



Kazim Ali

Rautateiden turvalaitteiden virransyötön uudistaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

27.9.2024

Tiivistelmä

Tekijä: Kazim Ali
Otsikko: Rautateiden turvalaitteiden virransyötön uudistaminen
Sivumäärä: 32 sivua
Aika: 27.9.2024

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine: Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat: Vastaava työnjohtaja Jorma Haukka
Lehtori Juha Kallunki

Tämän insinööriyön tavoitteena oli tutkia turvalaitteiden virransyötön muutostyötä, jossa muuttajakoneet vaihdettiin taajuusmuuttajiksi. Tutkimus tehtiin samanaikaisesti muutostöiden yhteydessä. Työ tehtiin GRK Suomi Oy:lle kunnossapidon urakoinnin yhteydessä. Työn tilaajana toimi Väylävirasto, suunnittelijana Proxion Plan Oy ja urakoitsijana GRK Suomi Oy. Selvityksissä ja materiaalina käytettiin Proxion Plan Oy:n toimittamia suunnitelmia sekä Väyläviraston yleisiä rautatieohjeita ja määräyksiä.

Suurimpia syitä muuttajakoneen vaihtamiselle olivat sen huollollinen vaikeus sekä sen huollosta syntyvät kustannukset. Insinööriyössä selvitettiin taajuusmuuttajan teknistä toteutusta ja sen sopivuutta rautateiden turvalaitteisiin. Insinööriyön tarkoitus oli lisäksi tutkia huoltotoimenpiteiden muutoksia ja kartoittaa muutostyön kustannuksia.

Muutostöissä havaittiin, kuinka taajuuden muuntamiseen liittyvät määräykset olivat tarkentuneet. Kustannussäästöt muutostyöllä olivat ennakkoon suurempia kuin odotettiin. Myös huoltoon käytettävät työtunnit vähenivät muutostyön avulla moninkertaisesti. Voitiin todeta, että tämänkaltaiset muutostyöt olivat erittäin hyödyllisiä.

Avainsanat: turvalaitevirransyöttö, turvalaite, taajuusmuuttaja, muuttajakone, muutostyö, asetinlaite

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Kazim Ali
Title: Modernization of Power Supply for Railway Signalling Systems
Number of Pages: 32 pages
Date: 27 September 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Electrical Power Engineering
Supervisors: Jorma Haukka, Responsible site manager
Juha Kallunki, Senior Lecturer

The objective of this bachelor's thesis study was to examine the modernization of the power supply system for railway signaling systems by replacing outdated converter machines with contemporary frequency converters. This study was conducted concurrently with the modification work performed by GRK Suomi Oy as part of a maintenance contract. The project was commissioned by the Finnish Transport Infrastructure Agency, with Proxion Plan Oy serving as the design consultant and GRK Suomi Oy as the contractor. The analysis was based on designs provided by Proxion Plan Oy and general railway guidelines and regulations issued by the Finnish Transport Infrastructure Agency.

The primary motivations for replacing converter machines with frequency converters included the maintenance challenges and the high costs associated with the upkeep of the former. This thesis investigated the technical implementation of frequency converters and assessed their suitability for application in railway signaling systems. Additionally, the study explored the alterations in maintenance procedures and provided a cost analysis of the modification work.

The findings indicated that regulations pertaining to frequency conversion had become more stringent. Moreover, the cost savings achieved through the modification work were greater than initially anticipated. The reduction in labor hours required for maintenance further underscored the efficiency of the new system. The study concluded that such modernization efforts were highly advantageous and cost-effective.

Keywords: signaling systems power supply, signaling systems, frequency converter, converter machine, modification work, interlocking device

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Radan kunnossapitoalue 1	2
3	Turvalaitevirransyöttö	3
3.1	Virransyöttölaitteiston huolto	6
3.2	Käyttövarmuus ja UPS	9
4	Laitteiston muutostyöt	12
4.1	Muuttuvat laitteet	14
4.2	Taajuusmuuttajan ABB ACS880-01 asennusohjeiden mukainen käyttö	18
5	Muutostyön vaikutukset	20
5.1	Huoltotoimenpiteiden muutokset	20
5.2	Eri kohteiden eroavaisuuksia	25
6	Taloudelliset vaikutukset	28
7	Yhteenveto	30
	Lähteet	31

Lyhenteet:

- astl: *Asetinlaite*. Rautatieliikenteen ohjauskeskus.
- EMC: *Electromagnetic Compatibility*. Sähkömagneettinen yhteensopivuus.
- IT: *Isolated Terra*. Sähkönjakelujärjestelmä, jossa mitään pistettä ei maadoiteta suoraan, mutta yksittäiset sähkölaitteiston jännitteelle alttiit osat maadoitetaan.
- kVA: *Kilovolttiampeeri*. Sähkön näennäisteho.
- MS: *Moottorisuojakytkin*. Toimii ylivirtasuojana virransyötölle aikana ennen johdonsuojakatkaisijaa.
- TN-S: *Terra Neutral Separated*. Sähkönjakelujärjestelmä, jossa erillinen nolla- ja suojamaadoitusjohdin koko järjestelmässä.
- Tukes: *Turvallisuus- ja kemikaalivirasto*.
- UPS: *Uninterruptible Power Supply*. Keskeytymätön tehonsyöttöjärjestelmä.

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä selvitetään rautateiden virransyötön turvalaitteiden muutostöitä neljällä eri asetinlaitteella. Turvalaitteiden virransyöttö on merkityksellistä junien sujuvan ja turvallisen liikennöinnin kannalta. Turvajärjestelmään kuuluvien raidevirtapiirien toiminnan avulla varmennetaan junien sijainti rataverkossa. Turvalaitevirransyöttöön kuuluva raidevirtapiirien 125 Hz:n sähkönsyöttö toteutetaan muuttajakoneilla.

Nykyiset turvalaitevirransyöttölaitteiden muuttajakoneet ovat vaikeasti huollettavia, ja osa niistä on käyttöikänsä päässä. Jokaisessa laitetilassa on kaksi muuttajakonetta. Tarkoituksena on vaihtaa pääsyötössä olevat muuttajakoneet taajuusmuuttajiksi varasyötössä olevien muuttajakoneiden jäädessä ennalleen.

Muutostyöt tehdään Uudenmaan ratojen kunnossapitoalueella 1. Väyläviraston, Fintraffic Raide Oy:n ja GRK Suomi Oy:n muodostama allianssi on vastannut Uudenmaan ratojen kunnossapidosta huhtikuusta 2020 alkaen. Nykyinen sopimus kattaa ratojen kunnossapidon vilkkaalla Uudenmaan alueella 31.3.2027 asti. [1.]

Tässä virransyötön muutostyössä suunnittelija on Proxion Plan Oy, urakoitsija GRK Suomi Oy ja sen tilaajana toimii Väylävirasto. Insinööriyön tarkoituksena on tutkia muutostöiden teknistä toteutusta, huoltoon vaikuttavia muutoksia sekä muutostöiden taloudellisia vaikutuksia. Selvityksessä käytetään apuna Väyläviraston määrittämiä ohjeita ja Proxion Plan Oy:n toimittamia suunnitelmia. Tämä insinööriyö tarjoaa tietoa uusien laitteiden huoltamiseen liittyvistä seikoista sekä antaa pohjan samankaltaisiin taajuusmuuttajiin liittyviin töihin ja niiden suunnitteluun tulevaisuudessa.

2 Radan kunnossapitoalue 1

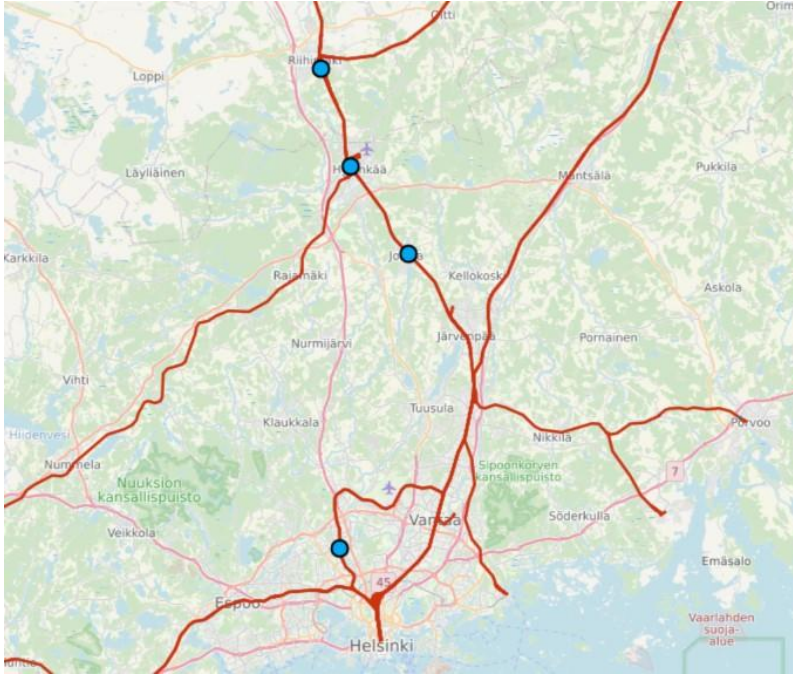
Kunnossapitoalue 1 kattaa Uudenmaan vilkkaasti liikennöidyn ja koko Suomen vilkkaimman rataverkon osuuden. Rataverkko sisältää yhteensä noin 1100 kilometriä rataa, 2600 opastinta ja 42 asetinlaitetta. Virransyötön muutostyö vaikuttaa merkittävän suureen osuuteen rataa Uudenmaan alueella. Riihimäen, Jokelan ja Hyvinkään virransyöttö on Suomen vilkkaimpia rataosuuksia Helsingin ja Tampereen välillä. [1.]

Uusimaa on asukasluvultaan suurin ja myös rataliikenteessä selvästi tihein alue. Suurten junamäärien vuoksi pääkaupunkiseudun junaliikenne ei ole helpposti verrattavissa muihin Suomen kunnossapitoalueisiin. Kuvassa 1 esitetään junaradan turvalaite- ja vaihteiden kunnossapitoalue 1.



Kuva 1. Uudenmaan kunnossapitoalue 1 on merkitty oranssilla [2].

Virransyötön muutostyöt kohdistuvat pääosin kunnossapitoalueen 1 pohjoispuolelle, kuten kuvassa 2 esitetään. Myyrmäki sijaitsee Vantaalla, ja näin ollen poikkeaa sijaintinsa puolesta Hyvinkään ja Jokelan kohteista, mutta muutostöiden sisällöt ovat samanlaisia. Siniset pallot kuvastavat laittilojen sijaintia Etelä-Suomessa.

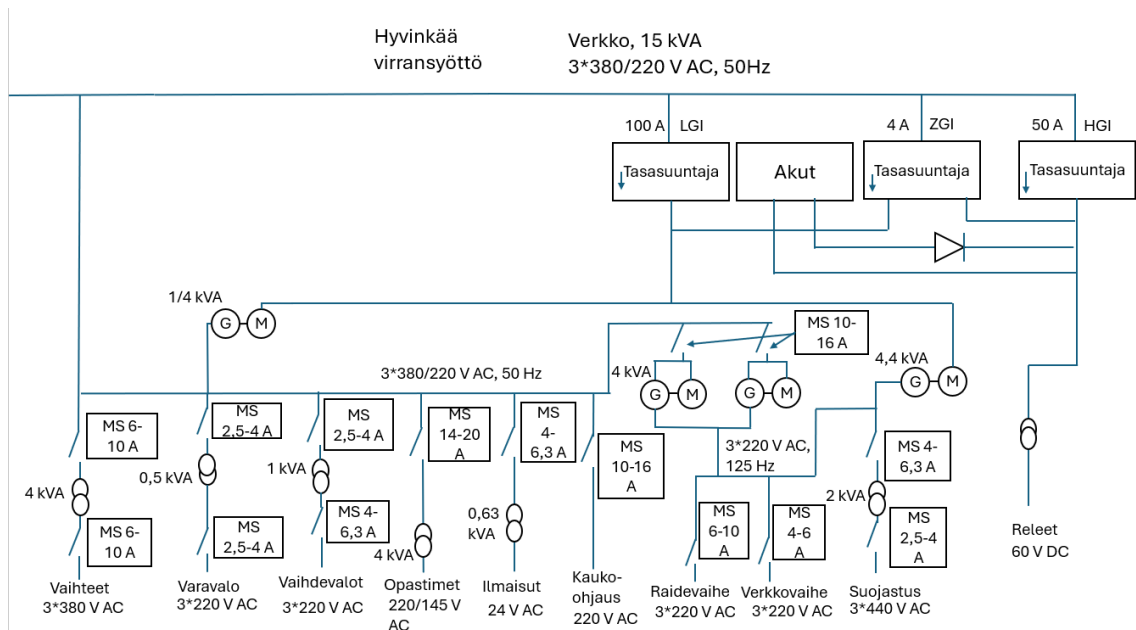


Kuva 2. Muutostyön kohteet on merkitty kartalle [3].

3 Turvalaitevirransyöttö

Turvalaitteiden virransyöttö, ohjaus ja valvonta toteutetaan asetinlaitteella. Asetinlaitteella tarkoitetaan rakennusta tai laitetilaa, josta keskitetysti hallitaan juna-radan turvalaitteita. Asetinlaitteet voivat olla tietokoneasetinlaitteita tai rele-asetinlaitteita. Kaikki tämän tutkimuksen neljä asetinlaitetta toimivat Siemens SpDrS-60VR -releasetinlaitetekniikalla.

Kuvassa 3 on esitetty Hyvinkään turvalaitevirransyöttöjärjestelmän eritaajujen jännitteiden arvot eri kohdissa järjestelmää. Hyvinkään laittilan kokonaisteho on 15 kVA, ja tämä laittila on yksi muutostyökohteista. Kuten huomataan, turvalaitteet vaativat monenlaisia muuntajia, muuttajakoneita ja moottorisuojakatkaisijoita (MS). Tasasuuntaaja käytetään syöttämään varavaloja, releitä ja suojastusta. Releet toimivat 60 V:n tasajännitteellä, ja vaihdevalot sekä suojastus muutetaan takaisin vaihtovirraksi muuttajakoneilla.



Kuva 3. Hyvinkään asetinlaitetilan turvalaitevirransyöttökaavio. Moottorinsuojakatkaisijoita (MS) käytettiin rautateillä laajalti aikaa ennen johdonsuojakatkaisijoiden yleistymistä.

Turvalaitevirransyötössä käytettäviä komponentteja ovat:

- vaihteen sähkökääntölaitteet
- opastimet
- varavalaistus
- ilmaisinelämpu
- kauko-ohjaus
- raidevaihe
- verkkovaihe
- suojustus
- releet.

Vaihteen sähkökääntölaitteita voidaan ohjata itsenäisesti automaation avulla tai käsin liikenteenohjauksesta. Vaihteen sähkönsyöttö ja muut toiminnot eivät kuulu turvalaitteisiin, vaan muodostavat oman kokonaisuutensa. Ainoastaan ohjauksen käyttötarkoituksen komponentit kuuluvat turvalaitteisiin. *Opastimet* ovat rautateillä käytettävä liikennevalojärjestelmä. Pääopastimella annetaan suora

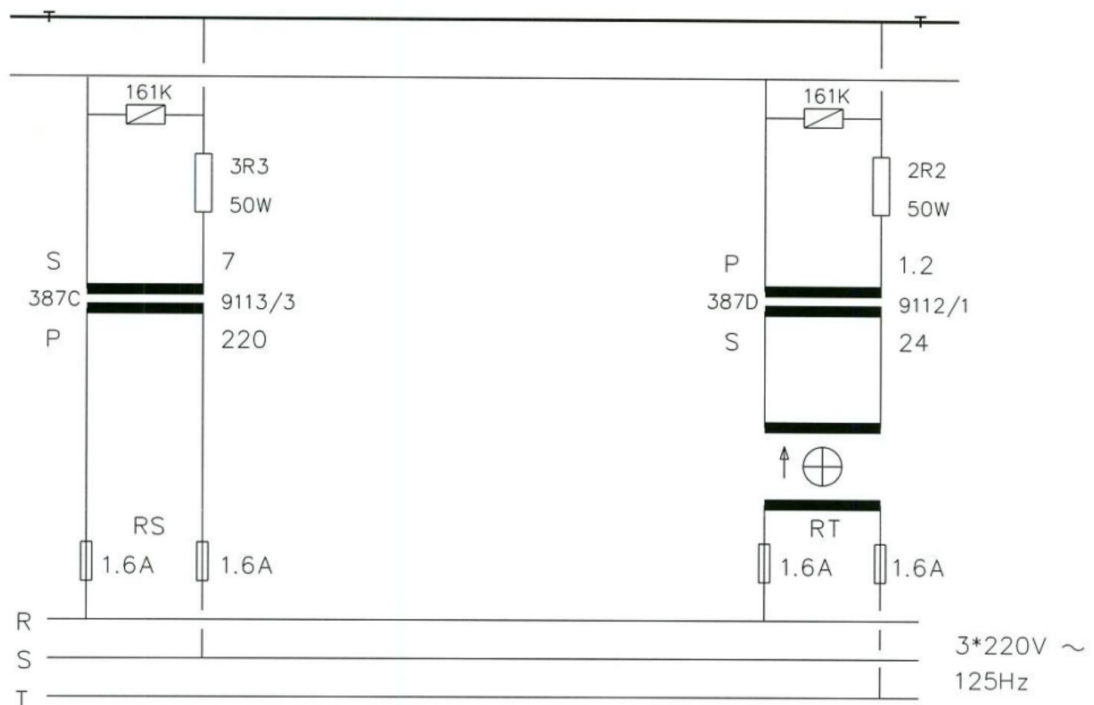
tieto seuraavasta osuudesta. Esiopastimella annetaan tietoa seuraavan pääopastimen tilasta. Raideopastimella annetaan tietoa seuraavista raiteista vaihdealueilla. Suojastusopastin näyttää tiedon seuraavan liikennepaikan osuudesta.

Varavalaistusta käytetään laitetoissa sähkökatkon sattuessa vain hätäkäyttöön. Yleensä rakennuksen sähköt ovat normaalin sähköverkon takana, mutta varasyöttö on kytketty turvalaitesyöttöön. Näin varmistetaan laittilan valot verkkokatkoksen aikana. *Ilmaisinelämpu*t ovat kaappien ja laitteiden toimintaa kuvaavat ilmaisimet. *Kauko-ohjauksella* voidaan keskitetysti liikenteenohjauskeskuksessa automaation avulla tai ohjaajan toimesta käyttää rautatielaitteita. Kauko-ohjaus on aina UPS-varmennettu, sillä pienetkin viiveet voivat vaikuttaa junan kulkuun. UPS:llä (Uninterruptible Power Supply) tarkoitetaan keskeytymätöntä tehonsyöttöjärjestelmää.

Raidevaiheella syötetään kiskoon jännitettä raidevirtapiirin syöttö- ja relepäälle. Raidevirtapiirejä käytetään yhtenä tapana jakaa raideosuudet pienemmiksi osiksi, jolloin voidaan seurata liikkuvan ajoneuvon kulkua. Virtapiiri muodostuu syöttöpäästä ja relepäästä, jossa johtimena toimii kisko. Junan tai muun kiskopyöräajoneuvon mentyä virtapiiri oikosulkeutuu ja raideosuus näkyy varattuna. Kiskoon syötetään jännitettä 125 Hz:n taajuudella, jotta erotutaan muista mahdollisista jännitteistä.

Verkkovaihe koostuu raidevirtapiireihin liittyvistä asetinlaitetoissa olevista moottorireleistä, joilla syötetään 220 V:n jännitettä ja 125 Hz:n taajuutta. Verkkovaihe toimii raiteesta tulevan raidevaiheen apuna raiderelleen vaiheensiirtokulman määrittämisessä. *Suojastus* on rautatieliikennepaikkojen välissä oleva järjestelmä, eli kahden asetinlaitteen välinen yhteys. Asetinlaitteiden väliset osuudet näkyvät varattuina, kun juna menee ohi. *Releet* ovat tasajännitteellä toimivia mekaanisia Siemensin releitä. Syötettävistä laitteista raidevaihe, verkkovaihe ja suojastus toimivat 125 Hz:llä, ja niihin tarvitaan muuttajakonetta tai taajuusmuuttajaa.

Kuvassa 4 esitetään raidevirtapiirin toiminta rautatiekiskoon syötettynä. Raidevirtapiirissä sähkövirta kulkee syöttöpäästä (kuvassa vasemmalla) radan kiskoja pitkin relepäähän (kuvassa oikealla). Jos rataosuudella ei ole junaa, virta kulkee normaalisti piirin läpi osoittaen radan vapaana olon. Kun juna tulee raideosuudelle, junan pyörien akseli oikosulkee kiskot, jolloin asetinlaitteella raiderеле päästää. Vapaalla rataosuudella relepää on vetäneenä ja junan tullessa rele päästää. Syötetty taajuus raiteeseen sekä releelle on 125 Hz erottuakseen muista jännitteistä. Muita jännitteitä ovat muun muassa sähköradan paluuvirrat.



Kuva 4. Raidevirtapiirin toimintaperiaate rautateillä [4].

3.1 Virransyöttölaitteiston huolto

Rautateiden virransyöttölaitteita kuten muitakin laitteita huolletaan kolmessa eri palveluluokassa, joka määrittelee toimenpiteiden tarkastusvälin kuukausina ja sallitut vaihtelurajat. Eri palveluluokissa huoltovälit vaihtelevat: luokassa 1 on tihein huoltoväli ja luokassa 3 harvin huoltoväli.

Palveluluokkaa 1 käytetään tiheään liikenteen turvallisuus- ja käytettävyydystason säilyttämiseksi. Palveluluokkaa 2 käytetään esimerkiksi kasvaneen liikennetiheyden turvallisuus- ja käytettävyydystason säilyttämiseksi. Peruspalveluluokka (palveluluokka 3) määrittelee vähimmäisvaatimukset hiljaisemmille rataosuuksille. [5, s. 14.] Myyrmäen, Hyvinkään ja Jokelan asetinlaitteet kuuluvat palveluluokkaan 1. Riihimäen asetinlaite on palveluluokassa 3.

Virransyöttölaitteissa noudatetaan Väyläviraston rautatieturvallisuuden yleisiä kunnossapito-ohjeita 17.2.1–17.2.55. Pääpainotus on kuitenkin muuttajakoneiden ja taajuusmuuttajien huollossa. Tässä insinööriyössä syvennyttään kunnossapito-ohjeisiin 17.2.37 jatkuvasti pyörivät muuttajat, 17.2.46 ajoittain pyörivät muuttajat ja 17.2.49 elektroninen taajuusmuuttaja. [5, liite 17 s. 1, 3.]

Virransyötön huolto esitetään oheisessa luettelossa:

- 17.2.1 virransyöttölaitteet
- 17.2.10 tasasuuntaaja
- 17.2.16 vaihtosuuntaaja
- 17.2.21 UPS-laitteet
- 17.2.30 akusto
- 17.2.37 jatkuvasti pyörivät muuttajat
- 17.2.46 ajoittain pyörivät muuttajat
- 17.2.49 elektroninen taajuusmuuttaja. [5, liite 17 s. 1.]

Tarkastus- ja huoltotoimenpiteet on esitetty taulukossa 1. Tätä ohjetta noudatetaan tarkastettaessa, korjattaessa ja huollettaessa turvalaitejärjestelmien virransyöttölaitteita. Kohdassa 17.2.9 määräaikaistarkastus on todellisuudessa riippuvainen myös Tukesin ohjeista sekä laitetoimittajan takuusta. Tukesilla tarkoitetaan Turvallisuus- ja kemikaalivirastoa, joka toimii Suomessa valvontaviranomaisena. Taulukosta 1 nähdään, että samojen huoltojen tarkastusväli riippuu eri palveluluokista. [5, liite 17 s. 1.] Suurin osa virransyötön laitteiden toimivuudesta testataan ja tarkistetaan huollon yhteydessä vuoden välein.

Taulukko 1. Virransyöttölaitteiden kunnossapito-ohje [5, liite 17 s. 1].

NRO	Toimenpide	Perus- palvelu- luokka 3 Tarkas- tusväli (kk)	Perus- palvelu- luokka 2 Tarkas- tusväli (kk)	Perus- palvelu- luokka 1 Tarkas- tusväli (kk)	Kp- lk	Lisä- määre	Huom.!
Virransyöttölaitteet:							
17.2.1	Jännitteiden ja taajuusvalvonnan tarkastus	12 ± 3	12 ± 3	6 ± 3	T	CK	
17.2.2	Maavikailmaisimien toiminnan kokeilu	12 ± 3	12 ± 3	6 ± 3	M	CK	Väylävirastolle on raportoitava maavioista.
17.2.3	Vikavirtasuojakytkimien toiminnan kokeilu	12 ± 3	12 ± 3	6 ± 3	M	CK	
17.2.4	Virransyöttökaappien tarkistus ja puhdistus	12 ± 3	12 ± 3	12 ± 3	M		
17.2.5	Hälytysten ja ilmaisujen tarkastus	12 ± 3	12 ± 3	12 ± 3	T	CK	
17.2.6	Ruuviliitosten kireyden tarkastus	24 ± 6	24±6	24±6	T	CK	
17.2.7	Toimintakokeilu verkkokatkoksella	12 ± 3	12±3	12±3	M	CK	
17.2.8	Varaosien ja dokumentaation tarkastus	12 ± 3	12 ± 3	12 ± 3	T	CK	

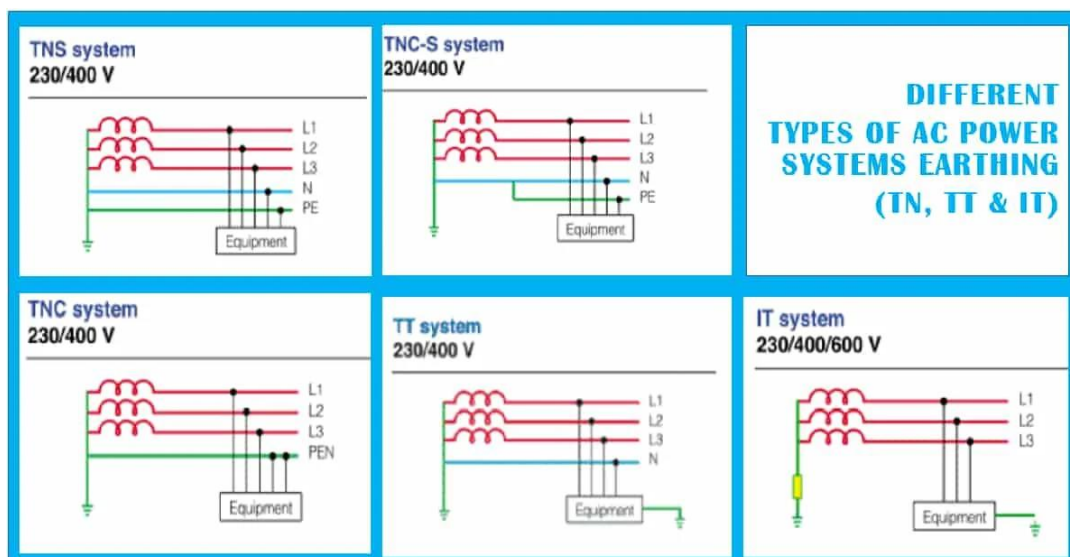
Tässä luettelossa selitetään lyhenteet ja määreet kunnossapito-ohjeen taulukoihin:

- KP-lk = kunnossapitoluokka
 - M = Laitteet ja niiden osat huollettava säännöllisin ajoin.
 - T = Tarkastettava säännöllisesti noudattaen laitteille määriteltyjä keskimääräisiä huoltovälejä ja sallittuja vaihtelurajoja. Näiden tarkastusten tarkoitus on määrittää kunnossapidon tavoitetaso.
 - V = Viankorjauslaitteet edellyttävät korjausta ja näille on omat 1–5 luokat tärkeysjärjestyksen mukaiset korjaustarpeet.
- Lisämääreet
 - CK = Tarkastuksen puutteet sisältyy kunnossapitourakkaan.
 - C = ei sisälly kunnossapitourakkaan.
 - Merkinnällä ± 3 tai ± 6 tarkoitetaan liukumakuukausia. Esim. kuuden kuukauden huolto voidaan toteuttaa 3–9 kuukauden jälkeen edellisestä huollosta liukumalla ± 3 .
- Huom. kentässä nähdään lisätoimenpiteet. [5, liite 17 s. 3.]

3.2 Käyttövarmuus ja UPS

Turvalaitteiden suojaamisessa noudatetaan RATO 6:n määräämiä ohjeita. Turvalaitteet maadoitetaan yleensä rautatiekiskoon, johon myös sähkörata maadoitetaan. Tästä syystä maadoittamisessa on noudatettava turvalaitteille määriteltyjä ohjeita. RATO 6:lla tarkoitetaan asiakirjaa Ratatekniset ohjeet osa 6 turvalaitteet. [6].

Pääjakelujärjestelmänä on käytettävä TN-S-järjestelmää, jossa on oltava galvaninen erotus yleisen sähköverkon syötöstä [6]. Aikaisempien säädösten mukaan myös IT-järjestelmää käytettiin, ja se on edelleen käytössä vanhemmissa laitetoissa. TN-S-järjestelmä on kuvassa 5 ensimmäisenä ja IT-järjestelmä viimeisenä. TN-S-järjestelmän erilliset suojamaajohdot varmistavat, että vikavirrat ohjautuvat turvallisesti maahan. Viankorjauksessa erilliset suojamaajohdot helpottavat vikojen paikannusta. [6, s. 198.]



Kuva 5. Suomessa yleisimmin käytettyjä sähköjakelujärjestelmiä [7].

Turvalaitejärjestelmissä ei käytetä vikavirtasuojia, sillä niiden testaus aiheuttaa katkon turvalaitejärjestelmän toimintaan ja siten liikenteeseen. Aikaisemmissa asennuksissa käytettiin moottorinsuojakytkimiä, mutta nykyään on siirrytty nykyaikaisiin johdonsuojakatkaisimiin. Tämän insinööriyön yhteydessä tehtävissä muutostöissä vaihdetaan moottorinsuojakytkimet (6–10 A) ABB:n johdonsuojakatkaisijoihin (10–32 A).

Turvalaitevirransyötön varavoimana on oltava vähintään kuuden tunnin käyttöä varten mitoitettu akusto, dieselaggregaatti tai ratajohtosyöttöjärjestelmä sekä kahden tunnin käyttöä varten mitoitettu akusto. Varavoima on kytkettävä siten, että asetinlaitteen virransyöttöön saa tulla enintään kolmen sekunnin katkos varavoiman kytkeytyessä. Turvalaitevirransyöttöön ei saa kytkeä muita laitteita kuin turvalaitteita. Ainoastaan UPS-laitteiston akuston ilmastointi voidaan kytkeä turvalaitevirransyöttöön. [6, s. 197.]

Asetinlaitetilojen sisäiset järjestelmät ja turvalaitevirransyöttöjärjestelmät vaihtelevat sen mukaan, milloin ne on rakennettu. Vanhemmat asetinlaitetilat, joihin ei ole tehty muutoksia, toimivat pitkälti muuttajakoneilla ilman keskitettyä UPS-järjestelmää. Vanhemmissa asetinlaitetiloissa yksittäiset toiminnot on saatettu varmentaa UPS-järjestelmällä. Uudet asetinlaitetilat on sen sijaan rakennettu

nykyajan standardien mukaisesti taajuusmuuttajilla, ja koko turvalaitevirransyöttö on UPS-järjestelmän takana. UPS-mitoituksesta on yksityiskohtaiset erillishjeet "Turvalaitteiden virransyöttöasennusten sähköturvallisuutta koskevat Väyläviraston erikoismääräykset".

Viidestä tutkittavasta kohteesta yhdessäkään ei ole koko virransyöttöä koskevaa UPS-järjestelmää. Laitetilat on rakennettu aikaisempien vaatimusten mukaisesti, jolloin UPS-käyttöä ei ole vaadittu. Kaikissa kohteissa on erillinen UPS-varmennus kauko-ohjaukseen. Jakeluverkon sähköverkosta muutos akkuihin saattaa aiheuttaa 0,5–1 sekunnin katkoksen turvalaitteisiin, mikä näkyy liikenteenohjauksessa. Opastimet, jotka toimivat normaalilla, 50 Hz:n verkkotaajuudella, turvataan muuttajakoneilla verkonkatkoksen ajaksi. [8, s. 197.]

Raidevirtapiirien sähkönsyöttö on varmennettu päämuuttajakoneella sekä varamuuttajakoneella. Mikäli päämuuttajakone vikaantuu, voidaan kytkeä varamuuttajakone käyttöön. Varamuuttajakoneen käyttöä ei ole automatisoitu, vaan varamuuttajakone on käynnistettävä käsin. Verkonkatkoksen aikana akut aktivoituvat siksi aikaa, kunnes dieselgeneraattori käynnistyy. Verkonkatkoksellä akkumuuttajakoneet käynnistyvät ja syöttävät raidevirtapiirejä. Myyrmäen asetinlaitetilassa ei ole dieselgeneraattoria, vaan verkonkatkoksen aikana turvalaitteita syöttävät kuuden tunnin käyttöä varten mitoitettut akut [6, s 197].

Muuttajakoneen uusiminen taajuusmuuttajalla aiheuttaa uusien määräysten ja vaatimusten huomioimisen. Taajuusmuuttajan virransyötössä käytetään kaapelityyppiä MCCMK, joka on EMC-häiriösuojattu kuparivoimakaapeli. EMC-häiriösuojauksella tarkoitetaan suojaa sähkömagneettisilta häiriöiltä. MCCMK-kaapeli on kaksivaippainen, ja maadoitetaan molemmista päistä. ABB:n maadoitusvaatimusten mukaisesti MCCMK-kaapeli soveltuu hyvin taajuusmuuttajakäyttöön [9, s. 74].

4 Laitteiston muutostyöt

Kaikissa muutostyön laiteloissa vaihdetaan pääsyötössä olevat muuttajakoneet taajuusmuuttajiin. Kuvassa 6 on kaksi muuttajakonetta Riihimäen laitetilassa. Toinen muuttajakoneista on pääkone, joka vaihdetaan ja jonka tilalle asennetaan taajuusmuuttaja. Kahdesta muuttajakoneesta toinen jätetään ennalleen taajuusmuuttajan kanssa varakoneeksi.



Kuva 6. Riihimäen laittilan muuttajakoneet.

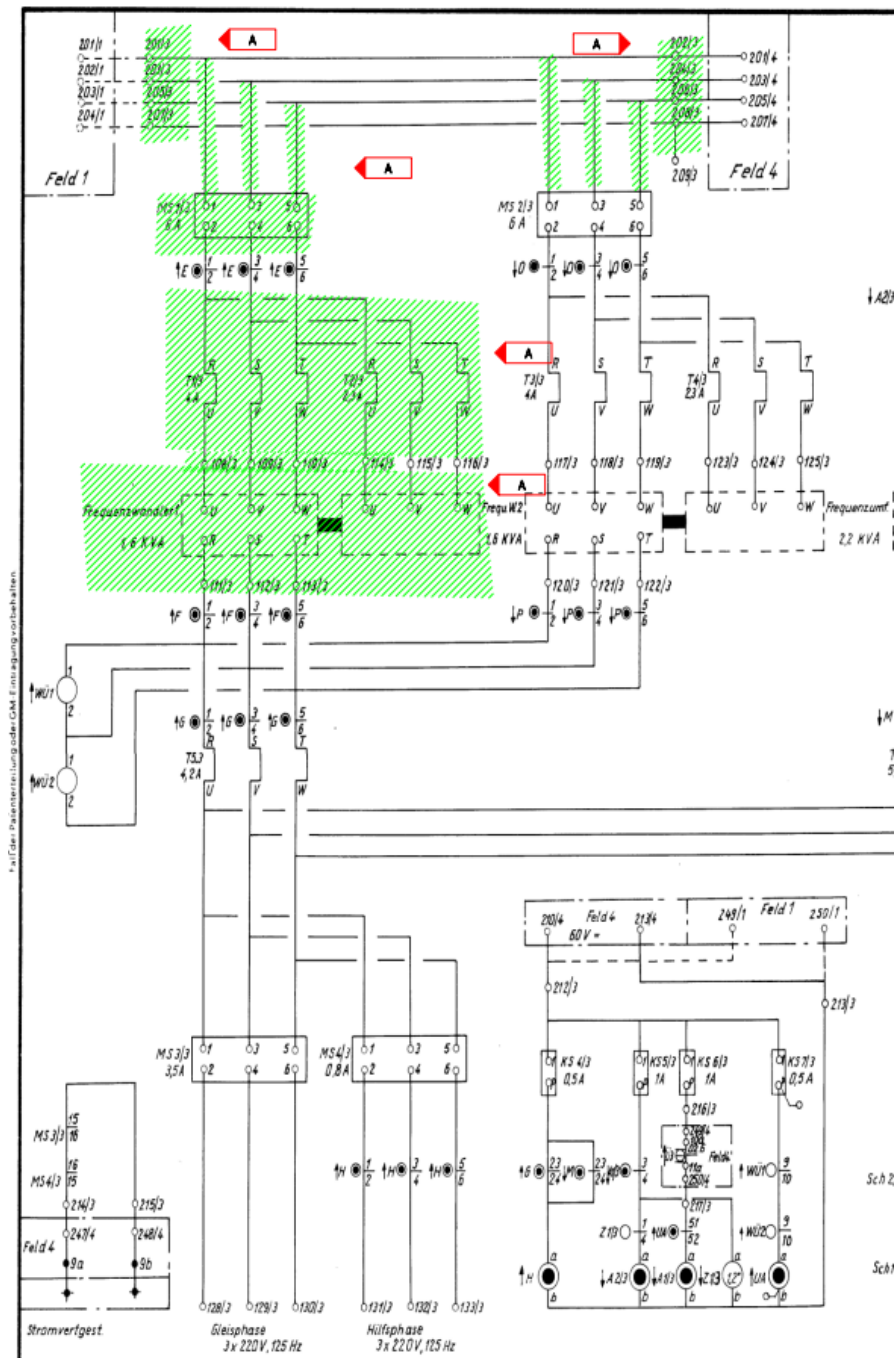
Kuvassa 7 esitetään nykyinen järjestelmä, jossa muuttajakone muuttaa 380 V:n ja 50 Hz:n verkkojännitteen 220 V:iin ja 125 Hz:iin raidevirtapiireihin sopivaksi. Muuttajakone koostuu sähkömoottorista ja generaattorista. Moottorin päällä on

lenkki, josta konetta voidaan nostaa kuljetusta varten.



Kuva 7. Muuttajakoneeseen kuuluu sähkömoottori ja generaattori.

Virransyöttökaavio on toteutettu kahdella muuttajakoneella, joiden avulla syötetään raidevirtapiirejä (kuva 8). Raidevirtapiirit sisältävät raidevaiheen ja verkkovaiheen. Kuvassa 8 vasemmalla puolella on nykyinen pääsyötössä oleva järjestelmä. Vihreällä merkityt alueet ovat muutettavia laitteita, joihin sisältyy päämuuttajakone ja siihen liittyvä moottorisuojakatkaisin (MS). Varamuuttajakoneesta uusitaan ainoastaan syöttökaapeli.

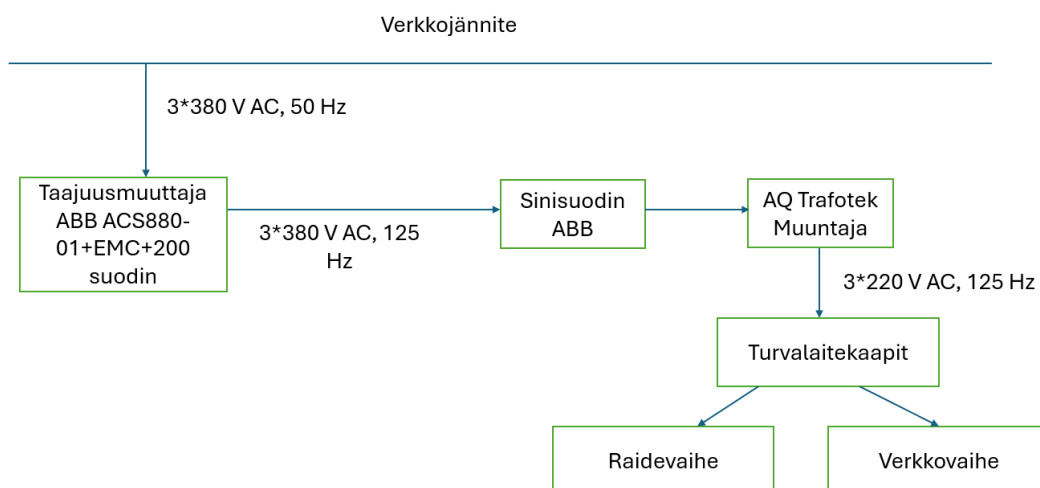


Kuva 8. Turvalaitevirransyötön 125 Hz:n raidevirtapiirien syöttökaavio [10].

4.1 Muuttuvat laitteet

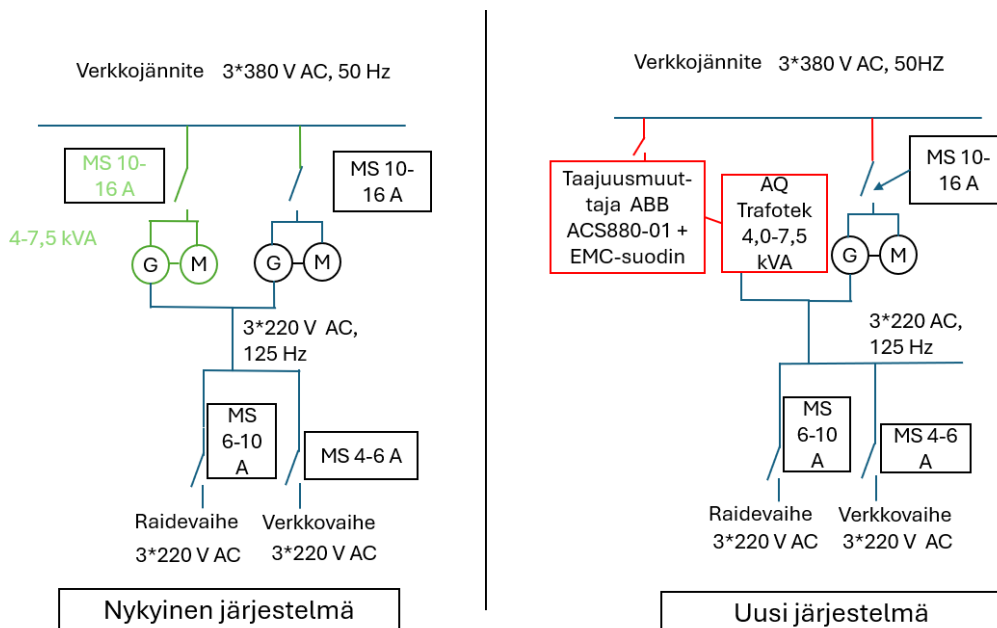
Kuvassa 9 esitetään raidevirtapiirien virransyötön periaatteellinen toteutustapa. Uudessa taajuusmuuttajasyötössä verkkojännite kulkee ensin taajuusmuuttajan kautta, jonka kapasiteetti vaihtelee laittilojen mukaan 4,0 kVA:n – 7,5 kVA:n

välillä. Taajuusmuuttajaa käytetään muuttamaan 50 Hz:n taajuus 125 Hz:ksi. Tämän jälkeen sinisuodatin suodattaa mahdolliset jännitesäröt ja harmoniset yliaallot. Sinisuotimen jälkeen jännite muutetaan 380 V:sta muuntajan avulla 220 V:iin, sopivaksi raidevirtapiirien syöttöä varten. Muuntajan jälkeen jännite vietään radan varteen turvalaitekaappiin, josta syötetään raidevirtapiirejä.



Kuva 9. Raidevirtapiirien sähkönsyötön toteutustapa taajuusmuuttajakäytöllä.

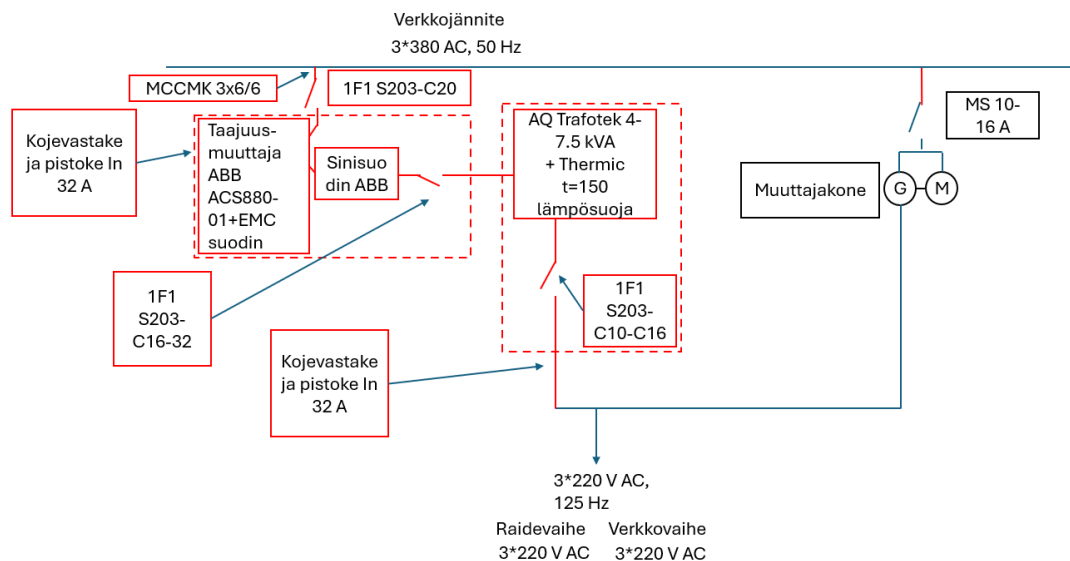
Raidevirtapiirien eli raidevaiheen ja verkkovaiheen virransyöttö muodostuu pääsyötöstä ja varasyötöstä. Muutostyössä muutetaan pääsyöttö huoltovarmemmaksi ja varasyöttö jää ennalleen. Kuvassa 10 esitetään vasemmalla puolella nykyinen järjestelmä muuttajakoneella. Kuvan 10 oikealla puolella esitetään punaisella uusittava järjestelmä. Muuttajakone, joka sisältää moottorin (M) ja generaattorin (G), poistetaan. Tilalle vaihdetaan ABB ACS880-01 -sarjan taajuusmuuttaja sekä muuntaja AQ Trafotek 4,0–7,5 kVA. Kuvassa 10 esitetään, että raidevaihetta suojaa moottorisuojakatkaisin (MS) 6–10 A. Verkkovaihetta suojaa moottorisuojakatkaisin 4–6 A ja muuttajakonetta suojaa moottorisuojakatkaisin 10–16 A. Katkaisijoiden koot vaihtelevat laitteiden tehojen mukaan.



Kuva 10. Muutostyökaavio, jossa vasemmalla puolella nykyinen (poistuva) järjestelmä vihreällä ja oikealla puolella uusittava järjestelmä punaisella.

Kuvassa 11 esitetään lisättävien laitteiden kokonaisuus punaisella. Molemmissa päissä asennuksia on kolmivaiheiset 32 A:n pistokkeet. Säädettävät (MS) moottorisuojakytkimet vaihdetaan nykyaikaisiin ABB:n 1F1 S203-C16 -tuotesarjan 32A:n johdonsuojakatkaisimiin. Muuntajaan lisätään Thermic t=150 -lämpösuoja ylikuumentumisen estämiseksi.

Uusien asennusten myötä häiriöjännitteiden ja taajuuksien suojaus paranee. Asennuksiin lisätään häiriösuojalaitteita: EMC-suodin, sinisuodin ja MCCMK-kaapeli. EMC-suodin on ABB:n taajuusmuuttajan lisävaruste, ja sinisuodin lisätään taajuusmuuttajan jälkeen. MCCMK-kaapeli lisätään kaikissa uusien pääsyötön asennusten vaiheissa. Kuvassa 11 oikealla varamuuttajakoneeseen uusitaan vain MCCMK-syöttökaapeli.



Kuva 11. Lisättävät laitteet ja komponentit punaisella, ja mustat ovat säilyviä laitteita.

Kuvassa 12 on havainnollistettu Jokelan laittilan taajuusmuuttajaan liittyviä asennuksia. Kaapelit on asennettu omalle reitilleen erilleen muista kaapelireiteistä häiriösuojausohjeiden mukaisesti. Ylhäällä kuvassa 12 seinään on asennettu taajuusmuuttaja ABB ACS880-01-09A4-3. Taajuusmuuttajan alle on sijoitettu sinisuodin ABB B84143V0011R229, joka on suojausluokaltaan Epcos-IP00 -mallia (ilman suojausta) [11, s. 13]. Sinisuotimen alle on asennettu johdonsuojakatkaisijat kytkentärasioineen taajuusmuuttajalle ja muuntajalle. Laittilan lattialle johdonsuojakatkaisimien alapuolelle on asennettu muuntaja AQ Trafotek 4,0 kVA. Maadoitukset tuodaan sinisuotimeen ja muuntajaan toista kaapelireittiä pitkin. Tämä kaapelireitti on kuvassa 12 oikeanpuoleisena.



Kuva 12. Jokelan laittilan uudet taajuusmuuttaja-asennukset.

4.2 Taajuusmuuttajan ABB ACS880-01 asennusohjeiden mukainen käyttö

ABB ACS880-01+EMC200 -suodin on teollisuuskäyttöön suunniteltu taajuusmuuttaja. EMC+200 -häiriösuojausmalli on suunniteltu maadoitettuun TN-S -verkkoon. Kaapeliläpiviennit taajuusmuuttajaan tuodaan alhaalta, kuten ABB:n asennusohjeessa mainitaan. Tavallisessa käytössä taajuusmuuttajaan tuodaan moottorikaapeli, syöttökaapeli ja ohjauskaapeli. Kaapeli tuodaan

taajuusmuuttajaan etupaneelin alaosasta (kuva 13). Kaapelien asennuksessa tulee noudattaa ABB:n asennusohjeita, joissa on eroja tavanomaiseen asennustapaan, kun kyseessä on taajuuden muuttaminen. Taajuusmuuttajan nimelliset säätöarvot vaihtelevat, jos käytössä on EX-moottori tai ABB-sinisuodin. [9, s. 38, 78, 170.] Tässä insinööriyössä kaikki taajuusmuuttajat on varustettu ABB-sinisuotimella.



Kuva 13. Taajuusmuuttaja ABB ACS880-01. Kuvassa punaisella katkoviivalla on merkitty taajuusmuuttajaan tuotavien kaapelien sisääntuloreitti. [12.]

Taajuusmuuttaja on yhteensopiva standardin SFS-EN 61800-3:204 + A1:2012 kanssa. EMC-suojauksella tarkoitetaan sähköisen tai elektronisen laitteen ja sen ympärillä olevien laitteiden kykyä toimia häiriöttä sähkömagneettisessa ympäristössä. ABB ACS880-01 taajuusmuuttajat -laiteoppaassa käsitellään eri käyttöympäristöjä ja kategorioita [9]. Tämän insinööriyön kaikki taajuusmuuttajat kuuluvat toiseen käyttöympäristöön ja kategoriaan C3. Toinen käyttöympäristö tarkoittaa muita kuin asuinrakennuksia syöttävää verkkoa. [9, s. 213–215]. Kategoria C3 noudattaa standardia SFS-EN 61800-3:204 + A1:2012 seuraavin ehdoin: taajuusmuuttaja on varustettu EMC-suotimella ja E200-lisävarusteella.

5 Muutostyön vaikutukset

Kun muuttajakone vaihdetaan taajuusmuuttajaksi, huoltaminen muuttuu helpommaksi. Pääsyötössä oleva muuttaja viedään huoltoon yritykseen, joka on erikoistunut muuttajakoneiden huoltamiseen. Varamuuttajakone muutetaan päämuuttajakoneeksi, ja huollon aikana raidevirtapiirin virransyötössä ei ole varamuuttajakonetta. Muutostyön jälkeen uusi taajuusmuuttaja tarvitsee tarkastuksia ja mittauksia huollon yhteydessä. Varalla olevia muuttajakoneita ei tarvitse siirtää, vaan huolto voidaan suorittaa paikan päällä kunnossapito-ohjeen taulukon 4 mukaisesti [5, liite 17 s. 3].

5.1 Huoltotoimenpiteiden muutokset

Pyörivät muuttajakoneet vaativat paljon korjausta ja osien vaihtoa. Vuoden välein koneet lähetetään vuosihuoltoon toiselle paikkakunnalle. Tämä on mahdollista, kun koneiden käyttötarkoitus vaihdetaan päittäin. Pääkoneen puolivuositainen huolto vaatii isomman huollon erikoisliikkeessä, mutta varakoneen puolivuositainen huolto ei tarvitse näitä toimenpiteitä. Toimenpide vaatii irti kytkemisen ja lastauksen isompaan ajoneuvoon. Huollosta takaisin tullut muuttajakone kytketään varakoneeksi. Näin varmistetaan myös koneiden tasainen käyttö ja kuluminen. Nämä työt suoritetaan, kun junaliikenne on hiljaisimmillaan. Uusilla taajuusmuuttajilla puolestaan vältytään isolta fyysiseltä työltä.

Radan palveluluokkien muutokset eivät vaikuta huoltoväleihin, kuten taulukossa 2 esitetään. Jokaisessa tapauksessa huolto suoritetaan puolen vuoden välein. Liukumalla 6 ± 3 kk voidaan järjestää huoltovälit 3–9 kuukauden välein muiden kohteiden kanssa samanaikaisesti. Liukumalla huollot saadaan ajoitettua samanaikaisesti yhdellä prosessilla. Jatkuvasti pyörivät muuttajakoneet ovat pääkoneita, joita ei huolleta laitetilassa, vaan ne viedään sähkömoottoreihin erikoistuneeseen liikkeeseen. [5, liite 17 s. 3.] Huoltojen lisäksi ajoittain joudutaan myös korjaamaan muuttajakoneiden sisällä olevia sähkömoottoreita.

Taulukko 2. Pääsyötössä olevaan muuttajakoneeseen noudatetaan kunnossapito-ohjetta 17.2.37-45 Jatkuvasti pyörivät muuttajat [5, liite 17 s. 3].

NRO	Toimenpide	Peruspalveluluokka 3 Tarkastusväli (kk)	Peruspalveluluokka 2 Tarkastusväli (kk)	Peruspalveluluokka 1 Tarkastusväli (kk)	Kp- lk	Lisämäär.	Huom.!
Jatkuvasti pyörivät muuttajat:							
17.2.37	Laakerien mittaus ja tulosten analysointi	6 ± 3	6 ± 3	6 ± 3	M	CK	
17.2.38	Liukurenkaiden tarkastus	6 ± 3	6 ± 3	6 ± 3	T	CK	
17.2.39	Hiilien tarkastus	6 ± 3	6 ± 3	6 ± 3	T	CK	
17.2.40	Hiilen pölyn puhdistus	6 ± 3	6 ± 3	6 ± 3	M		
17.2.41	Johtoliitosten tarkastus	6 ± 3	6 ± 3	6 ± 3	T	CK	
17.2.42	Kiinnityksen tarkastus	6 ± 3	6 ± 3	6 ± 3	T	CK	
17.2.43	Laakerien rasvaus	6 ± 3	6 ± 3	6 ± 3	M		
17.2.44	Pölyisyyden rasvaus	6 ± 3	6 ± 3	6 ± 3	T	CK	
17.2.45	Jännite- ja taajuusmittaus	6 ± 3	6 ± 3	6 ± 3	M	CK	

Taajuusmuuttajan huollossa ei suoriteta usein mekaanisia huoltoja, vaan erilaisia sähköisiä mittauksia ja tarkastuksia, kuten taulukossa 3 esitetään. Jokelan,

Hyvinkään ja Myyrmäen uusittavat taajuusmuuttajat ovat peruspalveluluokassa 1. Vaadittuina toimenpiteinä on 17.2.49-52 huollot tehtävä kuuden kuukauden välein [5, liite 17 s. 3]. Riihimäen U1:n ja U2:n turvalaitevirransyötöt ovat peruspalveluluokassa 3, eroten palvelutarpeensa kannalta siten, että niitä tarvitsee huoltaa ainoastaan kerran vuodessa.

Taulukko 3. Taajuusmuuttajahuollossa noudatetaan kunnossapito-ohjetta 17.2.49-17.2.55 [5, liite 17 s. 3].

NRO	Toimenpide	Perus- palve- lu- luokka 3 Tar- kas- tusväli (kk)	Perus- palve- lu- luokka 2 Tar- kas- tusväli (kk)	Perus- palve- lu- luokka 1 Tar- kas- tusväli (kk)	Kp- lk	Lisä- määr.	Huom.!
Elektroninen taajuusmuuttaja:							
17.2.49	Yleiskunnan tarkastus	12 ± 3	12 ± 3	6 ± 3	T	CK	
17.2.50	Sisäänmenon jännite-, virta- ja taajuusmittaukset	12 ± 3	12 ± 3	6 ± 3	M	CK	
17.2.51	Ulostulon jännite-, virta- ja taajuusmittaukset	12 ± 3	12 ± 3	6 ± 3	M	CK	
17.2.52	Johtavuus-, eristysvastus, lämpötila ja johdonsuojien mittaukset	12 ± 3	12 ± 3	6 ± 3	M	CK	
17.2.53	Varakoneiden toiminnan kokeilu	12 ± 3	12 ± 3	12 ± 3	M	CK	
17.2.54	Piirustusten ja dokumenttien tarkastus	12 ± 3	12 ± 3	12 ± 3	T	CK	
17.2.55	Vikailmaisujen tarkastus	12 ± 3	12 ± 3	12 ± 3	T	CK	

Varakoneina toimivien muuttajakoneiden huolto tehdään kerran vuodessa, ja toimenpiteitä on vain kolme. Taulukon 4 huolto-ohjeen mukaisesti perustoiminta

varmistetaan laakerien rasvauksella. Muuttajakoneiden huolto riippuu siitä, onko kyseessä pääkone vai varakone, kun taas taajuusmuuttajissa huolto on käyttö-tarkoituksesta riippumaton.

Taulukko 4. Ajoittain pyörivän varamuuttajakoneen huolto-ohje [5, liite 17 s. 3].

NRO	Toimenpide	Perus- palve- lu- luokka 3 Tar- kastus- väli (kk)	Perus- palve- lu- luokka 2 Tar- kastus- väli (kk)	Perus- palve- lu- luokka 1 Tar- kastus- väli (kk)	Kp- lk	Lisä- määr.	Huom.!
Ajoittain pyörivät muuttajat:							
17.2.46	Laakerien rasvaus tarvittaessa	12 ± 3	12 ± 3	12 ± 3	M		
17.2.47	Pölyisyyden tarkastus	12 ± 3	12 ± 3	12 ± 3	T	CK	
17.2.48	Jännite- ja taajuusmittaus	12 ± 3	12 ± 3	12 ± 3	M	CK	

Väyläviraston huolto-ohjeiden lisäksi laitetoimittaja ABB:llä on omat suosituksensa. Vaikka kunnossapito-ohjeissa ilmoitetaan vaadittavat huollot, on niiden lisäksi muitakin huoltoja, kuten tuulettimen ja paristojen vaihdot. Kuvassa 14 esitetään merkinnällä R osien vaihtoa käyttövuosien aikana. Kirjaimella I tarkoitetaan silmämääräistä tarkastusta. Tuulettimien vaihto suoritetaan ohjeen mukaan yhdeksän vuoden välein. Ohjeessa mainitaan myös lisjäähdytyspuhallin, jos kyseessä on IP55-runko. Tässä työssä ei käytetä IP55-suojaluokiteltuja laitteita, koska siihen ei ole tarvetta: laitetilat ovat siistejä ja hyvin ilmastoituja. Taajuusmuuttajien lisjäähdytyspuhallin löytyy kuitenkin runkokoosta R1, ja se tulee huoltaa yhdeksän vuoden välein. Kaikki viisi hankittua taajuusmuuttajaa ovat runkokoko R1 tai R2, mikä tarkoittaa samanlaista huoltoa jokaiselle laitteelle. Suositeltu laitteen käyttöikä on 20 vuotta. [9, s. 56.]

■ Suositellut huoltovälit käyttöönoton jälkeen

Vuosittainen toimenpide	Kohde
P	Syöttöjännitteen laatu
I	Varaosat
P	Tasajännitevälipiirin kondensaattorien elvytys, varamoduulit ja varakondensaattorit
I	Liittimien kireys
I	Pölyisyys, korrosio ja lämpötila
I	Jäähdytyslementin puhdistus

Komponentti	Käyttövuodet							
	3	6	9	12	15	18	20	21
Jäähdytys								
Pääjäähdytyspuhallin			R			R		
Piirikorttien lisäjäähdytyspuhallin (runkokoot R1...R9)			R			R		
Lisäjäähdytyspuhallin (IP55-rungot R8 ja R9)			R			R		
Ikääntymisen hallinta								
ZCU-ohjausyksikön paristo		R		R		R		
Ohjauspaneelin paristo			R			R		
Toiminnallinen turvallisuus								
Turvatoiminnon testaus	I Katso turvatoiminnon kunnossapitotiedot.							
Turvakomponentin vanheneminen (toiminta-aika T_M)	20 vuotta							
4FPS10000239703								

Kuva 14. ABB:n suosittelema huolto-ohje [9, s. 144].

5.2 Eri kohteiden eroavaisuuksia

Taulukko 5 esittää hankittavia laitteita viidelle eri laitetilalle, joilla on käytössä erilaiset taajuusmuuttajat ja niihin liittyvät komponentit. Taulukko vertaa näiden paikkakuntien laitteistoja keskenään ja osoittaa Riihimäen astl:n U2 olevan suurimmalla kuormalla varustettu.

Energiatehokkuuslaskelmat on tehty kolmelle eri tehoiselle taajuusmuuttajalle. Laskelmissa huomioidaan taajuusmuuttajan häviötehot ja taajuusmuuttajan sekä sinisuotimen lämpöhäviöt. Laskukaavassa on kokonaistehosta (P_η) vähennetty lämpöhäviöt (P_{lh}) ja häviötehot (P_h), jonka jälkeen saadaan hyötysuhde (η) nimelliskäytölle:

$$\frac{P_n - P_h - P_{lh}}{P_n} = \eta$$

P_n on järjestelmän nimellisteho (W)

P_h on järjestelmän häviöteho (W)

P_{lh} on järjestelmän lämpöhäviö (W)

η on järjestelmän hyötysuhde (%)

$$\frac{4000 \text{ W} - 212 \text{ W} - 146 \text{ W}}{4000 \text{ W}} = 0,9105 \approx 91,05\%$$

$$\frac{5500 \text{ W} - 252 \text{ W} - 217 \text{ W}}{5500 \text{ W}} = 0,91472 \approx 91,05\%$$

$$\frac{7500 \text{ W} - 372 \text{ W} - 235 \text{ W}}{7500 \text{ W}} = 0,919065 \approx 91,91\%$$

Laskelmista havaitaan, että kaikkien laittilojen hyötysuhteet ovat melkein samat 4,0–7,5 kVA:lla.

Taulukko 5. Hankittavia laitteita paikkakunnittain, Riihimäen astl 2:lla suurin kuorma.

Asetinlaite	Myyrmäki	Jokela	Hyvinkää	Riihimäki i astl U1	Riihimäki astl U2
Taajuusmuuttaja	ABB ACS880-01-09A4-3+E200 4,0 kVA	ABB ACS880-01-09A4-3+E200 4,0 kVA	ABB ACS880-01-12A6-3+E200 5,5 kVA	ABB ACS880-01-09A4-3+E200 4,0 kVA	ABB ACS880-01-017A4-3+E200 7,5 kVA
Taajuusmuuttajan häviötehot	146 W	146 W	217 W	146 W	235W
Muuntaja	AQ Trafo-tek 4,0 kVA	AQ Trafo-tek 4,0 kVA	AQ Trafo-tek 5,5 kVA	AQ Trafo-tek 4,0 kVA	AQ Trafo-tek 7,5 kVA
Johdonsuojakatkaisijat taajuusmuuttajalla	ABB S203-C16	ABB S203-C16	ABB S203-C20	ABB S203-C16	ABB S203-C32
Johdonsuojakatkaisijat muuntajalle	ABB S203-C10	ABB S203-C10	ABB S203-C10	ABB S203-C10	ABB S203-C16
Sinisuodin	B84143V0011R229	B84143V0011R229	B84143V0016R229	B84143V0011R229	B84143V0025R229
Taajuusmuuttajan ja sinisuotimen lämpöhäviöt	212 W	212 W	252 W	212 W	372 W

6 Taloudelliset vaikutukset

Muuttajakoneen vaihto sekä huolto aiheuttavat kytkentämuutoksia, jotka täytyy tehdä vähäisen liikenteen aikoina. Tämä aiheuttaa taloudellisia menetyksiä ja fyysistä työtä. Siirrosta, huollosta ja mahdollisista osien vaihdoista aiheutuu kustannuksia vuosittain. Muuttajakoneiden huolto suoritetaan vuosittain sähkömoottoreihin erikoistuneessa liikkeessä. Huoltoon sisältyy kuljetus, asetinlaitetilaissa tehtävät kytkentämuutokset, perushuolto ja ajoittain tehtävät korjaustoimenpiteet.

Perushuolto koostuu jatkuvasti pyörivien muuttajakoneiden huoltotoimenpiteistä yleisen kunnossapito-ohjeen mukaisesti (taulukko 2) [5, liite 17 s. 3]. Lisäksi listan mukaisista huolloista vaihdetaan laakerit vuosittain. Laakerit ovat sähkömoottorin selvästi useimmiten vaihdettava osa.

Noin kolmen vuoden välein joudutaan tekemään lisätoimenpiteitä sähkömoottoreihin. Yleisiä lisätoimenpiteitä ovat sähkömoottorin käämitysten korjaaminen, hiilien vaihto ja roottorin tai staattorin tasapainotus. Hiilien vaihdon yhteydessä myös toimitetaan varahiiliä asetinlaitteelle varatoimenpiteeksi, jos vaaditaan nopeaa hiilien vaihtoa.

Taajuusmuuttajan huolto toteutetaan samanaikaisesti muiden laitetilän huoltojen kanssa. Taajuusmuuttajien huolloissa noudatetaan Väyläviraston kunnossapito-ohjetta (taulukko 3) sekä ABB:n laitetoimittajan suosittelemaa ohjetta (kuva 14) [5, liite 17 s. 3; 9, s. 144]. Taulukosta 3 voidaan todeta huoltojen tarkastusten ja mittausten vievän noin puoli tuntia maksimissaan. Taajuusmuuttaja kuitenkin vaatii tuulettimen ja paristojen vaihtoa yhdeksän vuoden välein, jolloin komponentit on hankittava ABB:ltä ja asennettava huollon yhteydessä. Taajuusmuuttajien huoltokulujen voidaan arvioida olevan noin 100 € yhdelle laitteelle, jos huomioidaan perushuolto, komponenttien vaihdot ja mahdolliset vikatapaukset. [5; 9.]

Tarkasteluun ja verrattavaksi otetaan taajuusmuuttajan käyttöikä, joka on 20 vuotta ABB:n laiteoppaan suosituksen mukaan [9, s. 144]. Taulukossa 6 on

esitetty muutostyöhön liittyvät kustannukset muuttajakoneen ja taajuusmuuttajan osalta. Suurin osa taajuusmuuttajakäytöstä muodostuu laite- ja asennuskuluista. Sähkönkulutus on pientä ja tästä syystä taajuusmuuttajien hyötysuhteiden erot muuttajakoneisiin verrattuna mitättömiä.

Taulukko 6. Muutostyön kustannuslaskelmat.

Asetinlaite	Jokela, Myyrmäki ja Riihimäki U2	Hyvinkää	Riihimäki U1
Taajuusmuuttajan teho	4,0 kVA	5,5 kVA	7,0 kVA
Taajuusmuuttajan laitteet asennukseen	4000 €	4200 €	4700 €.
Taajuusmuuttajan 20 vuoden käyttö	6000 €	6200 €	6700 €
Muuttajakonehuolto vuosittain	1600 €	1600 €	2300 €
Muuttajakoneen huollot 20 vuotta	32 600 €	32 600 €	45 700 €
Säästöt 20 vuoden ajanjaksolle	26 700 €	26 400 €	39 000 €

Taulukosta voidaan todeta, että Riihimäen U1:n muuttajakoneen huoltokustannukset ovat melkein 30 % korkeammat kuin neljän muun muuttajakoneen yhteenlasketut kustannukset. Laskelmista voidaan todeta, että muuttajakoneet, joissa tehot ovat suurempia, aiheuttavat kalliimpia huoltokustannuksia. Voidaan myös huomata, että neljälle muutostyökohteen muuttajahuollolle saadaan suhteellisen samankaltaiset loppukustannukset. Nämä neljä kohdetta ovat Hyvinkää, Jokela, Myyrmäki ja Riihimäki U2.

Riihimäki U1:n virransyötön muutostyön jälkeen kustannukset ovat seitsemän kertaa halvempia kuin ennen. Muiden asetinlaitetilojen kohteiden taajuusmuuttaja-asennukset luovat noin viisi kertaa halvemmat kustannukset kuin aikaisemmin. Lopputuloksena saadaan merkittäviä säästöjä kustannuksissa ja

työvoimakuluissa. Huoltoihin liittyvät työt vähenevät, ja työvoimaa voidaan käyttää muihin tarkoituksiin. Havaitaan myös, että kaikki yli 4 kVA:n taajuusmuuttajien turvalaitevirransyötöt ovat kannattava investointi.

7 Yhteenveto

Insinööriyön aluksi avattiin turvalaitevirransyötön toiminnallisuutta, minkä jälkeen kerrottiin raidevirtapiirien syöttöön liittyvästä muutostyöstä. Raidevirtapiirien 125 Hz:n uusittava virransyötön muutostyö oli taajuusmuuttajalla toimiva järjestelmä, jonka toimivuutta tutkittiin. Selvityksessä vertailtiin nykyisen ja uudemman järjestelmän huoltotoimenpiteitä ja kustannuksia. Huoltotoimenpiteissä havaittiin isoja säästöjä kustannuksissa ja työtuntien määrässä.

Teknisellä tasolla voidaan todeta taajuuksien muuttamisen olevan entistä monimutkaisempaa. Työn yhteydessä myös havaittiin suodattimien ja suojalaitteiden lisääntynyt määrä verrattuna muuttajakoneisiin, jossa on vain pistokkeet ja moottorisuojakatkaisijat molemmilla puolilla järjestelmää. Kustannukset ja työntarve vähenevät niin paljon, että tämän tehoisten muuttajakoneiden vaihtaminen on erittäin kannattavaa. Huoltoliikkeen sijainti voi hieman vaikuttaa tähän, mutta taajuusmuuttajan käyttäminen on silti kannattavaa.

Insinööriyön aikana huoltotoimenpiteiden määrittely oli helppoa, koska Väyläviraston kunnossapito-ohjeet ja ABB:n antamat ohjeistukset olivat selkeitä. Muuttajakoneiden korjaustoimenpiteiden määrittäminen oli haastavaa, koska komponenttien käyttöikä vaikuttaa merkittävästi korjaustarpeisiin. Tulevaisuudessa tarkastelun kohteeksi voitaisiin ottaa pienempien ja syrjäisempien asetintilojen raidevirtapiirien turvalaitevirransyöttö. Jatkokehityskohteenä olisi myös mahdollista tarkastella taajuusmuuttajalle erilaisia teknisiä ratkaisuja varavoiman ja releiden suhteen. Jatkokehityskohteenä voisi myös olla taajuusmuuttajien parametrien tutkimista ja niiden optimointia raidevirtapiirien turvalaitevirransyöttöä varten.

Lähteet

- 1 Uudenmaan ratojen kunnossapito. Verkkoaineisto. GRK Suomi Oy. <<https://www.grk.fi/projektit/uudenmaan-ratojen-kunnossapito-kuura-allianssi/>>. Luettu 19.6.2024.
- 2 Kunnossapito, Etelä-Suomi. 2024. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <<https://vayla.fi/kunnossapito/rataverkon-kunnossapito/tyonjako/etela-suomi>>. Päivitetty 21.8.2024. Luettu 6.9.2024.
- 3 Geometrix karttasovellus. 2024. Yrityksen sisäinen materiaali. GRK Suomi Oy.
- 4 Raidevirtapiirin 125 Hz:n toimintaperiaatekaavio. 2007. Yrityksen sisäinen materiaali. GRK Suomi Oy.
- 5 Rautatieturvallisuuden yleiset kunnossapito-ohjeet. 2024. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2024-07_rautatieturvallisuuden_yleiset_web.pdf>. Päivitetty 20.2.2024. Luettu 21.6.2024.
- 6 Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 6 Turvalaitteet. 2024. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2021-18_rato6_web.pdf>. Päivitetty 30.12.2024. Luettu 23.6.2024.
- 7 Paulraj, Pan. 2020. What are different AC Power Systems (TN, TT & IT earthing) and which one should you choose. Verkkoaineisto. E-Mobility Simplified. <<https://www.emobilitysimplified.com/2020/04/iec-60364-3-different-ac-power-systems-earthing-tn-tt-it.html>>. 5.5.2020. Luettu 2.6.2024.
- 8 Turvalaitteiden virransyöttöasennusten sähköturvallisuutta koskevat liikenneviraston erikoismääräykset. 2016. Verkkoaineisto. Liikennevirasto. <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/ohje_2016_turvalaitteiden_virransyottoasennusten_web.pdf>. 2.11.2016. Luettu 29.6.2024.
- 9 ABB-ACS880-0-taajuusmuuttajat laiteopas. 2022. Verkkoaineisto. ABB. <https://library.e.abb.com/public/8ccc0af274704981ac69f17b23dfe03d/FI_ACS880-01_HW_S.pdf>. 3.6.2022. Luettu 4.6.2024.

- 10 Raidevirtapiirin virransyöttökaavio. 1991. Yrityksen sisäinen materiaali. GRK Suomi Oy.
- 11 Hardware manual Sine filters. 2017. Verkkoaineisto. ABB.
<<https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AXD50000016814&LanguageCode=en&DocumentPartId=1&Action=Launch>>. 9.11.2017. Luettu 15.6.2024.
- 12 ACS880-01, wall-mounted single drives. Verkkoaineisto. ABB.
<<https://new.abb.com/drives/low-voltage-ac/industrial-drives/acs880-single-drives/acs880-01>>. Luettu 24.6.2024.