

samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

ROBI ÖSTERLUND

# **Sähköjaketun pitkän tähtäimen suunnitelma**

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIIKAN TUTKINTO-OH-  
JELMA  
2025

## TIIVISTELMÄ

Österlund, Robi: Sähkönjakelun pitkän tähtäimen suunnitelma

Opinnäytetyö, AMK

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Toukokuu 2025

Sivumäärä: 39

Opinnäytetyössä laadittiin UPM Seikun sahalle sähkönjakelun pitkän tähtäimen suunnitelma, koska sähkönjakelun komponentit ovat ikääntymässä. Pitkän tähtäimen suunnitelman laajuus rajattiin sahan olemassa oleviin keskijännitekojeistoihin, muuntajiin ja katkaisijoihin. Pitkän tähtäimen suunnitelmassa selvitettiin sähkönjakelun komponenttien nykyinen elinkaaren vaihe, uusien vastaavien komponenttien kustannusarvio ja niiden vaihtoajankohta.

Opinnäytetyössä kerättiin kaikki saatavilla oleva tekninen tieto nykyisestä sähkönjakelusta talteen. Tietojen kerääminen tehtiin komponenttien omista arvoiluvista, teknisistä dokumenteista ja tietokannasta. Kaikki kerätty tekninen tieto yhdistettiin laatimaani Excel-pohjaiseen työkaluun.

Lopputuloksena syntyi kattava elinkaarenhallinnan työkalu, joka esittää käytössä olevien sähkönjakelun komponenttien elinkaarenvaiheen yksityiskohtaisesti. Työkalu sisältää jokaisen komponentin yksityiskohtaiset tekniset tiedot ja jokaiselle komponenttityypille laadittiin oma pitkän tähtäimen suunnitelmansa. Pitkän tähtäimen suunnitelmasta voidaan tarkastella jokaisen komponentin elinkaarenvaihetta, kustannusarviota ja vaihtoajankohtaa. Lisäksi elinkaarenhallinnan työkalu esittää koko sähkönjakelun arvioidut kustannukset.

Avainsanat: Pitkän aikavälin suunnittelu, elinkaari, sähkönjakelu, keskijännitekojeisto, muuntajat, katkaisija

## ABSTRACT

Österlund, Robi: Long-term plan for electricity distribution

Bachelor's thesis

Electrical and automation engineering

May 2025

Number of pages: 39

In this thesis, a long-term plan for electricity distribution was developed for the UPM Seikku sawmill, because the components of the electricity distribution systems are ageing. The long-term plan was limited to existing medium-voltage switchgears, transformers and circuit breakers. The long-term plan determined the current life cycle of the electricity distribution components, the cost estimate of new equivalent components and their replacement date.

This thesis collected all available technical information on the current electricity distribution system. The information was collected from the components own nameplates, technical documents and a database. All collected technical data was combined in an Excel-based tool.

The result was a comprehensive life cycle management tool that shows the life cycle stages of the electricity distribution components in use in detail. The tool contains detailed technical specifications for each component and a long-term plan was developed for each component. From the long-term plan, the life cycle stage, cost estimate and replacement date of each component can be viewed. In addition, the life cycle management toll shows the estimated costs for the entire electricity distribution.

Keywords: long-term planning, life cycle, electric power distribution, medium voltage switchgear, transformer, circuit breaker

## ALKUSANAT

Haluan erityisesti kiittää UPM Seikun sahan henkilöstöä asiantuntevista neuvoista, työohjauksesta sekä mahdollisuudesta toteuttaa tämä opinnäytetyö. Lisäksi kiitän myös opinnäytetyöohjaajaani tuesta ja ohjauksesta.

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	6
2 OPINNÄYTETYÖN TOIMEKSIANTAJA .....	7
2.1 UPM-Kymmene Oyj.....	7
2.2 UPM Seikun saha.....	8
3 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUSTAPA.....	9
3.1 Toiminnallinen opinnäytetyö .....	9
3.2 Tutkimusaineisto ja saavutettavuus.....	10
4 PITKÄN TÄHTÄIMEN SUUNNITTELU .....	10
4.1 Pitkän tähtäimen suunnittelun tarkoitus .....	11
4.2 PTS-suunnittelun hyödyntäminen sähköjakelussa .....	11
4.3 Sähköjakelun PTS-suunnittelun käsitteet .....	12
4.4 PTS-suunnitelman hyödyt .....	14
5 SÄHKÖNJAKELU KOMPONENTTIEN ELINKAARI .....	15
5.1 Keskiännitekojeistot.....	16
5.1.2 Keskiännitekojeiston elinkaareen vaikuttavia tekijöitä .....	17
5.1.3 Keskiännitekojeistojen elinkaarivertailu.....	18
5.2 Muuntajat.....	19
5.2.1 Muuntajan elinkaareen vaikuttavia tekijöitä .....	21
5.2.2 Muuntajien elinkaarivertailu .....	23
5.3 Katkaisijat .....	24
5.3.1 Katkaisijan elinkaareen vaikuttavia tekijöitä .....	24
5.3.2 Katkaisijoiden elinkaarivertailu.....	25
6 ELINKAARENHALLINNAN TYÖKALU .....	26
6.1 Alkutietojen kerääminen .....	26
6.2 PTS-välilehti .....	27
6.3 Komponenttien elinkaaren vertailu PTS-välilehdellä .....	28
6.4 Yhteenveto välilehden ja PTS-kustannusarvion luominen.....	31
6.5 Elinkaarenhallinnan työkalun yhteenveto .....	32
7 YHTEENVETO.....	34
8 POHDINTA .....	36
LÄHTEET.....	37

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni tavoitteena on laatia sähkönjakelun pitkän tähtäimen suunnitelma UPM Seikun sahalle Poriin. Opinnäytetyön aihe perustuu kesän 2024 insinööriharjoitteluun Seikun sahalla sähkö- ja automaatiokunnossapidossa. Sain toimeksiannon insinööriharjoitteluni aikana, kun esihenkilöni ehdotti ai-  
hetta. Taustalla oli se, että sahalle on ajankohtaista laatia sähkönjakelun pit-  
kän tähtäimen suunnitelma.

Sähkönjakelun pitkän tähtäimen suunnitelman tavoitteena on selvittää säh-  
könjakelun komponenttien kunto ja niiden nykyinen elinkaari. Komponenteista  
kerätään kaikki mahdollinen tekninen tieto talteen, joka on löydettävissä tieto-  
kannoista ja dokumenteista. Valmis opinnäytetyö toimii samalla sähkönjakelun  
teknisen tiedon hakukoneena. Opinnäytetyön aihe herätti heti kiinnostukseni,  
sillä sen käsittely tarjoaa mahdollisuuden osallistua kehitystyöhön ja syventää  
osaamistani kyseisellä osa-alueella. Opinnäytetyön sisällön laajuus rajataan  
sahan olemassa oleviin keskijännitekojeistoihin, muuntajiin ja pienjännitepuo-  
len katkaisijoihin. Opinnäytetyö rajataan kyseisiin komponentteihin, koska näi-  
den komponenttien elinkaaren selvitys on ajankohtaista.

Opinnäytetyö on ajankohtainen, koska sahan sähkönjakelun komponentit ovat  
ikäntymässä ja tästä syystä niiden elinkaaren selvittäminen on tärkeää. Ny-  
kyisten sähkönjakelun komponenttien elinkaariselvityksen avulla voidaan laa-  
tia pitkän tähtäimen sähkönjakelun suunnitelma ja kartoittaa, kuinka paljon  
komponenteilla on käyttöikä vielä jäljellä. Tutkimuksen tavoitteena on koota  
yhteen olemassa oleva tieto, jonka perusteella voidaan tehdä elinkaarenhal-  
linnan työkalu. Elinkaarenhallinnan työkalua hyödyntämällä voidaan hakea  
teknistä tietoa komponenteista, hallita tulevaisuuden investointeja ja ajoittaa  
kunnossapitotoimenpiteitä.

Tavoitteen saavuttamiseksi opinnäytetyössä vastataan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Mitkä ovat sähköjakelun pitkän tähtäimen suunnitelman laatimisen tärkeimmät vaiheet?
2. Miten voidaan parantaa nykyisen sähköverkon elinkaaren hallintaa ja toimintavarmuutta pitkän tähtäimen suunnitelman avulla?

## 2 OPINNÄYTETYÖN TOIMEKSIANTAJA

### 2.1 UPM-Kymmene Oyj

Yrityksen historia ulottuu pitkälle 90-luvun lopulle, kun Kymmene Oyj, Repola Oy ja Repolan tytäryhtiö Yhtyneet paperitehtaat Oyj sulautuivat. Uuden yhtiön UPM-Kymmene Oyj aikakausi alkoi 1.toukokuuta 1996. (UPM, n.d.) Sulautumisella eli fuusiolla tarkoitetaan, kun yhden tai useamman yhtiön varallisuus ja velat siirretään toiseen yhtiöön. Sulautumisjärjestelyn jälkeen lopputuloksena syntyy vain yksi yhtiö, johon on liitetty muut yhtiöt. (Docue Technologies Oy, 2024.)

Yhtiön liiketoiminta painottuu metsäteollisuuteen, mutta yhtiö tarjoaa myös biopohjaisia uusiutuvia tuotteita muun muassa polttoaineisiin, tekstiileihin, pakkauksiin, biolääketieteeseen ja komposiittimateriaaleihin. Metsäteollisuuden toiminnan lopputuloksena syntyy sellua, itseliimautuvia paperi- ja filmituotteita, erikoispakkausmateriaaleja, graafisia papereita, vaneria- ja viilutuotteita sekä sertifioitua sahatavaraa. UPM tunnetaan lisäksi Suomen toiseksi suurimpana sähköntuottajana. (UPM, 2023, s. 8–9.)

UPM-Kymmene Oyj:n 2023 vuosikertomuksen mukaan yhtiöllä on 54 tuotantolaitosta ja yhtiö työllistää 16 600 työntekijää 43 maassa ympäri maailmaa. Maanosat ovat Eurooppa, Aasia, Pohjois-Amerikka ja Etelä-Amerikka.

Vuosikertomuksesta 2023 ilmenee, että yhtiön liikevaihto vuonna 2023 oli 10,5 miljardia euroa. Liikevaihto on kertomuksessa myös ilmoitettu markkina-alueittain, jossa Pohjois-Amerikan osuus on 14 %, Euroopan osuus 58 %, Aasian osuus 22 % ja muun maailman osuus 6 %. (UPM, 2023, s. 8–15.)

## 2.2 UPM Seikun saha

UPM Timberiin kuuluva Seikun saha perustettiin Poriin Aittaluotoon Seikun saarelle Fredrik Wilhelm Rosenlewin toimesta vuonna 1872. Saha hyödynsi Kokemäenjoen tarjoamia hyviä kulkuyhteyksiä, minkä vuoksi joella on ollut merkittävä rooli sahan toiminnassa. Seikun sahan ympäristöön alkoi kehittyä myös muuta teollisuutta, jotka hyödynsivät sahauksessa syntyneitä jätelautoja ja puutähteitä. Laatikkotehdas hyödynsi jätelautoja laatikoiden valmistukseen. Voimalaitos, selluloosatehdas sekä säkki- ja pussitehtaat saivat raaka-aineensa sahauksesta syntyvästä puutähteestä. Puutavarasta saatuja raaka-aineita hyödynnettiin mahdollisimman monipuolisesti ja hyödyllisesti. (UPM Seikun saha, n.d.)

Seikun sahan omisti Rosenlewit aina vuoteen 1988 saakka, jolloin Rosenlew sulautettiin Rauma-Repolaan. Seikun saha jatkoi toimintaansa osana Yhtyneet Sahat Oy:tä vuodesta 1991 aina vuoteen 1996 asti, kunnes siitä tuli osa UPM-Kymmene konsernia. (Ritvanen, 2022.)

Seikun sahan tuotantokapasiteetti 2024 vuonna oli 400 000 m<sup>3</sup> kuusisahataravaa. Nykypäivänä Seikun saha on UPM-konsernin tehokkain saha. Raaka-aineena käytetään pääosin Länsi-Suomen metsissä vastuullisesti kasvatettuja kuusia. Seikun saha työllistää tällä hetkellä 75 henkilöä ja sahatavarasta menee vientiin noin 85 %. Seikun Sahan tärkeimpiä vientimarkkinoita ovat Ranska, Saksa, Kiina ja Lähi-Idän maat. (UPM Seikun saha, n.d.)

Sahauksen sivutuotteena syntyvää purua ja kuorta hyödynnetään Pori Energian voimalaitoksella energian ja lämmön tuotantoon. Sivutuotteena syntyvää haketta käytetään paperin- ja sellun valmistamiseen. (UPM Seikun saha, n.d.)

Pori Energian ja Seikun sahan yhteistyösopimuksessa sahauksesta syntyvät puupolttoaineet, kuten kuivahake, puhdaskierrätyspuu, puru ja kuori siirretään polttoainekuljettimella suoraan sahalta voimalaitokselle. Sopimuksen myötä fossiilisten polttoaineiden käyttäminen energiantuotannossa vähenee. Polttoaineen siirtäminen sahalla voimalaitokselle on ympäristöystävällistä ja tehokasta, koska polttoaineen siirtämiseen ei tarvita ajoneuvoja. (Pori Energia, 2017.)

### 3 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTUSTAPA

Tässä luvussa käsitellään opinnäytetyön toteutustapaa, käytettyä tutkimusaineistoa sekä työn saavutettavuutta. Lisäksi luvussa perustellaan, miksi opinnäytetyö toteutettiin toiminnallisena opinnäytetyönä.

#### 3.1 Toiminnallinen opinnäytetyö

Toiminnallisessa opinnäytetyössä tarkoituksena on konkreettisen asian kehittäminen tai käytännönratkaisun luominen toimeksiantajayritykselle. Toiminnallisessa opinnäytetyössä opiskelijan tavoitteena on laatia esimerkiksi prosessinkuvaus, opas, malli, esite tai perehdytyskansio. (Salonen, 2013, s. 5–6.)

Valitsin opinnäytetyöni toteutustavaksi toiminnallisen opinnäytetyön, sillä työ tehdään toimeksiantajalle ja sen tavoitteena on kehittää sähkönjakelun elinkaaren hallintaa sekä tarkastella tulevia investointeja. Tarkoituksena on luoda kattavaa datatietoa, joka mahdollistaa kaiken saatavilla olevan tiedon nykyisestä sähkönjakelusta.

Opinnäytetyön lopputuloksena valmistuu Excel-pohjainen elinkaarenhallinnan työkalu, joka sisältää sähkönjakelun pitkän tähtäimen suunnitelman aina vuoteen 2061 asti. Työkalun avulla voidaan tarkastella sahan alueen sähkönjakelun komponenttien teknistä tietoa, käyttöönottoajankohtaa, nykyistä ikää,

jäljellä olevaa elinkaarta ja investointien kustannuksia. Excel-työkalu toimitetaan toimeksiantajayritykselle ja toimituksen yhteydessä annetaan ohjeistus työkalun käyttöön.

### 3.2 Tutkimusaineisto ja saavutettavuus

Opinnäytetyön raportissa käytetty aineisto on pääosin julkisesti saatavilla ja luottamuksellinen tieto on rajattu työn ulkopuolelle. Aineisto koostuu Theseuksen, Google Scholarin ja FINNAN kautta löydettyistä lähteistä. Aineistoa on kerätty myös kirjallisuudesta, jotka on lainattu ammattikorkeakoulun kirjastosta. Lisäksi aineiston keruuta on tehty laitevalmistajien julkaisemista dokumenteista, verkkosivuilta ja sähkönjakelun komponenttien arvokilvistä.

Opinnäytetyön tekemisestä on tehty opinnäytetyösopimus tekijän, toimeksiantaja yrityksen ja ammattikorkeakoulun välillä, jonka avulla voidaan todeta tulosten luotettavuus ja luottamuksellisuus. Opinnäytetyössä käytettyihin lähteisiin on viitattu asianmukaisesti ja käytetyt lähteet löytyvät opinnäytetyöraportin lähdeosiosta. Lisäksi opinnäytetyö on tehty saavutettavaksi Theseuksen saavutettavuusohjeiden mukaisesti.

## 4 PITKÄN TÄHTÄIMEN SUUNNITTELU

Tässä luvussa perehdytään pitkän tähtäimen suunnittelun tarkoitukseen, sen hyödyntämiseen sähkönjakelussa, suunnittelun keskeisiin käsitteisiin sekä suunnitelman tuomiin hyötyihin.

#### 4.1 Pitkän tähtäimen suunnittelun tarkoitus

PTS-lyhenne tulee sanoista pitkän tähtäimen suunnitelma. PTS-suunnittelun tarkoituksena on kartoittaa nykyisen laitteiston toimintakunto ja ennakoida tulevaisuuden kunnossapito- ja investointitarpeita. Kuntoarvion pohjalta kerätty tieto muodostaa käsityksen laitteiston nykyisestä kunnosta, jolloin voidaan tarkastella laitteiston vanhimpia ja kriittisimpiä komponentteja. PTS-suunnittelun avulla voidaan välttyä kiireellisiltä korjauksilta, kun laitteiston nykyinen kunto on tiedossa. (Tofferi, 2020.)

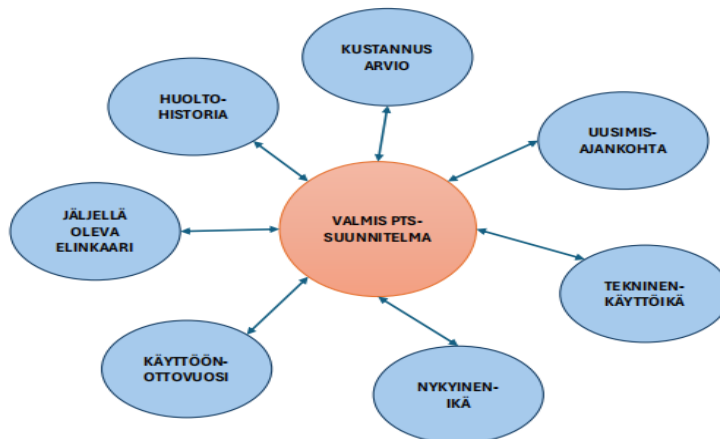
PTS-suunnitelman laatiminen tehdään tyypillisesti seuraavalle kymmenelle vuodelle, mutta suunnitelmaa voidaan laatia myös pidemmälle ajanjaksolle. Valmistuneen PTS-suunnitelman tavoitteena on esittää tulevien korjausten kustannusarvio, ajoitus sekä kiireellisyys. (Tofferi, 2020.)

#### 4.2 PTS-suunnittelun hyödyntäminen sähköjäljessä

Perusteellisesti suoritettua suunnittelututkimusta kutsutaan sähköjärjestelmän suunnitteluksi. Tämä on prosessi, jossa arvioidaan ja tehdään selvitys olemassa olevan sähköjärjestelmän päivittämisestä tai laajentamisesta niin, että olemassa oleva sähköjärjestelmä pystyy vastaamaan tulevaisuuden kuormituksia. (Gaur ym., 2019, s. 5.)

Sähköjärjestelmän suunnittelututkimukset jaotellaan usein kahteen kategoriin, jotka ovat lyhyen ja pitkän aikavälin tutkimukset. Pidemmän aikavälin tutkimukset ovat luonteeltaan tulevaisuuteen suuntautuvia ja niiden aikajänne voi ulottua viidestä vuodesta useisiin vuosikymmeniin. Pidemmän aikavälin suunnitelmassa keskitytään sähkönsiirron ja tuotannon laajenemiseen, investointipäätöksiin ja strategian kehittämiseen. Lyhyen aikavälin suunnittelututkimukset käsittelevät eri näkökulmia, kuten esimerkiksi taloudellista kuormanjakoa, tehonsiirtämistä, yksikkösitoumuksia ja päivän ennakkomarkkinoita. Lyhyen aikavälin suunnittelun aikajänne ulottuu enintään yhteen vuoteen. (Gaur ym., 2019, s. 5.)

Sähkönjakelun PTS-suunnitelma on keskeinen työkalu, jonka avulla voidaan parantaa sähkölaitteiston toimintavarmuutta ja pidentää sen elinikää. Lisäksi suunnitelman avulla pystytään ennakoimaan tulevaisuuden korjaus- ja investointitarpeita. Kuvassa 1 on esiteltynä sähkönjakelun PTS-suunnitelman sisällön tärkeimpiä asioita.



Kuva 1. Sähkönjakelun PTS-suunnittelun keskeisimmät käsitteet. (Mukaiillen Tofferi, 2020.)

Sähkönjakelun PTS-suunnitelman aloitus tehdään alueen rajaamisella. Rajauksen tarkoituksena on määrittää komponentit, jotka kuuluvat PTS-suunnitelman laajuuteen. Rajauksen tekeminen on tärkeää, koska sen perusteella voidaan tarkastella yksityiskohtaisesti mitä aluetta PTS-suunnitelmassa käsitellään ja määrittää komponenttien alkutietojen tietojen keruualue (Lakervi & Partanen, 2008, s. 64).

#### 4.3 Sähkönjakelun PTS-suunnittelun käsitteet

Suunnitelmaa tehtäessä alkutietojen selvittäminen on avainasemassa, koska sähkönjakeluverkossa käytettyjen komponenttien teknillistaloudellinen pitoaika on pitkä ja komponentteja voidaan käyttää 30–50 vuotta. Sähkönjakelukomponenttien pitkät käyttöajat painottavat sähkönjakeluverkon pitkän tähtäimen suunnitelman merkitystä. Pitkän tähtäimen kehityssuunnitelmassa hahmotetaan keskeisimmät toimenpiteet, joilla sähköverkkoa tullaan kehittämään suunnittelujakson aikana. (Lakervi & Partanen, 2008, s. 64.)

Päämääränä on selvittää minkälaisia merkittäviä ja laajavaikutteisia investointeja on tarpeen toteuttaa kuluvin vuosina, jotta verkosto täyttäisi koko tarkastelujakson ajan sille määritetyt vaatimukset. Kehityssuunnitelma luo pohjan ja tarjoaa tarvittavat taustatiedot yksityiskohtaisemman verkostosuunnittelun toteuttamiselle. Keskeisimpiä asioita sähköverkon pitkän tähtäimen suunnitelman laatimisessa on määrittää alkutiedot ja periaatteet, joiden pohjalta pystytään toteuttamaan tarkempaa verkosto- ja kehittämissuunnittelua. (Lakervi & Partanen, 2008, s. 64.)

Komponenttien pitkät käyttöajat tekevät absoluuttisen tiedon saamisesta vaikeaa, koska jopa 50 vuotta vanhoista komponenteista on haastavaa löytää tietoa. Digitalisaation takia vanhimpien komponenttien huoltohistoriasta tai käyttöönottopäivämääristä ei ole tarkkoja tietoja, koska aiemmin komponenttien dokumentointia on suoritettu paperisesti ja osa paperidokumenteista on mahdollisesti jäänyt siirtämättä sähköisiin järjestelmiin. Kattavien tietojen puutteellisuus hankaloittaa PTS-suunnitelman laatimista.

Alkutietojen selvityksessä keskeisessä asemassa on komponentin käyttöönottovuosi. Tyypillisesti käyttöönottovuosi pystytään selvittämään komponentin omasta arvokilvestä. Tilanteissa, joissa komponenttien arvokilvissä ei ole mainittu käyttöönottovuotta, vanhoista pöytäkirjoista tai internetistä pystytään arvioimaan komponenttien käyttöönottovuosi.

Komponentin teknisellä käyttöiällä viitataan aikaan käyttöönoton jälkeen, joka tarkoittaa, että järjestelmän tai laitteen tekniset toimivuusvaatimukset täyttyvät. Kun tämä kulunut aika on umpeutunut, suositellaan vaihtamaan järjestelmä tai laite uuteen. Teknisen käyttöiän perustana käytetään kokemusta ja tietoa järjestelmän tai laitteen kestävydestä. (RT 18-10922, 2008, s. 2.)

Huoltohistorialla tarkoitetaan komponentille tehtäviä huoltotoimenpiteitä huoltovälin aikana. Huoltoväli tarkoittaa aikaa, jonka kuluessa laitteelle tai järjestelmälle suoritetaan huoltosuunnitelmaan määritetyt tarkastus- ja huoltotoimet,

jotka ovat välttämättömiä laitteen tai järjestelmän toimintavarmuuden varmistamiseksi. (RT 18-10922, 2008, s. 2.)

Sähkölaitteiston haltijan on varmistettava, että luokkien 2 ja 3 sähkölaitteistoille laaditaan sähköturvallisuutta ylläpitävä kunnossapito-ohjelma. Sähkölaitteistonhaltija on vastuussa kunnossapito-ohjelman noudattamisesta. Ohjelmaa suunniteltaessa on huomioitava käyttöympäristöstä aiheutuvat vaatimukset. Muiden sähkölaitteistojen osalta kunnossapito-ohjelman sijasta voidaan käyttää erillisiä käyttö- ja huolto-ohjeita, jotka ovat suunniteltu laitteistolle. (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, 3 luku 48 § 1 mom.)

Kustannusarvio tarkoittaa uuden vastaavan komponentin hankintakuluja. Tyyppillisesti kustannusarviot pyydetään valmistajilta tai laitetoimittajilta. Kustannusarvion avulla pystytään tarkastelemaan tulevaisuuden investointien aiheuttamia kuluja.

Komponentin jäljellä oleva elinkaari pystytään selvittämään, kun komponentin käyttöönottovuosi, tekninen käyttöikä ja huoltohistoria ovat tiedossa. Jokainen komponentti on yksilöllinen, joten jokaiselle komponentille tulee määrittää oma elinkaari. Elinkaaren määrittäminen on tärkeä osa PTS-suunnittelua, sillä kun komponentin elinkaari tunnetaan, voidaan sen uusimisajankohta suunnitella ennakoivasti.

#### 4.4 PTS-suunnitelman hyödyt

Pitkän aikavälin suunnitelmassa asetetaan tavoitteet, jotka voidaan saavuttaa valmistuneen suunnitelman myötä. Onnistuneen pitkän tähtäimen suunnitelman perusajatuksena on ennakoida tulevia ilmiöitä, havaita markkinoiden muutoksia ja hyödyntää uusinta teknologiaa. Tietojen kerääminen ja niiden analysointi tarjoaa yritykselle mahdollisuuden kehittää strategioita, jotka tukevat kestävästä kasvusta ja vaurautta. Näiden avulla voidaan valmistautua tuleviin haasteisiin. PTS-suunnitelma auttaa pääsemään liiketoiminnan tavoitteisiin,

luo selkeää tarkoitusta, tukee uusien ideoiden kehittymistä ja auttaa pysymään keskittyneenä. (Pulluri, 2024.)

Sähkönjakeluun laadittu PTS-suunnitelma toimii sähkölaitteiston haltijan sekä sähkötöiden- ja sähkölaitteiston käytön johtajan tulevaisuuden työkaluna. Sen avulla voidaan arvioida investointien kannattavuutta ja perustella investointien tarvetta. Lisäksi valmis PTS-suunnitelma tukee päätöksen tekoa investoinneissa, jolloin voidaan ennakoida tulevia kustannuksia.

Työkalun avulla voidaan taata sähkölaitteistolle parempi toimintavarmuus, koska suunnitelman avulla voidaan selvittää nykyisen sähkölaitteiston kriittisimmät pisteet. Selvityksen myötä voidaan luoda luotettava pohja nykyiselle sähkölaitteistolle, kun tiedetään sen nykyinen elinkaari.

## 5 SÄHKÖNJAKELU KOMPONENTTIEN ELINKAARI

Elinkaariarviointia käytetään hyödyksi teollisuudessa, järjestöissä tai julkishallinnossa päätöksentekoon. Tyypillisesti elinkaariarvioinnin avulla voidaan helpottaa prioriteettien asettamista, strategista suunnittelua, prosessien tai tuotteiden suunnittelua sekä sitä voidaan käyttää jonkin asian kehittämistä varten. Yksittäisen tuotteen elinkaarella tarkoitetaan kokonaan sen elinkaaren vaihetta aina raaka-aineiden hankinnasta tuotteen käyttöön, käytöstä poistamiseen, kierrätykseen ja jätteiden loppulajitteluun saakka. (SFS-EN ISO 14040:2006 + A1:2020, 2021. s. 7).

Elinkaariselvityksen avulla pystytään luomaan sähkönjakelun komponenteille elinkaarenhallinnan työkalu, jonka avulla voidaan seurata yksittäisten sähkönjakelun komponenttien elinkaaren vaihetta. Sähkönjakelun komponenttien elinkaarivertailu on tehty eri laitevalmistajien komponenttien perusteella. Tämän elinkaarivertailun tarkoituksena on esittää elinaikaodotteen eroavaisuutta, jotka perustuvat laitevalmistajan ilmoittamiin tietoihin.

## 5.1 Keskijännitekojeistot

Keskijännitekojeisto on sähkönjakelussa rakennekokonaisuus, johon kuuluvat tarvittavat valvonta, kytkentä, suojaus ja ohjauslaitteet. Keskijännitekojeistot jaetaan yleisesti eri luokkiin, joita ovat suurjännite, keskijännite ja pienjännitekojeistot. Tyypillisesti pienjännitekojeistoa kutsutaan jakokeskukseksi. (Elovaara & Haarla, 2011, s. 117.)

Keskijännitekojeistoa käytetään sähkönjakelussa piirien eristämiseen ja sähköjärjestelmien suojaamiseen järjestelmävioilta ja ylikuormitukselta. Keskijännitekojeisto toimii sähkönjakeluverkossa yleisesti kytkinlaitteena. (Alsumaidae ym., 2022, s. 1.) Keskijännitekojeistot luokitellaan ulkokuoren materiaalien perusteella eristysainekuorisiin tai metallikuorisiin. Näistä yleisimmin käytetään eristysainekuorista kojeistoa. Metallikuoristen kojeistojen jaottelu tehdään sen sisältämän sisäisen osastoinnin ja sen toteutuksen mukaan kolmeen eri lajiluokkaan. Näitä lajiluokituksia ovat tilakoteloidut, metallikoteloidut ja kennokoteloidut kojeistot. (Elovaara & Haarla, 2011, s. 120–121.)

Metallikoteloituja ja tilakoteloituja kojeistoja yhdistää se, että niissä on kokoojakiskot, katkaisija ja niiden lähdöt ovat omissa tiloissaan. Eroavaisuus kuitenkin on siinä, että metallikoteloidussa kojeistossa tilojen välinen osastointi toteutetaan maadoitetulla metallilla ja tilakoteloiduissa kojeistoissa osastointi on toteutettu kokonaan tai osittain eristeaineella. Kennokoteloidussa kojeistossa kennojen välillä on erilliset väliseinät, mutta kennon sisällä itsessään ei ole väliseiniä. Tästä syystä kokoojakiskot, mittamuuntajat, katkaisija ja kaapelipäätteet ovat samassa tilassa. (Elovaara & Haarla, 2011, s. 121–122.)

Keskijännitekojeistojen sisältämät eristeainetyypit jaetaan ilmaeristeisiin keskijännitekojeistoihin ja SF6-kaasueristeisiin keskijännitekojeistoihin (Elovaara & Haarla, 2011, s. 120). Sähkönjakelunverkon kehittyminen kohti uusiutuvien energianlähteiden käyttöä on johtanut siihen, että rikkiheksafluoridia sisältävien SF6-kaasueristeisten keskijännitekojeistojen käyttäminen tullaan syrjäyttämään lähivuosina (ABB, n.d).

Suomen ympäristökeskuksen (2025) julkaiseman tiedotteen mukaan siirtymisen kohti SF6-vapaita sähköisiä kytkinlaitteita alkaa vuonna 2026. Aikatauluksesta käy ilmi, että 2026 vuonna alkaa ensiö- ja toisiojakeluun tarkoitettujen enintään 24kV keskijännitteisten kytkinlaitteistojen käyttöönottokielto. Uusien SF6-kaasua sisältävien kytkinlaitteistojen käyttäminen huollossa kielletään vuonna 2035.

### 5.1.2 Keskijännitekojeiston elinkaareen vaikuttavia tekijöitä

Keskijännitekojeiston elinkaareen vaikuttavista tekijöistä on kertynyt vuosien aikana arvokasta tutkimusaineistoa. Erään vakuutusyhtiön arvion mukaan 25 % kaikista sähkövioista johtuu huonoista ja löysistä liitoksista. Löysät liitokset aiheuttavat vastuksen kasvua, mikä johtaa lämpötilojen nousuun. Liitos voi tuhoutua termisesti tai eristys peittää, joka voi aiheuttaa oikosulun. Ratkaisuna tähän ongelmaan on lämpökuvaus, jonka avulla voidaan havaita kuumentuneita pisteitä. Kuumat pisteet yleisesti aiheutuvat löysistä tai huonoista liitoksista. (Genutis, 2010, s. 1.)

Keskijännitekojeiston eristyksen rikkoutumiseen vaikuttaa erityisesti ylijännite. Ylijännitteet vaurioittavat eristettä ja tämä johtaa lopulta täydelliseen vikaantumiseen. Tyypillisiä riskien aiheuttajia ovat kaapelipäätteet, kiskot ja niin sanottu hyppyjohdot. Suojaamattomat kaapelit saattavat osua maadoitukseen tai toisiin vaiheisiin, joka aiheuttaa oikosulun. Kiskojen eristeen ja kiskojen väliin jäävät ilmavälit voivat heikentää eristystä ja aiheuttaa osittaispurkauksia. Huonot kaapelinpäätteet muodostavat myös merkittävää vikaantumisriskiä. (Genutis, 2010, s. 1–2.)

Ruostumisen riski muodostuu, kun keskijännitekojeisto on altistuneena vedelle tai kosteudelle. Ruostuminen voi aiheuttaa vaurioita eristeeseen tai liitoksiin, jonka seurauksena voi syntyä oikosulku. Lisäksi muita vioittumiseen vaikuttavia tekijöitä on katkaisijaviat ja viallinen maasulkusuojaus. Viallinen maasulkusuojaus ei välttämättä laukaise katkaisijaa tai polta keskijännitekojeiston sulakkeita, joka voi aiheuttaa mittavaa vahinkoa. (Genutis, 2010, s. 2–3.)

### 5.1.3 Keskijännitekojeistojen elinkaarivertailu

Elinkaarivertailu suoritetaan eri laitevalmistajien tuotevalikoimaan kuuluvista keskijännitekojeistoista. Vertailuun on otettu valikoimista vanhempia ja uudempia keskijännitekojeistoja laitevalmistajilta, joita ovat ABB, Schneider ja Siemens. Keskijännitekojeistojen vertailuun on otettu tyypiltään ilmaeristeisiä ja SF6-kaasueristeisiä sekä uudempia SF6-vapaita keskijännitekojeistoja.

Siemensin valmistamien keskijännitekojeistojen vertailu tehdään kaasueristeisen 8DJH-kojeiston ja ilmaeristeisen NXAIR-kojeiston välillä. Siemensin 8DJH keskijännitekojeisto on uudemman teknologian SF6-kaasuvapaa keskijännitekojeisto. Keskijännitekojeistolle luvataan normaaleissa käyttöolosuhteissa ainakin 35 vuoden elinkaari, mutta elinkaari saattaa pidentyä jopa 40 tai 50 vuoteen. Elinkaaren pituus määräytyy keskijännitekojeiston kotelon tiiveyden mukaan, sillä kotelo on hitsattu tiiviiksi. (SIEMENS, 2022, s. 6.) NXAIR ilmaeristeisen keskijännitekojeiston käyttöohjeessa luvataan kojeistolle ainakin 30 vuoden käyttöikä ja lisäksi kojeisto on huoltovapaa 20 vuotta (SIEMENS, 2023, s. 32).

Schneiderin keskijännitekojeistoista vertailu suoritetaan kaasueristeisen RM6 NE IQI ja ilmaeristeisen SM AirSet keskijännitekojeiston välillä. Schneiderin tarjoaman kaasueristeisen RM6 NE IQI keskijännitekojeiston käyttöohjeissa mainitaan, että RM6-kojeiston viitteellinen käyttöikä on 20 vuotta (Schneider Electric, 2023, s. 3). Vertailukohteena on Schneiderin uudempi markkinoille tuotu ilmaeristeinen SM AirSet keskijännitekojeisto. Käyttöohjeessa on mainittu, että tämän ilmaeristeisen keskijännitekojeiston odotettu elinaikaodote on 40 vuotta (Schneider Electric, 2024, s. 95).

ABB:n keskijännitekojeistojen elinkaarivertailu suoritetaan vanhempien SF6-kaasueristeisen Uniswitch ja ilmaeristeisen SafeRing/SafeRing Plus keskijännitekojeistojen välillä.

ABB Uniswitch keskijännitekojeiston käyttöohjeissa ei ole suoraa mainintaa sen teknisestä käyttöiästä. Käyttöohjeissa mainitaan kuitenkin, että kuormanerotin ohjauslaite on huoltovapaa normaaleissa olosuhteissa koko

käyttöikänsä ajan, joka on 30 vuotta. Käyttöohjeessa on myös täsmennetty, että kuormanerotimen ohjainlaitteen mekaaninen kestävyys vastaa 1000 kiinni/auki ohjausta sekä 1000 auki/maadoitus ohjausta. (ABB, 2004, s. 29.) ABB:n SafeRing keskijännitekojeistot ovat tiivistettyjä keskijännitekojeistoja ja ne on testattu ja suunniteltu IEC 62271-200 standardin mukaan. SafeRing kojeisto on määritetty huoltovapaaksi 30 vuoden käyttöikä varten. (ABB, 2018, s. 90.)

Elinkaarivertailun lopputuloksena huomataan, että eri keskijännitekojeistojen valmistajat tarjoavat vaihtelevia elinaikaodotteita kojeistoille. Keskimääräinen käyttöikä saadaan laskettua keskijännitekojeistoille keskiarvojen laskukaavalla, kun otetaan huomioon keskijännitekojeistojen elinaikaodote:

- Siemens 8DJH: 35–50 vuotta
- Siemens NXAIR: 30 vuotta
- Schneider RM6 NE IQI: 20 vuotta
- Schneider Sm AirSet: 40 vuotta
- ABB Uniswitch: 30 vuotta
- ABB SafeRing: 30 vuotta

$$\frac{(42,5 + 30 + 20 + 40 + 30 + 30)}{6} = 32,1 \text{ vuotta} \quad (1)$$

Laskukaavassa on käytetty Siemensin 8DJH keskijännitekojeistosta elinaikaodotteen keskiarvoa. Laskukaavan perusteella huomataan, että keskijännitekojeiston keskimääräinen elinaikaodote on noin 32 vuotta. Laitevalmistajien ilmoittamaa teknistä käyttöikää tarkasteltaessa huomataan, että laitevalmistajat antavat uudemman sukupolven kojeistoille huomattavasti pidempää elinikää, kuin vanhemmille kojeistoille.

## 5.2 Muuntajat

1900-luvun alussa muuntajan käyttöönotto johti siihen, että vaihtosähkö on syrjäyttänyt tasasähkön melkein kokonaan. Muuntaja on sähkölaite, jonka

avulla voidaan muuttaa vaihtosähkön jännitettä ja muuntaja toimii vain vaihtosähköllä. (Aura & Tonteri, 1996, s. 267.)

Muuntajan toiminta pohjautuu vaihtosähköjärjestelmän jännitteiden tai virtojen muuntamiseen, mutta myös säätämiseen kahden tai useamman käämityksen välillä. Muuntaja käyttää hyväksi sähkömagneettista induktiota. Kolmivaihemuuntaja tehdään tyypillisesti suoraan kolmivaiheyksiköksi, mutta se voidaan myös rakentaa kolmesta yksivaiheyksiköstä yhdeksi kokonaisuudeksi. (Elovaara & Haarla, 2011, s. 141.)

Jakelumuuntajiksi kutsutaan tyypillisesti tehoalueella 16–2000 KVA toimivia muuntajia. Yleisimmin uusimmat muuntajat ovat rakenteeltaan hermeettisesti suljettuja. Tämä tarkoittaa sitä, että muuntajan säiliö on niissä täytetty kokonaan öljyllä. Hermeettisesti suljetuilla muuntajilla kuormitusvaihtelusta johtuvat öljyntilavuuden vaihtelut ovat mahdollistettu aaltolevysäiliön aaltojen avulla. Hermeettisesti suljettu rakenne estää kosteuden ja hapen pääsyn muuntajaan. Tämä rakenne suojaa eristeitä ja öljyä niiden aiheuttamilta haittavaikutuksilta, jonka ansiosta muuntajan elinikä saattaa olla pitkä. (Kauppila ym., 2009, s. 58.)

Teollisuudessa esiintyvissä muuntajissa käytetään tyypillisesti erillistä paisuntasäiliötä. Tämä aiheuttaa sen, että muuntajan koko on tavallisesti suurempi kuin normaalisti käytetyillä jakelumuuntajilla. Kyseisissä muuntajissa nähdään öljyn lämpeneminen pinnan korkeuden vaihteluina paisuntasäiliössä olevasta öljylasista. Paisuntasäiliön omaavissa muuntajissa käytetään myös tyypillisesti ilmankuivaimia. (Kauppila ym., 2009, s. 58.)

Teollisuudessa on myös käytössä kuivamuuntajia, jotka ovat rakenteeltaan yleisesti valuhartsieristeisiä tai ilmaeristeisiä. Kuivamuuntajan parhaimpia puolia on se, että niissä on palokuorma huomattavasti pienempi kuin öljyeristeisillä muuntajilla. Kuivamuuntajassa luotettavuus on huonompi kuin öljyeristeisellä muuntajalla, joten niiden elinkaari on useimmiten lyhyempi. Kuivamuuntajan rakenteiden välillä on kuitenkin todettu huomattavia luotettavuuseroavaisuuksia. (Kauppila ym., 2009, s. 58.)

Kuivamuuntajien ylikuormitus on pienempää kuin öljyeristeisillä muuntajilla, koska kuivamuuntajien ylikuormittaminen vaatii yleisesti lisäpuhaltimia tai jäähdytyslaitteita. Kuivamuuntajien jäähdytykseen tulee kiinnittää erityisesti huomiota, jottei muuntaja pääse ylikuumentumaan. Huonompia puolia kuivamuuntajissa on niiden korkea hankintahinta, koska ne ovat tavallisesti 1,3–2 kertaa kalliimpia kuin öljyeristeinen muuntaja. Lisäksi kuivamuuntajan melutaso on todettu korkeammaksi, ja ne eivät kestä yleisesti alle -20 °C lämpötiloja. Markkinoille on kuitenkin valmistettu myös kuivamuuntajia, joita voidaan käyttää -40 °C lämpötilassa. (Kauppila ym., 2009, s. 59.)

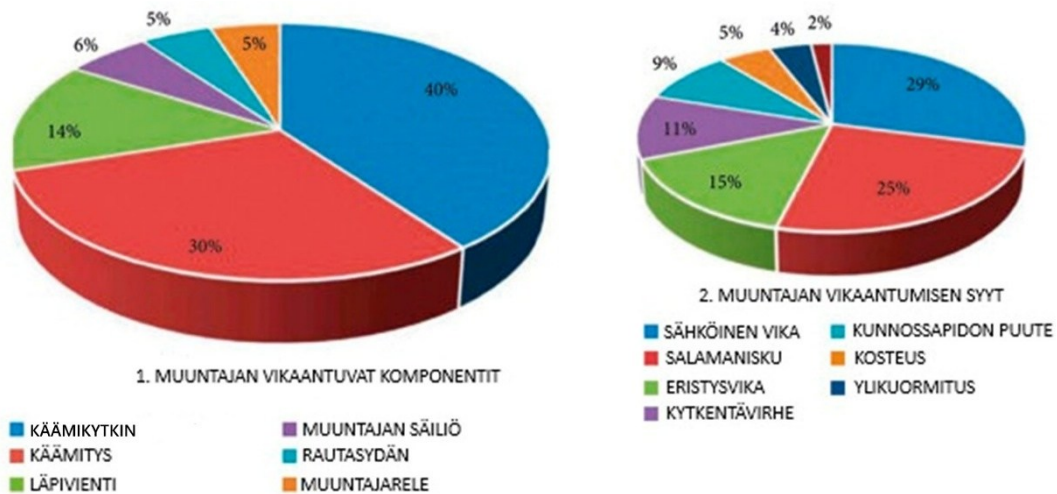
Muuntajien valinnassa käytetään tavanomaisesti öljyeristeisiä muuntajia, mutta on myös olemassa käyttökohteita, joissa kuivamuuntajan käyttö voi täyttää perusteet. Näitä kohteita tyypillisesti ovat suuren pistekuorman omaava tehdastila, sairaalat, kaivokset, vedenpuhdistuslaitokset, väestönsuojat, pohjavesialueet ja tunnelit. Mikäli ei todeta mitään esteitä öljyeristeisen muuntajan sijoittamiselle muuntajan valinta on yleensä yksinkertainen. Yleisimpiä syitä on se, että öljyeristeisten muuntajien saatavuus on yleisesti parempi ja korvattavaksi hankittava muuntaja on helpompi saada tuhoutuneen muuntajan tilalle. (Kauppila ym., 2009, s. 59.)

### 5.2.1 Muuntajan elinkaareen vaikuttavia tekijöitä

Jakelumuuntaja vanhenee ajan kuluessa ympäristöolosuhteiden ja dynaamisten kuormitusten vaikutuksesta. Dynaamisten kuormitusten ja ympäristöolosuhteiden aiheuttamat tekijät heikentävät jakelumuuntajan kykyä kestää järjestelmän poikkeavuuksia ja erilaisia käyttörasituksia. Hermeettisesti suljetun muuntajan vanhenemisen keskeisin osa on paperieriste, koska sillä on rajallinen elinkaari. Tyypillisesti hermeettisesti suljetun muuntajan elinkaari määräytyy paperieristeen kunnon mukaan. Paperieristeen ollessa elinkaarensa lopussa ja vaurioitunut, muuntajan mekaanisia ja sähköneristyskyvyllisiä ominaisuuksia ei voida enää palauttaa ennalleen. Yleisimmin paperieristeen kemiallinen hajoaminen johtuu kosteudesta, hapestasta tai liian kuumasta lämpötilasta. (Mharakurwa, 2022, s. 1–2.)

Polymeroitumisasteella eli DP-luvulla mitataan öljymuuntajan glukoosirenkaiden keskimääräinen lukumäärä molekyyliä kohden paperieristeestä. DP-luvun avulla voidaan tehdä muuntajan ikääntymisen ja hajoamisasteen arviointi. Uuissa muuntajissa DP-luku on tavallisesti 1000–1200 luokkaa, mutta se pienenee muuntajan käytön myötä. Muuntajan ollessa elinkaarensa lopussa paperieristeiden DP-luku on tyypillisesti alle 200. (Mharakurwa, 2022, s. 4–5.)

Muuntajan komponentit altistuvat useasti erilaisille sisäisille ja ulkoisille rasituksille. Sisäiseen eristykseen vaikuttavat sähkömagneettiset kentät ja lämpötila, mutta myös epäpuhtaudet, viat, vesipitoisuus ja käämeissä tapahtuvat nopeat lämpötilamuutokset vaikuttavat sisäiseen eristykseen. Ulkoiset tekijät, kuten kaasut, salamaniskut ja sähköverkon toimintaan liittyvät kuormitukset aiheuttavat ongelmia muuntajan rasitukselle. (Mharakurwa, 2022, s. 2–3.) Kuvassa 2 on kuvattuna muuntajan yleisimmin vikaantuvat komponentit ja vikaantumisen syyt.



Kuva. 2 Muuntajan vikaantuvat komponentit ja vikaantumisen syyt. (Mharakurwa, 2022, s. 3)

Kuivamuuntaja on huoltovapaa, mutta aistinvaraisten tarkastusten aikana saattaa ilmetä ensi merkkejä mahdollisesta vikaantumisesta. Vikaantumisen merkkejä yleisesti ovat muuntajan suriseva ääni, jännite-epätasapaino, värinä, ylikuumeneminen, värinänmuutokset ja kipinöinti. Näiden

vikaantumismuotojen juurisyyt ovat tyypillisesti käämien oikosulku, ylikuormitus, eristysvika, löysät liitokset tai ympäristön lämpötilan nousu. Toiminnan aikana havaittavia muutoksia ovat useasti äänen, lämpötilan, värin tai jännitetasen sietokyvyn poikkeamat. Nämä muutokset saattavat viittaavat käyttökokeuksen perusteella muuntajan vikaantumiseen. (Looi ym., 2024, s. 5.)

Muuntaja vastaanottaa jännitettä ja virtaa ensiöpuolelta, jonka takia muuntajan vikaantuminen johtuu yleisesti sähkövioista. Muuntajan ennen aikaista vikaantumista aiheuttaa syötetyn sähkön huonolaatuisuus, sillä se voi aiheuttaa lisähäviöitä tai rasitusta. Muuntajaa käynnistäessä käynnistyksen aikainen virtapiikki saattaa aiheuttaa käämitykselle rasitusta. Käynnistys tilanteessa on mahdollista, että eriste rikkoutuu ja tämä saattaa johtaa oikosulkuun. Harmoniset yliaallot aiheuttavat lisähäviöitä, joka johtaa muuntajan ylikuumenemiseen. (Looi ym., 2024, s. 12.)

### 5.2.2 Muuntajien elinkaarivertailu

Jakelumuuntajien elinkaarivertailun avulla voidaan havainnollistaa eri muuntajatyyppeiden elinkaaren pituus ja niiden elinaikaodotteen eroavaisuus. Etxegarai & ym. (2020, s. 2) mukaan laitevalmistajat tyypillisesti ilmoittavat, että kuivamuuntajan normaali elinkaari on 180 000 tuntia, joka vastaa hieman reilua 20 vuotta. Toisaalta Looi & ym. (2024, s. 2) toteavat, että kuivamuuntajan elinikä vaihtelee 20–40 vuoden välillä riippuen käyttösuunnittelusta ja muista tekijöistä.

Tyypillisesti öljymuuntajan suunniteltu käyttöikä optimaalisissa olosuhteissa on yli 40 vuotta (Mharakurwa, 2022, s. 2). Muuntajaa huoltaessa säännöllisesti esimerkiksi vaihtamalla ilmakeivainta, suodattamalla tai vaihtamalla muuntajan öljyt voidaan muuntajan käyttöikä pidentää lähes 40 vuoteen (Robertson, 2023).

Johtopäätöksenä muuntajien elinkaaria vertaillessa voidaan huomata, että öljymuuntajat tarjoavat keskimääräisesti pidemmän käyttöiän kuin

kuivamuuntajat. Toisaalta muuntajan valintaan vaikuttaa sen tuleva käyttöympäristö, joten pelkästään elinkaaren perusteella muuntajan valintaa ei pystytä tekemään.

### 5.3 Katkaisijat

Katkaisija on sähköjakelessa toimiva koje, jota käytetään virtapiirien avaamiseen ja sulkemiseen. Katkaisijat voivat toimia joko automaattisesti tai manuaalisesti. Katkaisijalle tyypillisin toiminta on avautua automaattisesti ylivirran aiheuttaman oikosulun tai maasulkuvirran seurauksena. Virtapiiriin kytketty rele antaa tällöin katkaisijalle avautumiskäskyn, jolloin katkaisija aukeaa. Katkaisija voidaan myös sulkea automaattisesti jälleenkytkentäreleistyksen käynnistämänä. (Elovaara & Laiho, 1988, s. 245.)

Katkaisijalle on normaalia, että se pystyy avaamaan ja sulkemaan oikosulkuun vaurioitumatta, vaikka virta ylittäisi moninkertaisesti katkaisijan nimellisvirran. Katkaisijaa verrattaessa kytkimeen, kytkimellä ei ole tätä ominaisuutta, vaan kytkin pystyy ainoastaan katkaisemaan oman nimellisvirtansa ja lisäksi kytkimet eivät tyypillisesti avaudu automaattisesti ylivirran vaikutuksesta. (Elovaara & Laiho, 1988, s. 245.)

Sähköjakelessa käytettäviä katkaisijatyyppejä on erilaisia ja katkaisijan katkaisukammiossa käytetyn väliaineen mukaan katkaisijat voidaan jakaa eri ryhmiin. Näitä ryhmiä ovat ilmakatkaisijat, öljykatkaisijat, vähäöljykatkaisijat, paineilmakatkaisijat, SF6-kaasukatkaisijat ja tyhjiökatkaisijat. (Elovaara & Laiho, 1988, s. 250.)

#### 5.3.1 Katkaisijan elinkaareen vaikuttavia tekijöitä

Opinnäytetyössä käsitellään katkaisijoiden osalta ainoastaan ilmakatkaisijoita. Opinnäytetyön laajuus rajataan ilmakatkaisijoihin, koska PTS-suunnitelma keskittyy ainoastaan käytössä oleviin ilmakatkaisijoihin.

Ilmakatkaisija on nykypäivänä vanhimpia käytössä olevia katkaisijoita. Ilmakatkaisijassa katkaisukärjet on suojattu tulenkestävällä ja eristävällä valokaarisuojuksella sekä katkaisijan katkaisukärjet ovat normaalipaineisessa ilmassa. Katkaisijan ollessa suljetussa tilassa virta kulkee pääkoskettimien kautta. Kun katkaisija avataan pääkoskettimet avautuvat ennen valokaarikoskettimia. Tämä mahdollistaa sen, että katkaisusta syntyvä valokaari syntyy valokaarikoskettimien päälle, jolloin pääkoskettimet eivät vaurioidu. (Elovaara & Haarla, 2011, s. 172.)

Ilmakatkaisija saattaa altistua pölylle tai kosteudelle, jotka ovat sen käytön kannalta merkittävimpiä rikkoutumiseen vaikuttavia tekijöitä. Pöly ja lika voivat päästä katkaisijan virtapiiriin, joka saattaa vaikuttaa katkaisijan toimintaan. Huolto-ohjelmassa mainitaan, että katkaisijan sammutuskammiossa oleva noki ja pöly tulisi poistaa paineilmalla, kuivalla harjalla tai kankaalla. Maadoituskoskettimen hapettuminen voidaan puhdistaa kankaalla ja sopivalla liuottimella, jonka jälkeen kiristetään maadoituskosketin ja voidellaan yleisrasvalla. Mikäli pää- tai valokaarikoskettimissa on kulumisen jälkiä, voidaan tasoittaa koskettimet hiomapaperilla. (ABB, 2004, s. 11.)

Ilmakatkaisijan kulumiseen vaikuttavia tekijöitä voi olla monia erilaisia. Katkaisijan kotelon rikkoutumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat pöly, kosteus, kohonnut lämpötila, erilaiset iskut ja suuret oikosulkuvirrat. Valokaarisuojuksen kuntoon vaikuttaa toistuvat kytkennät katkaisijan nimellisvirralla ja suuret oikosulkuvirrat. Katkaisijan latausmekanismin kulumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat pöly, iskut, kosteus, joka aiheuttaa ruostumista ja lisäksi pitkät käyttämättömyysjaksot. Liitäntöjen heikkenemiseen vaikuttaa erilaiset värinät, ylikuumeneminen, väärin tehty kiristysmomentti ja vaurioitunut aluslevy. (Schneider Electric, 2020, s. 16–19.)

### 5.3.2 Katkaisijoiden elinkaarivertailu

Schneiderin käyttöohjeessa mainitaan, että MasterPact ilmakatkaisijan elinkaariodote on 30 vuotta, mikäli laitteen toiminta tapahtuu normaaleissa

ympäristöolosuhteissa, joissa on normaali lämpötila ja jos ilmakatkaisijan huolto-ohjelmaa on noudatettu asianmukaisesti (Schneider Electric, 2020, s. 43).

Kuvasta 3 huomataan, että keskimääräinen ympäristön lämpötila vaikuttaa ilmakatkaisijan odotettuun käyttöikänsä. Mitä lämpimämmässä olosuhteissa katkaisijaa käytetään, sitä lyhyempi katkaisijan odotettu elinkaari on. Ilmakatkaisijan elinkaari voidaan maksimoida, mikäli noudatetaan katkaisijan suunniteltua huolto-ohjelmaa ja käytetään katkaisijaa normaaleissa olosuhteissa.

Keskimääräinen ympäristön lämpötila	Laitteen tyypillinen käyttöikä (elektroniset komponentit pois lukien)
25 °C (77 °F)	30 vuotta
35 °C (95 °F)	27 vuotta
45 °C (113 °F)	25 vuotta

Kuva 3. Schneider Electric Masterpact NT/NW katkaisijan elinkaari (Schneider Electric, 2020, s. 43)

## 6 ELINKAARENHALLINNAN TYÖKALU

Elinkaaren hallinnan työkalun luomiseen käytetään Excel-ohjelmistoa. Excel valittiin, sillä se on helppokäyttöinen ohjelmisto ja sitä käytetään laajasti eri tietojen käsittelyyn. Ohjelmisto tarjoaa monipuoliset työkalut tietojen esittämiseen, hallitsemiseen, järjestämiseen ja mahdollistaa matemaattisten laskelmien tekemisen. Exceliin rakennettua työkalua on helppo jakaa usean eri käyttäjän kesken, sillä ohjelmisto on laajasti käytössä.

### 6.1 Alkutietojen kerääminen

Elinkaaren hallinnan työkalun luominen aloitetaan alkutietojen keräämisellä, joka tarkoittaa sitä, että kaikki saatavilla oleva tieto kerätään talteen

dokumenteista, tietokannoista ja sähkölaitteiden omista arvokilvistä. Alkutiedot jaotellaan ohjelmaan komponenttikohtaisesti omille lehdilleen, jolloin kaikille sähköjakelun komponenteille on luotu oma välilehti. Tämä välilehti sisältää komponenttien tekniset tiedot, joita ovat esimerkiksi sijainti, positionumero, teho, jännite, virta, valmistaja, laitteen tyyppi, käyttöönottovuosi ja tekninen käyttöikä. Alkutietojen syöttämisen jälkeen ohjelmassa on kolme välilehteä, jotka on nimetty seuraavasti:

- Keskijännitekojeistojen tekninen tieto
- Muuntajien tekninen tieto
- Katkaisijoiden tekninen tieto

Teknisen tiedon välilehden tarkoituksena on esittää sähköjakelun komponentit selkeässä järjestyksessä hierarkian mukaisesti. Tämän välilehden avulla voidaan etsiä ja suodattaa helposti tietoa sähköjakelun komponenteista, kun kaikki saatavilla oleva tieto on kerätty yhteen paikkaan. Välilehti tarjoaa myös keskitetyn paikan, johon voidaan kerätä teknistä tietoa uusista komponenteista.

## 6.2 PTS-välilehti

Alkutietojen keräämisen jälkeen aloitetaan PTS-välilehden luominen. Sähköjakelun komponenteille luodaan omat PTS-välilehdet, joihin on tehty jokaiselle sähköjakelun komponentille oma PTS-suunnitelma. Välilehdet on nimetty seuraavasti:

- Keskijännitekojeistojen PTS
- Muuntajien PTS
- Katkaisijoiden PTS

Välilehtien luomisen jälkeen siirrytään kerätyn tiedon arviointiin. Tässä vaiheessa arvioidaan alkutietoa ja määritetään, mitä tietoja esitetään PTS-välilehdellä. PTS-välilehdellä ei tässä yhteydessä esitetä komponenttien laajoja teknisiä tietoja, sillä niille on luotu erilliset välilehdet.

Välilehdille tuodaan alkutiedoista komponenttien sijainti, positionumero, käyttöönottovuosi ja tekninen käyttöikä. Kun seuraavat tiedot on täytetty välilehdille, voidaan laskea komponenttien nykyinen ikä seuraavalla kaavalla:

$$\text{Nykyinen kalenterivuosi} - \text{Käyttöönottovuosi} = \text{Nykyinen ikä} \quad (2)$$

Kun komponentin nykyinen ikä on laskettu, voidaan laskea komponentin jäljellä oleva elinkaari seuraavalla kaavalla:

$$\text{Tekninen käyttöikä} - \text{Nykyinen ikä} = \text{Jäljellä oleva elinkaari} \quad (3)$$

Kun jäljellä oleva elinkaari on laskettu, voidaan laskea komponentin vaihtovuosi. Laskeminen tapahtuu seuraavalla kaavalla:

$$\text{Nykyinen kalenterivuosi} + \text{Jäljellä oleva elinkaari} = \text{Vaihtovuosi} \quad (4)$$

Seuraavaksi tarkastellaan matemaattisten laskukaavojen perusteella saatuja tuloksia ja pohditaan komponenttien mahdollista uusimisajankohtaa. Ideaalitalanteessa komponenttien vaihtovuodet eivät olisi päällekkäin, jotta kuluja voitaisiin jaksottaa useille vuosille. Komponenttien uusimisajankohtien määrittämisen jälkeen, voidaan selvittää kustannusarvio vastaaville komponenteille.

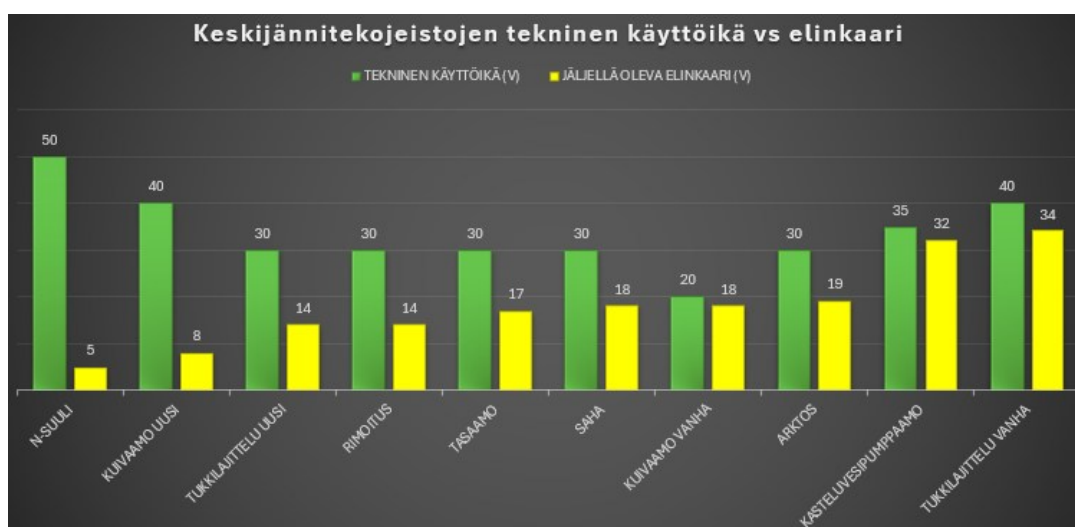
Yhteenvedona PTS-välilehdestä voidaan todeta, että välilehdeltä pystytään tarkastelemaan yksityiskohtaisesti, kuinka paljon komponentilla on vielä suunniteltua elinkaarta jäljellä ja minä vuonna komponentin suunniteltu vaihtovuosi on. Samalla voidaan tarkastella uuden komponentin kustannusarviota tuleville vuosille.

### 6.3 Komponenttien elinkaaren vertailu PTS-välilehdellä

PTS-välilehdellä voidaan tehdä erilaisia verrantoja nykyisille sähköjakelun komponenteille. Tärkeimpinä tietoina voidaan pitää kaavioita, joihin on tehty verranto teknisestä käyttöiästä ja jäljellä olevasta elinkaaresta. Kuvassa 4 on tehty verranto keskijännitekojeistojen teknisestä käyttöiästä, jota verrataan odotettuun elinkaareen.

Vihreä palkki esittää kaaviossa keskijännitekojeistojen teknistä käyttöikä ja keltainen palkki kuvaa keskijännitekojeistojen jäljellä olevaa elinkaarta. Verranto kaavioiden tarkoituksena on esittää visuaalisesti, kuinka paljon sahan alueen sähkönjakelun komponenteilla on vielä odotettua teknistä käyttöikä jäljellä. Visuaalisen esitystavan avulla voidaan havainnoida, mitkä sähkönjakelun komponentit ovat kriittisessä vaiheessa elinkaarensa nähden.

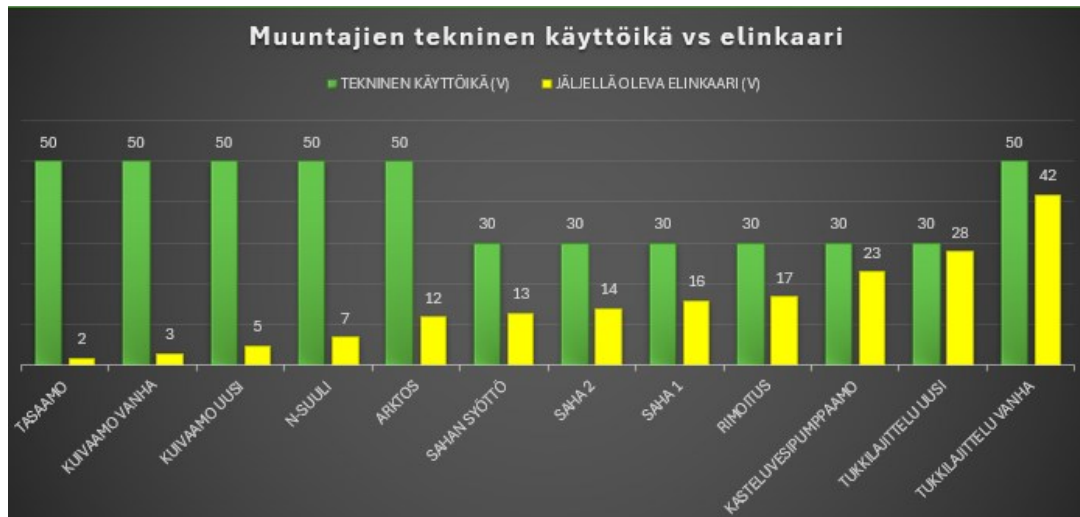
Kuvassa 4 esiintyvät keskijännitekojeistojen jäljellä olevat elinkaaret ovat suuntaa antavia ja antavat käsityksen komponenttien elinkaaren vaiheesta. Keskijännitekojeistojen tekninen käyttöikä on ilmoitettu laitevalmistajien manuaalien mukaisesti pylväskaaviossa. Kaavion perusteella huomataan, että tietyissä positioissa on yhä merkittävästi elinkaarta jäljellä, mutta tulevaisuudessa on tarpeen suunnitella tietyjen positioiden investointeja.



Kuva. 4 Keskijännitekojeistojen tekninen käyttöikä verrattuna jäljellä olevaan elinkaareen.

Kuvassa 5 on esitettyä muuntajien tekninen käyttöikä verrattuna jäljellä olevaan elinkaareen. Kaaviossa esitetty tekninen käyttöikä ja jäljellä oleva elinkaari ovat arvioita, jotka tarjoavat suuntaa antavaa tietoa. Muuntajien tekninen käyttöikä on arvioitu tässä kaaviossa muuntajille suoritettujen tarkastusten, huoltohistorian ja laitevalmistajien dokumenttien perusteella.

Kaavion vihreä palkki esittää muuntajien teknistä käyttöikä ja keltainen palkki kuvaa muuntajien jäljellä olevaa elinkaarta. Arviointeihin voi liittyä epävarmuutta, sillä käytössä olevien muuntajien todellinen odotettu elinkaari voi poiketa ennusteista. Vertailun lopputuloksena havaitaan, että muuntajien odotettua elinkaarta on vielä jäljellä, mutta tulevaisuudessa joidenkin muuntajien uusiminen on tarpeen.



Kuva. 5 Muuntajien tekninen käyttöikä verrattuna jäljellä olevaan elinkareen.

Kuvassa 6 on esitelty katkaisijoiden tekninen käyttöikä verrattuna jäljellä olevaan elinkaareen. Kaaviossa esiintyvä tekninen käyttöikä on arvioitu laitevalmistajien dokumenttien perusteella, jossa laitevalmistajat ovat ilmoittaneet tyypillisen käyttöiän katkaisijoille. Jäljellä oleva elinkaari on suuntaa antava.

Kaavion vihreä palkki kuvaa katkaisijoiden teknistä käyttöikä ja keltainen palkki esittelee katkaisijoiden jäljellä olevan elinkaaren. Katkaisijoille luodun verrannon perusteella huomataan, että joidenkin katkaisijoiden uusiminen on tarpeen tulevaisuudessa.



Kuva. 6 Katkaisijoiden tekninen käyttöikä verrattuna jäljellä olevaan elinkaareen.

Teknisen käyttöiän vertailu jäljellä olevaan elinkaareen antaa käsityksen, milloin jokin komponentti tulisi uusida. Verrannon avulla voidaan selvittää, missä vaiheessa sähköjakelun komponentit ovat odotetussa elinkaaren vaiheessaan. Tämän vertailun perusteella voidaan selvittää kriittisimmät kohdat nykyisessä sähköjakelussa ja havaita ajoissa investointien tarpeet. Valmiiksi luotu vertailu tukee strategista päätöksentekoa ja edistää elinkaaren hallinnan tarkastelua sekä parantaa nykyisen sähkölaitteiston toimintavarmuutta.

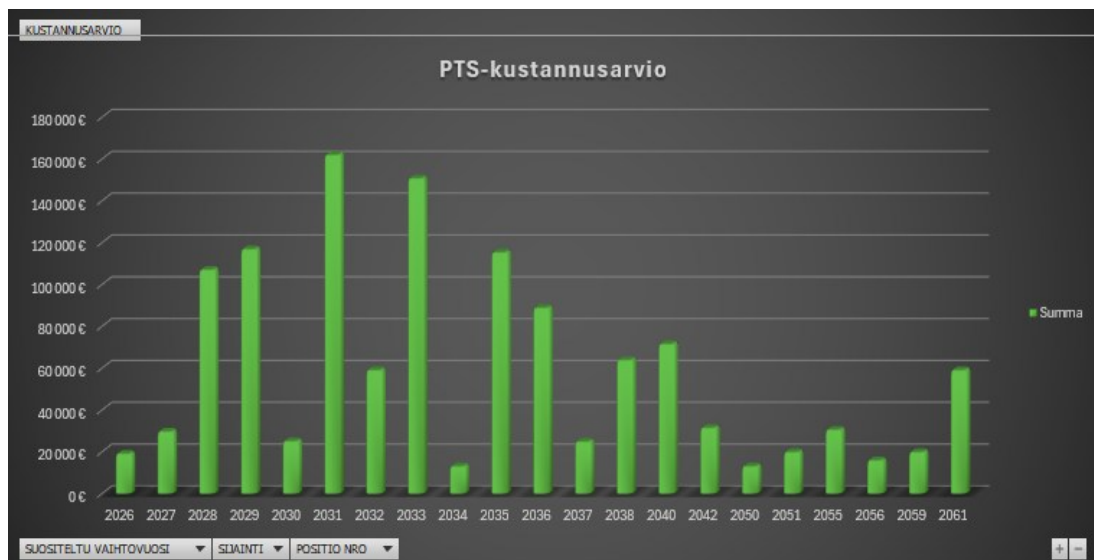
#### 6.4 Yhteenveto välilehden ja PTS-kustannusarvion luominen

Yhteenveto välilehden luomisessa yhdistetään kaikkien komponenttien PTS-välilehdet yhdeksi kokonaisuudeksi, joka nimetään Sähköjakelu PTS-nimellä. Yhteenveto välilehdeltä voidaan tarkastella koko sähköjakelun kokonaiskuvaa ja tulevia kustannuksia vuosittain, aina vuoteen 2061 saakka. Yhteenveto välilehden tarkoituksena on toimia alkutietojen lähteenä PTS-kustannusarvio välilehdelle.

Yhteenveto-välilehdelle jaksotetaan tulevien vuosien kustannuksia niin, että ideaalitalanne olisi mahdollista saavuttaa. Ideaalitalanne syntyy, kun komponenttien vaihtovuodet on jaksotettu tulevaisuuteen mahdollisimman tasaisesti.

PTS-kustannusarvio välilehti toimii koko PTS-suunnitelman lopputuotoksena. PTS-kustannusarvio mahdollistaa ennakoivan investointisuunnittelun ja sen avulla voidaan pitää tulevaisuuden investoinnit hallinnassa. PTS-kustannusarvio välilehden toteutus on luotu niin, että sähköjakelun PTS-välilehteä päivitettäessä pystytään tuomaan ajantasaiset tiedot helposti yhden painikkeen avulla kustannusarvio välilehdelle.

PTS-kustannusarvio välilehti luodaan Pivot-taulukon avulla sähköjakelun PTS-välilehdeltä ja sen tarkoituksena on esittää koko sähköjakelun investoinnit aina vuoteen 2061 saakka. Pivot-taulukon avulla luotu kustannusarvio välilehti laskee yhteen investoinnit ja esittää kokonaiskustannuksen sähköjakelun tulevaisuuden investoinneille. Kustannusarvio välilehden avulla pystytään suodattamaan jokaisen vuoden tehtävät investoinnit positioittain. Kuvassa 7 esiintyy arvioidut kustannukset sähköjakelulle ja esiintyvät kustannusarviot ovat eri lähteistä hankittuja suuntaa antavia listahintoja.



Kuva 7. Muokattuna Excel-työkalusta

## 6.5 Elinkaarenhallinnan työkalun yhteenveto

Sähköjakelun elinkaarenhallintaa ja toimintavarmuutta voidaan parantaa elinkaarenhallinnan työkaluun luodulla PTS-suunnitelmalla, sillä PTS-suunnitelma antaa käsityksen nykyisen sähköverkon koko elinkaaren vaiheesta. Suunnitelmassa käsiteltiin erikseen jokainen komponentti ja suunnitelmassa on

saatavilla jokaisen komponentin yksityiskohtaiset tiedot ja niiden pohjalta laadittu yksityiskohtainen PTS-suunnitelma jokaiselle sähköjakelun komponentille. Elinkaarenhallinnan työkalun merkitys sähköjakelun kannalta on mittava, sillä sen tarjoama tieto on luotu mahdollisimman kattavaksi ja se tarjoaa pitkän aikavälin näkemyksen sähköverkon kehittämiseen.

Elinkaarenhallinnan työkalun luomisessa tärkeimpänä lähtökohtana on tutkitavan alueen rajaaminen, jotta saadaan suunnitelma alusta alkaen johdonmukaiseksi. Työkalun luomisen perustana on selvittää sähköjakelun komponenttien tarkat yksityiskohtaiset tiedot, jotta suunnitelma olisi mahdollisimman luotettavalta pohjalta luotu. Alkutietojen kerääminen vanhemmista komponenteista voi olla haasteellista digitalisaation takia, mutta komponenttien lähivuosien huoltohistoriasta on saatavilla arvokkaita tietoja, joita voidaan hyödyntää suunnitelmassa.

Elinkaarenhallinnan työkalua luodessa on kannattavaa syöttää kaikki saatavilla oleva tekninen tieto arvokilvistä ja dokumenteista teknisen tiedon välilehdille. Teknisten tietojen keskittäminen yhteen paikkaan helpottaa ja tehostaa tiedon hakua. Kattavasti tehty teknisen tiedon välilehti tarjoaa kaiken saatavilla olevan tiedon PTS-suunnitelman laatimiseen lukuun ottamatta kustannusarvioita uusista komponenteista, sillä kustannusarviot tulee tiedustella teknisen tiedon välilehden tarjoamilla tiedoilla laitevalmistajilta. Kustannusarvioiden esittäminen PTS-välilehdellä tarjoaa arvion uuden komponentin investointihinnasta. Tulevaisuuden komponenttien kustannusarviot voivat muuttua, koska raaka-aineiden hinnan muutokset vaikuttavat suoraan komponenttien hintoihin.

Excel-pohjaisen PTS-suunnitelman lopputuloksena on saatu selkeä käsitys nykyisestä sähköjakelusta. Suunnitelmasta ilmenee missä vaiheessa elinkaarta komponentit ovat. Valmiin PTS-suunnitelman tuloksien avulla voidaan huomioida, että osa sähköjakelun komponenteista pitää uusia lähivuosina. Valmiin suunnitelman avulla voidaan tiedustella etukäteen valmistajalta komponenttien saatavuutta. Valmis PTS-suunnitelma esittää myös koko

sähkönjakeluun tehtävien investointien kustannukset tulevaisuuteen, jonka avulla voidaan varautua tulevaisuuden tarpeisiin.

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä laadittiin UPM Seikun sahalle sähkönjakelun pitkän tähtäimen suunnitelma. Suunnitelma laadittiin, koska sähkönjakeluverkon komponentit ovat ikääntymässä ja niiden nykyisen elinkaariselvityksen avulla pystyttiin tekemään pitkän tähtäimen suunnitelma koko sahan alueen sähkönjakelulle.

Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi kattava tietopaketti koko sähkönjakelusta, johon on kerätty kaikki saatavilla oleva tieto. Näiden tietojen pohjalta luotiin PTS-suunnitelma, joka tukee sähkönjakelun toimintavarmuutta ja elinkaarenhallintaa. PTS-suunnitelma tarjoaa näkemyksen sähkönjakeluverkon pitkän aikavälin kehittämiseen ja tukee päätöksentekoa sekä investointien kannattavuutta.

Opinnäytetyön eettisyys lähtökohdat toteutuivat, sillä työn tekemisessä on noudatettu opinnäytetyösopimusta ja salassa pidettävä aineisto on rajattu työn ulkopuolelle. Opinnäytetyön sisältöä on tarkasteltu säännöllisesti toimeksiantajan kanssa läpi, jolloin opinnäytetyön sisältö on varmistettu. Opinnäytetyössä käytettyihin lähteisiin viitattiin asianmukaisesti ja pääosin kaikki lähteet ovat julkisesti saatavilla.

Opinnäytetyön suunnitteluvaiheessa määritettiin kaksi tutkimuskysymystä, joihin vastataan tällä opinnäytetyöllä. Tutkimuskysymysten tarkoitus olisi ohjata tätä opinnäytetyöprojektia johdonmukaisesti eteenpäin.

Opinnäytetyön yhteenvedossa totean, että tutkimuskysymyksiin on saatu vastaus opinnäytetyön avulla. Sähkönjakelun PTS-suunnitelmaa laadittaessa

tärkeimpiä vaiheita projektin aloittamiseen on tutkittavan alueen rajaaminen. Tutkittavan alueen rajaaminen tulee tehdä mahdollisimman tarkasti, jotta voidaan tarkastella vain niitä tiettyjä komponentteja, jota PTS-suunnitelmassa on tarkoitus käsitellä. Alueen rajaamisen avulla voidaan kohdentaa komponenttien tarkastelu yksityiskohtaisemmaksi ja näin pitää projektin eteneminen johdonmukaisena.

PTS-suunnitelman laatiminen sisältää myös muita tärkeitä vaiheita, joista alkutietojen selvittäminen on avainasemassa. Alkutietojen selvittämisessä saattaa ilmetä haasteita, sillä sähköjakelukomponenttien keskimääräinen elinkaari on pitkä. Tämä aiheuttaa sen, että vanhimpien sähköjakelun komponenttien teknisiä tietoja tai täsmällistä huoltohistoriaa saattaa olla vaikea selvittää. Digitalisaation vaikutuksesta osa vanhempien komponenttien elinkaarihistoriasta saattaa olla kadonnut vuosien varrella, joka aiheuttaa sen, että huoltohistoriaa tutkittaessa tulee katkoksia.

Yleisesti alkutietojen tuominen PTS-suunnitelmaan tulee tehdä mahdollisimman tarkasti ja kriittisesti, jotta PTS-suunnitelma olisi luotu luotettavalle pohjalle. Kattavien alkutietojen lisääminen PTS-suunnitelmaan antaa valmiuden käyttäjälleen nähdä milloin komponentti on otettu käyttöön, mikä on komponentin huoltohistoria, mikä on komponentin nykyinen ikä ja mikä on komponentin tekninen ikä. Näiden tietojen avulla voidaan selvittää komponentin jäljellä oleva elinkaari, mahdollinen uusimisajankohta ja kustannusarvio.

Sähköjakeluverkon nykytilan tietäminen on tärkeässä asemassa, sillä kun tiedetään sähköjakeluverkon nykytila, niin voidaan välttyä kiireisiltä korjauksilta. Sähköjakeluverkon nykytilan tuntemus lisää tyypillisesti toimintavarmuutta ja sen avulla voidaan havaita sähköjakeluverkossa piileviä riskitekijöitä. Huolellisesti laaditun PTS-suunnitelman avulla voidaan ennakoida sähköjakeluverkon ikääntymistä ja tarvittaessa tehdä parannustoimenpiteitä ajoissa, jotta sähköjakeluverkon luotettavuus säilyisi. Sähköjakeluverkkoon tehtävien investointien suunnitteleminen voidaan aloittaa ajoissa, kun tiedetään mikä komponentti on tulossa elinkaarensa päähän.

## 8 POHDINTA

Opinnäytetyön tekeminen on antanut arvokkaan mahdollisuuden syventyä sähköjakeluun ja PTS-suunnitteluun. Opinnäytetyötä aloittaessa PTS-suunnitelman laatiminen oli vielä vieras käsite, mutta opinnäytetyön myötä pääsin syventämään osaamistani tällä osa-alueella. Projektisuunnitelman mukainen ajatukseni opinnäytetyön etenemisestä muuttui opinnäytetyön aikana. Tämä johtuu siitä, että aiheeseen syventyminen antoi paljon uusia näkökulmia projektin läpiviemiseksi ja samalla tarkastelin säännöllisesti erilaisia näkökulmia siihen, kuinka olisin voinut parantaa opinnäytetyötäni.

Opinnäytetyön laatimisessa ilmeni myös erilaisia haasteita, joista haastavimpana voidaan pitää sähköjakelun komponenttien alkutietojen selvittämistä. Alkutietojen selvittämiseen kului reilusti aikaa, sillä kaikkia tietoja ei ollut helposti saatavilla. Laittevalmistajien avustuksella saatiin täsmälliset tiedot komponenteista selvitettyä ja kyseiset tiedot pystytiin tuoman alkuperäisessä muodossa opinnäytetyöhön. Lisäksi sähköjakelun pitkän tähtäimen suunnitelman laatimisesta oli niukasti tietoa saatavilla.

Alkutietojen selvittämisen jälkeen visio opinnäytetyön läpiviemisestä selkeni ja opinnäytetyö eteni suunnitelmallisesti eteenpäin. Jatkokehityksen kannalta PTS-suunnitelmaa tulisi tarkastella säännöllisesti ja päivitetään sitä mukaan, kun uusia sähköjakelun komponentteja otetaan käyttöön. PTS-suunnitelman tarkastelua tulisi tehdä vuosittain. Valmiiksi luotua PTS-suunnitelmaa voidaan käyttää tulevaisuudessa pohjana, jos PTS-suunnittelun aihealueen rajausta lähdetään syventämään. Lisäksi sähköjakeluun laadittu PTS-suunnitelma tukee tulevaisuudessa tehtävää sähkölaitteiston kymmenvuotistarkastusta. Opinnäytetyön lopputulokseen olen erittäin tyytyväinen, sillä opinnäytetyön myötä on pystytty laatimaan Seikun sahan sähköjakelulle PTS-suunnitelma, jonka ansiosta sähköjakelun elinkaarikartoitus on tehty valmiiksi tulevaisuutta varten. Opinnäytetyön tekeminen on ollut mielekäs matka, joka antaa arvokasta osaamista tulevaisuuden haasteisiin.

## LÄHTEET

ABB. (2004). Pienjännitekatkaisijat SACE Emax Käyttö- ja huolto-ohje. <https://library.e.abb.com/public/be20a5bdb09a4af6c2256d09003e38a3/1SCC200001M1801.pdf>

ABB. (2004). Uniswitch Keskijännitekojeisto 12, 17,5 ja 24 kV 630 ja 1250 A. <https://library.e.abb.com/public/0c8cf4b3a630586fc12573d2004b1e1d/UNIS5FI%200801.pdf>

ABB. (2018). SafeRing/SafePlus 12-24kV Gas-insulated ring main unit SafeRing and Compact switchgear SafePlus. [https://library.e.abb.com/public/bb38f74c9b404b4b89745cde2a4b0dba/1VDD006104\\_Catalogue\\_SR-SP\\_12-24kV\\_EN\\_07-2022.pdf](https://library.e.abb.com/public/bb38f74c9b404b4b89745cde2a4b0dba/1VDD006104_Catalogue_SR-SP_12-24kV_EN_07-2022.pdf)

ABB. (n.d). SF6-free switchgear | Medium Voltage Product - Switchgear | Medium Voltage Product |ABB | Switchgear | ABB. Haettu 17.4.2025 osoitteesta <https://new.abb.com/medium-voltage/switchgear/sf6free>

Alsumaidae, Y. A. M., Yaw, C. T., Koh, S. P., Tiong, S. K., Chen, C. P & Ali, K. (2022). Review of Medium-Voltage Switchgear Fault Detection in a Condition-Based Monitoring System by Using Deep Learning. <https://doi.org/10.3390/EN15186762>

Aura, L. & Tonteri, A. J. (1996). Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet.

Docue Technologies Oy. (2024). Haettu 28.1.2025 osoitteesta <https://docue.com/fi-fi/lakitieto/yritysten-sulautuminen>

Elovaara, J. & Laiho, Y. (1988). Sähkölaitostekniikan perusteet.

Elovaara, J. & Haarla, L. (2011). Sähköverkot II.

Etxegarai, A., Valverde, V., Eguia, P. & Perea, E. (2020). Study of Useful Life of Dry-Type WTSU Transformers. <https://doi.org/10.24084/REPQJ18.414>

Gaur, A. S., Das, P., Jain, A., Bhakar, R. & Mathur, J. (2019). Long-term energy system planning considering short-term operational constraints. <https://doi.org/10.1016/J.ESR.2019.100383>

Genutis, D. (2010). Top Five Causes of Switchgear Failure. Haettu 18.4.2025 osoitteesta [https://www.scribd.com/document/192457954/Top-Five-Causes-of-Switchgear-Failure?doc\\_id=192457954&download=true&order=664331391](https://www.scribd.com/document/192457954/Top-Five-Causes-of-Switchgear-Failure?doc_id=192457954&download=true&order=664331391)

Kauppila, J., Tiainen, E., Ylinen, T. & Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry (2009). Sähköasennukset. 3.

Lakervi, E & Partanen, J. (2008). Sähkönjakelutekniikka.

Looi, M. S., Kok, B. C. & Eh Kan, C. U. (2024). A Practical Approach to the Failure Analysis of Dry-Type Transformer. <https://doi.org/10.2139/SSRN.4767123>

Mharakurwa, E. T. (2022). In-Service Power Transformer Lifetime Prospects: Review and Prospects. <https://doi.org/10.1155/2022/9519032>

Pori Energia. (2017). Haettu 28.1.2025 osoitteesta <https://www.porienergia.fi/Tieto/Ajankohtaista/Uutiset/2017/Pori-Energian-ja-UPM-Seikun-sahan-energiayhteistyö-sai-jatkoa>

Pulluri, J. (2024). Long-Term Planning: How It Unveils Success? Haettu 14.3.2025 osoitteesta <https://www.timechamp.io/blogs/how-long-term-planning-unveils-success/>

Ritvanen, A. (2022). 150 vuotta sahausta seikussa. Haettu 28.1.2025 osoitteesta <https://www.upm.com/fi/artikkelit/timber/22/150-vuotta-sahausta-seikussa/>

Robertson, G. (10.7.2023). What is the life expectancy of a transformer? 20, 30, or 40+ years? | Bowers Electrical Ltd. Haettu 16.4.2025 osoitteesta <https://www.bowarselec.co.uk/insights/life-expectancy-of-a-transformer/>

RT 18-10922. (2008). RT 18-10922 Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot.

Salonen Katri. (2013). Näkökulmia tutkimukselliseen ja toiminnalliseen opinnäytetyöhön: opas opiskelijoille, opettajille ja TKI-henkilöstölle. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-216-373-8>

Schneider Electric. (2020). MasterPact TM NT/NW IEC Circuit Breakers and Switch-Disconnectors Maintenance Guide. <https://www.productinfo.schneider-electric.com/ntnwmaintenanceguide/lvped508016-nt-nw-maintenance-guide/English/LVPED508016EN%E2%80%939303.pdf>

Schneider Electric. (7.2023). RM6 NE IQI indoor gas-insulated switchgear up to 24kV | Schneider Electric. Haettu 18.4.2025 osoitteesta <https://www.se.com/in/en/download/document/ENVEOL1511011EN/>

Schneider Electric. (10.2024). SM AirSeT Installation and Commissioning Guide for Basic and Advance Cubicles | Schneider Electric. Haettu 18.4.2025 osoitteesta <https://www.se.com/fi/fi/download/document/NNZ1587001/>

SFS-EN ISO 14040:2006 + A1:2020. (2021). SFS-EN ISO 14040:2006 + A1:2020 Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet.

SIEMENS. (2022). MEDIUM-VOLTAGE SWITCHGEAR Switchgear Type 8DJH for Secondary Distribution Systems up to 24 kV, Gas-Insulated. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:60f3dbd7588876438a66d3503921eedeadc95ad2/8djhcompact-en-cataloge.pdf>

SIEMENS. (2023). MEDIUM-VOLTAGE SWITCHGEAR Type NXAIR up to 17.5 kV, up to 40 kA, Air-Insulated. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:14493ba2-f30a-4bf4-a8fe-c5e38c2c8f83/ha-25-73-en.pdf>

Suomen ympäristökeskus. (2025). Siirtymä kohti SF6-vapaita sähköisiä kytkinlaitteistoja alkaa vuonna 2026. Haettu 17.4.2025 osoitteesta <https://www.syke.fi/fi/tietoa-meista/uutiset/siirtyma-kohti-sf6-vapaita-sahkoisia-kytkinlaitteistoja-alkaa-vuonna-2026>

Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. Haettu 10.3.2025 osoitteesta [https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2016/1135#OT2\\_OT16](https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2016/1135#OT2_OT16)

Tofferi, T. (2020). PTS eli pitkän tähtäimen suunnitelma: kaikki mitä siitä tulisi tietää. Haettu 5.3.2025 osoitteesta <https://capri.fi/pts-eli-pitkan-tahtaimen-suunnitelma-tietopaketti/>

UPM. (2023). [www.upm.fi](http://www.upm.fi)

UPM, n.d.a. Haettu 22.1.2025 osoitteesta <https://www.upm.com/fi/tietoa-meista/yhtion-historia/>

UPM Seikun saha. (n.d). Haettu 28.1.2025 osoitteesta <https://www.upmtimber.com/fi/tietoa-meista/tuotantolaitokset/upm-seikun-saha/>