

Janne Kokkonen

SÄHKÖJÄRJESTELMÄN KUNTOTARKASTUS JA KUNNOSSAPITO-OHJELMA

SÄHKÖJÄRJESTELMÄN KUNTOTARKASTUS JA KUNNOSSAPITO-OHJELMA

Janne Kokkonen
Opinnäytetyö
Syksy 2023
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-
ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, Sähkötekniikka

Tekijä: Janne Kokkonen

Opinnäytetyön nimi: Sähköjärjestelmän kuntotarkastus ja kunnossapito-ohjelma

Työn ohjaaja: Esa Silomaa

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2023

Sivumäärä: 41 + 4 liitettä

Tässä opinnäytetyössä käsitellään sähköjärjestelmän kuntotarkastusta ja sen pohjalta laadittua kunnossapitosuunnitelmaa. Näiden lisäksi perehdytään näihin liittyviin lakeihin ja vaatimuksiin, sekä lämpökuvaukseen. Työssä käsitellään myös tehtyjä mittauksia ja niiden tuloksia ja vaikutusta sähköjärjestelmään ja sen turvallisuuteen.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä teollisuusrakennuksen sähköjärjestelmän kuntotarkastus ja kunnossapito-ohjelma. Kohteessa tehtiin silmämääräisiä tarkastuksia, jonka lisäksi keskuksien ja pistorasioiden oikosulkuvirrat mitattiin. Lisäksi pääkeskukselta mitattiin verkkoanalysointorilla eri sähkön laatuun liittyviä suureita. Mittausten jälkeen luotiin kunnossapitosuunnitelma. Tämän suunnitelman tarkoituksena on pitää sähköjärjestelmä mahdollisimman hyvässä kunnossa tulevat vuodet.

Suunnitelma on toteutettu ST-korttien avulla, jonka lisäksi työssä tutkittiin standardeja, lakeja ja määräyksiä. Suunnitelma ja mittaustulokset ovat liitteenä ja nähtävissä ainoastaan työn tilaajalle.

Asiasanat: kunnossapito, kuntotarkastus, sähköjärjestelmä, mittaukset

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering, Option of Electrical Engineering

Author: Janne Kokkonen
Title of thesis: Electrical System Inspection and Maintenance Programme
Supervisor: Esa Silomaa
Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2023
Number of pages: 41 + 4 appendices

The purpose of this thesis was to carry out an inspection of the property's electrical system and then to create a maintenance plan. The work deals with the laws and regulations governing electrical installations and the forms of maintenance. The maintenance plan is to be used.

The main electricity supply was measured with a power quality analyzer. This measurement was carried out over a period of four days. The second main part included measurements at each switchboard and an inspection of the sockets. An inspection report was drawn up at the same time. The plan has been implemented using ST cards. The plan and the measurement results are attached and are only to be seen by the customer.

Keywords: maintenance, inspection, electrical system, measurements

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TYÖN KOHDE	7
3	LAIT JA MÄÄRÄYKSET	8
3.1	Sähkölaitteistojen luokat	8
3.2	Määräaikaistarkastus	9
3.3	Kunnossapitotarkastus	10
3.4	Kiinteistöä koskevat määräykset	11
4	KUNNOSSAPITO	12
4.1	Korjaava kunnossapito	12
4.2	Ehkäisevä kunnossapito	12
4.3	Parantava kunnossapito	13
5	TARKASTUKSET	14
5.1	Aistinvaraiset tarkastukset	14
5.2	Lämpökamerakuvaukset	16
5.2.1	Lämpökamera	17
5.2.2	Tehdyt lämpökamerakuvaukset	19
5.3	Keskuskohtaiset mittaukset	21
5.3.1	Vikavirtasuojien mittaus	21
5.3.2	Oikosulkuvirtojen mittaus keskuksilta	24
5.3.3	Oikosulkuvirtojen mittaus pistorasioista	26
5.4	Verkkoanalysointimittaukset	26
5.4.1	Jännitteet	27
5.4.2	Virrat	28
5.4.3	Tehot	29
5.4.4	Taajuus	31
5.4.5	Analysointi	32
6	KUNNOSSAPITOSUUNNITELMA	34
7	YHTEENVETO	37
	LÄHTEET	39
	LIITTEET	41

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä kuntotarkastus teollisuusrakennuksen sähköjärjestelmään ja sen pohjalta tehdä korjausehdotukset sekä kunnossapitosuunnitelma. Työn aluksi esitellään tarkastuksen kohteena olevaa kiinteistöä ja sen ominaisuuksia. Tämän jälkeen käsitellään lakeja ja määräyksiä sekä kunnossapidon eri tyyppisiä ja osa-alueita. Kohteesta mitataan verkkoanalysointorilla eri sähkösuureita, sekä kaapelihyllyt, valaisimet ja sähkökeskukset kuvattiin lämpökameralla ja kiinteistön asennuksiin tehdään aistinvarainen tarkastus, joka sisältää myös pistokokeena avattuja pistorasioita, joista tarkastetaan liitokset. Lisäksi alakeskusten oikosulkuvirrat ja vikavirtasuojien toiminta tarkastetaan.

Liitteenä työn lopussa olevat mittaustulokset ovat tilaajan ja kiinteistön omistajan käyttöön, mutta joitain tuloksia ja esimerkkejä on kuvina eri luvuissa. Työssä ei tartuta mahdollisiin muihin puutteisiin, joita kiinteistössä voisi olla, vaan työ koskee pelkästään mainittuja laitteistoja.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Elenom Oy. Elenom Oy on kempeläläinen sähköalan yritys, jonka palveluihin kuuluu sähkösuunnittelu, -urakointi sekä -asennukset. Palveluitaan yritys tarjoaa niin henkilöasiakkaille kuin yrityksille. Yritys työllistää tällä hetkellä 10 henkilöä.

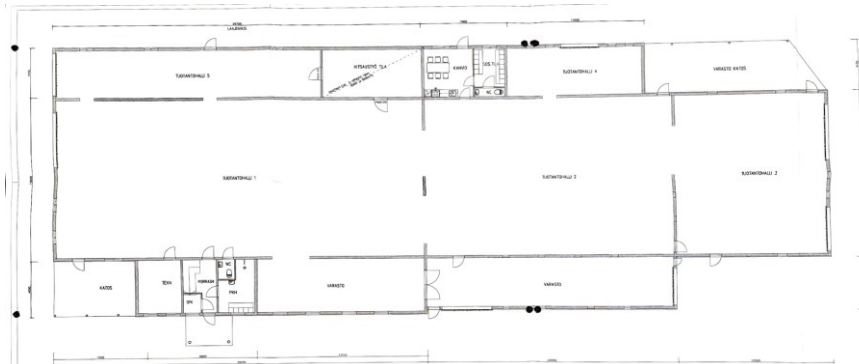
2 TYÖN KOHDE

Tämän työn kohteena on erään yrityksen tuotantotilat lissä. Heidän omistamansa kiinteistön sähköverkkoon kuuluu tuotantotiloja, toimistotiloja, taukotiloja sekä kiinteistön sisällä ja ulkona olevia varastoja. Kiinteistön pinta-ala on noin 1400 m². Toimitiloja hallinnoivaa yritystä ei tässä raportissa mainita, sillä se ei suoranaisesti ole työn toimeksiantaja.

Toimitilat on rakennettu alun perin vuonna 1989, ja ne toimivat aluksi kuljetusyrityksen toimitiloina. Liiketoimintamallin muuttuessa myös rakennusta on jouduttu muuttamaan, ja rakennusta on laajennettu useaan kertaan. Näiden laajennuksien myötä myös rakennuksen sähköjärjestelmä koostuu monista eri-ikäisistä sähköasennuksista. Suurempi laajennus on tehty vuonna 2007, jonka jälkeen on vielä tehty pienempi laajennus vuonna 2014. Näiden lisäksi on tehty pienempiä laajennustöitä.

Jakeluverkon haltijalta on saatu liittymän laskennalliseksi oikosulkuvirraksi 1040 A liittymällä. Kiinteistölle ei ole omaa jakelumuuntajaa, vaan sen syöttö tulee katujakokaapilta. Syöttökaapelina on vanha AXMK 3x70+21. Pääkeskuksen nimellisvirta on 125 A, ja pääsulakekoko on viimeisimmän suuren laitehankinnan jälkeen nostettu 125 A:iin. Pääkeskuksen lisäksi kiinteistössä on kolme pienempää alakeskusta, jotka on lisätty laajennusten yhteydessä.

Kiinteistössä käytetään nykyään paljon elektroniikkaa ja moottoreita sisältäviä laitteita, kuten CNC-leikkureita ja liimauskoneita. Lisäksi tiloissa käytetään myös hitsauslaitteita. On hyvin todennäköistä, että nämä kyseiset laitteet aiheuttavat häiriötä sähköverkkoon. Kiinteistön sähköjärjestelmässä ei ole minkäänlaisia häiriönpoistolaitteita. Kuvassa 1 on kiinteistön viimeisin pohjakuva, jonka jälkeen kiinteistöä on vielä laajennettu. Laajennuksen jälkeistä pohjakuvaa ei ollut saatavilla.



KUVA 1 Kiinteistön pohjakuva.

3 LAIT JA MÄÄRÄYKSET

Suomen sähköturvallisuutta ohjaa laki 1135/2016, joka koskee sähkölaitteiden ja sähköasennusten turvallisuutta Suomessa. Vanha laki oli vuodelta 1996, ja se päivitettiin vuonna 2017. Päivityksen myötä esimerkiksi sähkölaitteistojen luokitus muuttui, mikä osaltaan myös muutti määräaikaistarkastuksen välejä. Laki on tarkoitettu suojelemaan ihmisiä ja omaisuutta sähkötapaturmilta sekä varmistamaan sähkön käytön turvallisuus kaikissa tilanteissa. Lain tavoitteena on taata sähkölaitteiden ja -asennusten turvallisuus, ja se sisältää määräyksiä ja säännöksiä sähkölaitteiden valmistajille, maahantuojille, myyjille, sähköasentajille ja muille toimijoille, jotka ovat tekemisissä sähkölaitteiden tai -asennusten kanssa. Tämän lain noudattamista valvoo Suomessa Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes.

Lain määräykset ja säännökset liittyvät muun muassa sähkölaitteiden ja -asennusten turvallisuusvaatimuksiin, sähköalan ammattilaisten pätevyyteen ja koulutukseen sekä sähköalan toimijoiden velvollisuuksiin. Näihin velvollisuuksiin kuuluvat esimerkiksi laitteiden ja asennusten oikeellinen merkitseminen, dokumentointi, tarkastukset, testaukset ja todentamiset, joilla varmistetaan sähkölaitteiden ja -asennusten turvallisuus. (1.)

Sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin sekä niitä on huollettava ja käytettävä käyttötarkoituksensa mukaisesti niin, että:

- 1) niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa;
- 2) niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä;
- 3) niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti. (1.)

3.1 Sähkölaitteistojen luokat

Sähkölaitteistot jaetaan sähköturvallisuuslaissa 1135/2016 44 § varmennus- ja määräaikaistarkastusten vaatimusten sekä kunnossapito-ohjelmaa koskevien vaatimusten osalta seuraaviin luokkiin:

1) luokan 1 sähkölaitteisto:

- a) sähkölaitteisto asuinrakennuksessa, jossa on enemmän kuin kaksi asuinhuoneistoa;
- b) muu kuin asuinrakennuksen sähkölaitteisto, jonka suojalaitteena toimivan ylivirtasuojan nimellvirta on yli 35 A ja joka ei kuulu luokkiin 2 tai 3;

2) luokan 2 sähkölaitteisto:

c) sähkölaitteisto, johon kuuluu yli 1 000 voltin nimellisjännitteisiä osia, lukuun ottamatta sellaista sähkölaitteistoa, johon kuuluu vain enintään 1 000 voltin nimellisjännitteellä syötettyjä yli 1 000 voltin sähkölaitteita tai niihin verrattavia laitteistoja;

d) sähkölaitteisto, jonka liittymisteho, jolla tarkoitetaan sähkölaitteiston haltijan kiinteistölle tai yhteiselle kiinteistöryhmälle rakennettujen liittymien liittymistehojen summaa, on yli 1 600 kilovoltiampeeria.

3) luokan 3 sähkölaitteisto:

c) verkonhaltijan jakelu-, siirto- ja muu vastaava sähköverkko (1).

Sähkölaitteisto käsittää erilaiset sähkölaitteet, asennustarvikkeet, johdot sekä sähkökeskukset, jotka yhdessä muodostavat toimivan kokonaisuuden. Sähköasennusten tulee olla turvallisia ja noudattaa asetettuja vaatimuksia. Vastuu asennusten turvallisuudesta ja vaatimustenmukaisuudesta on sähkölaitteiston omistajalla tai haltijalla. (2.)

3.2 Määräaikaistarkastus

Sähköturvallisuuslain (1135/2016) 49 §:ssä viitataan sähkölaitteiston luokituksesta riippuvaan määräaikaiseen tarkastukseen. Tämä tarkoittaa, että sähkölaitteistoa on säännöllisin väliajoin tarkastettava ja tarkastusten tiheys määräytyy sähkölaitteiston luokituksen mukaan. (3, s. 2.) Sähkölaitteiston määräaikaistarkastus on yksi tapa taata kiinteistön sähkökäytön turvallisuus ja luotettavuus. Sähköasennukset voivat olla vanhojakin, mikäli ne on pidetty asianmukaisesti kunnossa ja ne täyttävät asennusajankohtansa turvallisuusvaatimukset. Määräaikaistarkastuksen laiminlyönnillä voi vahingon sattuessa olla oikeudellisia seuraamuksia. (4.)

Sähkölaitteita, -laitteistoja ja tietoteknisiä järjestelmiä on ylläpidettävä niin, että niiden käyttövarmuus pysyy korkealla tasolla. Laitteiden, laitteistojen ja järjestelmien kuntoa on tarkkailtava säännöllisesti suoritettavilla visuaalisilla tarkastuksilla ja tarpeen vaatiessa myös erilaisin mittauksin ja testeillä. (5, s. 1.)

Sähköturvallisuuslaki määrää, että käytössä oleville luokan 1 ja 2 laitteistoille lukuun ottamatta asuinrakennuksia on tehtävä kymmenen vuoden välein määräaikaistarkastus (1).

Lisäksi sähköturvallisuuslain 13 § tarkentaa tarkastuksen sisältöä seuraavasti:

Määräaikaistarkastuksessa tulee riittävässä laajuudessa pistokokein tai muulla soveltuvalla tavalla varmistua siitä, että:

- 1) sähkölaitteiston käyttö on turvallista, kunnossapito on riittävää turvallisuuden ylläpitämiseksi ja laitteistolle on tehty kunnossapito-ohjelman mukaiset toimenpiteet;
- 2) sähkölaitteiston käyttöön ja hoitoon tarvittavat välineet, piirustukset, kaaviot ja ohjeet ovat käytettävissä;
- 3) sähkölaitteiston laajennus- ja muutostöistä on asianmukaiset tarkastuspöytäkirjat.

Määräaikaistarkastukseen on aina sisällytettävä kohteessa mahdollisesti olevat lääkintätilat, räjähdysvaaralliset tilat ja palovaaralliset tilat.

Määräaikaistarkastuksen voi tehdä 75 §:ssä tarkoitettu valtuutettu laitos tai valtuutettu tarkastaja (1).

3.3 Kunnossapitotarkastus

Kunnossapitotarkastus on viranomaismääräyksiin tai ennalta laadittuun hoito- ja kunnossapito-ohjelmaan perustuva tai muutoin haltijan toimesta määräajoin suoritettava tarkastus, jonka tarkoituksena on selvittää ja todentaa tarkastuskohteen vaatimustenmukaisuus. Kunnossapidolla tarkoitetaan toistuvia toimenpiteitä, joiden tarkoituksena on korjaamalla tai uusimalla säilyttää kohde ja siihen kuuluvat laitteet ja varusteet likimain alkuperäisessä kunnossa. (3, s. 2.)

Kunnossapitotarkastukseen sisältyy perusteellinen tarkastus, joka voidaan suorittaa joko asennusta purkamatta tai tarvittaessa purkamalla sitä osittain. Tarkastus täydentyy käyttöönottotarkastusten mukaisilla asianomaisilla testeillä, joissa tehdään myös mittauksia tärkeiden seikkojen varmistamiseksi:

- ihmisten ja kotieläinten suojaus sähköiskulta ja palovammoilta
- asennusten aiheuttaman palo- ja lämpövaaran suojaus omaisuudelle
- Tarkastus, ettei asennus ole vioittunut, kulunut tai liitos löystynyt siten, että se vaarantaisi turvallisuuden.
- suojalaitteiden oikea mitoitus ja sijoittelu standardin SFS 6000-4-41 mukaisesti
- valvontalaitteiden oikea mitoitus ja sijoittelu

- mahdollisten asennuksen vaaraa lisäävien virheiden ja standardista poikkeavuuksien tunnistaminen (6, s. 72).

Kiinteistöstä muodostettu kuntotarkastuspöytäkirja on nähtävillä liitteessä 1.

3.4 Kiinteistöä koskevat määräykset

Edellä mainittujen lakien ja määräysten mukaan tarkastettava kiinteistö luokitellaan luokkaan 1b, jonka perusteella sille edellytetään määräaikaistarkastusta kymmenen vuoden välein. Viimeisin määräaikaistarkastus on tehty vuonna 2019. Tämän opinnäytetyön tehtävänä oleva kuntotarkastus ei ole määräaikaistarkastus, sillä tekijä ei vastaa sähköturvallisuuslaissa 75 § määriteltyä tarkastajaa, vaan tehtävänä oleva kuntotarkastus toimii ikään kuin esitarkastuksena ennen seuraavaa määräaikaistarkastusta. Tässä tapauksessa ei sähkölaitteistolle ole nimetty käytön johtajaa eikä sille lain mukaan tarvitsisi tehdä kunnossapito-ohjelmaa, sillä laitteisto ei kuulu luokkaan 2 tai 3. Tässä tapauksessa riittäisi käyttö- ja huolto-ohjeiden mukainen ylläpito.

Tämän lisäksi kiinteistön sähköjärjestelmän tulee täyttää sähköturvallisuuslain vaatimukset sähkölaitteiston turvallisuudelle. Nämä vaatimukset koskevat pääasiassa suojausta sähköiskulta sekä tulipaloa ja kuumuutta vastaan ja muilta haittavaikutuksilta. Lisäksi vaatimukset koskevat myös eri laitteistojen keskinäistä yhteensopivuutta sekä muita olennaisia rakennevaatimuksia.

4 KUNNOSSAPITO

Sähkölaitteiston kuntoa on jatkuvasti valvottava ja tarvittavat korjaukset on tehtävä välittömästi. Sähköjärjestelmä, kuten muutkin rakennuksen osat, vaatii säännöllistä huolenpitoa ja turvallisuuden ylläpitoa. Sähköasennukset, asennuskalusteet, sähkölaitteet ja sähkökeskusten osat kuluvat ja vanhenevat ajan myötä. Vialliset ja kuluneet sähkökalusteet, löysät liitokset tai sähkölaitteiden pölyisyys voivat aiheuttaa riskin kiinteistölle tai sen käyttäjille. (7.)

4.1 Korjaava kunnossapito

Korjaava kunnossapito on strategia, jota sovelletaan rakennuksiin, koneisiin ja laitteisiin, kun annetaan niiden ensin vikaantua tai mennä rikki. Tavoitteena on palauttaa niiden toiminta tai kunto sellaiseen tilaan, jossa ne voivat suorittaa vaaditut toiminnot. Korjaavat toimenpiteet suunnitellaan vasta vian havaitsemisen jälkeen ja ne toteutetaan välittömästi, jos vikautuneet tai rikkoutuneet koneet ja laitteet vaikuttavat yrityksen tuottavuuteen. Jos koneiden ja laitteiden vikaantuminen ei välittömästi vaikuta yrityksen tuottavuuteen, niiden korjaaminen voidaan lykätä myöhempään ajankohtaan.

Korjaava kunnossapito on keskeisessä asemassa rakennusten, koneiden ja laitteiden mahdollisimman nopeassa palauttamisessa normaaliin toimintakuntoon. Tämän avulla tuotanto, myynti ja asiakaspalvelu voivat jatkaa tuotteiden valmistusta ja palveluiden tarjoamista asiakkaille. Tehokkaan ja vaikuttavan korjaavan kunnossapidon merkitystä ei pidä aliarvioida, sillä sen puutteesta voi seurata huonoa käytettävyyttä ja laatua tuotannossa tai alentunutta tuottavuutta. Tämän seurauksena yrityksen tulot voivat vähentyä tai pahimmassa tapauksessa yritys voi alkaa menettää rahaa. (8.)

4.2 Ehkäisevä kunnossapito

Standardin SFS-EN 13306 mukaan ennakoiva kunnossapito on sellaista kunnossapitoa, jonka tarkoituksena on arvioida tai vähentää kunnossapidon piiriin kuuluvan kohteen heikkenemistä tai vikaantumista. Samassa standardissa ehkäisevän kunnossapidon piiriin kuuluu myös ennustava kunnossapito, jossa kohteen analyysiin ja tunnettuihin tunnusmerkkeihin perustuen tehdään kunnossapitotoimia. (9, s. 14–15.)

Ennakoiva kunnossapito on strategia, jossa ennakkohuoltotehtävien aikataulua ei ole ennalta määrätty, vaan ne ajoitetaan asiantuntijoiden ennusteiden perusteella. Näitä ennusteita luodaan keräämällä automaattisesti dataa rakennusten, koneiden tai laitteiden kunnosta IoT-sensoreiden avulla. Tekoälyä voidaan myös hyödyntää ennustamaan tulevia vikoja, jos kerätty data on riittävää analysoitavaksi. Tällainen ennakoiva kunnossapito valitaan erityisesti kriittisille koneille ja laitteille, jotta voidaan estää ei-toivottuja tapahtumia vaikuttamasta tuotteiden ja palveluiden tuotantoon, käytettävyyteen ja laatuun sekä yrityksen tuottavuuteen. Koneiden ja laitteiden kuntotietoja käytetään ennustamaan tulevia vikoja ja ajoittamaan ennakkohuoltotehtävät ennen kuin ennakoitu vika-aika koittaa. Tavoitteena on minimoida ennakkohuoltokustannukset välttämällä liian tiheät huollot ja samalla varmistaa, ettei huoltotoimenpiteitä suoriteta liian myöhään. Tällaiset ennusteet antavat aikaa suunnitella pitkiä huoltoseisokkeja vaativat korjaukset ja ennakkohuollot. Ennakoiva kunnossapitostrategia parantaa tuottavuutta vähentämällä kunnossapitokustannuksia ja varmistamalla, että käyttöomaisuutta voidaan käyttää mahdollisimman pitkään ennen suunniteltuja huoltotoimenpiteitä. Tämä auttaa välttämään tuotannon keskeytyksiä ja tehostaa toimintaa pitkällä aikavälillä. (6.)

4.3 Parantava kunnossapito

PSK 6201/2022 -standardissa parantava kunnossapito määritellään kunnossapidoksi, jonka tarkoituksena on parantaa kohteen toimintavarmuutta ja kunnossapidettävyyttä sekä henkilö- ja ympäristöturvallisuutta muuttamatta kohteen vaadittua toimintoa (11, s. 32).

Parantavassa kunnossapidossa pyritään estämään jo ilmenneen vahingon toistuminen selvittämällä sen juurisyy ja vikaantumisprosessi. Vikaantumisen syyn selvittäminen on ongelmanratkaisuprosessi, jossa koneen tai laitteen toiminta jaetaan yleensä osatoimintoihin tilanteen selkeyttämiseksi ja todellisen juurisyy löytämiseksi. Tämä on avainasemassa parantavan kunnossapidon strategiassa. Useita menetelmiä voidaan käyttää vikaantumisen syyn selvittämiseen, kuten vika-analyysi, simulointi, perussyyn selvittäminen, materiaalianalyysit, suunnittelun analyysit, riskinhallinta, arvoanalyysi, syy-seurauskaavio ja häiriöanalyysi. Koska näiden analyysien tekeminen vaatii erikoisosaamista, kaikkia vikoja ei kannata analysoida. Esimerkiksi perussyyselvitystä ei ole tarpeen tehdä yli 10 %:ssa vikatapauksista. Tällä tavoin voidaan kohdentaa resursseja tehokkaasti ja käsitellä ensisijaisesti niitä vikatapauksia, joilla on suurin vaikutus laitoksen tai koneen toimintaan ja turvallisuuteen. (12.)

5 TARKASTUKSET

Tässä luvussa tarkastellaan kiinteistön sähköjärjestelmään suoritettuja tarkastuksia ja mittauksia, jotka ovat olennainen osa sen turvallisuuden ja toimivuuden varmistamista. Lisäksi käsitellään koh-teessa toteutettuja lämpökamerauksia, joiden avulla mahdollisia lämpöongelmia ja vikoja sähköjär-jestelmässä voitaisi havaita. Tarkastusten, mittausten ja lämpökamerauksien yhteisvaikutuksena pyrittiin luomaan kattava kuva kiinteistön sähköjärjestelmän tilasta sekä tunnistamaan mahdolliset riskit ja kehityskohteet.

5.1 Aistinvaraiset tarkastukset

Aistinvaraisella tarkastuksella tarkoitetaan tässä tapauksessa lähinnä silmämääräistä tarkastusta. Joitakin pistorasioita käytettiin myös auki liitosten tarkastamiseksi. Näiden tarkastuksien avulla voi-daan tunnistaa mahdollisia turvallisuusriskien lähteitä sekä ennaltaehkäistä mahdollisia vikoja ja ongelmia sähköjärjestelmässä. Aistinvaraiset tarkastukset eivät kuitenkaan aina pysty havaitse-maan kaikkia piileviä vikoja tai sähköjärjestelmän syvällisempiä ongelmia, minkä vuoksi ne usein täydennetään mittauksilla ja teknisillä tarkastuksilla.

Sähköjärjestelmän tarkastamista kuitenkin monimutkaisti huomattavasti se seikka, että käytössä ei ollut lainkaan sähköpiirustuksia. Tämä puute loi haastetta, sillä järjestelmän kaapeloinnista ei ollut minkäänlaista dokumentointia. Tämä aiheutti epätietoisuutta kunkin laitteen johdotuksista. Lisäksi useamman keskuksen ryhmämerkinnät olivat todella epäselvät, sillä laitteistoa on muokattu use-aan kertaan laitteiden ja laajennusten myötä. Pistorasioista puuttui merkinnät syöttävästä keskuk-sesta ja ryhmästä. Myöskään sähkökeskuksissa ei ollut lainkaan merkintöjä.

Keskuksien osalta puutteita edellä mainittujen seikkojen lisäksi havaittiin kolmessa keskuksessa. Pääkeskuksen sisällä oli suuri määrä pölyä. Lisäksi kosketussuojat olivat irti, jolloin keskuksen si-sälle on mahdollista päästä vierasesineitä. Kunnossapitosuunnitelmassa keskus ehdotetaan puh-distettavaksi imuroimalla jännitteettömänä. Vanhan hallin puolella sijaitsevassa ryhmäkeskuksessa puutteena oli irrallaan oleva kansi, jolloin keskuksen virtakiskoja on mahdollista koskettaa esimer-kiksi ruuvimeisselillä. Uusimman laajennuksen yhteydessä asennetussa keskuksessa puutteena

oli kontaktorin suojaus. Kuvassa 2 näkyy, kuinka kontaktorin liittimien kiristysruuveja on mahdollista koskettaa sormilla. Kontaktori suositellaan vaihdettavaksi umpinaiseksi.



KUVA 2 Kontaktorin kosketukselle alttiit jännitteiset ruuvit

Pistorasioiden ja muiden laitteiden osalta kiinteistön sisätiloissa havaittiin joitain puutteita. Toimistotiloissa sijaitsevassa johtokanavassa oleva pistorasia oli 0-luokan pistorasia. Samassa kourussa, noin metrin päässä, oli maadoitettu pistorasia. Se on ollut jo vuosia kiellettyä, ja pistorasia suositellaan vaihdettavaksi uuteen, maadoitettuun pistorasiaan. Muutamista valaisimista puuttuivat kuvut. Lisäksi yhdessä tilassa valaisimen kaapeli oli irrotettu kiinnikkeistään, ja kaapeli roikkui metrien matkan ilmassa. Tämä kaapeli suositellaan kiinnitettäväksi asianmukaisilla kiinnikkeillä.

Kiinteistön ulkopuolella löytyi pistorasioita, joista puuttui läppäkannet. Nämä pistorasiat ehdotetaan vaihdettaviksi uusiin. Lisäksi yhden pistorasian kiinnitys oli pettänyt, yksi jakorasia oli irti ja roikkui johdon varassa. Kuten kuvassa 3 näkyy, yksi jakorasia oli haurastunut siten, että sen läpivientireiät olivat auki ja vesi pääsee rasiin sisään. Lisäksi kyseisessä rasiassa olevan kaapelin vedonpoisto oli puutteellinen ja kaapelin johtimet olivat sen myötä näkyvillä.



KUVA 3 Jakorasian haurastuneet ja auenneet läpivientireiät

Koko sähköjärjestelmän piirustuksia ei löytynyt. Ainoa piirustus on sosiaalitulojen laajennuksesta piirretty asennuskuva, joka on piirretty käsin lyijykynällä. Tämä hankaloitti järjestelmän tarkastamista huomattavasti. Myöskään mitään käyttöönottopöytäkirjoja ei ollut näkyvillä. Kohteeseen on tehty määräaikaistarkastus vuonna 2019. Myöskään tästä ei ollut dokumenttia saatavilla. Järjestelmän sähköpiirustukset tulee etsiä tai piirättää ja asettaa nähtäville.

Kaikki edellä mainitut puutteet on korjattava ensi tilassa. Lisäksi parantamiseksi mainitsen keskuksien merkintöjen yhtenäistämisen, sillä kiinteistön asennukset ovat muuttuneet ja lisääntyneet vuosien aikana. Tämä hankaloittaa huomattavasti kunnossapitoa ja vianhakua.

5.2 Lämpökamerakuvaukset

Rakennusten rakenteiden lämpökuvausta koskevat ohjeet ja pätevyysvaatimukset ovat olleet olemassa jo vuosia. Kuitenkin sähkölaitteiston lämpökuvaus poikkeaa näistä ohjeista merkittävästi. Vaikka itse kuvausvälineistö voi olla samanlainen, on sähkölaitteiston erityispiirteet otettava huomioon. Sähkökomponenttien lämpötilat ovat sidoksissa niiden kuormitusvirtaan, joten kuormitustilan määrittäminen ja kuormitusvirtojen mittaaminen ovat ensiarvoisen tärkeitä, kun lämpötiloja tulkitaan. Vaikka sähköasennuksia ja sähkölaitteistoja on kuvattu aikaisemminkin, lisääntyneet säh-

köpalot ovat lisänneet tarkempien kuvauksien tarvetta. Merkitsevä osa tulipaloista saa alkunsa sähköasennuksista tai sähkölaitteista, joko vikaantumisen tai käyttövirheen seurauksena. Sähkölaitteiston määräaikaistarkastusten lisäksi sähkölaitteistoja tulee huoltaa. Sähkölaitteiston lämpökuvauksen avulla voidaan havaita paloriskejä, jotka voivat aiheuttaa liiketoiminnan keskeytymisen, jos ne toteutuvat. (13, s. 1.)

Henkilö- ja yritysarviointi SETI Oy järjestää kokeita lämpökuvaajille ja ylläpitää rekisteriä lämpökuvaajista. Lämpökuvaajan on hallittava sähkötekniikan perusteet sekä tunnettava kuvattavissa kohteissa olevat sähkötekniset komponentit. Hänellä tulee olla tietoja eri sähköisten komponenttien normaaleista käyttölämpötiloista ja siitä, milloin komponentin lämpötila poikkeaa normaalista. Lisäksi hänen tulee tietää syitä, jotka voivat aiheuttaa lämpötilaeroja eri komponenttien välillä. Lämpökuvaajan on pystyttävä päättämään lämpökuvauksen perusteella, milloin laitteistossa on vika ja mikä vian aiheuttaa. (13, s. 1–2.)

5.2.1 Lämpökamera

Infrapunakamera on laite, joka vastaanottaa lämpösäteilyä. Se havainnoi luonnollista lämpösäteilyä, joka säteilee kohteen pinnalta. Infrapunakameran sensori muuttaa lämpösäteilyn voimakkuuden lämpötilatiedoksi, ja tämä tieto käytetään luomaan reaaliaikainen digitaalinen lämpökuva. Infrapunakameraa käytetään pääasiassa visualisoimaan kohteen pintalämpötilojen jakautumista. (14.) Tällä tavalla ihmisen näkökyvyn ylittävät aallonpituudet saadaan välitettyä ihmissilmän nähtäväksi. Lämpökamerakuvaus on nykyään yleisesti käytössä monilla eri aloilla, erityisesti kunnossapidon alalla.

Lämpökuvaukset suoritettiin Flir T540 -lämpökameralla. Kamerassa on käännettävä objektiivi, jonka avulla voidaan helposti kuvata ilman, että koko kameraa on tarvetta kääntää kuvaussuuntaan. Tämä helpottaa kohteen kuvaamista, kun kohde on koko ajan nähtävillä kameran näytöltä. Kuvassa 4 on nähtävillä kyseinen lämpökamera.



KUVA 4 Flir T540 -lämpökamera

Emissiivisyys (ϵ) kuvaa, kuinka tehokkaasti materiaali itse säteilee infrapunaenergiaa verrattuna ihanteelliseen säteilylähteeseen. Emissiivisyysarvot vaihtelevat 0,0 ja 1,0 välillä. Kun esineellä on emissiivisyysarvo 1.0, se toimii täydellisenä säteilylähteenä ja sitä kutsutaan mustaksi kappaleeksi. Käytännössä täydellisiä säteilijöitä ei ole, ja eri materiaalien emissiivisyys vaihtelee. Tämä on yksi haasteista, joka vaikeuttaa infrapunatekniikan käyttöä tarkastuksissa, joissa tarvitaan tarkkoja lämpötilamittauksia. (15.) Taulukossa 2 on lueteltuna joidenkin aineiden emissiivisyyskertoimia.

TAULUKKO 1 Aineiden emissiivisyyskertoimia. (13.)

Ihmisen iho	0,98
Vesi	0,98
Sähköteippi	0,95
Maali	0,90
Paperi	0,90
Posliini, lasitettu	0,92
Posliini, kiiltävä valkoinen	0,70–0,75
Kupari (hapettunut)	0,68
Kupari (kiilloitettu)	0,02
Alumiini (kiilloitettu)	0,05
Alumiini, voimakkaasti hapettunut	0,20–0,30
Alumiini, karkeistettu	0,18
Volframi, hehkulanka	0,39

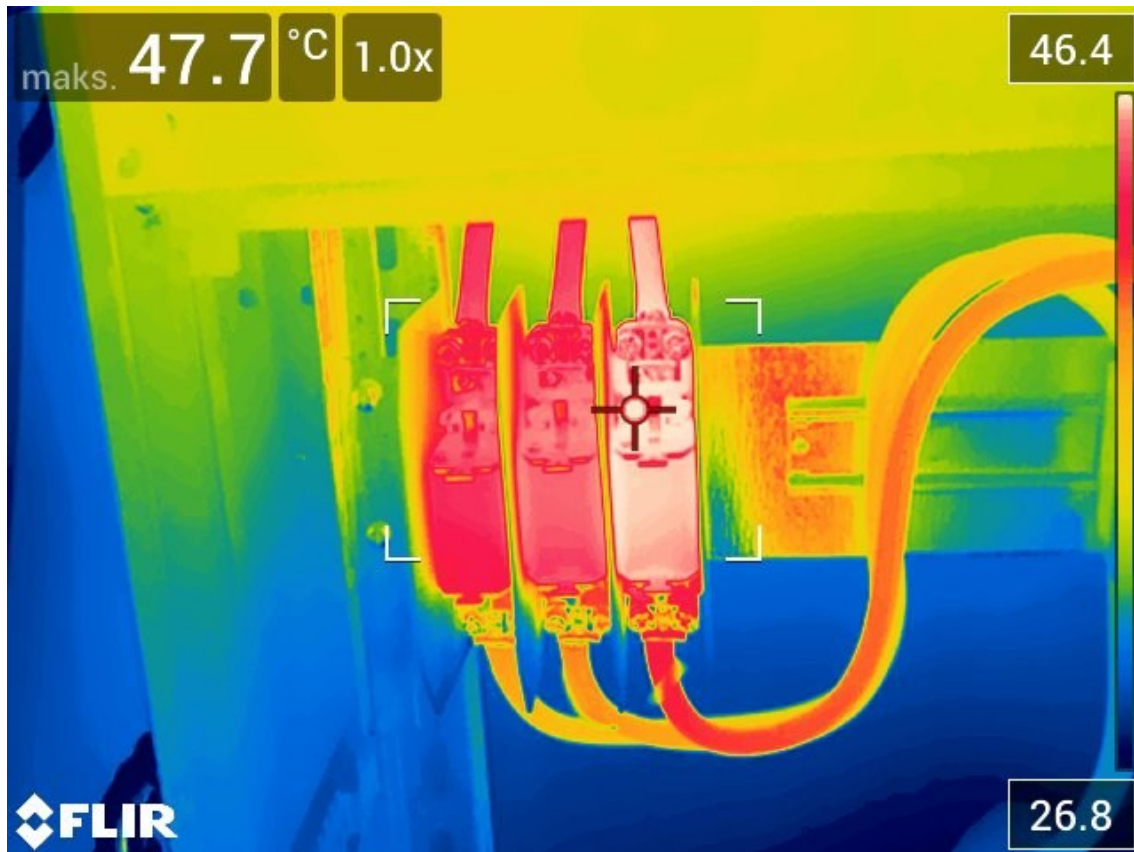
5.2.2 Tehdyt lämpökamerakuvaukset

Tarkasteltaessa sähköjärjestelmiä, lämpökuvauksen tavoitteena on toimia osana ennaltaehkäisevää huoltoa. Tämä menetelmä auttaa havaitsemaan erilaisia vikoja sähkökeskuksissa, kuten heikkolaatuisia liitoksia, hapettumista kontakteissa, virheellisiä puristusliitoksia, alumiinikaapelikenkien liitosten ongelmia, epäsymmetriaa jännitteissä, ylikuormituksia, virheellistä kaapelointia tai suoja-laitteiden mitoitusta sekä esiintyviä harmonisia yliaaltoja. Lämpökuvauksen avulla voidaan tehokkaasti havaita tilanteet, joissa liitoksien, johtimien ja komponenttien ovat lämpötilat ovat nousseet. Kuvattavan kohteen lämpösäteilyn määrittää tehohäviöistä johtuva lämpötilan nousu sekä emissiivisyyskerroin.

Kuormitusten on oltava olleet käytössään normaalisti tai vähintään 40 % maksimistaan vähintään puoli tuntia ennen lämpökuvauksen aloittamista ja myös kuvaamisen aikana (13).

Kuvauksen kohteena olivat kaikki kiinteistön keskuskeskukset. Pääkeskukselta kuvattiin koko liittymän noususulakkeet, ryhmäkeskukset luvattiin päältäpäin ja jos jotain selkeää poikkeavuutta havaittiin, keskuksen kansi aukaistiin ja kohde kuvattiin tarkemmin. Lisäksi kuvattiin joitain kaapeliläpivientejä ja valaisimia. Niiden suhteen ei havaittu mitään poikkeavaa, valaisimilla lämpötilat olivat luonnollisesti korkeammat kuin ympäröivät lämpötilat.

Pääkeskuksella kuvattiin kiinteistön pääsulakkeiden ja nousujohdon liittimet. Nousujohdon liitoksissa ei havaittu suuresti poikkeavia lämpötiloja, mutta pääsulakkeilla havaittiin, että kolmannen vaiheen lämpötila oli noin 3 °C korkeampi kuin muilla vaiheilla. Tälle on havaittavissa selkeä syy, kun myöhemmin käsitellään verkkoanalysointin mittauksia. Kolmannen vaiheen kuormitus on lähes jatkuvasti 10–20 A isompi kuin kahden muun vaiheen kuormitus. Kuvassa 5 näkyy lämpötilaero lämpökameran näyttämänä.



KUVA 5 Kiinteistön pääsulakkeet lämpökameran kuvassa

Lisäksi keskuksen jokainen osa kuvattiin kansia aukaisematta, ja jos selkeästi jokin komponentti näytti lämpimältä kuin muut, se kuvattiin tarkemmin. Yksi tällainen oli valaistuksen tulppasulake, toimintavirrallaan 10 A. Varoke kuvattiin tarkemmin ja varokkeen liitokset tarkastettiin. Liitoksista ei löytynyt korjattavaa. Tällekin lämpenemiselle löytyi kuitenkin selkeä syy, sillä pihtiampeerimittarilla mitattaessa piirin virta oli noin 8 A. Tämän sulakkeen piirissä on runsaasti valaisimia, jotka ovat pitkiä aikoja kerrallaan päällä, jolloin tulppasulakkeen ja varokkeen lämpötilat nousevat.

Muilla keskuksilla havaittiin samantapaisia ilmiöitä. Niissäkin tapauksissa valaistusryhmien johdon-suojakatkaisijat olivat huomattavasti muita katkaisijoita lämpimämpiä. Selkein lämpötilaero oli laajennusosan ryhmäkeskuksella, jossa lämpötilaero oli lähes 20 °C ympäröivään ilman lämpötilaan verrattuna. Valaistuksen kuormanjako suositellaan tarkastettavaksi, jotta pitkäkestoinen korkea lämpötila ei vaurioita komponentteja ja aiheuta sähköpalon riskiä.

5.3 Keskuskohtaiset mittaukset

Kaikista kiinteistön keskuksista mitattiin oikosulkuvirrat. Lisäksi myös kaikkien järjestelmässä olevien vikavirtasuojajytkinten laukaisuajat ja -virrat mitattiin. Nämä mittaukset tehtiin Amprobe Telaris ProInstall 100 -asennustesterillä. Vikavirtasuojien mittauksessa tuli ongelmaksi vikavirtasuojien puute, jota käsitellään tarkemmin seuraavassa luvussa.

5.3.1 Vikavirtasuojien mittaus

Vikavirtasuoja on herkkä lisälaite, joka toimii täydentävänä suojana sulakkeille tai katkaisijoille. Sen tehtävänä on suojata henkilöitä, jotka saattavat vahingossa koskettaa sähkölaitteiden tai jatkojoh-
tojen jännitteisiä osia, esimerkiksi jos laitteessa tai johdossa ilmenee vika. Tämä suoja laite valvoo eristysvikoja ja reagoi nopeasti katkaisemalla vaaralliset vuotovirrat, mikä estää vahingollisen jän-
nitteen pääsyn ihmiseen vikatilanteessa. Lisäksi vikavirtasuoja tarjoaa ylimääräisen suojan sähkö-
paloja vastaan. (16.)

Taulukossa 2 on SFS 6000/2022 -standardin vaatimukset vikavirtasuojien laukaisuajalle.

TAULUKKO 2 Vikavirtasuojien vaaditut laukaisuajat (17.)

Taulukko 531A.2 Vikavirtasuojan toiminta-ajat vikavirran ollessa sinimuotoista vaihtovirtaa (SFS-EN 61008-1: 2013 taulukko 1)

Tyyppi	I_n A	$I_{\Delta n}$ A	Vikavirtasuojien toiminta-ajat (s), kun vikavirta on sinimuotoista vaihtovirtaa						
			$I_{\Delta n}$	$2 I_{\Delta n}$	$5 I_{\Delta n}$	$5 I_{\Delta n}$ tai $0,25 A^a$	$5A - 200$ A^b	500 A	
Yleinen tyyppi	Kaikki arvot	< 0,03	0,3	0,15		0,04	0,04	0,04	Maksimi- laukaisu- ajat
		0,03	0,3	0,15		0,04	0,04	0,04	
		>0,03	0,3	0,15	0,04		0,04	0,04	
S-tyyppi	≥ 25	> 0,03	0,5	0,2	0,15		0,15	0,15	Minimi- ajat, jolloin laite ei toimi
		> 0,03	0,13	0,06	0,05		0,04	0,04	

Vikavirtasuojien mittausta aloitettaessa tuli ilmi huolestuttava seikka kiinteistön sähköjärjestel-
mästä. Oletuksena mittauksia aloitettaessa oli, että alkuperäisissä pääkeskuksessa ja hallin tulp-

pasulakkeellisessa ryhmäkeskuksessa ei ole vikavirtasuojia, mutta myöhemmin asennetuissa keskuksissa ne olisivat. Ensimmäisen suuremman laajennuksen osalta asia on hankala, sillä laajennus on valmistunut vuonna 2007, jolloin voimassa on ollut standardi SFS 6000/2002. Vikavirtasuojien asennus muillekin kuin kosteiden tilojen sekä ulkona olevien pistorasioiden suojaukseksi muuttui alkuvuonna 2008, jolloin se velvoitettiin asentamaan kaikkiin uusiin pistorasioihin uuden SFS 6000/2007 -standardin myötä.

Hitsaamon puolella olevasta ryhmäkeskuksesta puuttuu vikavirtasuojaus täysin. Laajennus on valmistunut vuonna 2015, jolloin voimassa on ollut sähköasennusstandardi SFS 6000/2012. Kuitenkin jo standardissa SFS 6000/2007 on velvoitettu, että kaikki maallikoiden käyttämät enintään 20 A:n pistorasiat täytyy vikavirtasuojata. Standardin mukaan määräyksistä voidaan poiketa, jos kyseessä on määrätyleiselle laitteelle tarkoitettu pistorasia tai jos kyseessä on pistorasia, jota käytetään ammatihenkilön tai opastetun henkilön valvomana teollisissa tai kaupallisissa rakennuksissa. Osa tämän keskuksen syöttämistä rasioista on tarkoitettu vain tietyille kiinteästi asennetulle laitteelle, mutta loput ovat vapaasti käytettävissä. Tiloissa työskentelee paljon eri työntekijöitä, jolloin oletus, että opastettu henkilö kykenee valvomaan rasioiden käyttöä standardin edellyttämällä tavalla, on optimistinen.

Hieman selkeämpi tapaus oli sosiaalityötilojen laajennuksen yhteydessä lisätty ryhmäkeskus. Tämä laajennus on tehty vuonna 2013, jolloin voimassa on ollut sähköasennusstandardi SFS 6000/2012. Keskuksessa oli yksi vikavirtasuojakytkin, joka oli kytketty suojaamaan tilojen lattialämmitystä. Pistorasioilla ei tässäkään tapauksessa ollut vikavirtasuojauksia, vaikka jo standardissa SFS 6000/2002 on velvoitettu niin tekemään. Keskukselta syötettiin myös ulkona olevia pistorasioita, joilla ei myöskään ole vikavirtasuojauksia. Tämän keskuksen asennukset ovat siis ainakin näiltä osin standardin vastaisia, ja tulisi korjata vastaamaan vähintään asennushetkellä voimassa olleita standardeja. Tähän keskukseseen suositellaan lisäämään vikavirtasuojakytkin, joka suojais kaikki keskukselta kaapeloidut ryhmät. Keskuksessa olevan vikavirtasuojan toiminta-aika ja -virta mitattiin, ja ne täyttivät vaaditut arvot.

Toimisto- ja neuvottelutilojen laajennustyössä, joka on tehty vuonna 2017, on rakennettu kokonaan uusi neuvotteluhuone ja toimistotila, jossa on kolme työpistettä. Tästä laajennuksesta ei ollut nähtävillä sähköjärjestelmän osalta dokumentointia, miten järjestelmä on toteutettu. Neuvottelutilan pistorasioissa ei ollut vikavirtasuojauksia. Tämänkin laajennuksen toteutushetkellä on ollut voimassa standardi, joka velvoittaa suojaamaan pistorasiat vikavirtasuojakytkimellä. Toimistotilojen

osalta vikavirtasuojauksen poisjättäminen on hyväksyttävää, sillä toimistotiloissa käytetään tietokoneita, joilla ohjataan erinäisiä CNC -koneita ja tehdään tuotannonhallintaa, jolloin ylimääräiset laukaisut voisivat olla tuotannolle riski. Neuvottelutilan pistorasiat tulisi kuitenkin vikavirtasuojata, sillä niitä käyttävät hyvin todennäköisesti maallikot, eikä voida olettaa, että käyttäjä olisi aina opastetun henkilön valvoma.

Kiinteistöstä mitattiin vikavirtasuojien puutteen takia ainoastaan sosiaalityökeskuksessa oleva vikavirtasuojajäsen, sekä autonlämmitysrasioiden vikavirtasuojajäsenkierimet. Kaikki vikavirtasuojat olivat nimelliseltä toimintavirraltaan 30 mA ja niille on standardissa asetettu toimintavirraksi enintään 30 mA ja laukaisuajaksi yksivaiheisena enintään 0,4 sekuntia ja kolmivaiheisena enintään 0,2 sekuntia. Nämä kaikki mitatut suojat täyttivät standardin vaatimukset. Taulukossa 3 on esitetty mittausten tulokset.

Vikavirtasuojat suositellaan lisättäväksi ainakin työntekijöiden taukotilan pistorasioihin, sillä sen rakennushetkellä voimassa olleen standardin mukaan ne olisi pitänyt suojata vikavirtasuojalla. Samalla tulisi myös ulkotiloissa oleville pistorasioille lisätä vikavirtasuojaus. Lisäksi neuvottelutilan pistorasioille suositellaan lisättäväksi vikavirtasuojajäsen, sillä pistorasioita käyttää suurella todennäköisyydellä maallikot, jolloin vikavirtasuojaus on välttämätön standardin täyttymisen kannalta.

TAULUKKO 3. Vikavirtasuojien mittaustulokset.

Kohde	Sijainti	Nimellis-arvot	Mitattu arvo
Autolämmitysrasia 1	Hallin länsiseinä	25A/0,03A	24 mA / 9,5 mS
Autolämmitysrasia 2	Hallin länsiseinä	25A/0,03A	24 mA / 17,4 mS
Autolämmitysrasia 3	Hallin eteläseinä	25A/0,03A	24 mA / 16,9 mS
Sosiaalityökeskuksen ryhmäkeskus	Kokoonpanotilat	25A/0,03A	21 mA / 7,0 mS
Mittalaite: Amprobe Telaris Proinstall 100			

5.3.2 Oikosulkuvirtojen mittaus keskuksilta

Sähköasennusstandardi SFS 6000/2022–4–43 mukaan asennuksissa on käytettävä suojalaitteita, jotka katkaisevat piirissä kulkevan liiallisen virran ennen kuin virran aiheuttamat lämpö- tai mekaaniset vaikutukset voivat aiheuttaa vahinkoa vaurioittamalla eristeitä, liitoksia, liittimiä tai ympäröiviä johtimia ja materiaaleja (18).

Oikosulkuvirralla tarkoitetaan sähkövirtaa, joka esiintyy määrätysä oikosulussa. Ennen mittauksia selvitin jakeluverkkoyhtiöltä tiedot tämän sähköliittymän oikosulkuvirroista. Verkkoyhtiö ilmoitti, että yksivaiheinen oikosulkuvirta on 1040 A. Vähintään tämä oikosulkuvirta pitäisi olla kiinteistön pääsulakkeilla. Verkkoyhtiö totesi, että ilmoitetut oikosulkuvirta-arvot perustuvat laskelmiin, mutta heillä ei ollut saatavilla konkreettisia mittaustietoja kohteen oikosulkuvirroista. Taulukoissa 4 ja 5 on nähtävillä standardissa SFS 6000 vaaditut oikosulkuvirrat johdonsuojakatkaisijoille ja gG-sulakkeille.

Kohteessa pääkeskukselta mitattu oikosulkuvirta oli yli sähköyhtiön ilmoittaman oikosulkuvirran. Pääkeskukselta mitattu alin yksivaiheinen oikosulkuvirta oli 1,2 kA. Muillakin keskuksilla oikosulkuvirrat ylittivät keskuksille asennettujen suojeiden vaatimat minimiarvot. Keskuksien mittaustulokset ovat nähtävissä taulukossa 6. Näissä tuloksissa ei ollut mitään merkillepantavaa, ja tulokset ovat loogisia. Kaikilta keskuksilta mitattiin kaikkien kolmen vaiheen oikosulkuvirta maadoitusta vasten. Taulukkoon on merkitty pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta.

TAULUKKO 4. Vaaditut oikosulkuvirrat johdonsuojakatkaisijoille. (19, s. 88.)

Pienimmät toimintavirrat johdonsuojakatkaisijoille ja vaaditut mitatut arvot				
Nimellisvirta	B-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo	C-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo
A	A	A	A	A
6	30	37,5	60	75
10	50	62,5	100	125
13	65	81,3	130	162,5
16	80	100	160	200
20	100	125	200	250
25	125	156,3	250	312,5
32	160	200	320	400
50	250	312,5	500	625
63	315	393,8	630	787,5
80	400	500	800	1 000
125	625	781,3	1 250	1 562,5

TAULUKKO 5. gG-sulakkeille vaaditut oikosulkuvirta-arvot. (19, s. 89.)

Pienimmät toimintavirrat gG-sulakkeille ja vaaditut mitatut arvot				
Nimellisvirta	gG-sulake 0,4 s	Vaadittu mitattu arvo	gG-sulake 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo
A	A	A	A	A
2	16	20	9	11,3
4	32	40	18	22,5
6	46,5	58,2	28	35
10	82	102,5	46,5	58,2
16	110	137,5	65	81,3
20	145	181,3	85	106,3
25	180	225	110	137,5
32	270	337,5	150	187,5
35	-	-	175	218,8
40	315	393,8	190	237,5
50	470	587,5	250	312,5
63	550	687,5	320	400
80	-	-	425	531,3
100	-	-	580	725
125	-	-	715	893,8
160	-	-	950	1187,5
200	-	-	1250	1562,5
250	-	-	1650	2062,5
315	-	-	2200	2750
400	-	-	2840	3550
500	-	-	3800	4750
630	-	-	5100	6375

TAULUKKO 6. Keskuksien oikosulkuvirrat.

Mitattu kohde	Sijainti	Arvo, Oikosulkuvirta (A)	Arvo, Impedanssi (Ω)	Suojalaite	Täyttää vaatimukset
Pääkeskus	Tekninen tila	1200	0,19	125 A (gG)	Kyllä
Ryhmäkeskus	Alkuperäinen halli	1100	0,21	35 A (gG)	Kyllä
Ryhmäkeskus	Hitsaamo	1000	0,2	35 A (gG)	Kyllä
Ryhmäkeskus	Laajennus (2007)	867	0,27	25 A (gG)	Kyllä
Ryhmäkeskus sosiaalitilat	Laajennus (2007)	755	0,31	25 A (gG)	Kyllä

5.3.3 Oikosulkuvirtojen mittaus pistorasioista

Keskuksien lisäksi oikosulkuvirrat mitattiin jokaisesta kiinteistössä olevasta pistorasiasta. Samalla niiden toiminta testattiin. Pääsääntöisesti oikosulkuvirrat olivat vaatimuksen ylittävät. Kolmivaiheista pistorasioista kaikki ylittivät vaaditut arvot. Yhtä kolmivaiheista pistorasiaa mitattaessa mittari ei antanut lukemaa lainkaan. Kun pistorasia avattiin, huomattiin että suojamaan johdin oli kiristetty asennettaessa liian tiukkaan, jolloin johdin oli mennyt poikki ja pistorasialle ei siten tullut lainkaan maadoitusta. Tämä olisi aiheuttanut vaaratilanteen, jos pistorasiaan olisi kytketty laite, jonka eristys olisi syystä tai toisesta pettänyt.

Yksivaiheisista pistorasioista suurin osa täytti annetut vaatimukset. Joitain pistorasioita käytettiin auki, ja rasia ja johtimen liitos uusimalla oikosulkuvirrat saatiin nousemaan. Jotkin pistorasiat eivät tämänkään jälkeen täyttäneet standardin vaatimuksia automaattisesta poiskytketymisestä, eikä henkilösuojauskaan ei täyty, sillä ryhmistä puuttui vikavirtasuojakytkimet. Näissä tapauksissa tulisi johdonsuojakatkaisijan kokoa pienentää tai asentaa ryhmään vikavirtasuojakytkin, jolloin se täyttäisi vikasuojauksen. Pistorasioiden oikosulkuvirrat ovat nähtävillä liitteissä 2 ja 3.

5.4 Verkkoanalysointimittaukset

Kiinteistön sähköverkkoa mitattiin noin neljän vuorokauden ajan Fluke 430-II -verkkoanalysointirilla. Tämän mittauksen tarkoitus oli selvittää verkossa mahdollisesti olevat vinokuormat ja taajuuden vaihtelut. Mittari sijoitettiin mittaamaan koko kiinteistön nousukaapelin virtaa ja jännitemittaus otettiin pääkeskuksen virtakiskoilta. Mittaukset aloitettiin kytkemällä jännitemittausjohtimet virtakiskoilla olevien liittimien pultteihin hauenleukaliittimillä ja laittamalla virtapihdit syöttökaapelin johtimien ympärille. Virtapihtejä laitettaessa täytyi kiinnittää huomiota pihdeissä oleviin nuoliin, jotka näyttävät virran kulkusuunnan ja ne täytyy laittaa oikein päin.

Kun mittajohtimet oli kiinnitetty, verkkoanalysointorista käynnistettiin Logger -toiminto, joka mahdollistaa eri mittaustuloksien tallentamisen suurella erottelukyvällä. Loggerin asetuksista mittaustuloksiin laitettiin 15 minuuttia ja ajastettiin ensimmäisen mittaustuloksen aloitus. Asetuksista voitiin myös valita mitattavat suureet. Mittauksen tehtiin kahdessa osassa, sillä verkkoanalysointorissa oli valittavana joko kahden tai seitsemän päivän jakso. Käytettävissä olevan ajan puitteissa mittaukset tehtiin kahdessa kahden päivän jaksossa.

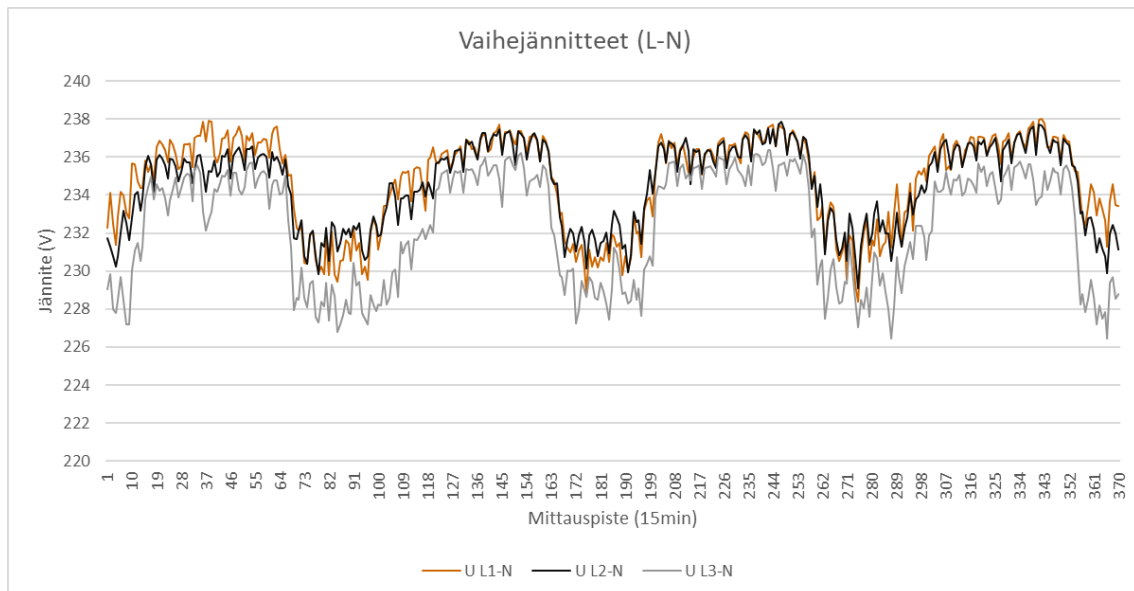
5.4.1 Jännitteet

Standardin SFS-EN 50160:2022 mukaan yleisessä pienjänniteverkossa nimellijännite on 230 V vaiheen ja nollan välillä, tai vaiheiden välillä seuraavasti:

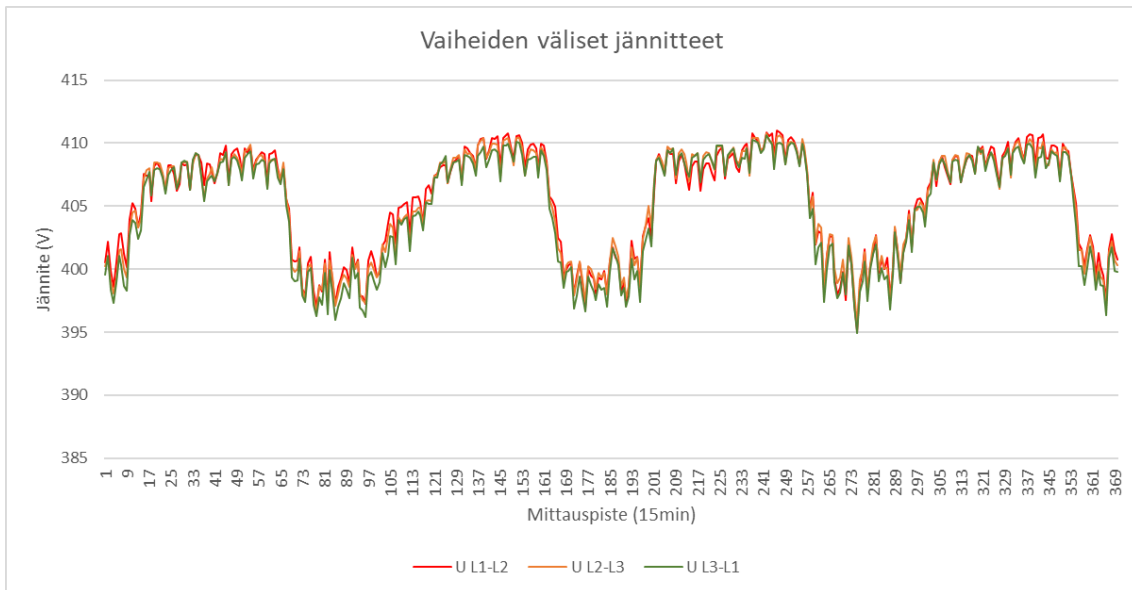
- nelijohtimisella kolmivaihejärjestelmällä:
 $U_n=230$ V vaiheen ja nollan välillä
- kolmijohtimisella kolmivaihejärjestelmällä:
 $U_n=230$ V vaiheiden välillä. (20.)

Lisäksi kyseisessä standardissa on määritelty vaatimuksia jännitteen vaihtelun osalta. Tavanomaisissa käyttöympäristöissä, lukuun ottamatta katkosten aikaa, jännitteen vaihtelut eivät saisi ylittää ± 10 % nimellijännitteestä U_n . Jos kyseessä on tilanne, jossa jakeluverkkoa ei ole liitetty yleiseen siirtoverkkoon tai jossa on kyseessä erityiset syrjäseutujen verkonkäyttäjät, jännitevaihtelun ei tulisi ylittää $+ 10$ % / $- 15$ % nimellijännitteestä U_n . (20.)

Kyseessä olevassa kiinteistössä jännitteen tulisi siis pysyä ± 10 % sisällä, eli välillä 207–253 V. Mitatuista jännitteistä muodostettiin kaaviot, jotka ovat nähtävissä kuvissa 5 ja 6.



KUVA 5. Mitatut vaihejännitteet



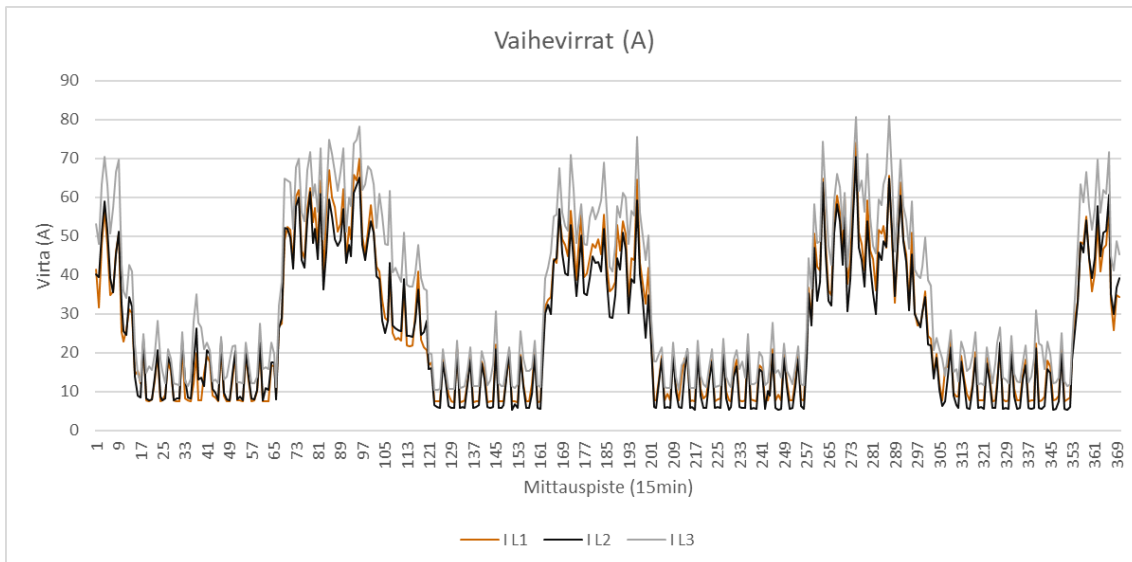
KUVA 6. Mitatut vaiheiden väliset jännitteet.

5.4.2 Virrat

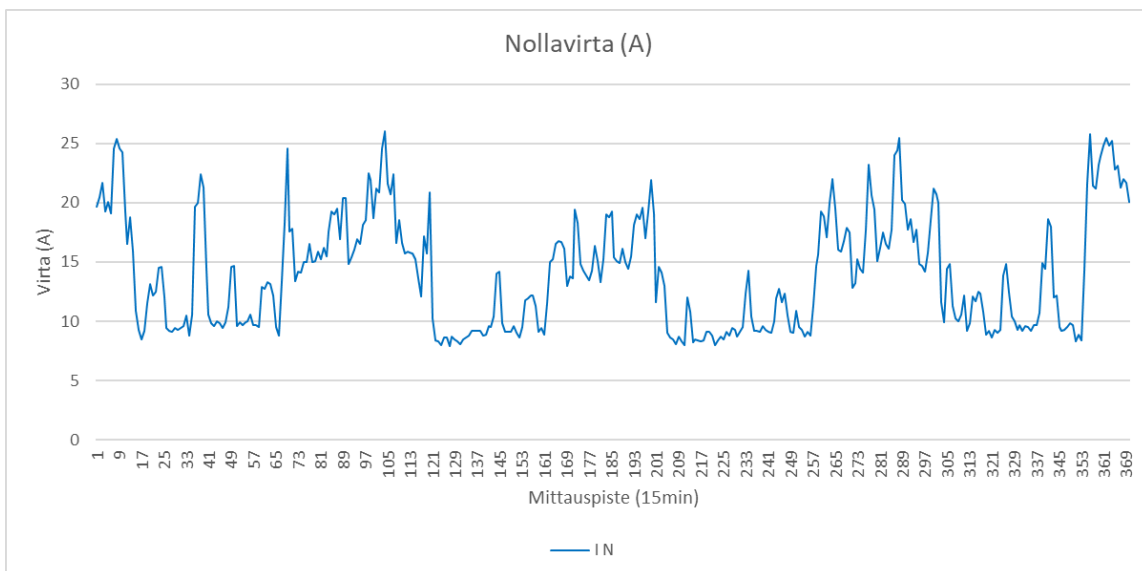
SFS-EN 50160 -standardin mukaisesti määritelty jännite-epäsymmetria sähkön laadussa aiheutuu pääasiassa sähköverkon epätasaisesta kuormituksesta verkkoyhtiön toimesta. Rakennuksen kolmivaihejärjestelmä on tasapuolisesti kuormitettu symmetrisesti lineaarisilla kuormilla kuten vastuksilla ja käämeillä, eikä nollajohtimessa kulje virtaa. Monissa nykyisissä rakennuksissa sähkökeskusten vaihekuormitukset ovat kuitenkin hyvin epätasaisia, mikä aiheuttaa nollajohtimeen kuormituksen erokomponentin. (21.)

Suurin sallittu suositeltava vinokuormitus vaiheiden välillä on $\pm 10\%$. Tämä merkitsee, että jokaisen vaiheen virta voi vaihdella enintään 10 % keskimääräisestä vaihevirrasta. Vinokuormitukset voidaan poistaa jakamalla yksivaiheisia laitteita tasaisesti eri vaiheille. Vinokuormitusten poistamisella voidaan saada N-johtimen virta ja samalla jännite mahdollisimman lähelle nollaa. (21.)

Kiinteistössä suoritettiin mittaus vaihekohtaisesti ja sen lisäksi mitattiin myös nollajohtimen virta. Mitatuista virroista muodostettiin kuvaajat, jotka ovat nähtävillä kuvassa 7, jossa näkyvät vaihevirrat ja kuvassa 8, jossa näkyvät nollavirrat.



KUVA 7. Mitatut vaihevirrat

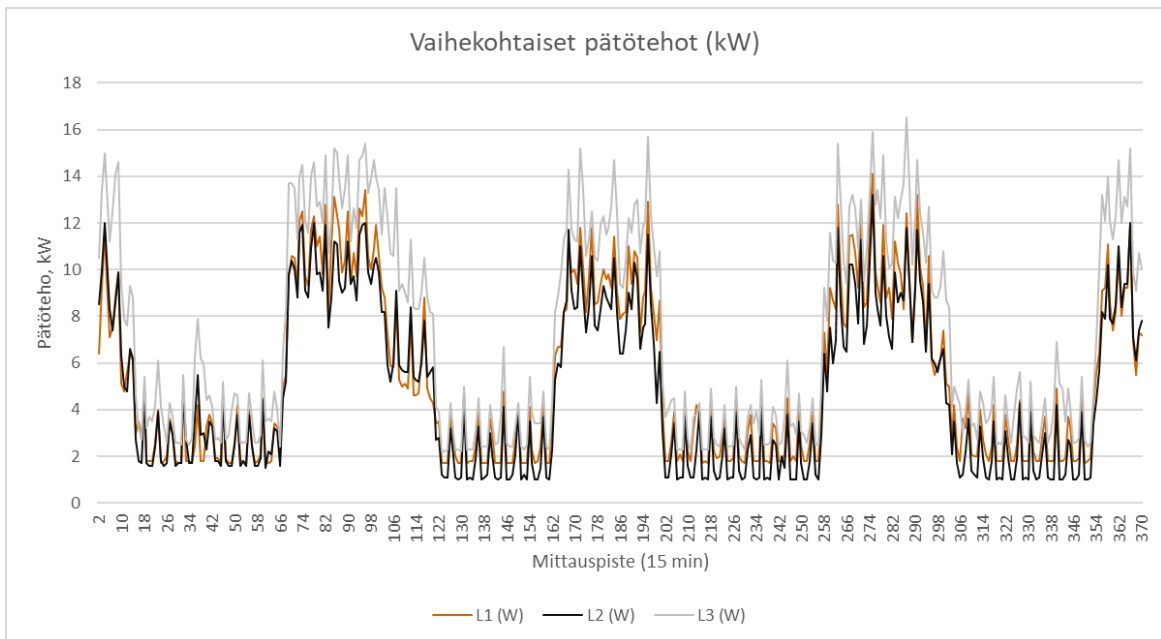


KUVA 8. Mitattu nollavirta

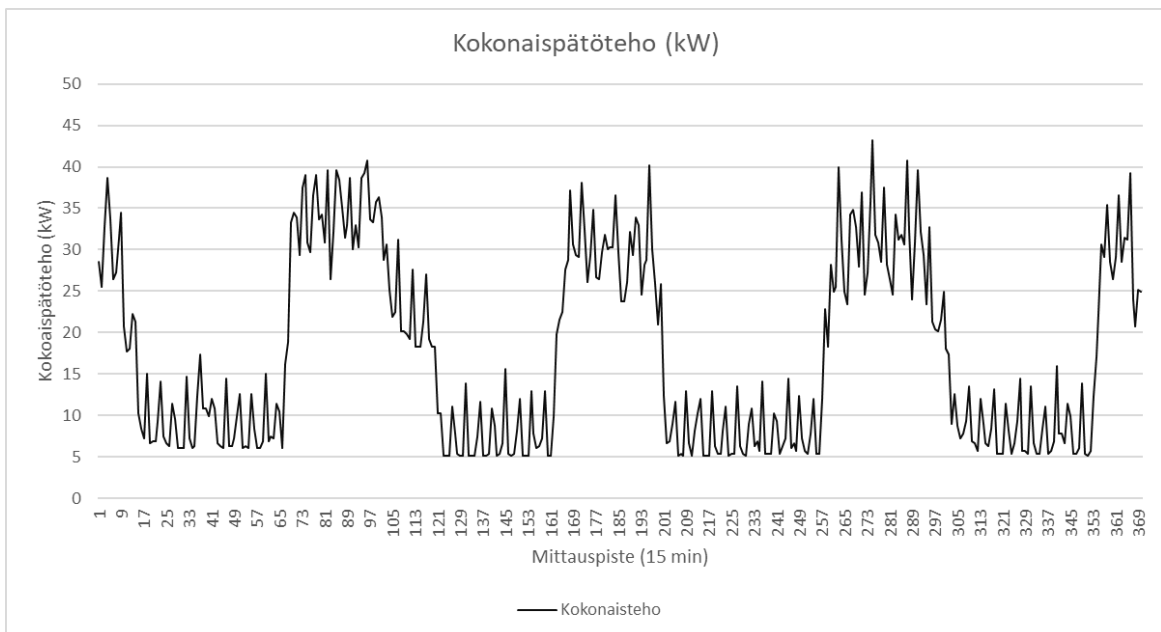
5.4.3 Tehot

Kiinteistöä lämmitetään suurella maalämpöpumpulla ja suurin osa kiinteistön laitteista on kolmivaiheisia. Suurempia yksivaiheisia laitteita ei oikeastaan käytetä, vaan yksivaihekuormat koostuvat pääosin tietokoneista ja tuotantopuolella valaisimista ja akkulatureista. Suurimmat yksivaihetehot muodostuvat sosiaalitulojen lattialämmityksestä, joka on toteutettu sähkölattialämmityksenä. Lisäksi tiloissa oli yksi suurempi ilmankuivaaja. Kuten jo aiemmin virtamittauksista voitiin havaita, kuormitus oli suurinta kolmannella vaiheella.

Mittaustuloksista muodostettiin vaihekohtaisten pätötehojen kuvaaja, joka on nähtävillä kuvassa 9. Kokonaispätötehon kuvaaja on nähtävillä kuvassa 10.

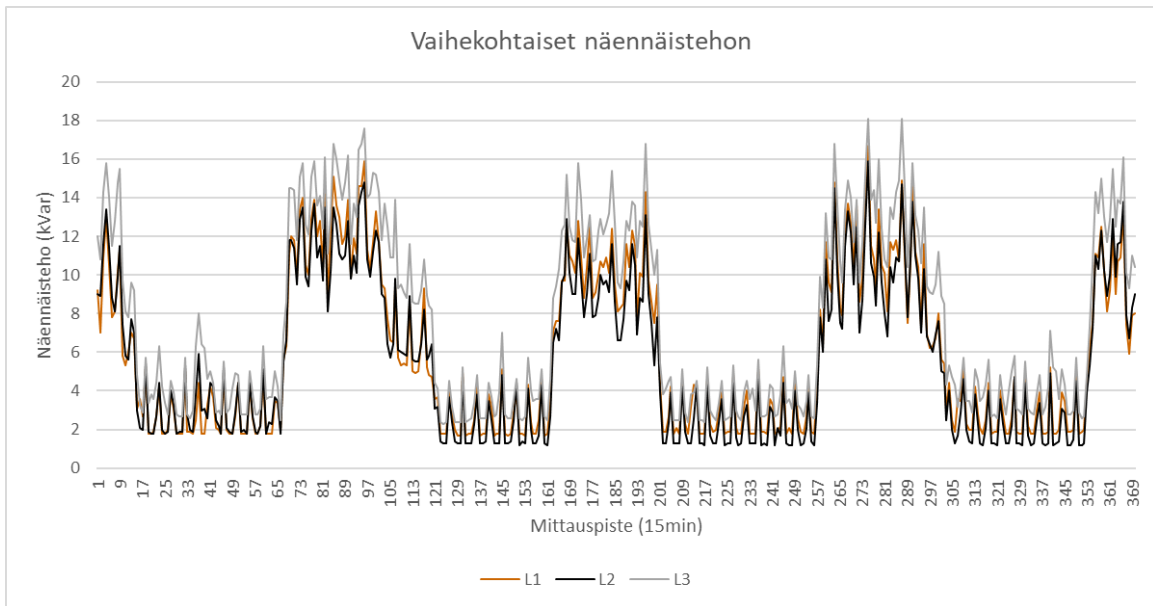


KUVA 9. Vaihekohtaiset pätötehot.

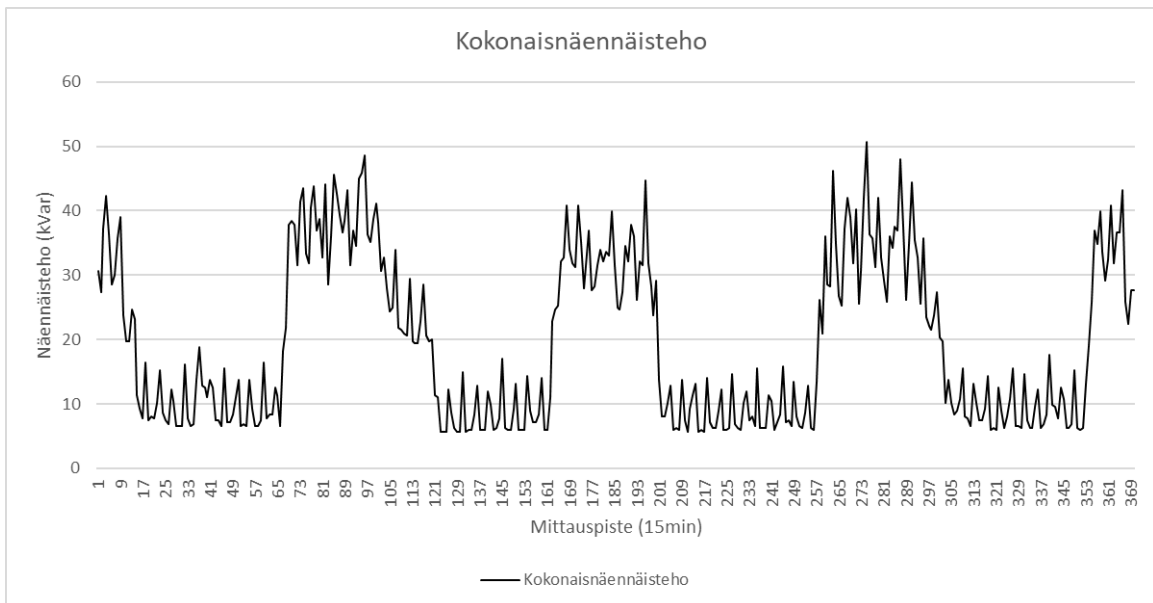


KUVA 10. Kokonaispätötehon kuvaaja.

Pätöteho kuvaa järjestelmän todellista tehonkulutusta, kun taas näennäisteho kuvaa sähköjärjestelmän kokonaiskuormaa, ottaen huomioon sekä pätö- että loistehon komponentit. Vastaavat näennäistehon kuvaajat ovat nähtävissä kuvissa 11 ja 12.



KUVA 11. Vaihekohtaiset näennäistehot.

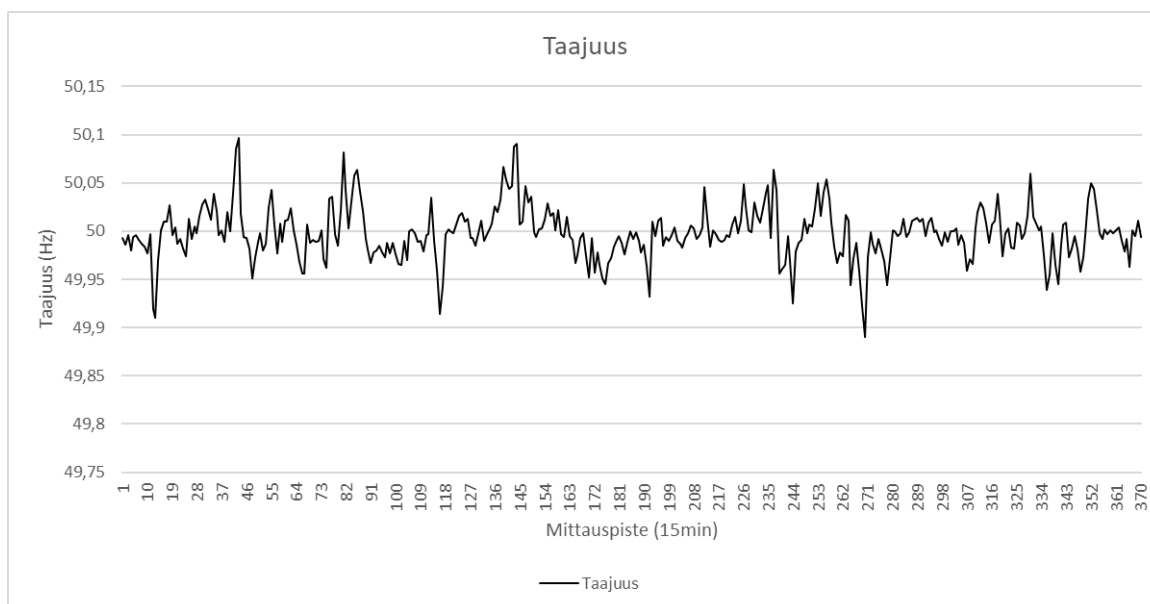


KUVA 12. Kokonaisnäennäisteho.

5.4.4 Taajuus

Standardi SFS-EN 50160 määrittää yleisen jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet. Standardin mukaan sähkön nimellistaajuuden tulee olla 50 Hz. Tavanomaisissa käyttöolosuhteissa perustaajuuden keskiarvo, mitattuna 10 sekunnin aikavälillä, tulisi yhteiskäyttöverkoissa olla välillä 49,50–50,50 Hz 99,5 % ajan vuodesta. Lisäksi perustaajuuden keskiarvon tulisi olla välillä 47,0–52 Hz 100 % ajan vuodesta.

Kuvassa 13 on nähtävillä saaduista mittaustuloksista muodostettu kuvaaja. Mitatut taajuusvaihtelut pysyivät standardissa määritellyissä raja-arvoissa.



KUVA 13. Mitatut taajuusvaihtelut.

5.4.5 Analysointi

Tulosten analyysissä havaittiin, että jännitevaihtelu oli välillä -4,97 % - 3,84 %, mikä on suositeltavan vaihteluvälin, eli ± 10 %, rajoissa. Näin ollen jännitevaihtelu täyttää standardin vaatimukset ja pysyttelee hyväksyttävällä tasolla.

Mitatut virrat vaihtelivat 4,2 A:in ja 80,9 A:in välillä. Kiinteistössä havaittiin vinokuormaa, erityisesti kolmannessa vaiheessa. Kolmannen vaiheen vinokuorma ylitti suositellun tason sen ollessa 20 %. Tämä vinokuorman ylitys aiheuttaa epätasapainoa sähköjärjestelmän vaiheiden välillä ja voi pahimmillaan vaikuttaa sähköjakeluun sekä laitteiden toimintaan. Liian suuri vinokuorma aiheuttaa yliaaltoja, joka näkyy nollajohtimen virrassa. Suurin mitattu nollajohtimen virta oli 46,6 A. Kuormia tasaamalla tämä virta saataisiin laskettua alemmas yliaaltojen ja symmetrisyyden parantuessa. Yliaaltoja aiheuttavia laitteita on kiinteistössä käytössä, kuten hitsauskoneita, tietokoneita ja LED-valaisimia. Myös kaasupurkausvalaisimet aiheuttavat yliaaltoja, ja niitäkin kiinteistössä on joissain tiloissa käytössä.

Toisaalta taajuus ei osoittanut merkittävää heilahtelua ja pysyi standardin asettamien rajojen sisällä. Tämä viittaa siihen, että sähköjärjestelmän taajuus on vakaa eikä aiheuta haitallisia vaikutuksia sähkölaitteille tai muille komponenteille.

Yhteenvedona voidaan todeta, että jännitevaihtelu täytti standardin suositukset, mutta kiinteistössä havaittu vinokuorma, erityisesti kolmannessa vaiheessa, vaatii huomiota ja mahdollisia korjaustoimenpiteitä tasapainon palauttamiseksi vaiheiden välillä. Taajuuden pysyminen sallituissa rajoissa on myönteinen huomio, mutta vinokuormasta johtuvat vaikutukset tulisi ottaa huomioon järjestelmän suunnittelussa ja ylläpidossa.

6 KUNNOSSAPITOSUUNNITELMA

Järjestelmien tehokas ja järjestelmällinen ylläpito vaatii kohdekohtaista huolto- ja kunnossapitosuunnitelman laatimista ja noudattamista, ottaen huomioon kunkin järjestelmän ja olosuhteet. Suunnitelmassa määritellään yksityiskohtaisesti, miten huolto- ja kunnossapitotoimenpiteet suoritetaan ja milloin ne ovat tarpeen tehdä. Kaikki suoritettavat ylläpitotoimet tulee hyvin dokumentoida huoltopäiväkirjaan. Tämän avulla voidaan tarkastella ja varmistaa, että ylläpitosuunnitelmaa noudatetaan asianmukaisesti. (5, s. 2.)

Huoltopäiväkirja antaa mahdollisuuden seurata suoritettujen toimenpiteiden ajankohtia ja tietoja, ja tarvittaessa todentaa, että ylläpito on tehty säännöllisesti ja oikein. Tällainen huolellinen dokumentointi auttaa ylläpitämään järjestelmien toimintavarmuutta, turvallisuutta ja tehokkuutta pitkällä aikavälillä. Mahdolliset viat, häiriöt ja riskit, jotka voivat aiheuttaa suuriakin seuraamuksia, eivät välttämättä paljastu normaalissa toiminnassa. Siksi on tärkeää tehdä kohdekohtaisia tarkastuksia laitteistolle sopivin väliajoin. Näin voidaan tunnistaa ja ennakoida potentiaaliset ongelmat ajoissa ja varmistaa sähkölaitteiston turvallinen toiminta pitkällä aikavälillä.

Sähköturvallisuuslain 1135/2016 mukaisesti kiinteistön sähköjärjestelmä kuuluu luokkaan 1b, jolloin huolto- ja kunnossapito-ohjelman laadinta on varsin suoraviivaista. Tämä johtuu siitä, että kyseisessä kiinteistössä ei ole olemassa suurjännitelaitteistoja tai erityistilojen sähköasennuksia. Tämä tekijä selkeyttää ja yksinkertaistaa huolto- ja kunnossapito-ohjelman sisältöä merkittävästi. Lisäksi ohjelma ei koske savunpoisto- eikä poistumistievalaistusta, sillä niitä ei kiinteistössä ole.

Sähköjärjestelmän kunnossapitosuunnitelmaa luotaessa sen keskiössä olivat keskuksat, johtotiet, johdot, valaisimet sekä lämmittimet. Myös kojeet, koneet ja laitteet muodostivat yhden osan suunnitelmasta. Jokaisen näiden osa-alueen kunnossapitoon kiinnitettiin erityistä huomiota, ja menneet tarpeet sekä tulevaisuuden vaatimukset otettiin huomioon. Suunnitelman laatimisen yhteydessä etusijalla oli kunnossapitotoimenpiteiden ajoitus ja niiden vaikutus sähköjärjestelmän turvallisuuteen ja toimivuuteen.

ST-korttien 96.02 ja 96.03 ohjeita noudatettiin suunnitelmaa laadittaessa, vaikka nämä kortit oli virallisesti arkistoitu, mikä aiheutti haasteita. Korvaava ST-kortti 96.01 oli saatavilla, mutta sen liitteet ja ohjeet olivat tavoittamattomissa, minkä vuoksi kunnossapitosuunnitelma laadittiin jo arkistoidun korttien pohjalta. Näistä ohjeista saatiin suuntaa antavaa apua kunnossapitosuunnitelman

rakentamiseen, mikä varmisti suunnitelman yhdenmukaisuuden alan käytäntöjen ja turvallisuusstandardien kanssa.

Sähköjärjestelmän eri komponenttien kunnossapitoa koskevassa osiossa pyrittiin varmistamaan, että suunnitelma sisälsi sekä ennaltaehkäisevät toimenpiteet että korjaavat toimenpiteet. Tavoitteena oli tarjota selkeä ja kattava kuvaus sähköjärjestelmän kunnossapitokäytännöistä ja -toimenpiteistä, mikä puolestaan edisti sähköjärjestelmän luotettavuutta, turvallisuutta ja pitkäikäisyyttä pitkällä aikavälillä.

Koko laitteisto määriteltiin ST-kortin 96.02 mukaan vaatimustasoltaan tavalliseksi, kuitenkin tuotantoon liittyvät laitteet ja laitteiston määriteltiin erittäin vaativaan tasoon, sillä niiden viat aiheuttavat tuotannon viivästymistä ja mahdollisia taloudellisia tappioita.

Alla on ST-kortin 96.02 mukaisesti eri tarvetasot:

Erittäin vaativa taso (EV) sähköjärjestelmien osille

- jotka ovat erittäin kuluttavassa käytössä
- jotka ovat erittäin vaativissa olosuhteissa ja helposti vioittuvia
- joiden toimimattomuus tai virheellinen toiminta vikatapauksessa voi aiheuttaa välitöntä tai suurta vaaraa
- joiden vioittuminen aiheuttaa välitöntä tai suurta vaaraa
- joiden vioittuminen haittaa erittäin merkittävästi käyttöä
- joiden vioittuminen tuottaa suuria keskeytys- tai muita kustannuksia.

Tavanomainen taso (T) sähköjärjestelmien osille

- joiden käyttö on käyttöolosuhteissaan tavanomaista ja jotka eivät vioitu helposti käytössä
- joiden vioittuminen ei aiheuta välitöntä tai suurta vaaraa
- joiden vioittuminen ei merkittävästi haittaa käyttöä.

Kevyt taso (K) sähköjärjestelmien osille

– joiden kuluminen käytössä on vähäistä ja joiden vioittumisella ei ole juurikaan merkitystä turvallisuuden kannalta

– joiden vioittumisella ei ole suurta merkitystä käytön tai kustannusten kannalta. (22.)

Sähköjärjestelmän huolto- ja kunnossapitosuunnitelma on nähtävillä liitteessä 4.

7 YHTEENVETO

Tehdyn kuntotarkastuksen perusteella kohdekiinteistön sähköjärjestelmä oli suurilta osin kunnossa. Analysointivaiheessa tehtyjen mittausten perusteella havaittiin vinokuormaa sähköjärjestelmässä, mutta muuten mitatut suureet pysyivät standardien määrittelemissä rajoissa. Pistorasioista ja valaisimista löytyi joitain puutteita.

Suurimpina ongelmina sähköjärjestelmässä oli sähköpiirustusten puute sekä standardin vastaisesti toteutettu vikasuojaus sosiaalilojen keskuksella. Tämä puute tulisi korjata mahdollisimman pian vastaamaan vähintään rakennushetkellä voimassa ollutta sähköasennusstandardia SFS 6000/2012. Tämän standardin mukaan valaistusta ei tarvitsisi vikavirtasuojata, mutta pistorasioiden tulisi olla vikavirtasuojattuja. Tämän muutoksen yhteydessä olisi järkevää vaihtaa keskuksessa oleva lämmityksen ohjaukskontaktori umpinaiseen kontaktoriin, jossa ei olisi kosketeltavissa olevia jännitteisiä osia. Tällä hetkellä kontaktorilla ei ole sormisuojausta, ja jännitteiset ruuvit ovat kosketeltavissa.

Oikosulkuvirtojen osalta keskuksat täyttivät standardien vaatimukset. Pistorasioissa suurin osa täyttivät vaatimukset, lukuun ottamatta kolmea pistorasiaa. Näiden pistorasioiden suojalaite tulisi vaihtaa joko B-käyrän johdonsuojakatkaisijaan tai pienentää katkaisijan kokoa 10 A:in katkaisijaan.

Verkkoanalysointivaiheessa mitatuissa tuloksissa nähtiin järjestelmässä vinokuormaa. Tämä vinokuorma aiheuttaa nollavirran kasvua. Tämä vinokuorma tulisi tasoittaa. Kiinteistössä käytetään myös yksivaiheisia laitteita, kuten sirkkeleitä ja tietokoneita, jotka aiheuttavat osaltaan myös vinokuormaa ja yliaaltoja. Tämän osalta vinokuorman tasoitus on hankalaa.

Valaistuksessa ei huomattu suuria puutteita. Hitsaamossa joistain valaisimista puuttui suojakannet, jolloin loisteputket olivat koskettavissa, joka voi aiheuttaa vaaratilanteita, sillä hitsaamossa käsitellään pitkiä alumiiniputkia ja muita metallitarvikkeita. Suosituksena on, että kiinteistön kaikki loisteputkivalaisimet vaihdettaisiin jollain aikavälillä kiinteisiin LED-valaisimiin. Tämän avulla esimerkiksi hitsaamon suurta valaisinmäärää voitaisiin pienentää valaistustehosta tinkimättä.

Opinnäytetyöni lopputuloksena sain kiinteistön omistajalle ajantasaista tietoa kiinteistön sähköjärjestelmän tilasta ja sen puutteista. Myös toimeksiantajan vaatimukset työn sisällöstä täyttyivät ja

toimeksiantaja oli työn sisältöön tyytyväinen. Itse sain paljon uutta tietoa kunnossapidosta ja sen vaatimuksista. Olen kaikilta osin tyytyväinen työn sisältöön ja toteutukseen.

LÄHTEET

1. Sähköturvallisuuslaki 16.12.2016/1135. Hakupäivä 2.8.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>
2. Tukes 2023. Sähkölaitteisto. Hakupäivä 15.8.2023. <https://tukes.fi/sahko/sahkolaitteistot>
3. ST 51.23. Määräaikaistarkastuksen suorittaminen. Espoo: Sähkötieto ry. Hakupäivä 3.8.2023.
4. Tukes 2023. Määräaikaistarkastukset. Hakupäivä 2.8.2023. <https://tukes.fi/sahko/sahkolaitteistot/maaraaikaistarkastukset>
5. ST 96.01. Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien huolto- ja kunnossapito-ohjelmien laatiminen. Espoo: Sähkötieto ry. Hakupäivä 3.8.2023
6. ST 33. Rakennusten sähköasennusten tarkastukset. Espoo: Sähkötieto ry. Hakupäivä 3.8.2023
7. Tukes 2023. Kunnossapito. Hakupäivä 2.8.2023. <https://tukes.fi/sahko/sahkolaitteistot/kunnossapito-ja-maaraaikaistarkastukset>.
8. Manninen, Jorma. 2023. Mitä on korjaava kunnossapito? Aneo Oy. Hakupäivä 2.8.2023. <https://www.aneo.fi/fi/kunnossapito/mita-on-korjaava-kunnossapito>.
9. SFS-EN 13306:2017. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. Helsinki: Suomen standardiliitto ry. Hakupäivä 2.8.2023.
10. Manninen, Jorma. 2023. Mitä on ennakoiva kunnossapito? Aneo Oy. Hakupäivä 2.8.2023 <https://www.aneo.fi/fi/kunnossapito/mita-on-ennakoiva-kunnossapito>
11. PSK 6201/2022. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. PSK Standardisointi. Hakupäivä 2.8.2023.
12. Korpiniitty, Veera. 2022. Parantava kunnossapito - Arkkileikkurin painopyörästä modernisointi. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 2.8.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2022053113430>
13. ST 53.62. Sähkölaitteiston lämpökuvaus. Espoo: Sähkötieto ry. Hakupäivä 3.8.2023.

14. Infradex Oy. Lämpösäteily & infrapuna. Hakupäivä 16.8.2023. <https://www.infradex.com/lamposateily-ja-lampokamera>
15. Fluke. Kuuman kohdan tunnistaminen – mitä kannattaa etsiä. Hakupäivä 16.8.2023 <https://www.fluke.com/fi-fi/lue-lisaa/blogi/lampokuvaus/kuuman-kohdan-tunnistaminen>
16. STEK Ry. Vikavirtasuojan testaus. Hakupäivä 17.8.2023. <https://stek.fi/sahkoturvallisuus/sallitut-sahkotyot/vikavirtasuojan-testaus>
17. SFS 6000/2022–5–53. Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Erottaminen, kytkentä ja ohjaus. Helsinki: Suomen standardiliitto ry. Hakupäivä 22.8.2023
18. SFS 6000/2022–4–43. Suojausmenetelmät. Ylivirtasuojaus. Helsinki: Suomen standardiliitto ry. Hakupäivä 22.8.2023.
19. D1-2022. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2022. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.
20. SFS-EN 50160. Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet. Helsinki: Suomen standardiliitto ry. Hakupäivä 22.8.2023.
21. ST-kortti 52.51.04. Sähkön laatu. Vinokuormitus, nollajohdin ja transienttiylijännitteet. Espoo: Sähkötieto ry. Hakupäivä 22.8.2023.
22. ST-kortti 96.02. Hoito- ja kunnossapito-ohjelman laadinta. Espoo: Sähkötieto ry. Hakupäivä 23.8.2023.

LIITTEET (Vain toimeksiantajan käyttöön)

Liite 1. Sähköjärjestelmät kuntotarkastuspöytäkirja

Liite 2. Voimapistorasioden oikosulkuvirrat

Liite 3. Yksivaiheisten pistorasioiden oikosulkuvirrat

Liite 4. Huolto- ja kunnossapito-ohjelma