

SÄHKÖTRUKIN LATAUSPAIKAN SUUNNITTELU, VALMISTELEVAT TYÖT JA TOTEUTUS



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Sähkö- ja automaatiotekniikka, insinööri (AMK)

Kevät 2022

Tero Heinonen

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa vaatimustenmukainen latauspaikka sähkötrukille Walki Valkeakosken tuotantolaitokseen. Tarve tälle opinnäytetyölle tuli, kun Valkeakosken tuotantolaitokseen tilattiin sähkötrukki polttomoottorikäyttöisen trukin tilalle.

Heti suunnittelun alkuvaiheessa todettiin, että sähkönjakeluun joudutaan tekemään muutoksia. Sähkötrukin latauspaikka suunniteltiin tehtäväksi trukkitalliin, mutta trukkitallin läheisyydessä ei ollut vaadittua sähkönsyöttöä. Tästä syystä ennen varsinaisen latauspaikan toteuttamista, oli tarve tehdä sähkönjakeluun valmistelevia töitä. Näihin valmisteleviin töihin kuului vanhan sähkökeskuksen purkaminen, uuden sähkökeskuksen suunnittelu ja asennus, kaapelireittien suunnittelu ja toteutus sekä latauskeskuksen ja latauspistorasioiden asennus.

Tämän työn teoriaosuudessa kerrotaan teollisuudessa käytössä olevista trukeista, akuista sekä latauspaikkojen vaatimuksista. Lisäksi käydään läpi sähkönjakelun rakennetta teollisuuslaitoksissa sekä tutustutaan esimerkinomaisesti Walki Valkeakosken sähkönjakeluun. Teoriaosuus päätetään kertomalla peruseräpäätteen johdon mitoituksista.

Työn lopputuloksena valmistui vaatimustenmukainen latauspaikka sähkötrukille. Valmisteleviin töihin liittyvät sähkönjakelun muutostyöt saatiin tehtyä suunnitelmien mukaisesti valmiiksi. Sähkönjakelun uudistamisessa otettiin huomioon mahdolliset tulevaisuuden tarpeet.

Opinnäytetyössä syntyneitä malleja sähkötrukin latauspaikan rakenteesta voidaan jatkossa hyödyntää muissakin käyttökohteissa Walki Valkeakosken tehtaalla. Lisäksi opinnäytetyössä todetaan, mitä asioita on hyvä ottaa huomioon jo sähkötrukin tilausvaiheessa.

The purpose of this thesis was to plan and implement a compliant charging place for an electric forklift for the Walki Valkeakoski plant. The need for this thesis arose when an electric forklift was ordered to the Valkeakoski production plant to replace an old combustion engine-powered forklift.

In the early stage of the planning, it was stated that changes would have to be made to the distribution of electricity. There was no suitable power supply in the nearby area of the planned charging station, so there was a need to carry out preparatory work before implementing the actual charging station. These preparatory tasks included the dismantling of the old switchboard, the design and installation of the new switchboard, the planning and implementation of the cable routes, and the installation of the electric cabinet.

The theory section discusses forklifts and batteries used in the industry and the requirements for charging places. In addition, the structure of electricity distribution in industrial plants and at Walki Valkeakoski are reviewed here. This thesis also deals with the principles of cable sizing.

As a result, a compliant charging place was made. Also changes into distribution of electricity were made as planned and also future needs were considered in this project.

This thesis presents the structure of a charging station that can be used in other applications at Walki Valkeakoski. In addition, this thesis discusses the issues that need to be taken into consideration when ordering an electric forklift.

Keywords Batteries, electrical engineering, industry, forklifts.

Pages 47 pages and appendices 7 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Sähkötrukin latauspaikan suunnittelu	3
2.1	Teollisuudessa käytettävät trukit	3
2.1.1	Vastapainotrukki	4
2.1.2	Varastotrukki	6
2.2	Akkuteknologiat	7
2.3	Varaamotilojen ja latauspaikkojen vaatimukset	10
2.3.1	Varaamotila	11
2.3.2	Latauspaikka	12
3	Sähkönjakeluverkot teollisuuslaitoksissa	13
3.1	Teollisuuslaitoksen ulkopuolinen jakeluverkko	13
3.2	Teollisuuslaitoksen suurjänniteverkko	13
3.3	Teollisuuslaitoksen pienjänniteverkko	14
3.4	Walki Valkeakosken sähkönjakelu	15
3.4.1	Paperituotteen tehdasalue	16
3.4.2	Keskijänniteverkko 20kV	16
3.4.3	Muuntaja KT33	17
3.4.4	Pääkeskus KA33	17
3.4.5	Nousukeskus KA33-0303	18
4	Pienjännitesähkölaitteiston mitoitus	19
4.1	Johdon mitoitus	19
4.2	Johdon ylikuormitussuojaus	20
4.3	Johdon vikasuojaus	21
5	Valmistelevat työt ja latauspaikan toteutus	24
5.1	Lähtötilanne	24
5.2	Sähkösyötön suunnittelu akkulatauspaikalle	26
5.3	Vanhan sähkökeskuksen uusinta	28
5.4	Uuden jakokeskuksen suunnittelu	30
5.5	Uuden jakokeskuksen asennus	34
5.6	Latauspaikan suunnittelu	36

5.7	Latauskeskuksen asennus	39
5.8	Latauspaikan asennus	42
6	Pohdinta	45
	Lähteet.....	48

Liitteet

Liite 1	Keskuksen JK102D-1 pääkaavio
Liite 2	Keskuksen JK102D-1 tarkastuspöytäkirja
Liite 3	Keskuksen JH103B tarkastuspöytäkirja

1 Johdanto

Sähkömoottorikäyttöisten ajoneuvojen hyödyntäminen on yksityisautoilun lisäksi lisääntynyt myös teollisuudessa. Akkuteknologian kehittyminen on mahdollistanut sähkömoottorien käyttämisen raskaammissakin käyttötarkoituksissa. Teollisuudessa akkukäyttöisten laitteiden lukumäärä on lisääntynyt huomattavasti viimeisten viidentoista vuoden aikana. Tämä tarkoittaa sitä, että myös latauspaikkojen lukumäärä on kasvanut.

Yleinen tapa rakentaa latauspaikka akkukäyttöiselle laitteelle on latauspaikan tekeminen mahdollisimman lähelle laitteen käyttökohdetta. Latauspaikan sijainnin määrittelee vapaan tilan ja tarvittavan sähkönsyötön saatavuus. Hyvin usein käy niin, ettei latauspaikkaa voida rakentaa optimaaliseen paikkaan, vaan sijainti on näiden kahden tekijän aiheuttama kompromissi. Tämä korostuu etenkin vanhemmissa teollisuuslaitoksissa, joissa tilat ovat useasti rajalliset ja mahdollisesti suunniteltu hyvin erilaiseen käyttötarkoitukseen. Lisäksi laitteen tilaaja ja käyttäjät eivät välttämättä ole tietoisia siitä, mitä asioita sisältyy vaatimustenmukaiseen latauspaikan toteuttamiseen.

Kun akkukäyttöisten laitteiden tehot kasvavat, kasvavat myös sähkönjakelun vaatimukset. Akkukäyttöisten laitteiden ja akkujen lataukseen tarvittavien latauspaikkojen lisääntyminen aiheuttaakin tyypillisesti muutoksia pienjännitepuolen sähkönjakelussa. Valmistelevilla töillä tarkoitetaan tässä yhteydessä pienjännitejakeluun tehtäviä muutoksia, joita joudutaan tekemään ennen varsinaisen latauspaikan asennustöitä.

Tässä työssä selvitettiin mitä asioita tulee ottaa huomioon, kun suunnitellaan akkukäyttöiselle laitteelle latauspaikkaa. Lisäksi käydään läpi, millaisia valmistelevia töitä jouduttiin tekemään pienjännitepuolen sähkönjakelussa, ennen kuin varsinaista latauspaikkaa päästiin rakentamaan.

Tämän työn tilaajana toimi Walki Valkeakoski, joka on osa kansainvälistä paperinjalostustuotteisiin erikoistunut yritystä Walki Groupia. Walki Groupin historia alkaa vuodesta 1931, jolloin Paperituote Oy aloitti tuotantonsa Valkeakoskella. Vuonna 2007 UPM myi jalostustuotteita ja teollisuuskääreitä valmistavan Walki Wisan Capman nimiselle

pääomasijoitusyhtiölle ja Walki Group OY perustettiin. Vuonna 2018 Walki Capman buyout myi rahastonsa toiselle pääomasijoittajalle One Equity Partnersille.

Vuonna 2022 Walki Groupilla on tehtaita yhdeksässä maassa ja tuotantolaitoksia on yhteensä neljätoista. Tehtaat sijaitsevat Suomessa, Venäjällä, Saksassa, Englannissa, Puolassa, Kiinassa, Belgiassa, Espanjassa sekä Ranskassa. Walki Groupin Suomen tehtaat sijaitsevat Valkeakoskella, Pietarsaaressa sekä Ylöjärvellä. Valkeakosken ja Pietarsaaren laitokset muodostavat Walki Oy:n.

Walki Groupin liikevaihto vuonna 2021 oli jo yli 500 M€ ja se on lähes kaksinkertaistunut viimeisen viiden vuoden aikana. Walki Groupin strategia on edistää ja nopeuttaa maailman siirtymistä jätteettömään tulevaisuuteen ja omalta osaltaan auttaa kiertotalouden lisääntymistä. Tämän ansiosta 80 % Walkin Groupin tuotteista on tehty uusiutuvista kasviperäisistä raaka-aineista. Walkin Groupin liiketoiminta voidaan jakaa kolmeen eri osa-alueeseen: Kuluttajapakkaukset, teollisuuspakkaukset sekä tekniset materiaalit (Walki Group, Lokakuu 2021.)

Walki Valkeakoski sijaitsee Valkeakoskella Paperituotteen tehdasalueella. Valkeakosken tehdas on erikoistunut teknisiin tuotteisiin, kuten rakennusteollisuudessa käytettäviin eristys- ja rakennusmateriaaleihin, teknisiin teollisuuspapereihin, lääketeollisuuden tuotteisiin sekä ruokateollisuuden kansimateriaaleihin. Myös Valkeakosken tehtaan strategiaan kuuluu ekologinen yritystoiminta, jolloin sähkötrukkien ja muiden sähkömoottoreilla toimivien laitteiden lisääntyminen tukee tätä toimintatapaa loistavasti.

2 Sähkötrukin latauspaikan suunnittelu

Työn tässä osuudessa käydään läpi, mitä asioita tulee ottaa huomioon, kun suunnitellaan latauspaikkaa sähkötrukille. Aluksi kerrotaan mikä laite trukki on ja mihin tarkoitukseen sitä käytetään. Osiossa käydään läpi teollisuudessa tyypillisesti käytettäviä trukkimalleja ja kerrotaan trukkien historiasta.

Sähkötrukkeihin kuuluvat oleellisena osana akustot, joita käytetään trukkia liikuttavan sähkömoottorin energialähteenä. Viimeisen kymmenen vuoden aikana akkuteknologiat ovat kehittyneet huimaa vauhtia. Tällä hetkellä trukkien ajovoima-akkuina käytetään pääsääntöisesti joko lyijyakkua tai ajovoimakäytössä uudempaa litiumioniakkua. Näiden akkutyypin ominaisuuksia ja eroavaisuuksia käydään läpi myös tässä suunnitteluosiossa.

Latauspaikan suunnitteluosio päätetään kertomalla vaatimuksista, joita tulee ottaa huomioon, kun aletaan suunnittelemaan varaamotilaa tai latauspaikkaa sähkötrukille. Sähkötrukin latauspaikkaa suunnitellessa tulee ottaa huomioon turvallisuustekijät, jotta varaaminen tai vaihtoehtoisesti akun vaihtaminen voidaan suorittaa vaarantamatta sekä ihmisiä että rakennuksia.

2.1 Teollisuudessa käytettävät trukit

Trukki on ajoneuvo tai laite, jota käytetään varastoinnissa ja teollisuudessa materiaalien, tarvikkeiden ja tuotteiden nostamiseen, siirtämiseen ja hallintaan. Ensimmäiset trukit tulivat käyttöön 1900-luvun alussa. Ennen kuin polttomoottorikäyttöiset trukit yleistyivät, käytettiin ajovoimana jo silloin akulla toimivia sähkömoottoreita. Ensimmäisessä maailmansodassa ollut työvoimapula edesauttoi trukkien kehittämistä ja tuotantomäärien kasvua. Teollisuuteen trukit löysivät lopullisesti itsensä vasta toisen maailmansodan jälkeen, jossa niitä käytettiin sotakaluston lastaamiseen kuorma-autoihin ja laivoihin. Kun sotateollisuuden tarpeet vähenivät, voitiin trukkien käyttöä kohdistaa enemmän kasvavan teollisuuden tarpeisiin. (Sellick, 2021)

Teollisuudessa on käytössä monenlaisia trukkeja, joiden nostokyky vaihtelee muutaman sadan kilon ja useiden kymmenien tonnin välillä. Ajettavia trukkeja ohjataan joko ohjaamosta istuen tai trukin takaosassa olevan ajoalustan päällä seisten. Myös käyden ajatettavia trukkeja on käytössä monissa teollisuuden kohteissa. Näissä malleissa koneen käyttäjä kävelee trukin perässä.

Viime vuosina myös automaattisten trukkien määrä on lisääntynyt huomattavasti. Automaattitrukit ovat miehittämättömiä työkoneita, jotka liikkuvat omilla rajatuilla alueilla ja reiteillä. Automaattitrukkeja hyödynnetään teollisuudessa koko tuotantoketjun läpi, aina raaka-aineiden käsittelystä valmiiden tuotteiden varastointiin. Automaattitrukit ovat varustettu turvalaitteilla, jolloin voidaan välttää trukkien törmäminen sekä ihmisten että rakenteiden kanssa. (Lindfors, 2022)

2.1.1 Vastapainotrukki

Vastapainotrukki (Kuva 1.) on trukkimalli, joka yleisesti tulee ensimmäisenä mieleen trukeista puhuttaessa. Vastapainotrukki saa nimensä kirjaimellisesti trukin takaosaan asennetusta vastapainosta, joka mahdollistaa trukille suuren nostokapasiteetin suhteessa trukin kokoon. (Wihuri Oy, 2022)

Vastapainotrukin etuosaan on asennettu työkalu, jonka avulla siirreltävää materiaalia pystytään käsittelemään. Yleisimmin trukissa on käytössä haarukat tai sorkat, jotka ovat kätevät, kun siirrellään kuormalavoja, kontteja tai jotain muuta materiaalia, jota voidaan nostaa alhaaltapäin. Rullia käsitellessä trukin etuosaan asennetaan rullapihdit, joiden avulla rullan ympäriltä saadaan tukeva puristusote ja näin rullaa voidaan helposti siirtää ja tarvittaessa pyörittää akselinsa ympäri. (Xiamen Liteng Engineering Machinery, 2020)

Vastapainotrukit voidaan jakaa polttomoottorikäyttöisiin trukkeihin ja sähkötrukkeihin, niissä käytettävän moottorityypin mukaan. Polttomoottoritrukit voidaan jakaa vielä energialähteen mukaan diesel- nestekaasu- ja hybriditrukkeihin. Polttomoottoritrukissa voimanlähteenä toimiva polttomoottori on korvattu sähkötrukissa sähkömoottorilla ja sitä syöttävällä akustolla. (Toyota material handling, n.d)

Sähkötrukki soveltuu loistavasti sisätiloihin, koska se ei tuota pakokaasua ja on siksi päästötön. Pakokaasusta syntyvä noki ja haju aiheuttavat ongelmia varsinkin sellaisissa tuotantotiloissa, joissa valmistettavat tuotteet ovat herkkiä tällaisille päästöille.

Polttomootoritruckien polttoaineena käytettävistä kaasuista ja fossiilisista polttoaineista syntyy palamistuotteena myös häkää. Häkä on myrkyllinen kaasu, joka voi aiheuttaa ihmisille isoina pitoisuuksina hengenvaarallisia oireita. Vaikka nykyaikaiset polttomootoritrukit ovat kehittyneet huomattavasti pakokaasupäästöjen osalta, on sähkötrukkien päästöttömyys silti ehdoton etu.

Sähkötrukit ovat myös lähes äänettömiä eikä niistä aiheudu meluhaittaa ympäristöön.

Sähkötrukit ovatkin niin hiljaisia, että niihin useasti asennetaan huomiovalot tai erillinen varoitusjärjestelmä ilmoittamaan muille ihmiselle trukin olemisesta lähetyvillä. Myös sähkötrukkien vähäinen tärinä verrattuna polttomootorikäyttöiseen truckiin on ominaisuus, jota koneenkäyttäjät osaavat arvostaa.

Polttomootorikäyttöisen trukin etuina voidaan puolestaan pitää suurta tehoa sekä nopeaa tankkausta. Lisäksi polttomootoritrukki on toistaiseksi hankintakustannuksiltaan sähkötrukkia edullisempi. (Toyota material handling, n.d)

Kuva 1. Teollisuudessa yleisesti käytetty vastapainotrukki.



2.1.2 Varastotrukki

Varastotrukit ovat pääosin sisäkäyttöön tarkoitettuja trukkeja. Varastotrukki nimitystä käytettäessä tarkoitetaan sillä aina akkukäyttöistä trukkia. Varastotrukkeja käytetään hyvin monipuolisissa tehtävissä ja ne jaotellaankin niiden käyttötarkoituksen mukaan, esimerkiksi lavansiirto-, keräily-, kapeakäytävä-, työntöasto- ja pinoamistrukeiksi. Esimerkiksi työntöastotrukkia käytetään silloin kun tarvitaan tehokasta kuormalavojen kuljetus- ja hyllytystrukkia. Työntöastotrukilla voidaan nostaa kuormalavoja yli kymmenen metrin korkeuteen, jolloin suurilla hyllykorkeuksilla voidaan tehokkaasti hyödyntää varasto myös korkeussuunnassa.

Varastotrukeilla käsitellään pääsääntöisesti kuormalavoja tai jossain tapauksissa rullakkoja. Käyttökohteesta, siirrettävien tavaroiden määrästä ja välimatkasta riippuen valitaan varastotrukki käytettäväksi kävellen, seisten tai istuen. Kuvassa 2 on esitettyinä akkukäyttöinen pinoamisvaunu, jota ohjataan kuvassa vasemmalla näkyvän ajoalustan päältä. (Wihuri Oy, 2022)

Kuva 2. Akkukäyttöinen pinoamisvaunu.

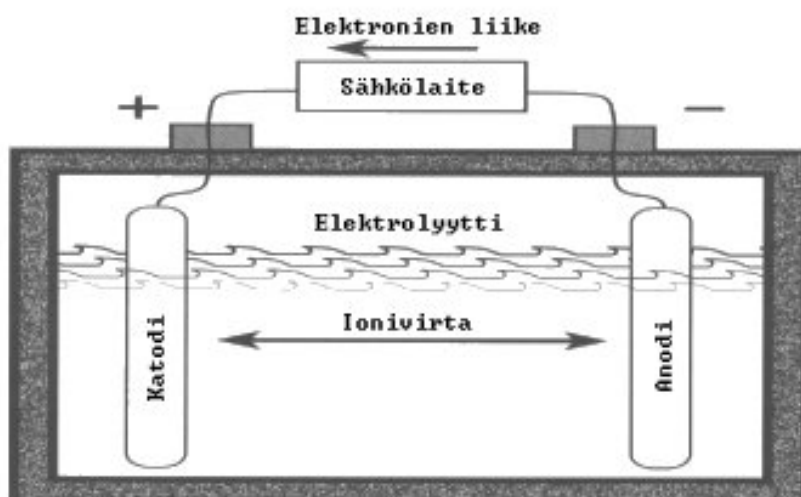


2.2 Akkuteknologiat

Akku on sähkölähde, johon pystytään varastoimaan sähköenergiaa kemiallisen energian muodossa. Akku koostuu kahden elektrodin muodostamasta sähköparista sekä elektrodien välissä olevasta elektrolyytistä, joka on ioneja johtavaa nestemäistä tai geelimäistä ainetta. Lisäksi elektrolyytin sisällä on eristelevyt, joiden tehtävänä on eristää elektrodit toisistaan.

Kun akkua varataan, sähköenergia muuttuu kemialliseksi energiaksi. Akun läpi johdetaan purkausvirta nähdessä vastakkaissuuntaista tasasähköä ulkopuolisen jännitelähteen avulla. Akkua purettaessa reaktio toimii päinvastoin. Silloin toiselle elektrodeista vapautuu kemiallisen hapettumisreaktion myötä elektroneja. Vapautuneet elektronit pyrkivät ulkoiseen piiriin yhdistettäessä kulkemaan positiivisesti varautuneelle elektrodille ja saavat aikaan sähkövirran. Ulkoisen piirin ollessa yhdistettynä, elektronit jatkavat liikettä niin kauan, kunnes elektrodien välillä ei ole enää potentiaaliero. Akkua voidaan teoriassa ladata ja purkaa rajattomasti, mutta käytännössä akun materiaaleissa tapahtuvat pysyvät kemialliset muutokset rajoittavat akun käyttöikä. Kuvassa 3 on havainnollistettu akun toimintaa. (Ahoranta, 2015, s. 306)

Kuva 3. Akun toimintaperiaate (Teknillinen korkeakoulu, 1998).



Teollisuudessa akkuja käytetään moniin eri sovelluksiin. Erilaisten akkutyyppeiden tekniset ominaisuudet määrittävät akkujen käyttökohteen ja sen, miten akkuja voidaan purkaa ja

varata. Erilaisia käyttökohteita akuille ovat mm. paikallisakut, syklisen käytön akut, tehoakut, putki- ja massalevyakut, päätynapa-akut ja ajovoima-akut. (akkupojat.fi, 2022)

Paikallisakuilla tarkoitetaan akustoa, joka on asennettuna kiinteästi akkuhuoneeseen. Paikallisakkuja käytetään teollisuudessa useissa eri käyttökohteissa, erityisesti erilaisten järjestelmien vara-akustona. Käytettäviä järjestelmiä ovat esimerkiksi varavalo- ja paloturvallisuusjärjestelmät. (akkupojat.fi, 2022)

Syklisen käytön akkujen ominaisuutena on, että niille voidaan tehdä useita lataus-purkausjaksoja. Havainnollinen esimerkki tämäntyyppisen akun käyttökohteesta on aurinkovoimajärjestelmän akusto, jossa lataus-purkausjaksoja tulee paljon. Syklinen kestävyys tällaisilla akuilla on jopa 3-kertainen tavallisiin akkuihin verrattuna. (akkupojat.fi, 2022)

Tehoakuiksi kutsutaan akkuja, jotka pystyvät antamaan suurta virtaa lyhyen ajan. Tyypillisesti tehoakkuja käytetään moottoriajoneuvojen sekä varavoimageneraattoreiden käynnistysakkuina. (Ahoranta, 2015, s. 320)

Päätynapa- sekä putki- ja massalevyakkuja käytetään pääasiassa keskeytymättömän virransyötön eli UPS-järjestelmien laitteissa energia-akkuina. Energia-akut pystyvät jatkuvalla purkausvirralla antamaan suuren energiamäärän. Putki- ja massalevyakkuja käytetään suuriin varavoimajärjestelmiin ja erittäin haastaviin käyttökohteisiin. Näiden akkujen käyttöikä voi olla käyttökohteesta riippuen jopa 15–20 vuotta. (akkupojat.fi, 2022)

Ajovoima-akkuja käytetään kohteissa, joissa akkuihin varattu energia muutetaan laitteen ajovoimaksi. Sähkötrukeissa käytettävät akkuteknologiat voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan, perinteisiin lyijyakkuihin sekä ajovoima-akkukäytössä uudempana käytettäviin litiumioniakkuihin. (Ahoranta, 2015, s. 320)

Lyijyakkuja käytetään monissa eri sovelluksissa ajoneuvoissa sekä varavoimakäytössä. Lyijyakkuja käytetään polttomoottoreiden käynnistysakkuna muun muassa varavoimakoneissa ja ajoneuvoissa sekä ajovoima-akkuna sähkömoottorien voimanlähteenä. Lyijyakussa energiavarastona toimivat negatiivisen elektrodin huokoinen lyijylevy sekä

positiivisen elektrodin lyijydioksidilevy. Lyijyakussa elektrodien välillä ioneja johtava elektrolyytti on liuosta, joka koostuu vedestä sekä rikkihaposta. (Ahoranta, 2015, s. 320)

Ajovoimakäyttöön tarkoitettuja lyijyakkuja ladataan automaattisilla latauslaitteilla, jotka ohjaavat akun latausvirtaa ja -jännitettä akun varaustilan, lämpötilan, kapasiteetin ja akkutyypin mukaan. (Ahoranta, 2015, s. 321) Lyijyakkua ladattaessa on huomioitava, että latauksen loppuvaiheessa alkaa elektrolyytissä oleva vesi hajota hapeksi ja vedyksi. Vety ja happi muodostavat yhdessä erittäin herkästi räjähtävän seoksen, joka tulee ottaa huomioon tilan ilmanvaihdon suunnittelussa. (Ahoranta ym., 1986, s. 175)

Avoimia lyijyakkuja käytettäessä on myös huomioitava, että akusta haihtuu käytön aikana vettä ja sitä tulee lisätä ajoittain. Vesitys on yksi tärkeimmistä lyijyakkujen huoltotehtävistä. Akkuvetenä tulee käyttää ainoastaan tislattua vettä epäpuhtauksien välttämiseksi. (Ahoranta ym., 1986, s. 183) Ajovoima-akkujen yhteydessä käytetään useasti automaattista vesitysjärjestelmää, jonka avulla voidaan jokaisen kennon vesitys hoitaa yhdestä pikaliittimestä. Vesitysjärjestelmä myös huolehtii, että jokaisen kennon vesitystaso on oikea, jolloin vältytään sekä yli- että alitäytöltä.

Perinteisen lyijyakun tilalla on viime vuosina yhä enemmän alettu käyttää tehokkaammaksi ja turvallisemmaksi kehitettyä litiumakkua. Litiumakut ovat akkuja, joissa litiumionit liikkuvat litiummetallioksidista koostuvan positiivisen anodin sekä grafiittia olevan negatiivisen katodin välillä saaden aikaan sähkövirran. Myös litiumakuissa käytetään elektrolyyttiä eristämään positiivinen ja negatiivinen elektrodi toisistaan. Elektrolyytti mahdollistaa myös litiumionien liikkumisen akun anodin ja katodin välillä. (Ahoranta, 2015, s. 316)

Litiumakut on nimetty niiden elektrolyyttirakenteen mukaan joko litiumioniakuiksi (Li-ion) tai litiumpolymeeriakuiksi (LiPo). Litiumakulla on lyijyakkua korkeampi yli kolmen voltin kennojännite sekä painoonsa nähden suuri kapasiteetti. Litiumakun purkautumiskäyrä on tasainen ja sillä on iso virranantokyky. Litiumakkuja tulee ladata ainoastaan niiden lataamiseen suunnitelluilla latauslaitteilla, jotka huolehtivat oikeasta latausvirrasta latauksen eri vaiheissa. (Ahoranta, 2015, s. 316)

Kun litiumakkuja käytetään ajovoima-akkuina, on niissä monia hyviä ominaisuuksia lyijyakkuihin verrattuna. Suuren energiatiheytensä ansiosta litiumakut lataantuvat huomattavasti nopeammin kuin lyijyakut. Tämä on selkeä etu lyijyakkuihin verrattuna, koska tehokkaan latauksen ansiosta vara-akkuja ei tarvita. Litiumakkua voidaan käyttää vuorokauden ympäri, kunhan sitä voidaan ladata ajoittain lyhyitä noin 15–30 minuutin jaksoja. 15 minuutin latauksella saadaan suunnilleen tunnin verran ajoaikaa. Jos akku halutaan ladata täyteen, 20 % varauksesta akun lataaminen täyteen kestää vain 1–2 tuntia. (Toyota material handling, n.d)

Litiumakut ovat rakenteeltaan suljettuja eikä niitä tarvitse vesittää lyijyakun tavoin. Tämä tekee niistä turvallisia ja huoltovapaita. Koska litiumakut eivät varautuessaan tuota mitään räjähdysvaarallisia kaasuja, voidaan trukin latauspaikka sijoittaa lähes mihin vain eikä latauspaikan ilmanvaihtoa tarvitse ottaa huomioon. Tämä on huomattava helpotus sähkötrukin latauspaikan suunnittelussa. (Toyota material handling, n.d)

2.3 Varaamotilojen ja latauspaikkojen vaatimukset

Sähkötrukin akkujen lataamiseen käytettyjä tiloja kutsutaan käyttötarkoituksen mukaan joko varaamotiloiksi tai latauspaikoiksi. Nimitys riippuu siitä, onko kyseessä erillinen pelkästään akkujen varaamisen tarkoitettu tila vai onko latauspaikka tavanomaisissa teollisuuden liittyvissä varasto- tai tuotantotiloissa. Erillisille akkuhuoneille asetetut vaatimukset on rajattu tästä työstä pois, koska ne käsittelevät vain kiinteästi asennettuja akkuja, joita ei käytetä ajovoima-akkuina. (Sähköinfo Oy, 2016, s. 2)

Riippumatta siitä onko kyseessä varaamotila vai latauspaikka, tulee seuraavat asiat ottaa suunnittelussa huomioon latausalueiden, latauspaikkojen sekä latauskojeiston osalta. Latausalueen tulee olla siisti ja tyhjä ylimääräisestä tavarasta. Latausalue tulee rajata esimerkiksi lattiaan viivoin maalaamalla. Latauspiste tulee olla sijoitettuna ulko-oven läheisyyteen ja latauspisteen välittömässä läheisyydessä tulee olla riittävästi alkusammutuskalustoa. Lisäksi latausalueen vieressä tulee olla vähintään kertakäyttöinen silmienhuuhtelupullo tai tarvittaessa silmienhuuhtelupaikka. Latauslaitteet sijoitetaan seinälle tai lattialle ja ne suojataan törmäyksiltä esimerkiksi suojakehikoilla. Latauslaitteen

viereen seinällä asennetaan koukut latauskaapeleiden säilytystä varten. (Sähköinfo Oy, 2016, s. 4)

2.3.1 Varaamotila

Varaamo on erillinen pelkästään ajovoima-akkujen varaamiseen tarkoitettu tila.

Varaamotilaa suunniteltaessa ja määriteltäessä tulee ottaa huomioon, että tilat ovat riittävät ja soveltuvat tarvittaville toiminnoille. Jotta työskentelytilaa on riittävästi, tulee varaamossa olevan käytävän olla vähintään kolme metriä leveä. Tällä varmistetaan, että tilaan ajamiselle ja huollolle on riittävästi tilaa.

Latauspaikkojen tilantarve riippuu siitä, että irrotetaanko akku trukista latauksen ajaksi vai ladataanko akkua niin, että se on yhä trukissa kiinni. Jos trukkeja käytetään vuorotyötä tekevissä työaikamuodoissa, joudutaan akkuja vaihtamaan esimerkiksi aina vuoron vaihtuessa. Tässä tapauksessa pitää ottaa huomioon mahdollisten nostureiden tai pumppukärrijen tilantarve varaamotilassa. Koska käytetty akku irrotetaan koneesta ja ladattu akku asennetaan trukkiin saman tien, ei tilantarpeen suunnittelussa tarvitse ottaa huomioon trukin viemää tilaa latauksen aikana. Tilantarve on täten trukkia kohden noin 5-7 m². Jos trukki voi olla osan aikaa päivästä käyttämättä esimerkiksi työpisteellä, jossa tehdään päivätyötä, ei akkua välttämättä tarvitse vaihtaa päivän aikana. Jos akkua ei vaihdeta, tulee suunnittelussa ottaa huomioon myös trukin varaamosta vievä tila. Tilantarve on tällöin suurempi, trukkia kohden noin 10-15 m². (Sähköinfo Oy, 2016, s. 3)

Varaamotilan oven pitää aueta ulospäin ja jos ovi on varustettu lukolla, pitää siinä olla mahdollisuus hätäaukaisulle esimerkiksi pikasalvalla. Varaamotilan ulkopuolella ovesa tulee olla varoitusmerkit, jotka kieltävät tilassa avotulen käsittelyn sekä tupakoinnin. (Sähköinfo Oy, 2016)

Trukeille tulee olla varaamossa merkityt paikat, johon ne pysäköidään varaamisen ajaksi. Kun trukki on pysäköity merkitylle paikalle, pitää varauksen aikana akkuvaraajien ja muiden laitteiden etäisyys olla vähintään yhden metrin päässä varattavista akuista. Varaamon

valaistus ja lämmitys tulee järjestää niin, että valaisimet ja lämpöpatterit ovat vähintään puolen metrin etäisyydellä varattavista akuista. (Sähköinfo Oy, 2016, s. 3)

Jos varaamotilassa ladataan yli kymmentä truckkia, luokitellaan se silloin suureksi varaamotilaksi. Suurten varaamotilojen yhteyteen suositellaan järjestettäväksi erillinen tila, joka on varattu pelkästään akkujen huoltoa ja puhdistusta varten. Pienet varaamotilat voidaan puolestaan erottaa muista tiloista palamattomaksi luokitelluilla väliseinillä. (Sähköinfo Oy, 2016, s. 3)

Koska akkujen käyttöikään vaikuttaa voimakkaasti niiden lämpötila, tulee varaamotilan ilman olla kuivaa ja lämpötilan sijoittua 15 °C ja 25 °C välille. Jos akkuja varataan liian korkeassa lämpötilassa, niiden käyttöikä lyhenee. Jos akkuja taas varataan liian kylmässä tilassa, voi akun lataaminen täyteen olla hankalaa akun kapasiteetin pienentyessä. Tilapäisesti ja lyhytaikaisesti varaamon lämpötila voi olla 5 °C ja 35 °C välillä. (Sähköinfo Oy, 2016, s. 3)

2.3.2 Latauspaikka

Latauspaikka on tavallisiin varasto- tai tehdastiloihin sijoitettu akkukäyttöisen laitteen latauspiste. Käytännössä se on keltaisella viivoituksella lattiaan piirretty pysäköintiruutu, joka on varattu ladattavalle laitteelle. Rakennuksessa paras sijoituspaikka latauspaikalle on ulkoseinän tai -oven läheisyydessä, jolloin pääsy ulos tai johonkin muuhun turvalliseen tilaan tulipalon tai muun vaaratilanteen sattuessa on tehty turvalliseksi. Palo- tai räjähdysvaaralliseen tilaan ei latauspaikkaa kuitenkaan tule sijoittaa. Lisäksi lataustilassa tulee olla aina hyvä ilmanvaihto. Jos painovoimainen ilmanvaihto ei riitä, pitää se hoitaa koneellisesti. (Sähköinfo Oy, 2016, s. 3)

Latauspaikassa olevan laitteen sivuille pitää jäädä vähintään 80 senttimetrin huoltotila. Koska latauspaikat ovat muiden tilojen yhteydessä, tulee akkujen olla kosketussuojattuja. Kosketussuojauksen avulla voidaan välttää akun napojen oikosulkeutuminen vahingossa. (Sähköinfo Oy, 2016, s. 3)

3 Sähkönjakeluverkot teollisuuslaitoksissa

Sähköjärjestelmän rakenne Suomessa koostuu voimalaitoksista, Fingridin hallitsemasta kantaverkosta, energia-, sähkö- ja teollisuuslaitosten hallitsemista korkeajännitteisistä alueverkoista sekä paikallisten sähköyhtiöiden hallitsemista keskijännitteisistä jakeluverkoista. (Fingrid Oy, 2022) Työn tässä osassa käydään läpi, miten sähköenergianjakelu on yleisesti toteutettu teollisuuslaitoksissa sekä tarkastellaan Walki Valkeakosken sähkönjakelua muuntajan KT33 osalta.

3.1 Teollisuuslaitoksen ulkopuolinen jakeluverkko

Suomen sähköverkon selkärankana toimii suurjännitteinen kantaverkko, johon on yhdistetty sähköä tuottavat voimalaitokset, suurimmat sähköasemat sekä liittynät naapurimaiden sähköverkkoihin. Kaikki 400 kV:n ja 220 kV:n sekä osa 110 kV:n sähköasemista ja voimalinjoista kuuluvat kantaverkkoon. Kantaverkossa sähköenergia saadaan siirrettyä alueverkkoon teollisuuslaitosten sekä sähkönkulutusalueiden lähelle. (Mäkinen ym., 2009, s. 22)

Alueverkon muuntoasemissa tehomuuntajien avulla saadaan jännite muunnettua 110 kV:iin joko 400 kV:sta tai 220 kV:sta. Alueverkko voi siirtää 110 kV:n jännitteen keskijänniteverkon sähköasemiin tai vaihtoehtoisesti suoraan isoimmille teollisuuslaitoksille. Alueverkkoja hallitsevat energia-, sähkö- ja teollisuuslaitokset. (Mäkinen ym., 2009, ss. 22-23)

Teollisuuslaitoksen tai paikallisen jakeluyhtiön hallitsemisessa keskijänniteverkon muuntoasemissa jännite muunnetaan 1-35 kV:n välille. Yleisimmin käytettävä jännite on 20 kV:a. (Mäkinen ym., 2009, s. 23)

3.2 Teollisuuslaitoksen suurjänniteverkko

Teollisuuslaitoksissa suurjänniteverkoista puhutaan jännitteen ollessa yli 1 kV. Teollisuuslaitoksen suurjännitteinen jakelujärjestelmä alkaa keskijänniteverkosta kiinteistöön tuodusta syöttökaapelista. Keskijänniteverkko voidaan rakentaa sähköasemalta

saakka maakaapeliverkkona tai vaihtoehtoisesti avojohdinlinjana, jolloin avojohdot voidaan yhdistää maakaapeliin kaapelipäätteillä. On myös hyvin tavallista, että kiinteistöön tuodaan useampia syöttökaapeleita keskijänniteverkosta, jolloin kiinteistön sähkönjakelu saadaan tehtyä rengasverkkona. Rengasverkon hyötynä voidaan pitää verkon joustavuutta esimerkiksi mahdollisen vikatilanteen vuoksi. (Mäkinen ym., 2009, s. 23)

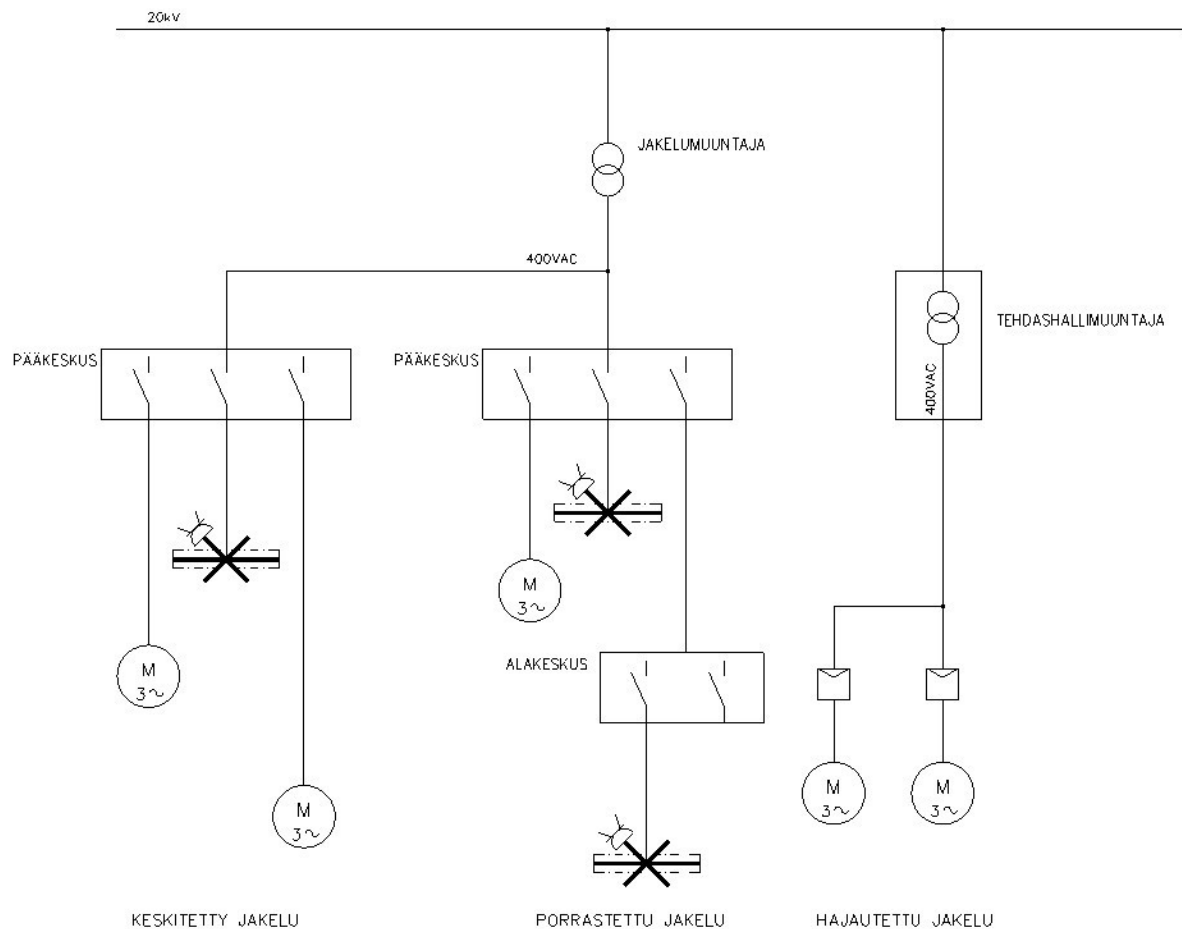
Teollisuuskiinteistöön tuotu suurjännitekaapeli yhdistetään ensimmäisenä suurjännitekojeistoon. Suurjännitekojeisto sisältää suojaukseen, kytkentään, sekä ohjaukseen ja säätöön liittyviä laitteita. Suurjännitekojeistojen yleisimmät perusmallit ovat liityntäkenttä, kuormanerotinkenttä, varokekuormanerotinkenttä ja katkaisijakenttä. Suurjännitekojeistossa liityntäkenttä yhdistetään muihin kojeistossa sijaitseviin kenttiin kokoojakiskojen avulla. (Mäkinen ym., 2009, s. 24)

Teollisuuslaitoksen suurjänniteverkko päättyy teollisuuskiinteistössä sijaitsevan jakelumuuntajan korkeajännitepuolen liittimiin. Jakelumuuntajan avulla saadaan suurjännitekojeistolta tuleva suurjännite alennettua prosessilaitteille sekä kiinteistölle soveltuvaksi kolmivaiheiseksi pienjännitteeksi. (Mäkinen ym., 2009, s. 24)

3.3 Teollisuuslaitoksen pienjänniteverkko

Teollisuuslaitoksissa pienjänniteverkoista puhutaan jännitteen ollessa alle 1 kV:n. Pienjänniteverkon katsotaan alkavaksi teollisuuskiinteistössä olevan jakelumuuntajan pienjänniteliittimistä ja se jatkuu aina verkon viimeisiin laitteisiin asti. Teollisuuslaitoksen pienjänniteverkko voi olla sähkönjakelutyyppiltään keskitetty, hajautettu, porrastettu tai vaihtoehtoisesti näiden yhdistelmä. Keskitetyssä jakelujärjestelmässä kaikki sähkölähdöt on sijoitettu jakelumuuntajan jälkeiseen pääkeskukseen. Porrastetussa jakelussa sähkölähtöjä on sijoitettu sekä pääkeskukseen että pääkeskuksen jälkeisiin alakeskuksiin. Hajautetussa jakelussa käytetään erillisiä tehdashallimuuntamoita. Tehdashallimuuntamoon on integroitu tarpeelliset liitännät ja suojalaitteet. Mahdollisesti tarvittavat käynnistinkomponentit voidaan sijoittaa kentälle moottoreiden läheisyyteen. Kuvassa 4 on havainnollistettu erilaisten jakelujärjestelmien vaihtoehtoja. (Mäkinen ym., 2009, s. 30)

Kuva 4. Periaatekuva eri sähkönjakelun muodoista.



3.4 Walki Valkeakosken sähkönjakelu

Walki Valkeakoskella on käytössä teollisuuslaitoksissa perinteisesti käytettävä sähkönjakelu, jossa siirtoverkko on toteutettu pienjännitemuuntajille asti 20 kV:n keskijännitteellä. Keskijänniteverkko koostuu kokonaisuudessaan maakaapeliverkosta. Keskijänniteverkon kytkinlaitoksia on Walki Valkeakosken hallinnoimana kaksi kappaletta. Lisäksi on yksi yhteinen kytkinlaitos Paperituotteen tehdasalueen sähkönsyöttöä varten. Tässä osassa työtä esitetään Walki Valkeakosken sähkönjakelu Valkeakosken energialta tulevasta keskijänniteverkon syötöstä muuntajan KT33 jälkeiseen pienjänniteverkkoon, johon sähkötrukin latauslaitteisto asennettiin.

3.4.1 Paperituotteen tehdasalue

Paperituotteen tehdasalueen on perustanut 1930-luvulla Yhtyneet Paperitehtaat Oy. Alueella toimi vielä 1990-luvulle asti Paperituote Oy, johon kuului aaltopahviosasto, säkkiosasto, päällystysosasto sekä teollisuuspapieriosasto. Alueen sähköverkko on alun perin suunniteltu nämä eri osastot huomioiden rengasverkkomaiseksi, jolloin mahdollinen kaapeli- tai laiteaurion aiheuttama sähkönjakeluhäiriö on ollut mahdollista kiertää toisen syöttösuunnan kautta. Useiden järjestelyjen jälkeen alueella toimii enää kaksi isompaa eri omistuksessa olevaa yritystä, Adara pakkaus sekä Walki Valkeakoski. Rengassyötön mahdollisuus on periaatteessa vielä olemassa, mutta sille ei ole ollut tarvetta. Myöskään laitteiston kunnosta ei ole varmaa tietoa, koska laitteistoja hallitsevat eri yritykset. Tässä työssä käydään läpi Paperituotteen tehdasalueesta vain Walki Valkeakoskea koskeva osuus.

Paperituotteen tehdasalueella Walki Valkeakosken omistuksessa ovat päätehdas, pörssirakennus sekä kuusi varastorakennusta. Päätehtaalla sijaitsevat varsinaisten tuotantokoneiden lisäksi suurin osa työntekijöiden sosiaalityötiloista sekä konttoreista. Pörssirakennuksessa, jota aiemmin kutsuttiin pikipörssiksi siellä sijainneiden pikikoneiden vuoksi, sijaitsevat Walki Valkeakosken varaosavarasto, loput sosiaalityötilat ja konttorit sekä trukkitalli.

3.4.2 Keskijänniteverkko 20kV

Sähkönjakelun Paperituotteen tehdasalueelle toimittaa Valkeakosken energia. Sähköä voidaan syöttää Paperituotteen tehdasalueella sijaitsevaan kattilahuoneen kytkinlaitokseen kahdesta suunnasta, Lempääläntiellä sijaitsevasta muuntamosta sekä Ulvajanlahden kytkinlaitoksesta, joka toimii tällä hetkellä varayhteytenä. Kattilahuoneen kytkinlaitoksesta syötetään sekä Adara pakkausta että Walki Valkeakoskea.

Kattilahuoneelta syöttö Walki Valkeakosken paperivarasto 2:ssa sijaitsevaan kytkinlaitokseen 3BB tulee rakennusten kattoja pitkin kaapelihylyille asennettuna. Kytkinlaitoksesta syötetään 20 kV/400 V muuntajia KT31, KT32 sekä puistomuuntajaa KT33. Lisäksi Walki

Valkeakoskella sijaitsevaa toista kytkinlaitosta 5BB syötetään tämän kytkinaseman kautta. 5BB kytkinlaitos syöttää puolestaan 20 kV/400 V muuntajia KT51 sekä KT54.

3.4.3 Muuntaja KT33

Muuntaja KT33 (Kuva 5.) on asennettuna puistomuuntamoon, joka sijaitsee ulkotilassa pörssirakennuksen vieressä. Muuntaja KT33 on ASEA:n valmistama vuonna 1985 ja se on teholtaan 1,6 MVA. Muuntajan kytkentätyyppi on Dyn11, jossa kirjaimet D,y ja n tarkoittavat, että muuntajan 20 kV keskijännitteessä oleva yläjännitekäämitys on kolmiokytkentäinen (D), 400 V pienjännitepuolen alajännitekäämitys tähtikytkentäinen (y) sekä alajännitekäämitysten nollapiste on hyödynnettävissä muuntajan kannella (n). Perässä oleva numero 11 kuvastaa ensiöjänniteosoittimen sekä toisiojänniteosoittimen välistä vaihesiirtoa kellotaulumuodossa.

Kuva 5. Pörssirakennuksen ulkopuolella sijaitseva puistomuuntamo KT33.



3.4.4 Pääkeskus KA33

400 V pienjännitepuolen pääkeskusta KA33 syöttää muuntaja KT33. Sekä muuntaja että pääkeskus on asennettu samaan puistomuuntamotilaan. Keskuksen pääjännite on 400 V ja jakelujärjestelmänä käytetään TN-C-S järjestelmää, joka on TN-C ja TN-S järjestelmien

yhdistelmä. TN-C-S järjestelmässä nolla- sekä suojamaadoitusjohdin ovat yhdistettyinä PEN-johtimeksi osassa järjestelmää. Yhdistäminen on kuitenkin sallittua aina vain syöttävän verkon puolella, koska kerran toisistaan erotettua nolla- sekä suojamaadoitusjohdinta ei tule enää yhdistää PEN-johtimeksi. Pääkeskus KA33 syöttää sprinkleri- ja palovesipumppuja, paineilmakompressoreita, vedenjäähdytyskoneita sekä pörssirakennuksen kellarikerroksessa sijaitsevaa nousukeskusta KA33-0303. Pääkeskuksesta KA33 on lisäksi 400 V rengassyöttö päätehtaalla sijaitsevaan pääkeskukseen KA31.

3.4.5 Nousukeskus KA33-0303

Nousukeskuksesta KA33-0303 syötetään kaikkia pörssirakennukseen liittyviä kiinteistösähköistyksiä, ilmanvaihtoa, sekä eri puolilla pörssirakennusta sijaitsevia jako- ja pistorasiakeskuksia. Nousukeskuksessa on lähtöjä pienistä 4 A:n tulppasulakkeista isompiin 400 A:n kahvasulakkeisiin asti.

Sähkötrukin latauspaikan sähkönsyöttö suunniteltiin otettavan joko suoraan nousukeskuksesta KA33-0303 tai vaihtoehtoisesti jostain jakokeskuksesta, jota tämä nousukeskus syöttää. Kuvassa 6 esitetään pääkeskuksessa KA33 sijaitseva kellarin nousukeskuksen KA33-0303 katkaisija.

Kuva 6. Nousukeskuksen KA33-0303 katkaisija.



4 Pienjännitesähkölaitteiston mitoitus

Teollisuuden sähkösuunnitteluun yhtenä keskeisimpänä osana kuuluu pienjännitesähkölaitteiston mitoitukseen ja suojaukseen liittyvät suunnittelutyöt. Toimintatavat teollisuussähkölaitteiston mitoituksessa ei eroa kovin merkittävästi rakennussähköistyksen toimintatavoista. Teollisuudessa kohteet voivat vaihdella esimerkiksi yksittäisen pistorasian mitoituksen ja kokonaisen konelinjan suunnittelun välillä. Sähköasennuksen tulee olla turvallinen, tarpeenmukainen sekä taloudellinen, kokonaisuuden laajuudesta riippumatta. Mitoitus onkin useasti optimointitehtävä, jossa haetaan teknillisesti toimivaa ja turvallista mutta samalla kustannustehokasta ratkaisua. (Tiainen & Orrberg, 2020, s. 15)

Sähkölaitteiston mitoittamisessa on suurilta osin kyse johdon mitoittamisesta, suojauksesta ja vikasuojauksesta. Mitoittamisessa tarkastellaan johdon kuormitettavuutta normaalissa käyttötilanteessa, johdon suojauksella suojausta ylikuormitukselta sekä vikasuojauksella suojauksen toteutumista vika- ja oikosulkutilanteessa. Työn tässä osioissa käydään läpi perusteet näistä keskeisistä pienjännitelaitteiston mitoitukseen liittyvistä asioista.

4.1 Johdon mitoitus

Johdon mitoittaminen aloitetaan selvittämällä tai arvioimalla mitoittettavan laitteiston suurimmat kuormitusarvot, jotka toimivat perustana luotettavan ja taloudellisen järjestelmän suunnittelussa. Suurimmat kuormitusarvot saadaan laite- tai laitteistotoimittajan toimittamista dokumenteista. Jossain tapauksissa on mahdollista, että vastaavanlaisesta käytössä olevasta järjestelmästä saadaan kuormitusarvot mittaamalla kuormitusvirta. Jos mitoitus liittyy esimerkiksi sähkökeskuksen modernisointiin, pystytään myös tässä tilanteessa mittaamaan kyseisestä kohteesta kuormitusvirta.

Kuormitusarvoissa tulee ottaa huomioon, että mitoittettavan sähkösyötön tulee olla varmatoiminen. Myös mahdolliset tulevaisuuden lisäykset ja muutostarpeet tulee huomioida. Tarpeetonta ylimitoittamista tulee kuitenkin välttää kustannusten kohoamisen ja kaapeloinnin hankaloitumisen vuoksi. (Tiainen & Orrberg, 2020, s. 15)

Johtoa lämmittävä kuormitusvirta on ensisijainen jännitteisten johtimien poikkipinta-alan määrittävä tekijä. Kuormitettavuuden johdolle määrittää johdon suurin sallittu lämpötila sekä johdon kyky luovuttaa lämpöä ympäristöön. Lämmönluovutukseen vaikuttaa johdinmateriaali, johdon eristemateriaali, ympäristön lämpötila, asennustapa sekä muiden kuormitettujen johtojen läheisyys. Johdon mitoituksessa tulee kuormitettavuuden lisäksi ottaa huomioon taloudellisuus, johtimessa syntyvät jännitehäviöt sekä riittävä oikosulkuvirran suuruus. (Tiainen & Orrberg, 2020, ss. 57-58)

4.2 Johdon ylikuormitussuojaus

Sähkölaitteiston jokainen virtapiiri tulee suojata ylikuormitussuojalla ylivirran aiheuttamaa johtimen lämpiämistä vastaan. Ylivirralla tarkoitetaan virtaa, joka on suurempi kuin mitoitettu kuormitusvirta. Tavanomaisia ylikuormitussuojia ovat johdonsuojakatkaisijat, sulakkeet sekä kompaktikatkaisijat. Ylikuormitussuojan tehtävänä on kytkeä ylikuormitettu johto irti sähkösyötöstä.

Pienjännitesähköasennusten standardisarjassa on määritelty ehdot, jotka johdinta ylikuormitukselta suojaavan suojalaitteen ominaisuuksien tulee täyttää. Ehdot määritellään epäyhtälöillä

Yhtälö 1 Ylikuormitussuojauksen ensimmäinen epäyhtälö (Tiainen & Orrberg, 2020, s. 35).

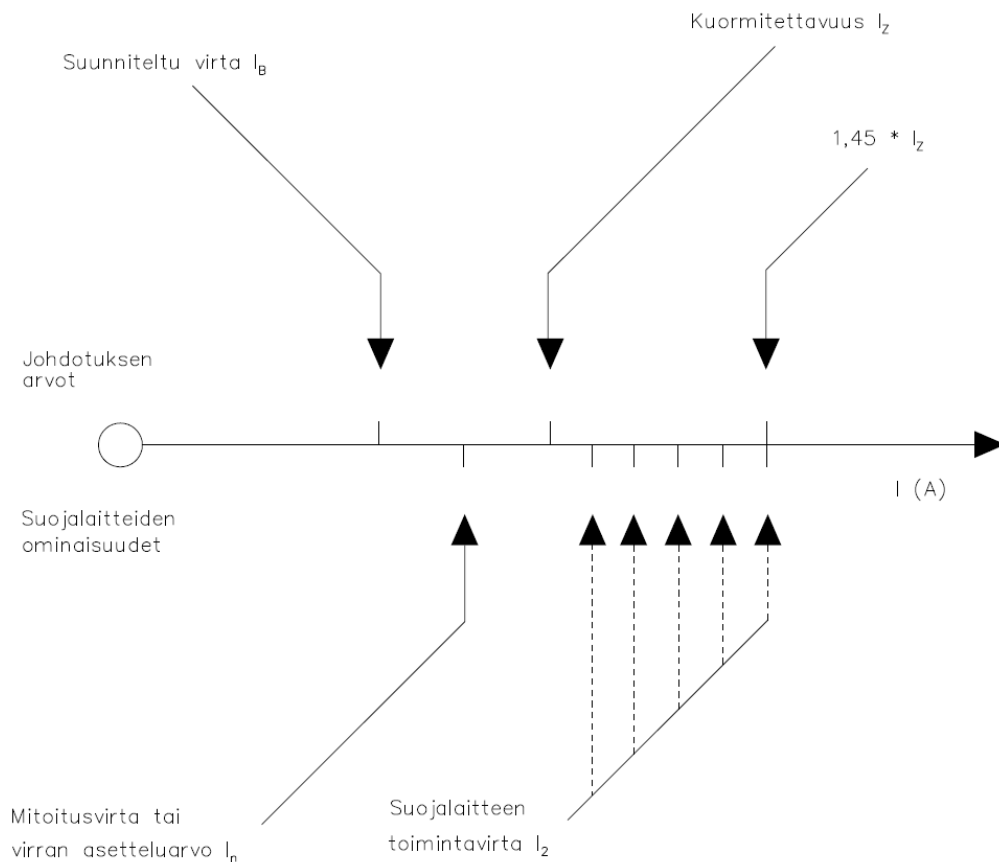
$$I_B \leq I_n \leq I_z$$

Yhtälö 2 Ylikuormitussuojauksen toinen epäyhtälö (Tiainen & Orrberg, 2020, s. 35).

$$I_2 \leq 1,45 * I_z$$

Yhtälöissä 1 ja 2 I_B on piirin mitoitusvirta, I_n on suojalaitteen mitoitusvirta, I_z on johtimen jatkuva kuormitettavuus ja I_2 on virta, jolla suojalaite toimii tehokkaasti määritellyssä toiminta-ajassa. Yhtälöiden 1 ja 2 soveltamista on selvennetty kuvassa 7.

Kuva 7. Ylikuormitussuojan ominaisuuksien ehtojen täytyminen diagrammina. (SFS 6000-4-43/2017, s. 20)



4.3 Johdon vikasuojaus

Johdon vikasuojauksella tarkoitetaan johtojen suojausta oikosulku- ja vikatilanteissa syntyvältä oikosulkuvirralla. Oikosulkuvirran suuruus on yleensä monikertainen ylikuormitusvirtaan verrattuna. Oikosulkusuojauksen tarkoituksena on suojata johtimet ja liitokset oikosulkuvirran aiheuttamalta lämpenemiseltä sekä dynaamisilta voimilta. Toisaalta vikasuojauksen oikean toimimisen kannalta oikosulkuvirran tulee olla tarpeeksi iso, jotta vaihe- ja suojajohtimen välisissä vioissa voidaan varmistaa riittävän nopea poiskytkentäaika. Tästä syystä laitteistolle tulee suorittaa vikasuojaustarkastelu. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että selvitetään keskusten pienimmät vikavirrat ja siten määritellään suurimmat ryhmäjohtopituudet tai vaihtoehtoisesti voidaan määritellä pienin oikosulkuvirta ryhmäjohton päässä. (Tiainen & Orrberg, 2020, ss. 10-11)

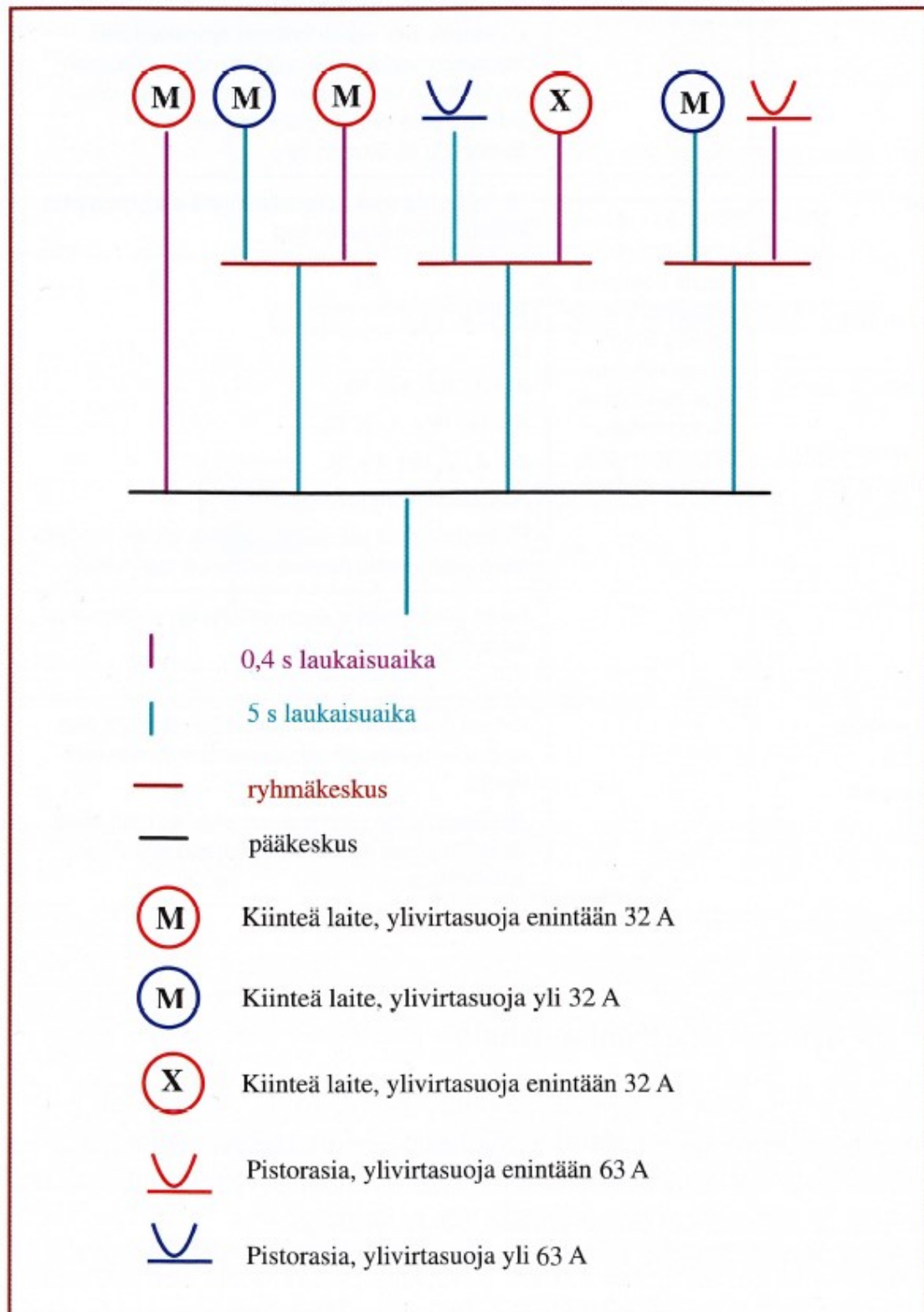
Oikosulkusuojauksessa tulee ottaa huomioon, että suojauksen on toteuduttava kaikkien johtimien välisissä vioissa. Lisäksi vikapaikan kohdalla ei saa olla merkitystä, vaan suojauksen pitää toimia sekä johdon alku- että loppupäässä. Jokainen virtapiiri tulee ylikuormitussuojauksen tavoin suojata myös oikosulkujen varalta. Oikosulkusuojana voidaan käyttää yhtä laitetta, joka toimii yhdistettynä ylikuormitus- ja oikosulkusuojana tai vaihtoehtoisesti voidaan käyttää erillisiä laitteita ylikuormituksen- ja oikosulunsuojaukseen.

Yleisin sähköasennuksissa käytettävistä vikasuojausmenetelmistä on syötön automaattinen poiskytkentä. Automaattisella poiskytkennällä tarkoitetaan suojaustapaa, jossa kaikki jännitteille alttiit osat kytketään suojamaadoitusjohtimeen. Tämä suojaustapa perustuu suljettuun vikavirtapiiriin sekä oikein valittuun suojalaitteeseen. Vikavirtapiiri ja suojalaite tulee mitoittaa niin, että vikaantumisen aiheuttama kosketusjännite saadaan kytkettyä pois, ennen kuin se aiheuttaa vaaraa. (Tiainen & Orrberg, 2020, s. 107)

Vikatapauksessa syötön automaattiselle poiskytkennälle on määritelty ajat 0,4 sekuntia ja 5 sekuntia, joissa vian täytyy kytkeytyä pois. Enintään 32 A:n kiinteästi asennetuilla laitteilla sekä enintään 63 A:n pistorasioita syöttävillä ryhmä johdoilla vian poiskytkentään saa kulua enintään 0,4 sekuntia. Kaikilla näitä arvoja suuremmilla ryhmä- ja pääjohdoilla poiskytkentäaika saa olla enintään 5 sekuntia. Kuvassa 8 on havainnollistettu erilaisten virtapiirien poiskytkentäaikoja.

Jotta vikasuojauksen toimivuus voidaan varmistaa, on suojauksen toimiminen hyvä tarkistaa laskelmin jo suunnitteluvaiheessa. Tämä edellyttää sitä, että verkon rakenne ja pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta liittymän luona on tiedossa. Käytännössä vikasuojauksen toteutuminen tarkastetaan käyttöönottotarkastuksen yhteydessä mittaamalla oikosulkuvirta ja vertaamalla mitattua arvoa virtaan, jonka suojalaitteen toimiminen vaaditussa ajassa edellyttää. (Tiainen & Orrberg, 2020, s. 109)

Kuva 8. Erilaisten virtapiirien poiskytkentäaikoja (Tiainen & Orrberg, 2020, s. 110).



5 Valmistelevat työt ja latauspaikan toteutus

Teollisuuslaitoksissa joudutaan useasti tekemään sähkönjakeluun liittyviä valmistelevia töitä ennen kuin varsinaista suunniteltua työtehtävää päästään tekemään. Tyypillisiä pienimuotoisia valmistelevia töitä ovat kaapelihyllyjen ja tarvittavien läpivientien tekeminen. Myös sähkökeskukseen tehtävät komponenttien lisäykset, suojalaitteiden vaihtamiset ja ohjauskytkentöjen rakentamiset voidaan luokitella pienimuotoisiksi valmisteleviksi töiksi.

Merkittävästi isompia valmistelevia töitä ovat esimerkiksi sähkökeskusten lisäykset tai modernisoinnit. Yksi syy keskuksen uusinnalle voi olla se, että monet perinteiset teollisuuslaitokset ovat hyvin iäkkäitä. Nykypäivän laitteiden ja laitteistojen tarpeita ei ole ollut mahdollista ottaa huomioon useita kymmeniä vuosia vanhoissa rakennuksissa. Rakennusten käyttötarkoitus on saattanut muuttua monta kertaa niiden käyttöiän aikana. Tämä johtaa siihen, että sähköä ei välttämättä ole saatavilla käyttökohteen läheisyydessä tai sitten saatavilla olevien sähkölähtöjen teho ei ole riittävä. Toinen asia, jonka vuoksi keskuksia joudutaan uusimaan, on vanhojen sähkökeskusten turvallisuus. Vanhat keskukset eivät välttämättä täytä enää tämän päivän sähköturvallisuusmääräyksiä.

5.1 Lähtötilanne

Tarve sähkötrukin latauspaikan rakentamiselle tuli, kun selvisi, että vanhan polttomoottorikäyttöisen pihtirullatrukin käyttöikä oli tulossa elinkaarensa päähän. Vanhan trukin ollessa vielä käyttökunnossa, päätettiin sen rinnalle hankkia kuvassa 9 näkyvä sähkökäyttöinen rullapihtitrukki. Sähkötrukki on Linden valmistama ja siinä on kaksi akustoa trukin molemmilla puolilla. Kummallekin akustolle on oma laturi ja latausliitin. Trukissa on liittimille vastakappaleet, jotka ovat kytkettyinä trukkiin ajettaessa ja akkulaturiin akkuja ladattaessa.

Kuva 9. Walki Valkeakoskelle hankittu sähkötrukki.



Sähkötrukin latauspaikan suunnittelu aloitettiin keskustelemalla trukinkuljettajien esihenkilön kanssa. Esihenkilö oli suunnitellut sähkötrukin lataus- ja säilytyspaikkaa rakennettavaksi pörssirakennuksessa sijaitsevaan trukkitalliin, joka sijaitsee lähellä trukinkuljettajien oleskelutiloja. Samalla havaittiin, etteivät trukkitallissa olevat pistorasiakeskukset riitä syöttämään sähkötrukin akkulatureita.

Jotta sähkötrukki voitiin ottaa mahdollisimman pian käyttöön, päätettiin viereiseen varastotilaan tehdä tilapäinen latauspaikka (Kuva 10.). Tilapäinen latauspaikka tehtiin pilarissa olevan pistorasiakeskuksen viereen. Tilapäisellä latauspaikalla oli käytettävissä vain yksi 32 A:n kolmivaihepistorasia. Sähkötrukin akustojen lataamiseen tarvitaan kaksi 32 A:n kolmivaihepistorasian kautta syötettävää laturia. Toinen syöttö päädyttiin vetämään viereisen trukikorjaamon jakokeskuksesta, jolloin sähkötrukki päästiin ottamaan käyttöön välittömästi.

Kuva 10. Varastotilaan rakennettu tilapäinen latauspaikka.



5.2 Sähkösyötön suunnittelu akkulatauspaikalle

Kun tilapäinen sähkötrukin latauspaikka oli saatu rakennettua, voitiin aloittaa varsinaisen latauspaikan sähkösyötön suunnittelu. Suunnittelu aloitettiin tutkimalla pörssirakennuksessa sijaitsevien sähkökeskusten pääkaavioita. Pääkaavioita tutkittaessa huomattiin, ettei akkulateiden vaatimaa sähkösyöttöä ollut latauspaikan välittömässä läheisyydessä. Ainoat sopivat vaihtoehdot olivat pörssirakennuksen vanha pääkeskus, nykyään jakokeskuksena toimiva JK102D-1 (Kuva 11.) tai sitä syöttävä nousukeskus KA33-0303. Kaapelireitin nousukeskukselle KA33-0303 todettiin olevan liian hankala, joten sähkösyöttö valittiin otettavaksi keskuksesta JK102D-1, josta löytyi vielä vapaita lähtöjä.

Keskuksen valinnan jälkeen todettiin, ettei valittu keskus täyttänyt nykyisiä sähköturvallisuusmääräyksiä. Keskuksen lähdöt olivat uuninluukkutyyppisiä, kosketussuojaamattomia varokeytkinlähtöjä. Tämän tyyppisten varokeytkinten avaus- ja sulkemistilanteet omaavat erittäin suuren valokaaririskin, joissa on sattunut useita sähkötapaturmia. Sähkö tarkastuskeskus suositteli jo vuonna 1992, että vanhat uuninluukkutyyppiset varokeytkimet olisi suositeltavaa poistaa käytöstä varsinkin sellaisissa kohteissa, joissa mahdollinen valokaari aiheuttaa tapaturmavaaran. Lisäksi keskuksessa JK102-D1 ei ole lainkaan pääkytkintä, jolloin sen erottaminen sähkötoita tehdessä on hankalampaa. Koska keskuksen sijainti oli paras vaihtoehto latauspaikan sähkönjakelulle ja vanha keskus oli uusinnan tarpeessa, päätettiin keskus uusia.

Kuva 11. Sähkökeskus JK102D-1 (KA33-0303-0903).



5.3 Vanhan sähkökeskuksen uusinta

Keskuksen JK102D-1 uusinnan suunnittelu aloitettiin selvittämällä mitä tarpeellisia sähkölähtöjä kyseiseen keskukseen on kytketty. Keskuksesta ei ole olemassa pääkaaviota, joten suuri osa lähdöistä pitää varmistaa paikan päällä kaapeleita seuraamalla. Osittain tätä selvitystyötä on tehty jo aikaisemmin, mutta aivan kaikkien lähtöjen kohdetta ei ole päästy varmaksi toteamaan.

Taulukossa 1 on esitettyä lähtöluettelo, johon selvitettiin tarpeellisten lähtöjen tunnus, nimi, kaapelitunnus, sulakkeen koko sekä tarvittaessa keskus, johon lähdön voi siirtää pois keskuksen modernisoinnin tieltä. Iso osa keskuksessa olleista lähdöistä liittyi vanhaan jo purettuun paineilmakompressoriin. Lisäksi tiedettiin, että 400V rengassyöttö Adara pakkaukseen oli purettu Adara pakkauksen sekä Walki Valkeakosken väliselle kaapelisillalle.

Lähdöistä käytössä olivat luiskan keskuksen syöttö, henkilö- ja varavalokeskuksen syöttö, luiskan ovikeskuksen syöttö sekä arkistohuoneen valot ja pistorasiakeskus. Arkistohuoneen käyttö oli niin vähäistä, että sinne lähtevien lähtöjen siirtäminen ei ollut tarpeellista. Loput lähdöt saatiin käännettyä läheisiin pilarikeskuksiin.

Kaikkien muiden sähkölähtöjen kääntäminen voitiin tehdä oma-aloitteisesti, mutta luiskan keskukselta sähkösyötön saa atk-ristikytkentäkotelo sekä trukinkuljettajien tilat. Kaapelin kääntämiseen ilmoitettiin tarvittavaksi aikaa 1,5 tuntia ja se tehtiin niin, ettei se vaikuttaisi saapuvan tavaran vastaanottamiseen. Saapuvan tavaran vastaanotto sulkeutuu päivittäin klo 14:30, joten työ aloitettiin silloin. Kaapeli saatiin käännettyä toiseen keskukseen ongelmitta ja sähkökatkolle ilmoitettu aika riitti työn suorittamiseen.

Taulukko 1 Jakokeskuksen JK102D-1 lähtöluettelo.

Lähtö	Nimi	Kaapelitunnus	Sulake A	Siirto
KA33-0303-0903-0102	Luiskan ovikeskus T1	1.1	10	KA33-0303-0301.1-0103.6L1
KA33-0303-0903-0301	Aikakello	HVK-PKI	10	KA33-0303-0302.2-0104.1L1
KA33-0303-0903-0105.1	Luiskan keskus JK103A-1 06	06 – 07	63	KA33-0303-0301.1-0203.2
KA33-0303-0903-0201.1	Arkistohuone 1 pr-keskus + puhallin	07-V.Bet.as.	63	Ei siirretä
KA33-0303-0903-0301.2L1	Arkistohuone 1 valot, Polttaa sulakkeen heti.	07-V.Betoas.	10	Ei siirretä

Kun kaikki tarpeelliset sähkölähdöt oli saatu siirrettyä pois, voitiin vanha keskus tehdä jännitteettömäksi. Keskus sai syöttönsä nousukeskuksesta KA33-0303. Purettavaa keskusta syötti uuninluukkutyypinen varokekytkin, joten varokekytkimen aukaisu oli tehtävä määritellyn ohjeistuksen mukaisesti. Tämäntyyppinen varokekytkin on mahdollisuuksien mukaan ohjattava aina virrattomana tai ainakin niin, että kuormitusvirta on alle puolet kytkimen nimellisvirrasta. Koska keskuksesta JK102D-1 oli siirretty kaikki kuormat pois, tiedettiin keskuksen olevan virraton. Virrattomuus tulee kuitenkin aina varmistaa mittaamalla. Mittaus suoritettiin mittaamalla pihitiampeerimittarilla virta jokaisesta vaiheesta. Tämä oli erityisen tärkeää varmistaa tässä tapauksessa, koska varokekytkimen merkinnöissä huomattiin virhe. Varaosavaraston keskuksen tunnus on paikkakoordinaatiston mukaan JK102D-1, mutta varokekytkimessä luki JK101D-1. Keskuksen syötön mukaisesta tunnuksesta KA33-0303-0903 voitiin kuitenkin varmistua, että kyseessä on oikea lähtö.

Ennen kuin varokekytkin ohjattiin auki asentoon, puettiin päälle vielä tavallisten jännitetyöhön soveltuvien varusteiden lisäksi valokaarelta suojaava visiiri ja hansikkaat. Varokekytkimen avaamiseen jälkeen varmistettiin jännitteettömyys mittaamalla. Tämän jälkeen lähtö vielä lukittiin ja merkattiin jännitteen kytkemisen estämiseksi. Näiden toimenpiteiden jälkeen, vanhasta keskuksesta otettiin syöttökaapeli irti, keskus irrotettiin seinältä pumppukärkyjen avulla ja lopuksi kuljettiin trukilla metalliromuun. Kuvassa 12 esitetään seinä vanhan keskuksen purkamisen jälkeen. Tämä tila oli käytettävissä uuden keskuksen asennusta varten. Käytettävissä olevaa tilaa rajasi kuvassa vasemmalla näkyvä vihreä sprinkleriputki sekä kuvassa ylhäällä ja oikealla näkyvät kaapelihyllyt. Uuden keskuksen maksimileveydeksi ja -korkeudeksi saatiin näiden rajojen mukaan 1400 mm ja 1800 mm.

Kuva 12. Seinä vanhan keskuksen purkamisen jälkeen.



5.4 Uuden jakokeskuksen suunnittelu

Uuden keskuksen suunnittelu aloitettiin tekemällä pääkaavio, jonka avulla voitiin pyytää tarjouksia keskuksen valmistuksesta keskustoimittajalta. Pääkaavion tekeminen aloitettiin kansilehdestä, johon määriteltiin keskuksen teknisiä tietoja. Keskuksen maksimimittojen lisäksi oleellisia tietoja ovat keskuksen nimellisjännite ja -virta, jakelujärjestelmä, keskuksen rakenne, syöttökaapelin poikkipinta-ala ja materiaali, syöttökaapelin tulosuunta ja syötön sijainti keskuksessa sekä pääkaapeleiden lähtösuunta. Pienjännitteen tiedettiin olevan Walki Valkeakoskella 400 V, joten se valittiin nimellisjännitteeksi. Nimellisvirran määrittäminen aloitettiin selvittämällä keskuksen syötön nimellisvirta sekä syöttökaapelin poikkipinta-ala. Arkistosta löydettiin vuonna 1997 tehty sähköpiirustus paperituotteen alueen rengassyötöstä, johon oli merkattu kaapelityypiksi AMCMK 3x185+56Cu. Asennettujen sulakkeiden koot olivat 250 A, jotka tarkastettiin avatusta kytkinvarokkeesta. Lisäksi sähköpiirustukseen oli syötön sulakkeiksi merkattu 250 A.

Taulukon 2 avulla varmistettiin, että vanhan kaapeloinnin vähimmäispoikkipinta-ala on riittävä vielä nykyisten määräysten mukaan. Taulukossa vihreällä maalattu solu osoittaa 250 A:n nimellisvirrallisen sulakkeen vähimmäispoikkipinta-alaksi kaapelihyllylle asennetulle kaapelille 185 mm², joten johdon kuormitettavuus todettiin riittäväksi. Samalla keskuksen nimellisvirraksi määritettiin 250 A.

Taulukko 2 Alumiinikaapelin vähimmäispoikkipinta-ala asennustavalla E (Tiainen & Orrberg, 2020, s. 65).

Korjauskerroin	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
Sulakkeen nimellisvirta	Alumiinikaapelin vähimmäispoikkipinta-ala mm ² , kun suojalaitteena on sulake ja kaapeli on asennettuna kaapelihyllylle					
25	16	16	16	16	16	16
32	16	16	16	16	16	16
35	16	16	16	16	16	25
40	16	16	16	16	25	25
50	16	16	25	25	35	35
63	25	25	25	35	50	50
80	35	35	50	50	70	70
100	50	50	70	70	95	120
125	70	70	95	95	120	150
160	95	95	120	150	185	240
200	120	150	185	185	240	-
250	185	185	240	300	-	-
315	240	300	-	-	-	-

Keskuksen jakelujärjestelmä suunniteltiin käyttömaadoitetuksi viisijohdin TN-S järjestelmäksi. Koska keskusta syöttävä kaapeli on nelijohtiminen, yhdistettiin N ja PE liittimet keskuksen sisällä. Keskuksesta lähtevät syöttökaapelit tulee kuitenkin kytkeä TN-S järjestelmän mukaisesti N ja PE johtimet erotettuna toisistaan.

Koska uuden keskuksen syötössä hyödynnettiin vanhaa alumiinijohtimista syöttökaapelia, oli myös tämä tieto tarpeellinen keskusvalmistajalle. Alumiinikaapeli vaatii soveltuvat liittimet, jotka ovat pinnoitettu esimerkiksi tinalla tai hopealla alumiinin syöpymisen ja oksidoitumisen estämiseksi. Syöttökaapeli suunniteltiin tulevaksi keskuksen ylhäältä ja syötön paikaksi valittiin keskuksen oikea reuna. Lisäksi keskukselta lähtevät johdotukset suunniteltiin lähteväksi yläkautta. Nämä valinnat tehtiin vanhan syöttökaapelin ulottuvuuden sekä

olemassa olevien kaapelihyllyjen perusteella. Liitteen 1 ensimmäisellä sivulla esitetään keskuksen määrittelyvaiheessa apuna käytetty kansilehti.

Keskuksen teknisten tietojen määrittämisen jälkeen suunniteltiin keskuksen varsinainen pääkaavio. Koska sähkötrukin latauspaikan tiedettiin vaativan vähintään kaksi 32 A:n lähtöä, päätettiin latauspaikan viereen asentaa 125 A:n työpaikkakeskus, joka toimi latauskeskuksena. Latauskeskuksesta varattiin lähdöt latauspisteelle ja lisäksi keskukseen jäi vielä varatilaa muihin käyttötarkoituksiin. Keskukseen JK102D-1 haluttiin varustaa mahdollisimman suurella määrällä 125 A:n lähtöjä. Koska muut keskuksen lähdöt jäivät toistaiseksi varalähdöiksi, ei näiden lähtöjen kuormia vielä tunneta. Koska kaikkien varokkeiden nimellisvirta on sama, voidaan lähtöjen lukumäärän laskennassa hyödyntää tasoituskertoimen kaavaa

Yhtälö 3 Tasoituskerroin (SFS ry, 2016, s. 45)

$$k = 0,1 + \frac{0,9}{\sqrt{n}}$$

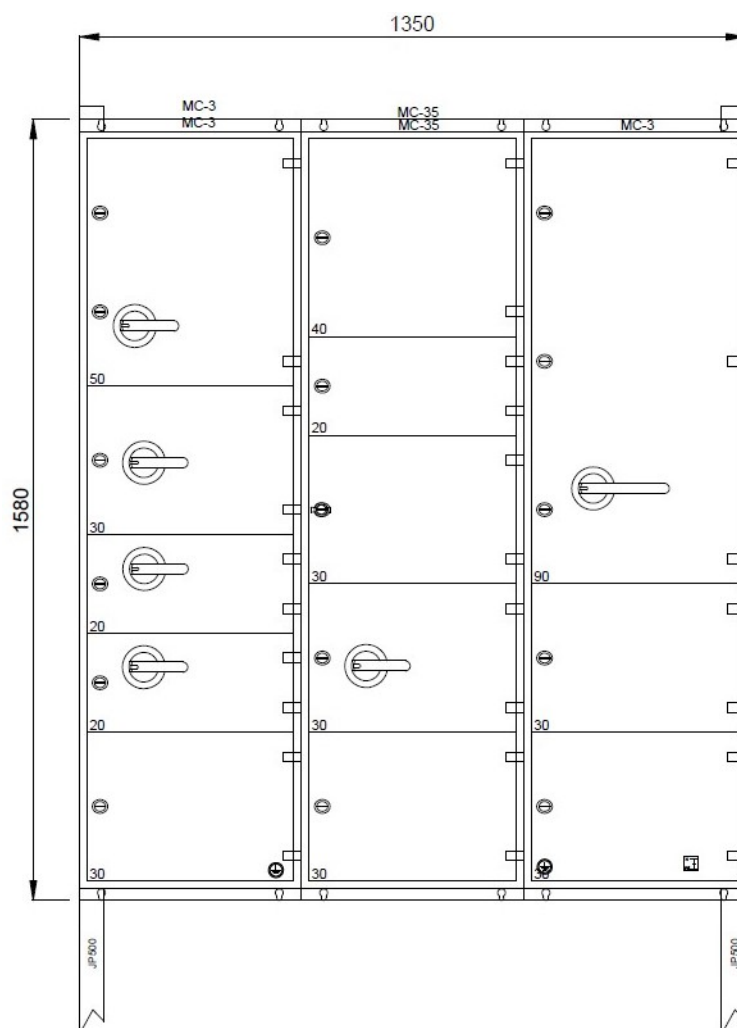
Yhtälössä 3 tunnus k on tasoituskerroin ja tunnus n on varokkeiden lukumäärä. Yhtälöön 3 haettiin varokkeiden lukumääräksi sellainen lukuarvo, että varokkeiden nimellisvirta jaettuna kertoimella k on pienempi kuin keskuksen nimellisvirta.

Tässä tapauksessa keskuksen nimellisvirta riitti viiteen 125 A:n lähtöön. Pääkaavioon suunniteltiin tämän perusteella viisi 125 A:n lähtöä, joista yksi varattiin sähkötrukin latauspaikan pistorasiakeskukselle ja yksi lähtö etukojeeksi keskukseen asennettaville pienemmille johdonsuojakatkaisijoille. Johdonsuojakatkaisijat jaettiin kahteen ryhmään erillisten vikavirtasuojakytkimien perään. Molempiin ryhmiin suunniteltiin kahdeksan johdonsuojakatkaisijaa. Liitteen 1 toisella ja kolmannella sivulla on esitettynä keskuksen sähkösuunnittelun tuotoksena syntynyt pääkaavio.

Kun keskuksen pääkaavio saatiin tehtyä, voitiin keskuksen valmistuksesta pyytää tarjous keskusvalmistajalta. Keskuksen toimittajaksi valikoitui Savonlinnalainen Norelco Oy, josta saatiin erinomaista palvelua suunnittelun alkuvaiheista keskuksen toimitukseen asti. Norelco

pystyi myös toimittamaan keskuksen nopealla aikataululla, mikä varsinkin koronapandemian aikana ei ollut itsestään selvää. Norelcon tuotteista Walki Valkeakoskelle valikoitui Norpower 1250 EHR tuoteperheeseen kuuluva kennokoteloitu keskusjärjestelmä, joka soveltui hyvin tähän käyttötarkoitukseen. EHR keskus on seinäasenteinen ja sen rakenne mahdollisti keskuksen asentamisen varaosavaraston seinälle rajattuun tilaan. Keskuksen toimitusajaksi ilmoitettiin viisi viikkoa ja keskus myös toimitettiin onnistuneesti tässä ajassa. Kuvassa 13 esitetään kansikuva keskuksesta JK102D-1.

Kuva 13. Kansikuva keskuksesta JK102D-1.



5.5 Uuden jakokeskuksen asennus

Keskukselle suoritettiin toimituksen yhteydessä saapumistarkastus, jossa tarkastettiin mahdolliset kuljetusvauriot sekä keskuksen komponenttien, merkintöjen ja asennusten kelvollisuus. Kun kaiken todettiin olevan kunnossa, voitiin keskuksen asentaminen aloittaa. Uusi keskus oli suunniteltu asennettavaksi seinäkiinnityksellä. Keskuksen takapuolella on tukirakenteena sidekiskot, joiden yläreunassa on seinäasennusta varten tehdyt kiinnitysreiät. Vanhan keskuksen takaa paljastunut seinä todettiin kuitenkin niin hauraaksi, että keskuksen kiinnittäminen seinään tyypillisesti käytettävillä kiila-ankkureilla poissuljettiin, ettei seinä vaurioituisi. Kiila-ankkureiden sijaan kiinnitys päätettiin toteuttaa ankkurointimassalla, jonka avulla on mahdollista saavuttaa pitävä kiinnitys betoniin.

Asentaminen aloitettiin nostamalla ja siirtämällä sähkökeskus pumppukärryillä asennettavan seinän viereen. Keskusta pidettiin kuljetuksen mukana tulleen trukkilavan päällä käsittelyn helpottamiseksi. Pumppukärryjen avulla keskuksen sopivaa asennuskohtaa päästiin hahmottelemaan ennen varsinaista kiinnitystä. Koska syöttökaapeli asennettiin nyt eri suunnasta kuin vanhaan keskukseen, oli erittäin tärkeää varmistaa ennen keskuksen kiinnitystä, että kaapeli oli mahdollista kääntää keskuksen sisään.

Kun keskus oli nostettu sopivalle paikalle, voitiin aloittaa varsinaiset asennustyöt. Keskuksen pohjaan kiinnitettiin mukana tulleet jalkapalkit, jotka kannattelivat ison osan keskuksen painosta. Keskus asetettiin suoraan lyhentämällä jalkapalkit sopivaan korkeuteen. Kun keskus oli suoristettu tukevasti seinää vasten, voitiin aloittaa keskuksen kiinnittäminen. Asennus aloitettiin poraamalla seinään reiät sidekiskoissa olevien kiinnitysreikien läpi. Nämä reiät tehtiin kierretankojen asennusta varten. Porauksen jälkeen reiät puhallettiin puhtaaksi paineilmalla, jotta kaikki roskat saatiin reiästä ulos. Puhdistettu reikä täytettiin ankkurointimassalla ja sopivaan mittaansaahatut kierretangot työnnettiin massan sekaan kiinnitysreikien läpi. Massan annettiin kuivua ja kovettua noin 45 minuuttia. Massan kuivumisen ajaksi keskus tuettiin laudoilla lattiaa vasten. Kuvassa 14 esitetään havainnollistava kuva uuden keskuksen asennuksesta. Tukilaudat ovat yhä paikallaan tukemassa keskusta seinälle.

Massan kuivumisen jälkeen keskus kiristettiin kevyesti muttereilla seinään asennettuihin kierretankoihin. Lopullinen kiristys tehtiin seuraavana päivänä.

Kuva 14. Uuden keskuksen asennus.



Kun keskus oli saatu tukevasti asennettua seinälle, poistettiin tukilaudat keskuksen ympäriltä. Tämän jälkeen vanha syöttökaapeli käännettiin uuden keskuksen sisälle. Koska syöttökaapeli oli alumiinia, oli alumiinin pinnalle muodostuvasta oksidikalvosta päästävä eroon ennen kaapelin kytkentää. Oksidikalvo tekee alumiinista huonosti johtavan ja se aiheuttaa lämpenemistä liitoksissa. Oksidikalvosta päästiin eroon harjaamalla alumiinijohtimia johtavuutta parantavalla ja oksidoitumista ehkäisevällä liitosrasvalla. Oksidikalvo muodostuu alumiinin pinnalle jo muutamassa minuutissa, joten johtimet kytkettiin heti harjauksen jälkeen.

Ennen sähköjen kytkemistä päälle, tehtiin keskukselle käyttöönottotarkastusmittaukset. Koska keskusta syöttää uuninluukutyypiset varokekytkimet, oli erityisen tärkeää mitata kaapelista eristysvastus, jottei varokekytkintä suljeta oikosulkua vastaan. Liitteessä 2 esitettynä keskuksen JK102-D1 tarkastuspöytäkirja.

5.6 Latauspaikan suunnittelu

Latauspaikka suunniteltiin toteutettavaksi kuvassa 15 näkyvään nurkkaukseen trukkitallissa, joka on ollut myös vanhan rullapihtitrukin säilytyspaikka. Trukkitalli valittiin latauspaikaksi, koska latauspiste voitiin rakentaa lähelle ulko-ovea ja trukinkuljettajien taukotila oli lähellä. Myös trukkitallin koneellisen ilmanvaihdon tiedettiin olevan riittävän tehokas latauspaikkaa varten. Lisäksi trukkitallissa oli jo valmiina palohälytinjärjestelmään kytketyt lämpöilmaisimet, jotka lisäsivät paloturvallisuutta mahdollisen tulipalon sattuessa. Myös trukkitallin useat varauloskäynnit mahdollistavat turvallisen poistumisen hätätilanteessa.

Kuva 15. Suunniteltu latauspaikka sähkötrukille



Alkuperäinen ajatus oli, että latauskeskus sekä akkulaturit sijaitsisivat kuvassa 15 näkyvällä pitkällä seinällä. Latauspaikan sijaintia hahmoteltiin ajamalla sähkötrukki suunnitellulle latauspisteelle. Tässä vaiheessa kuitenkin todettiin, ettei akkulatureista lähtevien latauskaapeleiden pituus riitä kuin toiseen sähkötrukissa olevista latausliittimistä. Sähkötrukissa on kaksi akustoa, joille kummallekin on omat latausliittimensä. Latausliittimet sijaitsivat trukin sivuilla, eri puolilla trukkia. Jotta latauskaapelit saatiin riittämään molempiin latausliittimiin, jäi ainoaksi vaihtoehdoksi asentaa akkulaturit latauspaikan takaosaan. Akkulatureita syöttävä latauskeskus suunniteltiin kuitenkin asennettavaksi pitkälle seinälle, koska tämä paikka nähtiin tilan puolesta parhaaksi vaihtoehdoksi. Lisäksi nurkkaukseen suunniteltiin järeät metallikaiteet, johon akkulaturit ja latauspistorasiat asennettaisiin. Nämä metallikaiteet myös suojelevat seiniä ja latauskeskusta mahdollisilta trukin törmäyksien aiheuttamilta kolhuilta.

Kun latauspaikan asetelma oli selvillä, aloitettiin latauskeskuksen suunnittelu. ABB:ltä löytyi valmiina työpaikkakeskus, jonka nimellisvirta oli latauskeskukselle sopiva 125 A. Tästä keskuksesta saatiin pienillä muutoksilla tähän käyttötarkoitukseen sopiva.

Työpaikkakeskuksessa oli 63, 32 sekä 16 A:n kolmivaihepistorasiat. 63 ja 32 A:n pistorasiat poistettiin keskuksesta ja tyhjät aukot peitettiin peltilevyillä. 63 A:n johdonsuoja vaihdettiin 32 A:seksi sekä nimellisvirraltaan 63 A:n vikavirtasuojakytkin isonnettiin 100 A:seksi. Näin keskuksen saatiin sopivan kokoiset johdonsuojakytkimet sekä vikavirtasuoja latauspaikan pistorasioita varten.

Latauspaikan suunnittelutyön viimeisessä vaiheessa suunniteltiin kaapelointi keskusten välille. Kaapelireitti suunniteltiin kellarikerroksessa sijaitsevalta jakokeskukselta JK102D-1 keskikerroksen trukkitallissa sijaitsevalle latauskeskukselle JH103B. Kellarikerrokseen jo aiemmin asennettuja kaapelihyllyjä pystytettiin hyödyntämään keskuksen kaapelireitissä. Ongelmaksi muodostui kerrosten välinen läpivienti. Kaikki valmiit läpiviennit olivat joko väärässä tilassa tai ainakin väärällä seinällä, jolloin kaapelireitistä olisi tullut hankala toteuttaa.

Tässä vaiheessa suunnittelua todettiin, että latauskeskuksen sähkönsyötölle pitää tehdä uusi läpivienti. Koska läpivienti haluttiin mahdollisuuksien mukaan tulevan suoraan uuden

latauskeskuksen alapuolelle, piti mittaamalla varmistaa, että kellarikerroksen katossa on suunnitellun läpiviennin kohdalla vapaata tilaa. Läpiviennin paikka saatiin tarkasti paikannettua mittaamalla etäisyys etäisyysmittarilla seinistä ja vanhoista läpivienneistä. Mittauksien jälkeen läpiviennin paikka todettiin sopivaksi. Kun lopullinen kaapelireitti oli varmistunut, mitattiin vielä etäisyysmittarilla tarvittava kaapelinpituus. Pituudeksi saatiin 45 metriä.

Kun kaapelireitti ja kaapelin pituus olivat selvillä, mitoitetiin latauskeskuksen syöttökaapeli. Koska latauskeskuksen nimellisvirran tiedettiin olevan 125 A, valittiin lähin yhtä suuri tai suurempi sulake. Sulakkeen nimellisvirraksi tuli tässä tapauksessa 125 A. Koska sulakkeen toimintaperiaatteeseen kuuluu, että ylempi sulamisrajavirta on suurempi kuin 1,45 kertaa sulakkeen nimellisvirta, ei kaapelin kuormitettavuutta voitu määrittää suoraan ylikuormitussuojan nimellisvirran perusteella. Taulukossa 3 on esitettyä, mikä on kaapelin kuormitettavuuden vähintään oltava eri sulakkeita käytettäessä. Taulukosta 3 tarkastettiin sulakkeen mitoitusvirran mukaan, että johdon kuormitettavuuden pitää olla vähintään 138 A.

Taulukko 3 Johtojen pienimmät kuormittavuudet käytettäessä gG-sulaketta ylikuormitussuojana. (Tiainen & Orrberg, 2020, s. 43).

gG- sulakkeen suurin sallittu mitoitusvirta A	Johdon sallittu kuormitus vähintään A
6	8
10	13,5
16	18
20	22
25	28
32	35
35	39
40	44
50	55
63	70
80	88
100	110
125	138

Seuraavaksi määritettiin asennusolosuhteita vastaavat korjauskertoimet. Asennuspaikan lämpötila arvioitiin olevan +20 °C. Vastaava korjauskerroin tälle lämpötilalle on 1,12. Koska

kaapelihyllyllä menee myös muita kaapeleita, tarkistettiin myös muiden kaapeleiden vaikutuksen korjauskerroin. Yhdessä kerroksessa olevan kaapelihyllyn, jolle on asennettuna 3 kaapelia, korjauskerroin on 0,82. Kun nämä korjauskertoimet kerrottiin keskenään saatiin vastaukseksi kokonaiskorjauskerroin. Kun kokonaiskorjauskertoimella jaetaan taulukosta 3 saatu johdon kuormituksen minimiarvo, saatiin kaapelin kuormitettavuudeksi 150 A.

Viimeiseksi taulukosta 4 valittiin nimellispoikkipinta-ala asennustavan mukaan. Taulukkoon 4 on merkitty SFS 6000:n mukaiset asennustavat, jotka ovat uppoasennus (A), pinta-asennus (C), maa-asennus (D1 ja D2) sekä vapaasti ilmaan tehtävä asennus (E). Johto mitoitettiin asennustavalla E, koska siihen sisältyy myös kaapelihyllyt. Nimellispoikkipinnaksi saatiin 50 mm². Taulukkoon 4 on merkattu vihreällä mitoituksen lopputulos. Kaapeliksi valikoitui voimakaapeli MCMK 4x50+25. Kaapelia tilattiin 50 metriä.

Taulukko 4 Kuparijohdon kuormitettavuus eri asennustavoilla (Tiainen & Orrberg, 2020, s. 59).

Kuparijohtimen nimellis- poikkipinta mm ²	SFS 6000:n mukaiset asennustavat				
	A	C	D1	D2	E
1,5	13	17,5	18	19	18,5
2,5	17,5	24	24	24	25
4	23	32	30	33	34
6	29	41	38	41	43
10	39	57	50	54	60
16	52	76	64	70	80
25	68	96	82	92	101
35	83	119	98	110	126
50	99	144	116	130	153
70	125	184	143	162	196
95	150	223	169	193	238

5.7 Latauskeskuksen asennus

Latauskeskuksen asennustyöt aloitettiin tekemällä läpivienti keskikerroksen ja kellarikerroksen välille. Koska välipohjan betonirakenteen arvioitiin olevan 50 cm paksu ja

läpiviennin halkaisijan haluttiin olevan 10 cm, piti läpivienti tehdä alihankintana. Poraustyö tilattiin Mansen timanttisaha Oy:stä. Timanttiporaus saatiin sovittua nopealla aikataululla ja työ hoidettiin erinomaisesti.

Kun läpivienti oli tehty, asennettiin latauskeskus paikalleen. Keskuksen alapinta asennettiin 130 cm korkeuteen, joka on todettu hyväksi korkeudeksi aikaisemmista asennuksista. Kun latauskeskus oli tukevasti kiinni tiiliseinässä, vedettiin voimakaapeli MCMK 4x50+25 keskusten välille. Kaapelin pituus oli sopiva ja sitä jäi ylimääräiseksi vain muutama metri. Kuvassa 16 on esitettynä latauskeskus, timanttiporalla tehty läpivienti sekä keskukselta JK102-D1 tuleva syöttökaapeli.

Kuva 16. Trukkitallin latauskeskus ja syöttökaapeli.



Kun kaapeli oli saatu vedettyä keskusten välille, aloitettiin kaapelin kytkeminen hyvien asennustapojen mukaisesti latauskeskuksen päästä. Kytkentä tehtiin tässä järjestyksessä, jotta voitiin varmistaa, että kaapeli on varmasti kytkennän aikana jännitteetön. Kun kaapeli oli saatu molemmista päistä kytkettyä, suoritettiin asennukselle käyttöönottotarkastusmittaukset. Johdon vikasuojauksen tarkastelu nopean poiskytkennän varmistamiseksi tehtiin mittaamalla latauskeskuksen oikosulkuvirta. Taulukossa 5 esitetään vaadittu mitattu arvo gG-sulakkeita käytettäessä. 125 A:n nimellisvirrallisella sulakkeella vaadittu mitattu oikosulkuvirran arvo on 893,8 A. Oikosulkuvirtamittauksen tulokseksi saatiin 2900 A, joka ylittää reilusti vaaditun arvon.

Taulukko 5 Vaadittu mitattu oikosulkuvirrat käytettäessä gG-sulakkeita (Tiainen & Orrberg, 2020, s. 115).

Pienimmät toimintavirrat sulakkeille ja vaadittu mitattu arvot				
Nimellisvirta	gG-sulake	Vaadittu mitattu	gG-sulake	Vaadittu mitattu
A	0,4 s A	arvo A	5,0 s A	arvo 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			165	206,3
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

Liitteessä 3 on esitettyä käyttöönottotarkastusmittauksen tulokset latauskeskuksen osalta. Huomautuksena tarkastuspöytäkirjaan merkattiin keskuksen väärä vaihejärjestys. Vaihejärjestys todettiin vääräksi jo syöttävältä nousukeskukselta asti. Nyt kuitenkin päätettiin, ettei nousukeskuksen vaihejärjestystä kannata lähteä muuttamaan, koska se aiheuttaisi kaikkien nousukeskuksen perässä olevien moottoreiden pyörimissuunnan vaihtumisen. Vaihejärjestys korjaantuu oikeaksi nousukeskuksen modernisoinnin yhteydessä, joka tulee ajankohtaiseksi mahdollisesti seuraavan kymmenen vuoden sisällä.

5.8 Latauspaikan asennus

Kun latauskeskuksen asennus saatiin valmiiksi, aloitettiin latauspaikan asennustyöt. Latauspaikalle asennettiin ensimmäisenä kaiteet sekä kaiteesta seinään kiinnitettävä tukipalkki. Tukipalkki toimi myös asennuspaikkana vesitysjärjestelmälle sekä kaapelireittinä latauskeskukselta latauspaikalle. Lisäksi kaiteeseen tehtiin paikat kolmivaihepistorasioille sekä teline akkulateille. Telineen avulla laturit saatiin pois lattiatasosta, jolloin käyttöpaneeli saatiin sopivalle korkeudelle. Lisäksi laturit saatiin paremmin suojattua, kun ne nostettiin telineeseen pois lattiatasolta.

Latureiden alapuolelle asennettiin kytkimelliset kolmivaihepistorasiat, joiden avulla laturit kytketään sähkönsyöttöön. Pistotulppa voidaan poistaa tällaisesta pistorasiasta vain kytkimen ollessa 0-asennossa. Näin voidaan varmistaa, että kuormitus on kytketty pois pistotulpan irrotuksen aikana. Kuvassa 17 esitetään paikalleen asennetut pistorasiat.

Kuva 17. Latureiden pistorasiat kaiteeseen asennettuna.



Kun latauspaikan laitteet oli saatu asennettua, tehtiin latauskeskuksen ja latauspaikan välinen kaapelireitti valmiiksi. Kaapelireitti päädyttiin tekemään lankahyllyillä, jotka ovat kevyitä yleiskaapelihyllyjä. Lankahyllyillä saatiin tehtyä siisti asennus valmiiksi nopeasti. Asennusta nopeutti ja helpotti vähäisempi kiinnikkeiden määrä verrattuna perinteisiin kaapelikiinnike- tai alumiiniputkiasennuksiin. Lisäksi samaan lankahyllyyn voitiin asentaa syöttökaapelit molemmille latureille.

Asennusolosuhteita vastaavat korjauskertoimet määritettiin myös latureiden syöttökaapeleille. Asennuspaikan lämpötilan arvioitiin olevan +25 °C. Vastaava korjauskerroin tälle lämpötilalle on 1,06. Lankahyllylle vierekkäin asennettujen kaapeleiden korjauskerroin on 0,87. Kokonaiskorjauskertoimeksi saatiin 0,93 kertomalla korjauskertoimet keskenään. Koska ylikuormitussuojana käytettiin johdonsuojakatkaisijaa, voitiin taulukon 6

avulla määrittää johdonsuojakatkaisijan nimellisvirran ja lasketun korjauskertoimen mukainen vähimmäispoikkipinta-ala kuparikaapelille. Mitoituksen lopputuloksena kaapelin poikkipinta-alaksi saatiin 6 mm².

Taulukko 6 Kuparikaapelin vähimmäispoikkipinta-ala (Tiainen & Orrberg, 2020, s. 63)

Korjauskerroin	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
Johdonsuojan nimellisvirta	Kuparikaapelin vähimmäispoikkipinta-ala mm ² , kun suojalaitteena on johdonsuojakatkaisija ja kaapeli on asennettuna lankahyllylle					
6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
10	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
13	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5
16	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	4
20	1,5	2,5	2,5	2,5	4	4
23	2,5	2,5	4	4	6	6
32	4	4	6	6	6	10
35	4	6	6	10	10	10
40	6	6	10	10	10	16
50	10	10	10	16	16	25

Kun kaapelin poikkipinta-ala oli saatu määriteltyä, tutkittiin Walki Valkeakosken kunnossapitojärjestelmästä, löytyykö asennukseen sopivaa kaapelia omasta varastosta. Varastosta löytyi riittävä määrä muun muassa asennuskaapelia MMJ 5x6S, joka soveltui tähän käyttökohteeseen erinomaisesti. Kun kaapeli oli saatu valittua, asennettiin kaapelit latauskeskuksen sekä pistorasioiden välille. Tämän jälkeen kaapelit kytkettiin sekä tehtiin käyttöönottotarkastusmittaukset myös laitteiston tälle osalle.

Latauspaikalle asennettiin myös automaattinen vesitysjärjestelmä trukissa käytettävien lyijyakkujen vesitystä varten. Jotta vesitysjärjestelmä toimii oikein, pitää järjestelmän paineen olla vähintään 0,2 baria. Kyseinen paine saavutetaan, kun vesitysjärjestelmän vesisäiliön ja akun yläpinnan välinen korkeusero on vähintään kaksi metriä. Vesisäiliö asennettiin tukipalkkiin latauspaikan yläpuolelle, jolloin riittävä korkeusero saavutettiin.

Lopuksi latauspaikan viereen lisättiin avotulen sekä tupakoinnin kieltävä varoitusmerkki. Lisäksi lattiaan maalattiin sähkötrukkia varten pysäköintiruutu, joka rajaa latauspaikan muusta tilasta. Kun kaikki asennukset oli saatu tehtyä, ilmoitettiin trukkipuskille ja heidän esihenkilölleen, että sähkötrukin latauspaikka on valmiina käyttöönotettavaksi.

6 Pohdinta

Ympäristöarvot ovat tänä päivänä tärkeä osa suomalaisten yritysten strategiaa.

Sähkökäyttöisten ajoneuvojen lisääntyminen ja sitä myötä pienentynyt hiilijalanjälki on yksi osa taistelussa ilmastomuutosta vastaan. Tämä näkyy myös teollisuudessa, jossa sähkökäyttöisten trukkien lukumäärä on lisääntynyt huomattavasti. Tämä on ollut teollisuuden kehityssuunta jo usean vuoden ajan.

Myös Walki Valkeakoskella on seurattu tätä kasvavaa trendiä ja useita erilaisia akkukäyttöisiä trukkeja on hankittu viimeisen vuosikymmenen aikana. Akkujen kehittymisen myötä sähkötrukeista on tullut tehokkaampia ja laitteiden ajoaika ennen lataustarvetta on lisääntynyt huomattavasti. Tähän opinnäytetyöhön liittyvä sähkötrukki oli ensimmäinen isomman kokoluokan trukki ja se huomattiin hyvin pian akkulateiden sähkösyötön vaatimuksista. Aiemmin hankituissa sähkötrukeissa on riittänyt sähkönsyötöksi joko tavanomainen yksivaiheinen pistorasia tai yksi 16 A kolmivaihepistorasia. Uudessa Walki Valkeakoskelle hankitussa trukissa latureiden sähkönsyöttöä varten piti olla kaksi 32 A kolmivaihepistorasiaa. Tämä asia tulee varmasti yllätyksenä monelle sähkötrukkihankintoja tekeväälle, varsinkin jos henkilö ei ole tekniikan alan ammattilainen

Tämä oli lähtötilanne myös tätä opinnäytetyötä aloitettaessa. Sähkötrukki oli hankittu, mutta latureiden vaatimaa sähkönsyöttöä ei ollut lähellä tilaa, johon latauspaikka haluttiin. Tähän kun lisättiin vielä sähköjakeluun vuosien saatossa kertynyt korjausvelka, kasvoi työn laajuus nopeasti isommaksi kuin laitteen tilaaja oli alun perin ajatellut.

Tilapäisen latauspaikan rakentamisella saatiin tehtyä lisää aikaa varsinaisen latauspaikan suunnittelua varten. Suunnittelussa otettiin huomioon nykyiset vaatimukset sekä sähköjakeluun tehdyissä muutoksissa että varsinaisen latauspaikan rakentamisessa

Työn lopputuloksena syntyi vaatimustenmukainen latauspaikka Walki Valkeakosken tuotantolaitokseen hankitulle sähkötrukille. Varastotilaan rakennettu tilapäinen latauspaikka saatiin purettua pois ja tilaa pystytään jatkossa hyödyntämään muuhun käyttöön. Latauspaikan suunnittelussa otettiin huomioon trukinkuljettajien tarpeet sekä sähkötrukin

asettamattomat rajoitukset ja näin lopputuloksesta tuli käytännöllinen. Laturit ja latausjohdot saatiin asennettua ergonomisesti hyvälle korkeudelle, jolloin kehoa rasittavia liikkeitä voitiin vähentää.

Kuvassa 18 on esitettyinä lopullinen sähkötrukin latauspaikka. Kuvassa oikealla näkyy latauspaikan pistorasioita syöttävä latauskeskus. Laturit sekä akkuvesisäiliö ovat siististi omissa telineissään

Kuva 18. Valmis sähkötrukin latauspaikka



Työn lopputulokseen voitiin olla erittäin tyytyväisiä. Työ saatiin tehtyä valmiiksi lähes suunnitellussa aikataulussa. Se on hyvä saavutus tämänkokoisessa projektissa, varsinkin kun ottaa huomioon vallitsevan pandemian aiheuttamat vaikeudet tarvikkeiden ja resurssien saatavuuksissa.

Työ oli opinnäytetyön tekijälle erittäin monipuolinen. Työ oli sisällöltään tyypillinen teollisuuden suunnittelu- ja sähköasennustyö. Työhön sisältyi ideointia, sähkösuunnittelua, johtojen mitoitusta, tarjouspyyntöjä, tarvikkeiden ja sähkökeskusten tilaamista, käyttöönottotarkastuksia sekä asennustöiden valvontaa. Työn tekijä sai paljon tietoa näihin aiheisiin liittyen ja pystyy hyödyntämään oppimaansa myös tulevaisuuden suunnittelutöissä.

Lähteet

- Ahoranta, J., Lesch, K.-B., & Sundell, L. (1986). *Yleisjakson sähkötekniikka*. Porvoo: WSOY.
- Ahoranta, J. (2015). *Sähkötekniikka*. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- akkupojat.fi. (2022). *Tunnetko teollisuusakut*.
https://www.akkupojat.fi/ajankohtaista/tunnetko_teollisuusakut
- Fingrid Oy. (2022). *Suomen sähköjärjestelmä*.
<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/suomen-sahkojarjestelma/>
- Lindfors, P. (2022). *Mikä on automaattitrucki?*
<https://blog.toyota-forklifts.fi/mika-on-automattitrucki-agv>
- Motiva Oy. (2020). *Akut*.
https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/akut
- Mäkinen, M., Kallio, R. & Tantarimäki, R. (2009). *Prosessiteollisuuden sähkö- ja automaatioasennukset*. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.
- Sellick, T. (2021). *Forklift training*.
<https://www.fork-lift-training.co.uk/history.html>
- SFS. (2017). *SFS 6000-4-43:2017 Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-43: Suojausmenetelmät. Ylivirtasuojaus*. SFS ONLINE.
- SFS ry. (2016). *SFS-Käsikirja 640 Sähkökeskukset*. Helsinki: SFS.
- Sähköinfo Oy. (2016). Akkuhuoneet ja varaamotilat. Espoo: Sähkötieto Ry.
- Teknillinen korkeakoulu. (1998). *Tietoverkkolaboratorio*. Teletekniikan perusteet:
<https://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38118/s98/htyo/34/rakenne.shtml>
- Tiainen, E. & Orrberg, M. (2020). *Pienjännitesähkölaitteiston mitoitus*. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsija liitto STUL ry.
- Toyota material handling. (n.d). *Trukin valinta polttomoottori vs sähkömoottori*.
<https://blog.toyota-forklifts.fi/trukin-valinta-polttomoottori-vs-sahkomoottori>
- Toyota material handling. (n.d). *Trukkien uudet energianmuodot*.
<https://blog.toyota-forklifts.fi/trukkien-uudet-energiamuodot>
- Wihuri Oy. (2022). *Varastotrukit*. Wihuri Oy Tekninen kauppa
<https://www.tekninenkauppa.fi/tuoteryhmat/trukit-ja-sisalogistiikkaratkaisut/varastotrukit>

Wihuri Oy. (2022). *Vastapainotrukit*. Wihuri Oy tekninen kauppa:

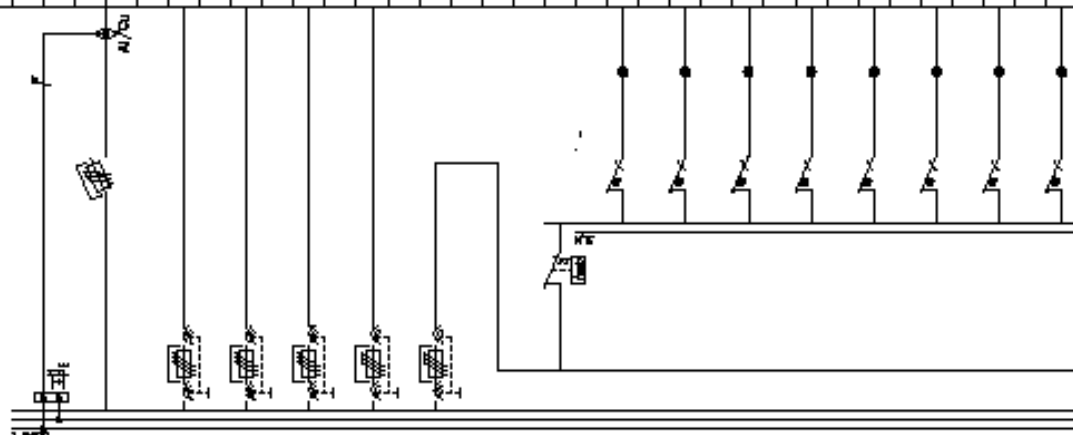
<https://www.tekninenkauppa.fi/tuoteryhmat/trukit-ja-sisalogistiikkaratkaisut/vastapainotrukit>

Xiamen Liteng Engineering Machinery. (2020).

<https://www.loadermarket.com/news/what-is-a-forklift-what-is-the-working-mechan-37618842.html>

Liite 1: Keskuksen JK102D-1 pääkaavio

[illegible]

		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37																									
																																																					
		KESKUS																				RYHMÄ		DSOTE		TUNKAUS		JOHDOTUS		KVA/kW		A / A		HUOM.																			
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L		M		N		O		P		R		S	
		A																				B		C		D		E		F		G		H		J		K		L													

		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37				
		A	KESKUS															RYHMÄ	OSKITE	TURPAUS	JOHDOTUS	kVA/kW	A / A	HUOM.								
A muutos	B muutos	B																														
		C																														
		D																														
		E																														
		F																														
		G																														
		H																														
		J																														
B muutos	C muutos	K																														
		L																														
		M																														
		N																														
		O																														
		P																														
		R																														
		S																														

A muutos

B muutos

C muutos

D muutos

E muutos

F muutos

Yhtymänumero

JYK1020-1

VARAOSAVARASTO

PÄÄKAAVO JK1020-1

Wolki Oy Valkeakoski

Wolki

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

JYK1020-1

Yhtymänumero

Liite 2: Keskuksen JK102-D1 tarkastuspöytäkirja

RAKENNUSTEN SÄHKÖASENNUKSET KÄYTTÖÖNOTTOTARKASTUSPÖYTÄKIRJA

1. TYÖKOHDDE	
Laitteisto:	Varaosavaraston jakokeskus JK102D-1
Sijainti:	Varaosavarasto

2. NIMELLISJÄNNITE	400
---------------------------	------------

3. TARKASTUKSEN PERUSTE			
x	Uudisasennus	x	Muutos- tai laajennus
			Korjaus
	Uusintatarkastus	x	Muu, mikä:
			Keskuksen 102D-1 uusinta

4. SILMÄMÄÄRÄINEN TARKASTUS			
+ kunnossa - huomautettavaa			
Tarkastuksessa todetaan silmämääräisesti mainitut asiat soveltuvin osin. Havaitut puutteet ilmoitetaan huomautus sarakkeessa			
a. LIITTYMISJOHTO	laji:	AMCMK 3x185+57	poikkipinta: 185
b. PÄÄSULAKKEET	250A		
c. POTENTTIALINTASAUUS	x	PE- tai PEN-kisko	betoniraudoitus
			iv-kanavat
d. KESKUKSET	x	sijoitus	rakenne
	x	merkinnät	asennus
e. RYHMÄJOHDOT	x	poikkipinnat	liittäminen keskukseen
	x	merkinnät	asennus
f. KOJEET	x	rakenne	sijoitus
	x	asennus	liitokset
g. LOPPUPIIRUSTUKSET	x	keskuskaaviot	johdotuskuvat
		käyttöohjeet	käytön opastus
HUOMAUTUS			
Keskuksen vaihejärjestys väärä.			

5. MITTAUKSET			
a. SUOJAJOHTIMIEN JA POTENTTIALINTASAUUSJOHTIMIEN JATKUVUUS			
piiritunnus	imbedanssi Ω	piiritunnus	imbedanssi Ω
KA33-0303-0903	0,03		

b. ERISTYSRESISTANSSIT			
ryhmä nro	eristysresistanssi MΩ	ryhmä nro	eristysresistanssi MΩ
KA33-0303-0903	L1 73,7		
	L2 43,7		
	L3 41,8		

c. SYÖTÖN AUTOMAATTISEN POISKYTKENNÄN VAATIMUSTEN TOTEUTUMUNEN			
☒	todettu mittaamalla	☐	todettu suunnitelmista
pienin oikosulkuvirta erikseen mitatuista ryhmistä			
ryhmä nro	Ik min / A	ryhmä nro	Ik min / A
KA33-0303-0903	5700		

d. VIKAVIRTASUOJAKYTKIMEN TOIMINTAVIRRRAT					
tunnus	nimellisarvot In mA	mitattu toimintavirta mA	tunnus	nimellisarvot In mA	mitattu toimintavirta mA

e. KÄYTETYT MITTALAITTEET		
laite	valmistaja	tyyppi
Asennustesteri	Fluke	1664FC

6. TARKASTUKSEN TULOS			
SFS 6000 / 2007 mukainen turvallisuustaso			
☒	Saavutettu	☐	Ei saavutettu

7. TARKASTUKSEN TEKIJÄT	
nimi	Jyrki Savolainen & Janne Hietanen
aika ja paikka	9.3.2022
allekirjoitus	

8. URAKOITSIJAT	
nimi	Walki Oy Valkeakoski

Liite 3: Keskuksen JH103B tarkastuspöytäkirja

RAKENNUSTEN SÄHKÖASENNUKSET **KÄYTTÖÖNOTTOTARKASTUSPÖYTÄKIRJA**

1. TYÖKOHDDE	
Laitteisto:	Trukkitallin huoltosähkökeskus JH103B
Sijainti:	Trukkitalli

2. NIMELLISJÄNNITE	400
---------------------------	------------

3. TARKASTUKSEN PERUSTE			
x	Uudisasennus		Muutos- tai laajennus
			Korjaus
	Uusintatarkastus		Mun, mikä:

4. SILMÄMÄÄRÄINEN TARKASTUS				
+ kunnossa - huomautettavaa				
Tarkastuksessa todetaan silmämääräisesti mainitut asiat soveltuvin osin. Havaitut puutteet ilmoitetaan huomautus sarakkeessa				
a. LIITTYMISJOHTO	laji:	MCMK 4x50+25	poikkipinta:	50
b. PÄÄSULAKKEET	125A			
c. POTENTTIAALINTASAAUS	x	PE- tai PEN-kisko	betoniraudoitus	iv-kanavat
d. KESKUKSET	x	sijoitus	rakenne	x läpiviennit
	x	merkinnät	x	asennus
e. RYHMÄJOHDOT	x	poikkipinnat	x	liittäminen keskukseen
	x	merkinnät	x	asennus
f. KOJEET	x	rakenne	x	sijoitus
	x	asennus	x	liitokset
g. LOPPUPIIRUSTUKSET	x	keskuskaaviot	x	johdotuskuvat
		käyttöohjeet		käytön opastus
HUOMAUTUS				
Keskuksen vaihejärjestys väärä				

5. MITTAUKSET			
a. SUOJAJOHTIMIEN JA POTENTTIAALINTASAAUSJOHTIMIEN JATKUVUUS			
piiritunnus	imbedanssi Ω	piiritunnus	imbedanssi Ω
KA33-0303-0903-0101	0,03		

b. ERISTYSRESISTANSSIT			
ryhmä nro	eristysresistanssi MΩ	ryhmä nro	eristysresistanssi MΩ
KA33-0303-0903-0101	<500		

c. SYÖTÖN AUTOMAATTISEN POISKYTKENNÄN VAATIMUSTEN TOTEUTUMUNEN			
x	todettu mittaamalla		todettu suunnitelmista
pienin oikosulkuvirta erikseen mitatuista ryhmistä			
ryhmä nro	Ik min / A	ryhmä nro	Ik min / A
KA33-0303-0903-0101	2900		

d. VIKAVIRTASUOJAKYTKIMEN TOIMINTAVIRRRAT					
tunnus	nimellisarvot In mA	mitattu toimintavirta mA	tunnus	nimellisarvot In mA	mitattu toimintavirta mA

e. KÄYTETYT MITTALAITTEET		
laite	valmistaja	tyyppi
Asennustesteri	Fluke	1664FC

6. TARKASTUKSEN TULOS		
SFS 6000 / 2007 mukainen turvallisuustaso		
x	Saavutettu	Ei saavutettu

7. TARKASTUKSEN TEKIJÄT	
nimi	Jyrki Savolainen & Janne Hietanen
aika ja paikka	9.3.2022
allekirjoitus	

8. URAKOITSIJAT	
nimi	Walki Oy Valkeakoski