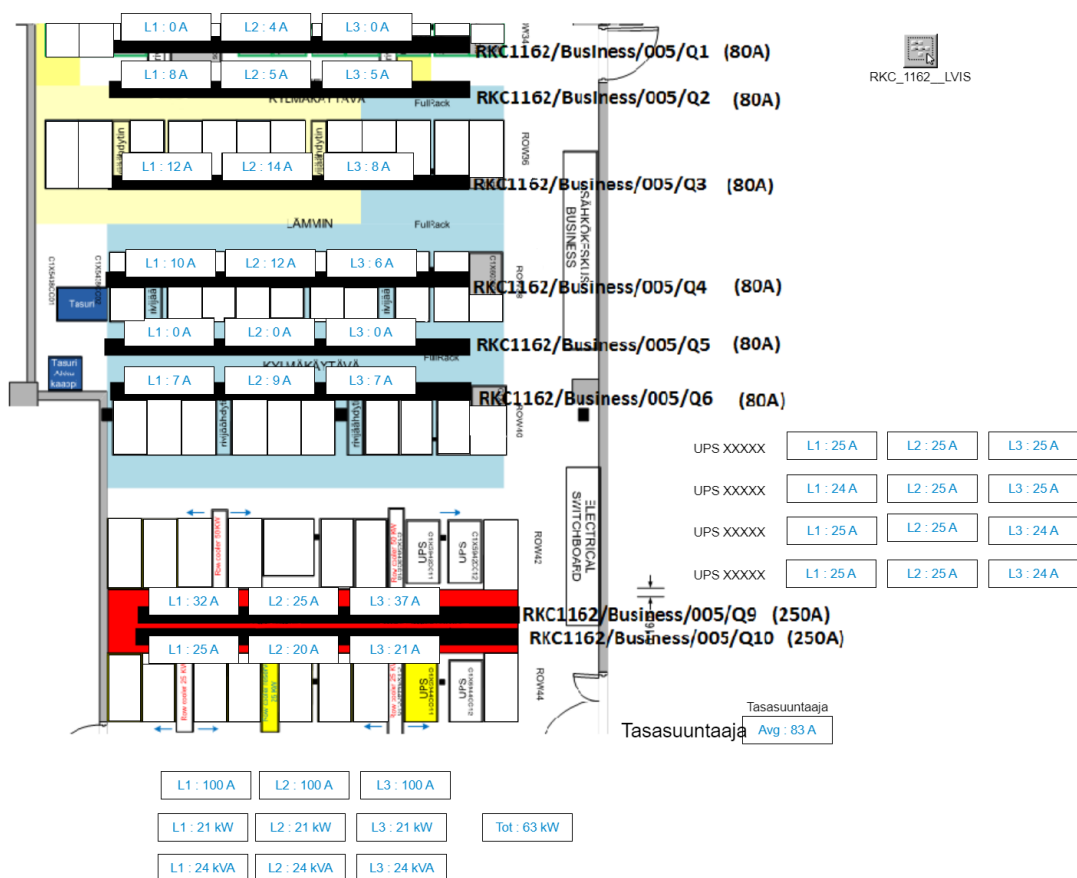
Kustannukset kertyvät järjestelmään liitetyistä laitteista. Kaikista liitetyistä laitteista maksetaan lisenssejä, joiden hinta taas määräytyy laitteiden määrän perusteella. Itse PME-ohjelmisto myydään omaksi ilman erillisiä kuukausimaksuja. Tietokannan pyörittämiseen tarvitaan lisäksi Microsoftin SQL server -lisenssi sekä itse serverirauta.

PME-järjestelmä täyttää ISO50001-vaatimukset ja sitä voidaan käyttää myös EN16247:n mukaiseen energian auditointiin (8, s.17). EN16247-standardisarjan tarkoituksena on auttaa yrityksiä kaikkialla Euroopassa noudattamaan Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivin vaatimuksia. Energiatehokkuusdirektiivillä pyritään saavuttamaan energiankulutuksen vähentämistä koskevat tavoitteet.

(9.)

5 LOPPUTULOKSET

Lopputuotoksena työssä oli konesalin pohjakuva, johon on lisätty kaikkien keskukselta lähtevien kiskojen, tasasuuntaajan sekä UPS-laitteiden kulutukset. Kuten kuvasta 6 nähdään, kaikkien virtakiskojen päälle on lisätty niiden vaihekohtaiset reaaliaikaiset kuormat. Pohjakuvasta on helppo tehdä pikainen katsaus, mille vaiheelle kuormaa kannattaa lisätä, jos on lisäämässä jotain yksittäistä laitetta konesaliin. Järjestelmä luotiin Schneider Electricin kanssa yhteistyössä.



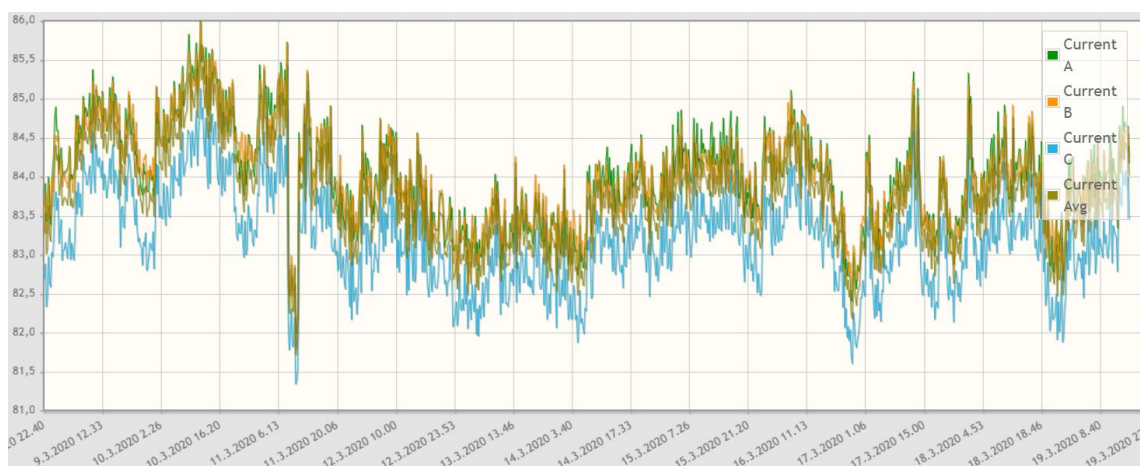
KUVA 6. Vaihekohtaiset virrankulutukset konesalissa

Järjestelmään luotiin lisäksi ominaisuus, joka muuttaa kulutuksien taustaväritystä kuormitusilanteen mukaan. Tämä helpottaa konesalin käyttäjien arkea ja lisää ymmärrystä kiskojen kuormitusilanteesta. Pienemmille 80 A:n virtakiskoille väri-indikointi luotiin niin, että kun kiskon kulutus nousee yli 50 A:n, väri muuttuu

oranssiksi ja kun virta ylittää 70 A, väri muuttuu punaiseksi. Isommille 250 A:n kiskoille tehtiin sama värikoodaus, jossa raja-arvot olivat 180 A ja 220 A.

Hetkellisten kuormitusten seuraaminen on hyvä lisättäessä yksittäisiä laitteita, joiden kulutukset eivät ole suuria. Konesalissa kulutus voi kuitenkin vaihdella paljonkin jopa yhden päivän aikana. Kaikki laitteet eivät ole koko ajan päällä, ja niiden tehon kulutus voi vaihdella hetkessä. Laitteita pystytään ohjaamaan etänä, ja esimerkiksi nostettaessa erilaisia testiympäristöjä ylös, jolloin suuri määrä laitteita käynnistyy samaan aikaan, voi tehon kulutus nousta hetkellisesti kriittiselle tasolle. Tästä syystä on hyvä seurata kulutuksia myös pitemmällä aikavälillä, varsinkin, jos konesaliin täytyy tehdä suuria laitemäärän lisäyksiä. Kulutuksia seuraamalla pystytään jo hyvissä ajoin valmistautumaan, jos tarvitsee esimerkiksi lisätä kokonaan uusia virtakiskoja tiloihin.

PME-järjestelmä tallentaa muistiin 15 minuutin välein konesalin hetkelliset kuormitukset. Tällä ei tietenkään pystytä näkemään hetkellisiä piikkejä, joita syntyy suuren laitekuorman yhtäaikaissa käynnistymisissä, mutta on kuitenkin hyvä seurata kuormitusten tilannetta ja kehittymistä myös pitkällä aikajänteellä. Kuvassa 7 nähdään kuormituksen vaihtelua 11 päivän ajalta. Kuvasta nähdään, että kuormitukset eivät ole paljoa muuttuneet ja ovat pysyneet 81 ja 86 ampeerin välillä.



KUVA 7. Kulutusten seuranta PME-järjestelmällä

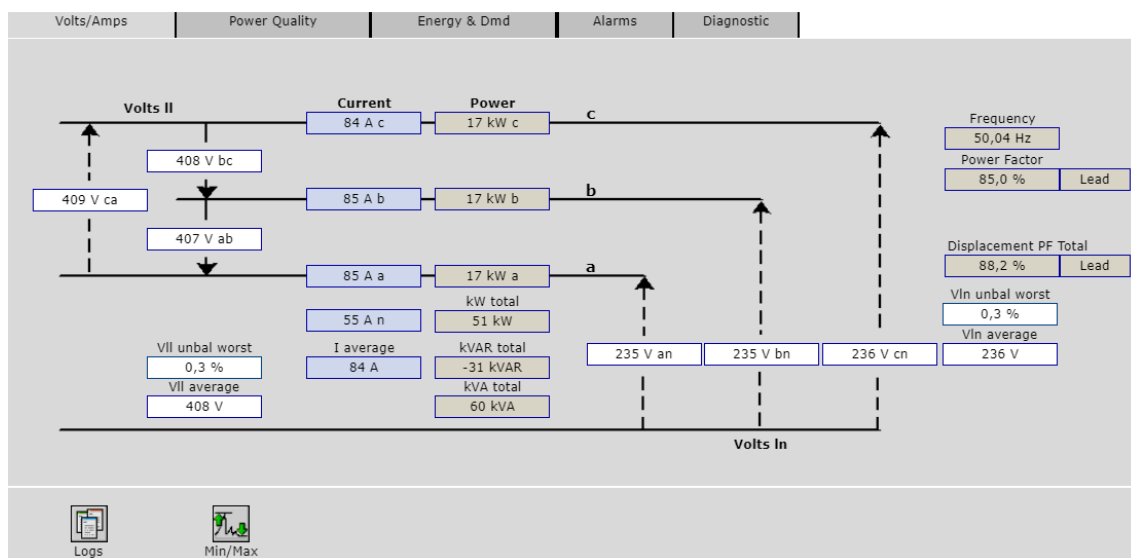
Työssä oli tarkoituksena kokeilla myös, miten lämpötilojen mittaus onnistuu järjestelmän avulla. Järjestelmään oli tavoitteena lisätä muutama lämpötilan mittauspiste sekä kuumille että kylmille käytäville. Lämpötilojen arvot olisivat tulleet samalla tavalla konesalin pohjakuvaan asetettuina kuin virtakiskojenkin mittaukset. Tästä kuitenkin luovuttiin tämän työn ohessa, koska kaikki hankitut lisenssit oli käytetty virtojen mittaamiseen, eikä lämpötilojen mittaamiseen tarvittavia laitteita ollut saatavilla.

6 HUOMIOITA SÄHKÖN LAADUSTA

PME-järjestelmällä pystytään valvomaan myös sähkön laatuparametreja melko kattavasti, kunhan keskuksen lähdöt on varustettu vain oikeantyyppisillä katkaisijoilla. Järjestelmällä voidaan valvoa muun muassa jännitteen ja taajuuden vaihteluja sekä harmonisia yliaaltoja, ja lisäksi voidaan seurata tehon ja energian kulutusta.

PME-järjestelmästä saaduista sähkön laatuparametreista tehtiinkin erilaisia huomioita. Jännitteen ja taajuuden vaihteluiden osalta kaikki näytti olevan kunnossa, eivätkä heilahtelut olleet merkittäviä. Pääkatkaisijalla taajuusarvot olivat pysyneet aina standardin määäämissä rajoissa 49,5 Hz – 50,5 Hz. Samoin jännitteen arvot olivat pysyneet ohjearvoissa.

Harmonisten yliaaltojen osuus oli kuitenkin merkittävä. Kuten kuvasta 8 pääkatkaisijan yleistiedoista nähdään, että vaihekuormat ovat keskuksella täysin tasapainossa: kaikilla vaiheilla virta on 85 ampeerin luokkaa, mutta silti nollajohdossa kulkee 55 ampeeria virtaa. Tämä viittaa siihen, että yliaaltojen osuus on merkittävän suuri, koska nollajohdon virta on noinkin iso.



KUVA 8. Konesalin yleisnäkymä pääkatkaisijalta

Järjestelmässä päästään tutkimaan myös tarkemmin harmonisten yliaaltojen osuuksia, aina 15. yliaaltoon saakka. Kuvasta 9 nähdään jännitteen puolella esiintyvät harmoniset yliaallot jokaisella vaiheella. Kun näitä vertaillaan standardien asettamiin arvoihin, voidaan todeta, että jännitteen yliaallot eivät ylitä standardien asettamia rajoja ainakaan mittaushetkellä. Myös THD:n arvo pysyi sallituissa rajoissa, sen ollessa mittaushetkellä 2,4 %. Järjestelmä tallentaa myös kaikkien aikojen maksimi- ja minimiarvot. Käyttöönoton jälkeen THD-arvo on käynyt maksimissaan 6,8 %:ssa, joten voidaan todeta, että tältä osin on pysytty standardien asettamissa rajoissa.

Voltage Harmonics		Current Harmonics	
	Van	Vbn	Vcn
	Magnitude	Magnitude	Magnitude
1st	100,0	100,0	100,0
2nd	0,0	0,0	0,0
3rd	1,0	1,0	1,0
4th	0,0	0,0	0,0
5th	0,4	0,2	0,4
6th	0,0	0,0	0,0
7th	1,8	1,6	1,7
8th	0,0	0,0	0,0
9th	0,4	0,6	0,5
10th	0,0	0,0	0,0
11th	0,3	0,4	0,4
12th	0,0	0,0	0,0
13th	0,3	0,2	0,3
14th	0,0	0,0	0,0
15th	0,2	0,2	0,2

KUVA 9. Harmoniset yliaaltojännitteet pääkatkaisijalta

Harmonisille yliaaltovirroille ei ole määritelty raja-arvoja Suomessa käytetyissä standardeissa, mutta tarkastellaan kuitenkin niitäkin hiukan. Kuvasta 10 huomataan, että ainakin kolmannen yliaallon osuus on merkittävän suuri. Sillä on jo vaikutusta niin paljon, että se olisi täytynyt huomioida myös kaapeleiden mitoituksessa. Taulukossa 2 on annettu korjauskertoimeksi 0,86. Kolmannen yliaallon

lisäksi myös muutamat muut yliaallot näyttäisivät olevan hiukan koholla, kuten 7., 9., 11. ja 15.

Voltage Harmonics		Current Harmonics			
Ia		Ib		Ic	
	Magnitude		Magnitude		Magnitude
1st	100,0		100,0		100,0
2nd	1,0		0,3		0,5
3rd	24,4		24,6		24,6
4th	0,8		0,7		0,4
5th	0,8		0,5		0,7
6th	0,4		0,5		0,2
7th	5,0		4,7		4,4
8th	0,4		0,5		0,2
9th	5,7		6,2		6,0
10th	0,4		0,3		0,0
11th	2,1		2,1		2,6
12th	0,3		0,1		0,0
13th	0,5		0,4		0,2
14th	0,2		0,1		0,4
15th	2,0		1,8		1,6

KUVA 10. Harmoniset yliaaltovirrat pääkatkaisijalta

Vaikka standardeissa ei olekaan määritelty raja-arvoja virran harmonisille yliaalloille, kannattaa niihin silti puuttua, mikäli ne kasvavat merkittävän suuriksi. Yliaaltojen torjunnassa käytetään yliaaltosuodattimia. Suodattimet voivat olla aktiiviset tai passiivisuodattimia. Aikaisemmin muihin yrityksen konesaleihin on jouduttu jo lisäämään aktiivisuodatin yliaaltojen takia. Yliaaltosuodattimet on sijoitettu yleensä pääkeskuksen yhteyteen. Tähän tilaan aktiivisuodatinta ei siis välttämättä lisättäisi, mutta myös ryhmäkeskuksiin lisättäviä suodattimia kannattaa varmasti harkita. Tilannetta kannattaa kuitenkin seurata tulevaisuudessa sekä ryhmäkeskus- että pääkeskustasolla. Mikäli laitekanta tilassa kasvaa, kasvavat myös varmasti yliaaltoihin liittyvät ongelmat.

7 JATKOKEHITYS

Järjestelmä jo tällaisenaan oli askel eteenpäin konesalien etävalvonnassa. Matkan varrella tuli kuitenkin monia hyviä ajatuksia ja kehitysideoita, mikäli PME-järjestelmä päätetään valita käyttöön muissakin tuotekehityksen 5G-konesalitoissa.

Konesalien sisäänkäynneille voisi asentaa esimerkiksi näyttötaulut, joista näkisi konesalin tilan heti yhdellä vilkaisulla sinne mentyään. Näyttötauluissa voisi pyöriä mm. kulutustrendit, ja käyttäjiä helpottamaan virtakiskojen kuormitukset värikoodattuina niin, että niistä näkisi helposti, mistä virtakiskoista kestää vielä ottaa sähköä laitteille, ettei ylikuormita kiskostoja. Tällä saataisiin mm. käyttövarmuutta testausympäristöihin, kun testit eivät keskeytyisi virtakiskojen ylikuormituksen takia.

Lämpötilojen mittaukset olisivat ehdottomasti yksi hyödyllisimmistä lisäyksistä järjestelmään. Kattavalla lämpötilojen seurannalla pystyttäisiin tarkkailemaan hyvin sekä kuumien että kylmien käytävien lämpötilojen kehitystä. Tästä olisi apua, sillä jos vaikkapa joillain kuormalaitealueilla lämpötilat nousisivat korkeiksi, siihen osattaisiin varautua jo hyvissä ajoin ja lisätä esimerkiksi rivijäähdyttimiä näille alueille tai koko konesalin jäähdytystä. Toinen esimerkki on tilanne, jossa asennuslattioiden alla johtuvista pyörrevirroista kaikille alueille ei nouse tarpeeksi kylmää ilmaa. Näille alueille voitaisiin lisätä vaikkapa tuulettimilla varustetut reikälevyt, jolloin jäähdytys saataisiin tällaisissa paikoissa kuntoon.

Radiomoduuleiden ei pitäisi vuotaa säteilyä ulos, ja ne ovat lisäksi pääsääntöisesti RF-suojatuissa räkeissä, mutta ovet jäävät helposti auki. PME-järjestelmään on mahdollista lisätä monia eri laitteita, ja miksei siihen voisi lisätä vaikka myös säteilymittareita ympäri konesalia, jos niin halutaan.

8 YHTEENVETO

Työssä saatettiin loppuun PME-järjestelmän käyttöönotto sekä tutustuttiin järjestelmään. Järjestelmä saatiin otettua käyttöön Schneider Electricin avustuksella. Työn tavoitteena oli alun perin konesalin pohjakuvaan lisättävät kulutusmittaukset sekä lämpötilat. Vaikka lämpötilat jäivätkin tämän työn puitteissa lisäämättä järjestelmään lisenssien puuttumisen vuoksi, työn aikana kuitenkin selvisi, miten laitteiden lisääminen järjestelmään onnistuu, eikä lämpötilojenkaan lisääminen siihen pitäisi olla suuri haaste.

Järjestelmä on ollut vasta niin vähän aikaa käytössä, että vielä ei osata sanoa miten hyvin tämä tulee palvelemaan konesalin käyttäjien tai asennustiimin tarpeita, mutta ajan kanssa selviää, miten hyvä apu tästä PME-järjestelmästä on. Lisäksi tällä hetkellä konesalin käyttöaste on melko pieni, ja sen laitekanta pysyy melko samana. Myöskään tästä syystä järjestelmää ei ole vielä pystytty testaamaan niin hyvin. Konesalin sähkön kulutus on myös melko pientä, eikä kuormituksien jakamista ole tarvinnut tehdä, eikä järjestelmä ole luonut mitään hälytyksiä kuormituksiin liittyen.

Sähkön laadun valvontaa on hyvin hankala tehdä ilman siihen sopivia laitteita. PME-järjestelmä on melko hyvä antamaan ainakin suuntaa, millä tasolla sähkön laatuun liittyvät asiat ovat konesalissa. Lisäksi reaaliaikainen seuranta mahdollistaa nopeankin reagoinnin mahdollisiin ongelmiin. Katkaisijakohtaiset mittaukset mahdollistavat sen, että yliaaltojen lähteitä pystytään jäljittämään tarkemmin. Tämä helpottaa siinä tilanteessa, jos huomataan, että esimerkiksi tilassa oleva tasasuuntaaja on suurin yliaaltojen aiheuttaja. Jos tilanne menee niin pahaksi, että yliaaltojen suodatusta tarvitaan, voidaan mahdollinen yliaaltojen suodatus kohdistaa suoraan tasasuuntaajaan.

Järjestelmä tallentaa todella paljon erilaista dataa konesalin tilanteesta niin sähkön laadusta kuin kulutuksista ja muistakin asioista. Datatallentamisesta tällaisista konesalitiloista on myös varmasti hyötyä jatkossa, muun muassa uusissa hankkeissa, kun suunnitellaan vastaavia konesalitiloja. Dataa keräämällä ja sitä

tutkimalla tulevaisuuden hankkeissa voidaan saavuttaa esimerkiksi kustannussäästöjä.

Lopullista päätöstä järjestelmän jatkokehityksestä tai sen käyttöönotosta muihin uusiin konesaleihin ei ole vielä tehty, mutta tämä selviää varmasti, kunhan päästään tutustumaan järjestelmään tarkemmin sekä analysoimaan sen hyötyjä konesalissa.

LÄHTEET

1. SFS-EN 50160. 2010. Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
2. TTT-käsikirja 2000-07. ABB Oy. Saatavissa: http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/04_0_S%84hk%94n%20laatu.pdf Hakupäivä 16.3.2020
3. SFS 6000-5-52. 2017. Pienjännitesähköasennukset, Osa 5-52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
4. Korpinen, Leena - Mikkola, Marko - Keikko, Tommi - Falck, Emil 1998. Yliaalto-opus. Saatavissa: <http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/yliaalto-opus.pdf> Hakupäivä 9.2.2020
5. DeDad, John 2008 Understanding Harmonic Indices. Saatavissa: <https://www.ecmweb.com/design/article/20890327/understanding-harmonic-indices> Hakupäivä 20.3.2020
6. IEEE Std 519. 2014. Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. New York, NY: IEEE Standards Association. IEEE Power and Energy Society.
7. Staattisen sähkön vaarojen tunnistaminen ja hallinta prosessiteollisuudessa. STAHA. Saatavissa: <http://virtual.vtt.fi/virtual/staha/koulutusaineisto.pdf> Hakupäivä 20.3.2020
8. EcoStruxure Power Monitoring Expert. Schneider Electric. Saatavissa: <https://schneider.digitalkult.com/wp-content/uploads/2018/07/PME-Offer-Overview-9.0.pdf> Hakupäivä 28.2.2020
9. European Committee for Electrotechnical Standardization. European Standards for Energy Audits. helping companies to comply with requirements of the EU Energy Efficiency Directive, 2015. Saatavissa: https://www.cencenelec.eu/News/Press_Releases/Pages/PR-2015-06.aspx Hakupäivä 28.2.2020