

Esa Alapuranen

**MUUNTAJAN ÄLYKÄS KUNNONVALVONTA**

# MUUNTAJAN ÄLYKÄS KUNNONVALVONTA

Esa Alapuranen  
Opinnäytetyö  
Syksy 2021  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikka, Sähkötekniikka

---

Tekijä: Esa Alapuranen

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Muuntajan älykäs kunnonvalvonta

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Smart Maintenance of Distribution Transformer

Työn ohjaaja: Heikki Kurki

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2021

Sivumäärä: 50 + 4 liitettä

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua Oulun ammattikorkeakoulun hybridilaboratorion jakelumuuntajan älykkääseen kunnossapitoon ja sen toteutukseen. Tavoitteena oli tutkia, miten älykästä kunnossapitoa voidaan hyödyntää hybridilaboratorion valuhartsieristeisen kuivamuuntajan kunnossapidossa ja mitä hyötyjä sillä voidaan saavuttaa. Lisäksi kartoitettiin muuntajan mukana toimitettuja valvontalaitteita ja niiden liittämistä osaksi älykästä kunnonvalvontaa.

Työn toteutuksessa tutustuttiin sähköalan kirjallisuuteen, lakeihin ja valmistajan dokumentaatioon. Lisäksi perehdyttiin käytössä olevan laitteistoon mahdollisuuksien mukaan. Työ oli tarkoitus tehdä ennen muuntajan varsinaista käyttöönottoa, mutta aikataulullisten haasteiden myötä työn aloitus viivästyi.

Opinnäytetyön tuloksena laadittiin hybridilaboratorion kuivamuuntajalle huolto-ohje ja tarkastusten ylös kirjaamiseen pöytäkirjapohja. Lisäksi tutkimustyön pohjalta voidaan todeta, että muuntajalla on paljon potentiaalia hyödyntää älykästä kunnonvalvontaa.

---

Asiasanat: Jakelumuuntaja, kunnossapito, älykäs kunnonvalvonta, muuntaja

# ABSTRACT

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

---

Author: Esa Alapuranen  
Title of thesis: Smart Maintenance of Distribution Transformer  
Supervisor: Heikki Kurki  
Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2021  
Pages: 50 + 4 appendices

---

The purpose of this thesis was to get acquainted with smart maintenance of a dry transformer, which has been connected to Hybrid Laboratory in Oulu University of Applied Sciences at Linnanmaa Campus area. The goal was to study how smart maintenance could be utilized with the dry transformer at hybrid laboratory and what benefits could be achieved. The study focused on safety equipment of distribution transformer. The safety equipment was delivered with the transformer by the manufacturer. In addition, the purpose of this thesis was to research the possibility to connect the safety equipment to the smart maintenance system. This thesis was done in collaboration with Oulu University of Applied Sciences.

Research started by examining the following documentation: literature of electric engineering, local laws and manufacturer's documentation. In addition, the equipment was observed when appropriate. This thesis was planned to be completed before the dry distribution transformer was commissioned, but due to time difficulties the starting of thesis was delayed.

As a result of this thesis a maintenance guide and a log sheet template were drafted. In addition, after the research was completed the conclusion was that the hybrid laboratory dry transformer has a lot of unused potential with smart maintenance.

---

Keywords: Transformer, maintenance, distribution transformer, smart maintenance

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 MUUNTAJAN RAKENNE JA TOIMINTAPERIAATE	6
2.1 Toiminta	6
2.2 Yksivaihemuuntaja	7
2.3 Kolmivaihemuuntaja	8
2.4 Jakelumuuntajat	10
2.4.1 Paisuntasäiliöllinen öljyeristeteinen jakelumuuntaja	11
2.4.2 Hermeettinen jakelumuuntaja	12
2.4.3 Valuhartsieristeteinen jakelumuuntaja	13
3 JAKELUMUUNTAJIEN TYPILLISET VIAT JA NIIDEN VAIKUTUKSET	16
3.1 Vikatilanteet	16
3.2 Muuntajaöljy	17
3.3 Kiskosto	18
4 MUUNTAJAN SUOJAUS JA SUOJALAITTEET	20
4.1 Mittamuuntajat	20
4.2 Suojareleet	21
4.3 Muuntajan valvonta- ja turvalaitteet	23
4.3.1 Muuntajaöljyn mittauksiin perustuvat suojausmenetelmät	23
4.3.2 Kaasurele	23
4.3.3 Öljyn lämpömittari	25
4.3.4 Öljynkorkeuden osoitin	26
4.3.5 Ilmakuivain	27
4.3.6 Ylipaineventtiili	28
4.4 Tehomuuntajan suojaus	29
5 MUUNTAJAN HUOLTO JA KUNNOSSAPITO	30
5.1 Kunnossapidon merkitys ja tavoitteet	30
5.2 Sähköturvallisuuslakiin perustuvat määräaikaistarkastukset	31
5.3 Kunnossapito- ja huolto-ohjelman mukainen kunnonvalvonta	32
5.3.1 Määrävälein tehtävät tarkastukset	32

5.3.2 Lämpökuvaus	34
5.3.3 Osittaispurkaus- ja eristysvastusmittaus	35
5.3.4 Muuntajaöljyn analysointi	35
5.4 Jännitteettömänä tehtävät huoltotoimenpiteet	36
5.5 Älykäs kunnonvalvonta	37
5.5.1 Kunnonvalvontamenetelmät	38
5.5.2 Langattomat sensorit ja niiden asennus	40
5.5.3 Mittauspisteet	41
6 LABORATORION KUIVAMUUNTAJAN KUNNOSSAPITOSUUNNITELMA	43
6.1 Hybridilaboratorion muuntaja	43
6.2 Laboratorion muuntajan suojaus ja kunnonvalvonta	46
6.3 Laitevalmistajan kunnossapito-ohjeistus	48
6.4 Muuntajan huolto- ja kunnossapitosuunnitelma	48
7 YHTEENVETO	50
LÄHTEET	51
LIITTEET	54

# 1 JOHDANTO

Teknologian kehittyessä myös sähkönjakeluun liittyvät suojausmenetelmät ovat kehittyneet nopeasti. Releistyksen ja älykkään kunnonvalvonnan yleistyessä sähkönjakelun toimintavarmuus paranee ja kustannukset vähenevät. Tämä näkyy asiakkaille sähköverkon varmempana toimintana sekä käyttökatkojen vähentämisenä.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia muuntajien perusrakennetta, muuntajissa ilmaantuvia vikoja, vikojen ennaltaehkäisyä, perinteisen ja älykkään kunnonvalvonnan eroja sekä pohtia älykkään kunnossapidon mahdollisuuksia Oulun ammattikorkeakoulun hybridilaboratoriossa sijaitsevalle GBE:n kuivamuuntajalle. Tämä opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Oulun ammattikorkeakoulun hybridilaboratorion kanssa. Lisäksi tutustuttiin lainsäädännön, määräaikaistarkastusten ja yleisen kunnonvalvonnan vaatimuksiin.

## 2 MUUNTAJAN RAKENNE JA TOIMINTAPERIAATE

Tässä luvussa käsitellään muuntajan peruseriaatteiden mukainen toiminta. Lisäksi vertaillaan yksi- ja kolmivaiheisen muuntajan eroja sekä esitellään erityyppisiä jakelumuuntajia.

### 2.1 Toiminta

Muuntaja on sähkökoje, jonka tehtävänä on muuttaa jännitetasoa pienempään tai suurempaan arvoon. Muuntajat toimivat vain vaihtosähköllä, sillä ainoastaan magneettikentän muutos indusoi johtimeen sähkövirran. Tämä oli merkittävin asia vaihtosähkön yleistymisessä. Suuremmalla jännitteellä sähköverkon häviöt pienenevät ja tehoa on kustannustehokkaampaa siirtää pitkiäkin matkoja. Muuntajassa ei ole liikkuvia osia ja se on rakenteeltaan verrattain yksinkertainen (kuva 1). (1, s. 9–11.)

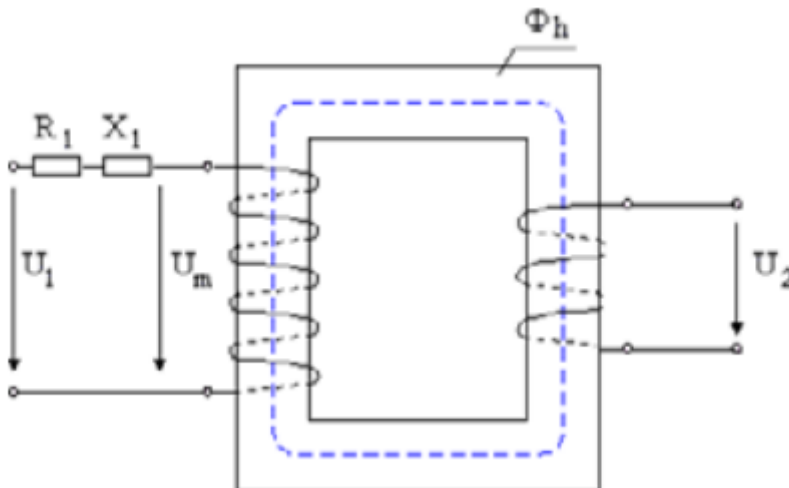


*KUVA 1. Tyypillinen pylväsmuuntaja (2).*



## 2.2 Yksivaihemuuntaja

Muuntaja rakentuu yhteisen rautasydämen ympärille kääryistä, yleensä kuparista tai alumiinista valmistetuista johtimista. Rautasydämen ympärille käärittyjä johtimia kutsutaan käämitykseksi (kuva 2).



KUVA 2. Periaatekuva yksivaihemuuntajan rautasydämen rakenteesta (3).

Rautasydämen ympärillä olevia käämityksiä voidaan tarkastella ensiö- ja toisiökääminä. Ensiökäämissä kulkeva virta synnyttää käämiin magneettikentän, joka magnetoi rautasydämen. Rautasydämen magneettikenttä saa toisiökäämityksessä aikaan sähkövirran. Muuntajaan tuleva ja siitä lähtevä jännite muuttuu ensiö- ja toisiökäämien kierroslukujen suhteen (kaava 1) mukaisesti, jossa  $N$  on rautasydämen ympärillä olevan käämityksen kierrosten lukumäärä ja  $U$  jännite. Lisäksi kaavassa 1  $N_1$  on ensiö- ja  $N_2$  toisiopuoli (4).

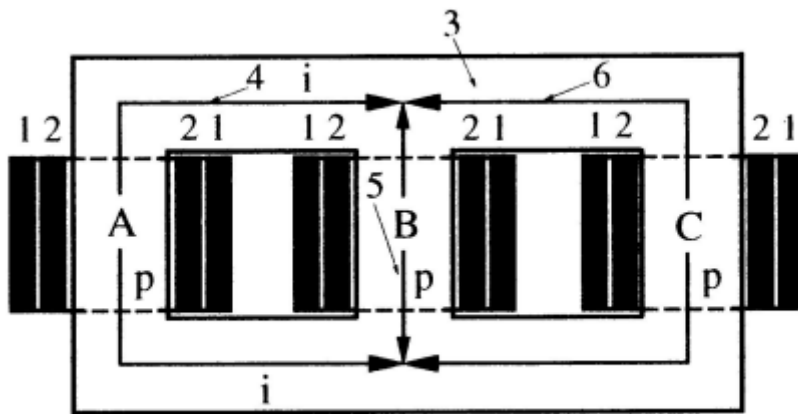
$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2}$$

KAAVA 1

## 2.3 Kolmivaihemuuntaja

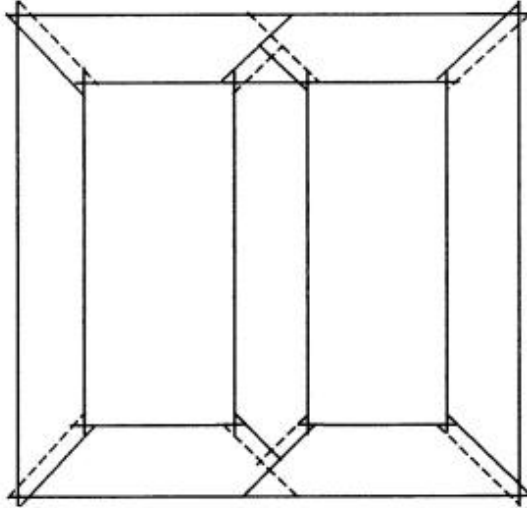
Sähkönsiirron tarkoituksena on siirtää sähkövoimalaitoksella tuotettua sähköenergiaa kuluttajalle. Sähköenergian siirtäminen toteutetaan symmetrisellä kolmivaihejärjestelmällä, jossa tärkeinä komponentteina ovat kolmivaiheiset tehoeli voimamuuntajat.

Kolmivaiheinen muuntaja saadaan kytkemällä esimerkiksi kolme yksivaihemuuntajaa tähtikytkentään. Näin edellä mainittujen muuntajien ensiö- ja toisiokäämit ovat sähköisesti kytkettynä yhteen. Magneettivuo kulkee omassa erillisessä rautasydämessä, muuntajat eivät ole magneettisesti toisiinsa yhteydessä. Jokainen yksivaihemuuntaja toimii siis itsenäään, kuten aikaisemmin on esitetty luvussa 2.2. Näin kolmesta yksivaihemuuntajasta muodostuu kolmivaihemuuntaja. Vaihekäämitys muodostuu ylä- ja alajännitepuolen käämityksistä. Muuntajakäämitys muodostuu kaikista muuntajan käämeistä. Magneettiipiiri ja muuntajakäämitys ovat käytännön kolmivaihemuuntajan aktiiviset osat kuvan 3 mukaisesti (1, s. 47.)



KUVA 3. Kolmivaihemuuntajan aktiiviset osat: 1 ylä- ja 2 alajännitekäämit vaiheissa. A, B ja C on rautasydän. 4,5 ja 6 on eri vaiheiden magneettiirit. (1, s. 48.)

Muuntajalevyistä tehty rautasydän muodostaa magneettiirin. Magneettiirin osat ovat ylä- ja alaios (i) ja pylväät (p). Muuntajalevyistä valmistetun rautasydämen pinnalla on ohut eristekerros pyörrevirtojen kulun ehkäisemiseksi. Tehohäviöiden minimoimiseksi ikeen ja pylvään välinen sauma on 45 astetta (kuva 4), jotta muuntajalevyissä magneettivuo saadaan kulkemaan parhaiten. (1, s. 48.)



*KUVA 4. Kolmivaihemuuntajan rautasydän (1, s. 49).*

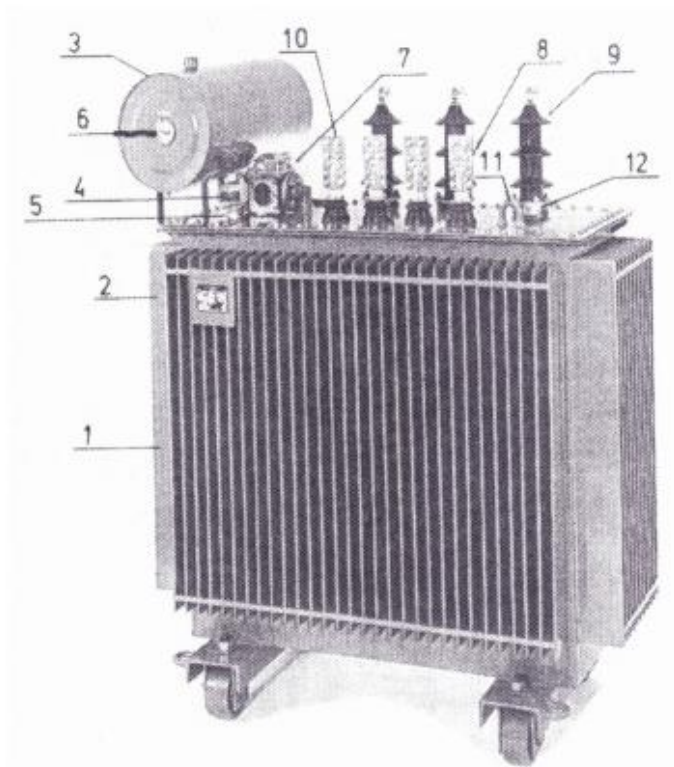
## **2.4 Jakelumuuntajat**

Teho- eli voimamuuntajat voidaan jakaa kahteen eri ryhmään niiden tehon ja jännitteen mukaan. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat jakelu- eli pientehomuuntajat. Pientehomuuntajissa ensiöpuolen jännite on enimmillään 20 000 V ja alajännitepuoli 400 V, lisäksi maksimiteho on 3150 kVA. Edellä mainittujen arvojen ylittyessä on kyseessä suurtehomuuntaja. (1, s. 79.)

Jakelumuuntajat voidaan jaotella rakenteensa perusteella kolmeen eri ryhmään seuraavalla tavalla: paisuntasäiliölliset öljyeristeiset jakelumuuntajat, hermeettiset jakelumuuntajat ja valuhartsieristeiset jakelumuuntajat. Kahdessa ensin mainitussa muuntajaöljyä käytetään jäähdytys- ja eristämisenesteenä. Muuntajaöljyyn lisätään inhibiittia, joka hidastaa öljyn vanhenemista. (1, s. 80.)

### 2.4.1 Paisuntasäiliöllinen öljyeristeteinen jakelumuuntaja

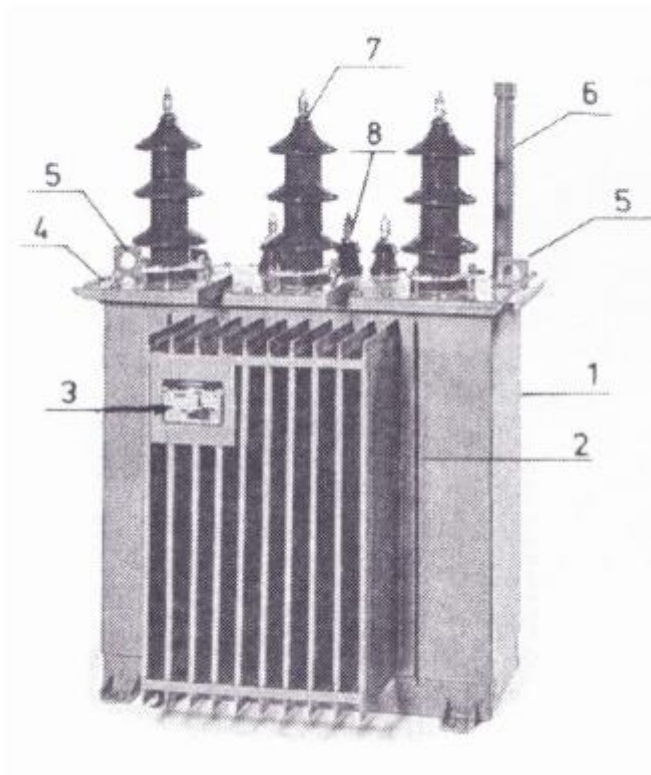
Öljyeristeisistä muuntajista yleisin tyyppi on paisuntasäiliöllinen muuntaja (kuva 5). Öljyn ja ilman välinen kosketuspinta on vähäisempi paisuntasäiliössä. Öljyyn imeytynyt vesi on raskaampaa ja painuu paisuntasäiliön pohjalle. Tarpeen vaatiessa vesi on mahdollista poistaa säiliön pohjalta. (1, s. 82.)



*KUVA 5. Paisuntasäiliöllinen öljyeristeteinen jakelumuuntaja. 1. öljysäiliö, 2. arvokilpi, 3. paisuntasäiliö, 4. lämpömittari, 5. lämpömittaritasku, 6. öljynkorkeuden osoitin, 7. kaasurele, 8. alajänniteläpivienti, 9. ylijänniteläpivienti, 10. tähtipisteläpivienti, 11. nostosilmukat (kannessa 2 kpl tai 4 kpl) ja 12. väliottokytkimen asennon valitsin. (1, s. 82.)*

## 2.4.2 Hermeettinen jakelumuuntaja

Hermeettinen jakelumuuntaja soveltuu ulko- ja sisäasennukseen. Lisäksi muuntaja on itsejäähdytteinen ja öljyeristeinen, paisuntasäiliöllä varustetun muuntajan mukaisesti. Hermeettinen muuntaja on täytetty öljyllä ja suljettu hermeettisesti eli ilmatiiviisti. Tämän tyyppisessä muuntajassa ei ole paisuntasäiliötä, mutta öljysäiliö on mitoitettu kestäämään muuntajan ylikuormituksesta johtuva öljysäiliön sisäinen ylipaine. Paisuntasäiliöllä varustettuun muuntajaan verrattuna hermeettinen muuntaja on hieman matalampi (kuva 6). Tämä voi olla merkittävä etu, mikäli asennuspaikka on ahdas. Lisäksi hermeettisen muuntajan sisäinen öljy vanhenee hieman hitaammin verrattuna paisuntasäiliöllä varustettuun jakelumuuntajaan. Muuntajaan asennetut jäähdytysrivat ovat elastista materiaalia ja kykenevät mukautumaan käytöstä tai ympäristöstä johtuviin tilavuu-den muutoksiin.

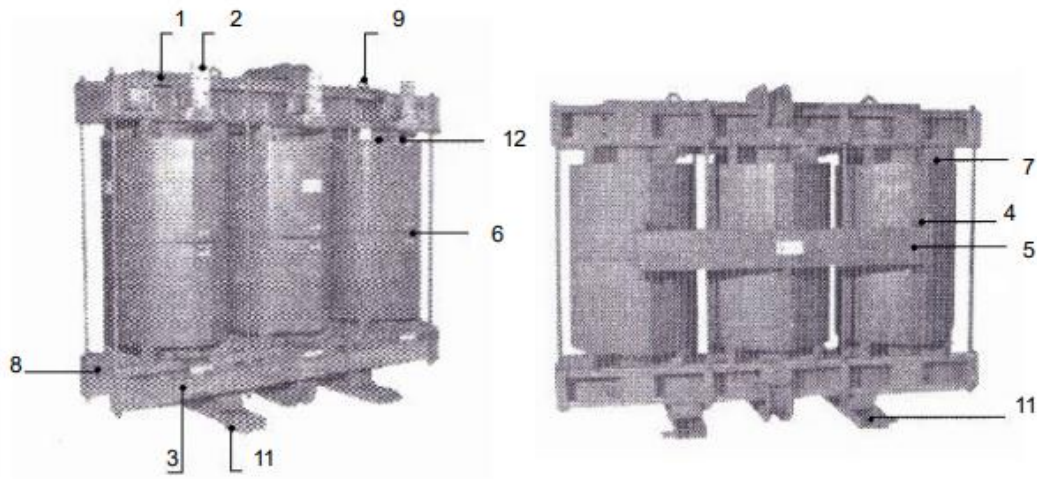


*KUVA 6. Hermeettinen jakelumuuntaja. 1. öljysäiliö eli muuntaja-astia, 2. elastiset jäähdytysaallot, 3. muuntajan arvokilpi, 4. muuntajan kansi, 5. nostosilmukat, 6. täyttöputki, 7. yläjänniteläpivienti ja 8. alajänniteläpivienti. (1, s. 83.)*

### **2.4.3 Valuhartsieristeinen jakelumuuntaja**

Valuhartsieristeisestä jakelumuuntajasta (kuva 7) käytetään yleisimmin nimitystä kuivamuuntaja. Kuivamuuntajia käytetään kohteissa, joissa palovaaran tai esimerkiksi maaperän saastumisvaaran takia ei voida käyttää perinteisempiä öljyeristeisiä jakelumuuntajia. Öljyeristeisen jakelumuuntajan käyttö voi olla tietyissä kohteissa kokonaan kiellettyä tai määräysten vuoksi vaatisi kalliita erikoistoimenpiteitä. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi kerrostalot, sairaalat, tavaratilat, teatterit ja muut kokoontumispaikat. Lisäksi valuhartsieristeisiä kuivamuuntajia käytetään teollisuuden tarpeissa, maanalaisilla rautateillä, kaivoksis-

sa, sekä muissa teollisissa kohteissa, joihin muuntaja voidaan asentaa lähelle kulutuspiistettä. Sijoittamalla muuntaja lähelle kuormaa säästetään esimerkiksi alajännitepuolen kaapeloinnissa. (1, s. 83.)



*KUVA 7. Valuhartsieristeinen jakelumuuntaja. 1. sydän, 2. alajännitekäämi, 3. nollakisko, 4. yläjännitekisko, 5. yläjännitekäämityksen kytkentäsilta, 6. kytkentäliuskat säädöille, 7. päätyeristys, 8. puristuspalkki, 9. nostosilmukat, 10. pyöri- en kiinnityspalkit, 11. vetosilmukka ja 12. hälytys- ja laukaisuelementit. (1, s. 85.)*

Tyypillinen kuivamuuntaja eroaa perinteisemmästä öljymuuntajasta siten, että kuivamuuntajan rautasydän sekä käämitykset eivät ole upotettuina eristävässä nesteessä, kuten öljyssä. Kuivamuuntajat ovat yleensä hartsieristeisiä (kuva 8). Eristysrakenne voidaan toteuttaa joko hartsivaluna tai hartsikyllästämisenä. Keskijännitemuuntajat ovat useasti hartsivalettuja. Vastaavasti pienjännitteellä käytössä olevat laitteet voivat olla hartsikyllästettyjä. (5.)





*KUVA 8. Moderni GBE:n valmistama hartsieristeinen kuivamuuntaja (5).*

## 3 JAKELUMUUNTAJIEN TYYPILLISET VIAT JA NIIDEN VAIKUTUKSET

Tässä luvussa käsitellään yleisimmät jakelumuuntajissa ilmenevät viat. Lisäksi tutustutaan yleisimpiin vikojen aiheuttajiin ja niiden vaikutukseen.

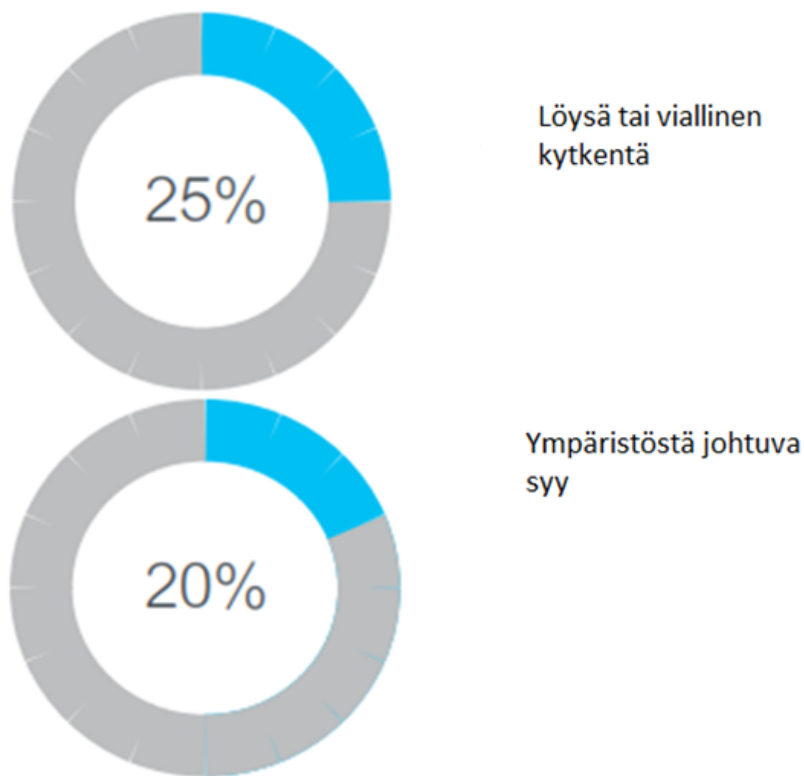
### 3.1 Vikatilanteet

Keski- ja pienjännitteellä sähkölaitteistojen tulipalojen yleinen aiheuttaja on viallinen kytkentä, löysäksi jäänyt kytkentä, huono kiristämisen, ympäristön tärinä tai vahingoittuneet kontaktipinnat joko ulkoisen syyn tai korroosion takia. Lisäksi kova ulkoinen paine voi vääntää kiskostoja tai heikentää kojeistojen kytkentöjä laitteiston ikääntyessä.

Ylimääräistä kulumista voi myös aiheuttaa sähköisen vastuksen kasvu, joka itsessään nostaa liitosten rasitusta ja lämpötilaa. Suurempi lämpötila rasittaa liitoksia entisestään ja tämä johtaa liitoksen entistä nopeampaan kulumiseen.

Seurauksena edellä kuvatulle tilanteelle on lämpötilan hallitsematon nousu ja lopulta liitoksen totaalinen pettäminen. Liitoksen pettäessä tulipalo, leimahdus tai räjähdys ovat mahdollisia. Mikäli tilassa on saatavilla paloa ruokkivaa materiaa, ovat muuntajan lisäksi myös muut laitteet ja rakennukset vaarassa. Schneider Electricin ja Netaworldin teettämän tutkimuksen mukaan tilastollisesti todennäköisimmät syyt sähköpaloille ja laiterikoille ovat löysä tai viallinen kytkentä ja ympäristöstä johtuva syy. (Kuva 9.) (6.)

Muita yleisiä jakelumuuntajissa esiintyviä vikatilanteita ovat: muuntajaöljyn vanheneminen, muuntajan sisäisen eristyksen pettäminen, tilaan pääsevä vesi tai kosteus ja viallinen maadoitusvika suojaus (19.)



KUVA 9. Schneider Electricin ja Netaworldin tutkimustulos sähköpalojen syistä (6).

### 3.2 Muuntajaöljy

Öljyeristeisissä muuntajissa jäähdytys- ja eristeöljynä toimii yleensä mineraaliöljypohjainen tuote. Muuntajaöljy on sähköinen eriste ja johtaa samalla lämpöä muuntajan jäähdytyslementteihin, pois sen aktiiviosista. Mineraaliöljyä käytetään sen halvan hinnan vuoksi. Mineraaliöljy on orgaaninen aine, joten se ha-

pettuu vanhetessaan. Inhibiitit, joita öljyyn lisätään, hidastavat vanhenemisreaktiota, mutta eivät kokonaan poista ongelmaa. Öljyeristeisen muuntajan eliniän kannalta muuntajaöljyn laadulla ja iällä on valtava merkitys. Öljyn hapettumisen seurauksena öljyn sekaan syntyy epäpuhtauksia. Suurimpia näistä ovat saostumat, happamat yhdisteet ja kosteus. Öljyeristeisten muuntajien ikääntymisestä johtuvat hajoamiset johtuvat useimmiten läpilyönneistä. (7.)

### **3.3 Kiskosto**

Muuntajaa kojeistolta syöttävät perinteisin suojauskeinoin varustetut jännitekiskot voivat kärsiä mittavia vahinkoja ennen kuin esimerkiksi syöttävän kiskoston suojalaite toimii. Liitoksen löystymisen myötä vauriot voivat levitä laajalle ja aiheuttaa vahinkoa lähellä oleville komponenteille (kuva 10). Ensimmäisessä kuvassa on lämpöantureiden ohjaamalla lämpöreleellä suojattu virtakiskosto. Kiskosto on säilynyt ehjänä mittareiden katkaistua jännitteensyötön ennen kuin vahinkoa on ehtinyt syntyä laitteistolle. Toisessa kuvassa virtakiskoja ei ole automaattisesti suojattu ja löystynyt kytkentä on vaurioittanut kiskoja. (6.)

With thermal monitoring



Without thermal monitoring



*KUVA 10. Lämpötilasensoreilla suojattu virtakiskosto ja vahingoittunut virtakiskosto. Lämpötilan nousu on rikkonut kuvassa oikealla olevan kiskoston. (6.)*

## 4 MUUNTAJAN SUOJAUS JA SUOJALAITTEET

Tässä luvussa tutustutaan muuntajan suojaukseen ja suojalaitteiden toimintaan. Lisäksi tutkitaan tehomuuntajan tyypillistä suojausta.

### 4.1 Mittamuuntajat

Relesuojauksen tehtävä on pyrkiä ennalta ehkäisemään sähköverkossa tapahtuvia vikatilanteita ja toimia vikatilanteiden sattuessa. Releen päätehtävä on jonkin sähkövirtapiirissä olevan suureen muutosten havaitseminen. Kun rele havaitsee sille asetellun suureen raja-arvon ylittyneen, rele havahtuu ja toimii sille asetetun ajan kuluttua. Laukaisuajan jälkeen rele antaa sähköisen kytkentävirikkeen. Toiminta-aika on releen havahtumisesta kytkemiseen kuluva aika. Rele on siis eräänlainen sähkömekaaninen kytkin. (8, s. 19.)

Mittamuuntajan (kuva 11) on erikoisrakenteinen virran tai jännitteen mittaamiseen tarkoitettu sähkölaite. Mittamuuntajan tehtävä on muuttaa mitta-alaa, jotta suoja- ja mittalaitteiden standardisointi olisi mahdollista. Laitteen avulla on mahdollista sijoittaa mittalaitteet kauemmaksi itse mitattavasta kohteesta, esimerkiksi puhtaampiin tai turvallisempiin tiloihin. Lisäksi tehtäviin kuuluu mittauspiirin erottaminen päävirtapiiristä ja suojata mittauspiiriä ylikuormitukselta. (8, s. 55.)



*KUVA 11. Schneider Electricin valmistama virtamittamuuntaja (9).*

## 4.2 Suojareleet

Suojareleiden tarkoituksena on suojata muuntajaa ylikuormitukselta ja erilaisilta sähköisiltä vioilta. Esimerkkejä muuntajan relesuojaukseen käytettävistä releistä ovat:

- Ylivirtarele toimii virran ylittäessä asetetun raja-arvon (kuva 12).
- Yli- ja alijännitereleet toimivat jännitteet ylittäessä tai alittaessa jännitteenle asetellun arvon.
- Differentiaalirele perustuu esimerkiksi virtaerojen mittaamiseen.
- Aikarele toimii asetellun aikaviiveen kuluttua.

- Hetkellinen rele toimii heti raja-arvon ylittyessä ilman erikseen aseteltua viivettä.
- Käänteisaikarele toimii sitä nopeammin, mitä enemmän virta ylittää releelle asetellun toiminta-arvon.
- Lämpörele mittaa ylikuormitukselta suojatun kohteen lämpötilaa.
- Kaasurele mittaa muuntajaöljystä höyrystyviä kaasuja. (10, s. 31.)



*KUVA 12. ABB:n valmistama valvontarele (11).*

Lisäksi muita käytössä olevia releitä on esimerkiksi kaasurele, jota käytetään öljyeristeisen muuntajan yhteydessä. Kaasurele mittaa muuntajien eristyksen tilaa. (8, s. 21.)



### **4.3 Muuntajan valvonta- ja turvalaitteet**

Tässä luvussa tutustutaan yleisimpiin jakelumuuntajissa käytettyihin suojalaitteisiin sekä niiden toimintaperiaatteisiin. Lisäksi mainitaan muuntajissa käytetyistä passiivisista suojalaitteista.

#### **4.3.1 Muuntajaöljyn mittauksiin perustuvat suojausmenetelmät**

Paisuntasäiliö huolehtii siitä, että muuntajan varsinainen öljysäiliö on aina täynnä. Paisuntasäiliön tilavuus on mitoitettu vastaamaan muuntajaöljyn minimi- ja maksimilämpötilojen tilavuuden muutosta. (10, s. 31.)

#### **4.3.2 Kaasurele**

Öljeristeiseen tehomuuntajaan voidaan käyttää myös kaasurelettä. Kaasurele toimii seuraavien vikatilanteiden yhteydessä: erilaiset sisäiset viat, kuten oikosulku, purkaus- tai valokaari-ilmiö ja muuntajan ylikuumeneminen. Toiminta perustuu muuntajassa tapahtuvaan suureen öljysyöksyyn tai lämpötilasta johtuvaan kaasunkehitykseen. Tämän tyyppisellä releellä on laukaisu- ja hälytyskoskettimet, jotka ovat kytkettynä kyseisen muuntajan pääkatkaisijoiden laukaisupiiriin (kuva 13). (10, s. 31.)



*KUVA 13. Kaasurele (12).*

### 4.3.3 Öljyn lämpömittari

Muuntajassa olevan öljynlämpömittarin (kuva 14) tehtävänä on mitata muunta- jaöljyn lämpötilaa. Tämän tyyppiin lämpömittareihin on mahdollista asentaa myös hälytys- ja laukaisukoskettimet sekä määrittää niille halutut arvot. (10, s. 31.)



*KUVA 14. Öljyn lämpömittari ja anturi (13).*

#### 4.3.4 Öljynkorkeuden osoitin

Öljynkorkeuden osoitin (kuva 15) on tavallisesti sijoitettuna öljynpaisuntasäiliön päättyyn. Näin pintamittaus näyttää öljynpaisuntasäiliössä olevan öljyn pinnan korkeuden. Suuremmissa muuntajissa pintamittaus varustetaan ala- ja ylärajan hälytyskoskettimella. (10, s. 31)



KUVA 15. Öljyn pinnankorkeusmittari (14).

#### 4.3.5 Ilmakuivain

Öljyn tilavuuden vaihdellessa lämpötilan muuttuessa muuntajan hengittämä korvausilma kuivataan ilmakuivaimen (kuva 16) avulla. Ilman kulkiessa kuivaimen läpi sitoo ilmakuivaimen sisällä oleva kuivausaine hengitysilmassa olevan ilmankosteuden itseensä. (10, s. 31). Kuivausaineena käytetään silikageeliä, joka voi imeä itseensä noin 10 painoprosenttia vettä (15).



*KUVA 16. Silikageeli-Ilmakuivain (15).*

### 4.3.6 Ylipaineventtiili

Ylipaineventtiilin (kuva 17) tarkoituksena on estää muuntajan öljysäiliössä olevan paineen nouseminen liian korkeaksi vikatilanteessa. Laukaisukoskettimella varustettu ylipaineventtiili kytetään muuntajan päävirtapiiriin laukaisupiiriin. (10, s. 32.)



*KUVA 17. Öljysäiliön ylipaineventtiili (16).*

#### 4.4 Tehomuuntajan suojaus

Tehomuuntajia suojarahat ja anturit vaihtelevat käytössä olevan muuntajatyypin mukaan. Hartsieristeisessä jakelumuuntajassa voidaan käyttää ylivirta-, maasulku-, käämi- tai kierrossuojausta, ylikuormitus, ylijännite tai käämikytkinsuojausta. Suojauksessa voidaan käyttää jotain edellä mainituista releistä tai niiden yhdistelmää.

Öljyeristeisen muuntajan, kuten hermeettisen jakelumuuntajan suojaus eroaa lähinnä käyttämällä lisäksi öljyn tai kaasun tarkkailuun soveltuvia releitä tai antureita. Releillä voidaan tarkkailla öljyn lämpötilaa, painetta tai öljystä haihtuvia kaasuja. (17, s. 7.)

## 5 MUUNTAJAN HUOLTO JA KUNNOSSAPITO

Tämän luvun alussa käsitellään sähkölaitteistojen omistamiseen ja kunnossapitoon liittyviä velvoitteita. Myöhemmin tutustutaan perinteiseen kunnossapitoon. Lisäksi perehdytään älykkääseen kunnonvalvontaan ja sen tuomiin mahdollisuuksiin.

### 5.1 Kunnossapidon merkitys ja tavoitteet

Kunnossapito on käsitteenä hyvin laaja ja monitahoinen. Se voidaan jakaa seuraaviin osa-alueisiin: ehkäisevä kunnossapito, käyttöseuranta, kunnonvalvonta, jaksotetut huollot, tarkastukset, testaus, huolto, korjaus ja käytöstä poisto. Kunnossapidon tavoitteena on rakennusten, laitteiden ja laitteistojen kunnosta huolehtiminen.

Ehkäisevään kunnossapitoon sisältyy kaikki huolto-, testaus- ja tarkastustoimenpiteet, joita suoritetaan ilman laitteistossa olevaa tiedettyä vikaa. Käyttöseurantaa suorittavat pääasiassa laitteen käyttäjät ja se on kaiken kunnossapitotoiminnan lähtökohta.

Kunnonvalvonnassa laitteen toimintaa mitataan tai tarkkaillaan kokoaikaisesti tai määräajoin. Tällä pyritään havaitsemaan alkava vikaantumisen ja korjaamaan se, ennen laitteen toiminnan häiriintymistä. Jaksotetut huollot toteutetaan joko käyttöajan tai käyttökertojen perusteella. Tarkastuksilla selvitetään kohteen toimintakyky. Testauksilla tarkastetaan kohteen toimintakyky vertaamalla saatuja mittaustuloksia tai päätelmiä laitteelle spesifioituihin tietoihin. Huolto suoritetaan ennalta laaditun ohjelman ja suunnitelman mukaisesti.

Korjaustoimenpiteillä pyritään poistamaan laitteessa todettu ja paikannettu vika. Vika voi olla joko kokonaisvika, joka estää laitteen käytön kokonaan tai osittais-



vika, jolloin laitteen yksittäinen toiminto on poissa käytöstä. Vikaantuminen johdattaa usein tuotannon ja palveluiden käyttökatkoon.

Tavoitteiden saavuttaminen vaatii seuraavien asioiden suorittamista: kunnonvalvonta, huollot sekä tarpeelliset korjaukset minimaalisella viiveellä ja optimoiduilla kustannuksilla. Seurannalla pyritään paikallistamaan alkavat viat ja puuttumaan niihin ajoissa, ennen lisäkustannusten syntymistä. (18.)

Jakelumuuntajan tapauksessa kunnossapidolla pyritään turvaamaan palvelun tuottaminen, eli sähkönjakelu. Tavoitteena on tuottaa palvelu siten, että asiakas on tyytyväinen ja kustannukset pysyisivät laadun suhteen mahdollisimman alhaisina. Lisäksi lakeja ja määräyksiä on noudatettava, mutta niistä lisää tarkemmin luvussa 5.2.

## **5.2 Sähköturvallisuuslakiin perustuvat määräaikaistarkastukset**

Sähköturvallisuuslaki edellyttää seuraavaa:

”Sähkölaitteiston haltijan on huolehdittava siitä, että luokkien 2 ja 3 sähkölaitteistoille laaditaan sähköturvallisuuden ylläpitävä kunnossapito-ohjelma. Sähkölaitteiston haltija vastaa siitä, että kunnossapito-ohjelmaa noudatetaan. Kunnossapito-ohjelmaa laadittaessa tulee ottaa huomioon sähkölaitteiston käyttöympäristöstä aiheutuvat tarpeet.” (19. §. 48.)

Luokka 2c sisältää sähkölaitteistot, joiden jännite on yli 1000 VAC. Lisäksi siihen kuuluvat kiinteistön sisäinen jakeluverkko ja saman haltijan laitteistot.

Jakelumuuntaja on luokan 2c sähkölaitteisto. Sähköturvallisuuslaki velvoittaa nimeämään vastuuhenkilön (käytönjohtaja) ja laatimaan kunnossapitosuunnitelman, sekä noudattamaan sitä. Lisäksi edellytetään määräaikaistarkastusta, joka on tehtävä kymmenen vuoden välein. (20, s. 18.)

Määräaikaistarkastuksessa tulee riittävässä laajuudessa varmistua seuraavista asioista:

1. Sähkölaitteiston käyttö on turvallista, kunnossapito on riittävää turvallisuuden ylläpitämiseksi ja laitteistolle on tehty kunnossapito-ohjelman mukaiset toimenpiteet.
2. Sähkölaitteiston käyttöön ja hoitoon tarvittavat välineet, piirustukset, kaaviot ja ohjeet ovat käytettävissä.
3. Sähkölaitteiston laajennus- ja muutostöistä on asianmukaiset tarkastuspöytäkirjat. (20, s. 18.)

Sähköturvallisuuslakiin perustuvan määräaikaistarkastuksen suorittaa aina valtuutettu tarkastaja. Tarkastuksesta on aina laadittava tarkastuspöytäkirja ja liittävä tarkastettuun kohteeseen tarkastustarra. (20, s 18.)

### **5.3 Kunnossapito- ja huolto-ohjelman mukainen kunnonvalvonta**

Tehomuuntajien kunnonvalvonnan toimenpiteet voidaan jaotella tarkastuksiin ja mittauksiin. (17, s 7.) Perinteinen kunnonvalvonta tapahtuu paikallisesti muuntajatilassa.

#### **5.3.1 Määrävälein tehtävät tarkastukset**

Tarkastukset tehdään jakelumuuntajille tyypillisesti kaksi kertaa vuodessa, valmistajan ohjeita soveltaen. Tarkastukset pyritään ajoittamaan kesä- ja talviaikaan. Näin pystytään havaitsemaan vuodenaikojen vaikutukset muuntajan kuormitukseen ja itse muuntajatilaan. (17, s 12.)

Määräaikaistarkastuksessa suoritetaan ainakin seuraavat toimenpiteet ja tarkastukset:

- muuntajaöljyn määrä sekä mahdolliset öljyvuodot
- eristimien kunnan tarkastaminen ja puhdistaminen
- ilmakuivaimen kunnan tarkistaminen
- kaapelipäätteet, erottimet ja alajännitekiskosto
- muuntajahuoneen ovien ja lukkojen kunto
- varoituskylttien ja suojapuomien kunto
- muuntajahuoneen yleinen siisteys ja kunto
- ilmanvaihto, jäähdytyspuhaltimet ja tuuletusaukot
- muuntajan alajännitteen arvo (17, s 12.)

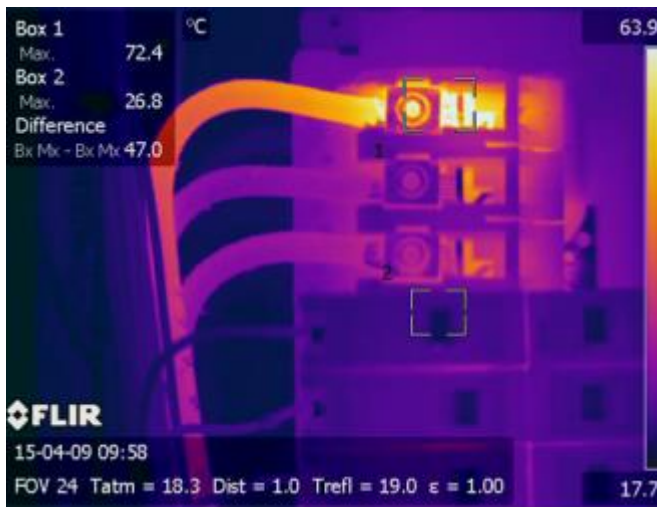
Muuntajaöljyn määrästä voidaan päätellä onko säiliössä vuotoja ja pyrkiä puuttamaan näihin ennen muuntaja läpilyöntiä tai ylikuumenemista. Eristimien puhdistamisella ja kunnan tarkistamisella estetään läpilyöntejä eristeen pettäessä. Ilmakuivaimen tarkastamisella varmistutaan silikageelin riittävydestä ja kosteuden määrästä. Kaapelipäätteiden ja alajännitekiskoston kunto tarkistetaan kipinöinnin, lämpenemisen ja oikosulkujen varalta. Muuntajahuoneen tulee olla erillinen lukittu tila henkilöturvallisuuden vuoksi, tarkistuksilla varmistetaan lukituksen ja varoituskylttien kunto. Muuntajahuone pidetään siistinä ja kaikki ylimääräinen tavara kuljetetaan pois. Ilmanvaihto, jäähdytyspuhaltimet ja tuuletusaukot ovat vastuussa muuntamon jäähdytyksestä ja estävät laitteiston ylikuumenemista. Jakelumuuntajan alajännitteen arvosta pystytään päättämään kuormituksen tasoa ja tästä saadulla tiedolla voidaan muuttaa väliottokytkimen asentoa.

Edellä mainittujen tarkastustoimenpiteiden tarkoituksena voidaan pitää muuntamon ja itse muuntajan yleiskunnan tarkkailua. Tarkastustoimilla pyritään kohtuullisin kustannuksin tarkkailemaan sekä havaitsemaan puutteita, kehittyviä vikatilanteita ja arvioimaan huoltotoimien tarvetta.

### 5.3.2 Lämpökuvaus

Useissa tapauksissa aikainen lämmön nousun havaitseminen ja nopea reagointi estää laitteiden vaurioitumisen tai tulipalon syttymisen (kuva 18). Nykyisessä tilanteessa keski- ja pienjänniteliitoksia tutkitaan lämpökameroiden avulla. Työskentelymenetelmä on kustannustehokas, nopea ja oikein tehtynä tuottaa tulosta. (21.)

Lämpökuvauksen haasteina voidaan pitää seuraavia asioita: koulutetun henkilökunnan löytäminen mittausten toteuttamiseen, sähkötilojen rajoitettu pääsy, työntekijälle aiheutuva riski työskennellessä jännitteisten komponenttien läheisyydessä usein ahtaissakin paikoissa ja tiettyjen kiskojen sekä liittimien sijainti ahtaissa väleissä, joihin kameralla ei näe. Lisäksi jaksottainen kuvaus voi olla kallista eikä sitä ole aina saatavilla jos vikatilanne ilmaantuu nopeasti. (21.)



*KUVA 18. Lämpökuvattu kaapeliliitos. Yksi kaapeli ja liitos on selvästi muita lämpimämpi. (21.)*

### 5.3.3 Osittaispurkaus- ja eristysvastusmittaus

Osittaispurkaus on sähköinen purkaus tai kipinä, joka tapahtuu kahden johtavan pinnan välillä eristyskerroksen läpi. Osittaispurkaus voi tapahtua missä tahansa kohdassa eristeen sisällä, jossa sähkökentän voimakkuus ylittää eristekerroksen eristämiskyvyn.

Osittaispurkausten havainnointiin käytetään kannettavia mittareita tai sähkötilaan asennettavia mittausjärjestelmiä. Mittareilla etsitään eristyksessä olevia vikoja käyttäen ultraääntä ja radioaaltoja mittaavia sensoreita. Mittausensorit asennetaan mitattavan laitteen läheisyyteen ja kytketään mittausjärjestelmään. Järjestelmään voi olla kytkettynä useita mittauspisteitä yksittäiselle laitteelle tai mitattavia kohteita. (21.)

Eristysvastusmittauksilla selvitetään laitteiston kunto mittaamalla mahdollisen vuotovirran määrä. Yksinkertainen eristysvastusmittaus tapahtuu kytkemällä testeri mittauskohteen käämitykseen. Mittarilla syötetään 30 – 60 sekunnin ajan korkea jännitettä mitattavaan kohteeseen. Eristysvastusmittausta suoritettaessa mitataan käämityksen lämpötilaa ja siinä tapahtuvia muutoksia. Mittaukset täytyy suorittaa useamman kerran ja vertailla saatuja tuloksia keskenään. (22.)

### 5.3.4 Muuntajaöljyn analysointi

Muuntajaöljyn analysointi koskee vain öljyeristeisiä muuntajia. Kaasuanalyysillä voidaan tutkia muuntajaöljyn tilaa ja havaita kehittymässä olevia vikoja. Esi-merkkejä alkavista vikatilanteista ovat muuntajan sisällä tapahtuva kipinäointi tai magneetti- ja virtapiirin lämpeneminen. Öljyanalyysillä analysoidaan yleensä seuraavia kaasuja: vety, happi, typpi, metaani, hiilimonoksidi, hiilidioksidi, etyleeni, etaani ja asetyleeni. Eri kaasuja muodostuu eri lämpötiloissa, vaikka

muuntajan pieni kaasun muodostus onkin normaalia. Näistä kaasuista ja niiden suhteesta on mahdollista päätellä muuntajan sisällä olevan vian tyyppi. Lisäksi öljyanalyysilla voidaan testata öljyn sähköinen eristyskyky. Eristyskyvyn heikkeneminen voi johtaa läpilyönteihin. (23.)

#### **5.4 Jännitteettömänä tehtävät huoltotoimenpiteet**

Määräaikaishuollossa, joka tehdään tarpeesta riippuen 3 - 5 vuoden välein tarkastetaan mahdollisen käänikytkimen ja muiden suojalaitteiden kunto. Suojalaitteiden yhteydet katkaisijoiden ohjaukseen ja hälytysjärjestelmiin koestetaan. (17. s 12.)

Huoltotyöt tehdään jännitteettömänä. Muuntaja kytketään irti sähköverkosta ja työmaadoitetaan sähkötyöturvallisuusmääräyksiä noudattaen. Seuraavat työt voidaan toteuttaa osana määräaikaishuoltoa (17, s. 12).

- väliottokytkimen ohjaus
- asetetaan öljyn lämpötilan suojareleen hälytysarvo 85 °C ja laukaisuarvo 100 °C
- asetetaan muuntajaöljyn pinnankorkeuden ala- ja ylärajat
- kaasureleen hälytys ja laukaisu testataan
- säiliön maalipinnan kunnon tarkastaminen
- kilpien paikkansa pitävyys ja kunnon tarkastus
- suojamaadoituksen tarkastus
- muuntajaöljyn läpilyöntilujuuden mittaus
- sähkölaitteiden puhdistus (17, s. 12.)

Väliottokytkintä ohjataan jakelumuuntajan kuormituksen muuttuessa. Muuntajaöljyn lämpötilaa mitataan ylikuormituksen tai osittaispurkausten havaitsemiseksi, lisäksi tässä apuna toimii kaasurele. Muuntajaöljyn määrää valvotaan vuoto-

jen varalta. Muuntajalla on aina tyyppikilpi, josta käy ilmi tärkeimmät tiedot itse laitteesta. Kilven kuntoa ja paikkansa pitävyyttä tarkastetaan huoltotoimia tehdessä. Mikäli muutoksia tehdään ja kilpiarvot eivät enää pidä paikkaansa, täytyy kilven arvot päivittää ajan tasalle. Muuntajan suojavaadoitus testataan mittamalla maasulkujen varalta. Laitteet puhdistetaan ylimääräisestä pölystä ja roskasta. Tällä estetään tulipaloja ja läpilyöntejä.

## **5.5 Älykäs kunnonvalvonta**

Tässä luvussa käsitellään muuntajan älykästä kunnonvalvontaa. Lisäksi perehdytään älykkään kunnonvalvonnan ja automaation tuomiin mahdollisuuksiin. Älykäs kunnonvalvonta tapahtuu yleensä tietokoneavusteisesti. Älykkäällä kunnonvalvonnalla tarkoitetaan esimerkiksi tietojärjestelmiä, jotka keräävät verkon yli tietoa antureiden ja tätä kautta laitteiden toiminnasta. Kerätyn tiedon pohjalta ohjelmisto kykenee tekemään automaattisesti päätöksiä esimerkiksi muuntajan sen hetkisestä tilanteesta tai suojalaitteiden laukaisusta. Älykkään kunnonvalvonnan tarkoituksena on kehityksessä olevien vikatilanteiden havaitseminen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa ja niihin nopea puuttuminen. Lisäksi erilaiset hallintaohjelmistot keräävät mittaustietoa myöhempää analysointia varten ja hälyttävät tai toimivat kerätyn tiedon pohjalta.

Muuntajat ovat yksikertaisia, mutta kriittisiä laitteita sähkön toimitusvarmuuden kannalta. Muuntajien vikaantuessa sähkön jakelussa ilmenee suurella todennäköisyydellä katkoja tai mahdollisia laiterikkoja. Näistä syistä on tärkeää pystyä valvomaan muuntajien kuntoa sekä toimintaa. Lisäksi suojauksella voidaan puuttua virheelliseen toimintaan, ehkäistä laitteiden ja verkonosien rikkoja sekä laajempia sähkönjakelun katkoksia.

Tekniikan kehittyessä myös suojausmenetelmät ovat kehittyneet huomasti viimeisten vuosikymmenten aikana. Automaation ja pilvipalveluiden mukanaan

tuomat mahdollisuudet ovat vähentäneet katkosten todennäköisyyttä erilaisten hallintaohjelmistojen yleistyessä. Samalla reagointiajat ovat lyhentyneet ja vikoja kyetään paikallistamaan nopeammin. (23.)

### **5.5.1 Kunnonvalvontamenetelmät**

Kriittisimmät liitokset voidaan varustaa langattomalla lämpötilasensorilla, jonka avulla saadaan reaaliaikaista lämpötiladataa liitoksen tilasta. Lisäksi muuntajatiilaan tai sen ulkopuolelle voidaan asentaa erilaisia mittausantureita ulkoisten tekijöiden muutosten havaitsemiseksi. Tällaisia ovat esimerkiksi ulkoinen lämpötila, ilmankosteus tai vallitsevat sääolot.

Algoritmit kykenevät käsittelemään saatua mittausdataa ja tekemään päätöksiä parametrien avulla. Seurattuja parametreja voivat olla vaiheiden välinen lämpötilaero tai ympäristön lämpötila. (23.)

Automaattisesti toteutettu kunnonvalvonta tuo kustannussäästöjä poistamalla jaksottaisen lämpökuvauksen tarpeen. Muita saavutettuja hyötyjä ovat esimerkiksi lämpökuvauksen mittausjaksojen välissä tapahtuvien liitännöiden löystymisen aikaisempi havaitseminen, jonka ansiosta voidaan toimia ajoissa. Lisäksi muiden sähköisten komponenttien ja keskusten elinikä pitenee lämpötilojen pysyessä alempana. Automaattinen hälytysten ja huomautusten tuleminen reaaliajassa vähentää käyttökatkoja ja vahingoista johtuvia kustannuksia. Muita mahdollisia hyötyjä on pitkäaikainen kunnonvalvonta ja datan kerääminen järjestelmän toiminnasta, sekä lisäksi ympäristössä olevan datan kerääminen tarkempaa analysointia varten (kuva 19). (23.)





*KUVA 19. Langattomien antureiden keräämän datan analysointi (23).*

### 5.5.2 Langattomat sensorit ja niiden asennus

Tyypillinen virtakiskoon asennettava lämpösensori on kooltaan noin 4 cm x 4 cm. Sensorit asennetaan suoraan keski- ja pienjännitekiskostoihin sekä liittintöihin. Asennettavat sensorit voidaan kiinnittää esimerkiksi kiristysnauhalla (kuva 20). Lämpösensorit voidaan asentaa vanhoihin tai uusiin asennuksiin ja pienjännitepuolella asennus voidaan tehdä jännitteiseen laitteistoon. (6.)



*KUVA 20. Kiristysnauhalla liittimiin asennetut langattomat lämpösensorit (23).*

Sensorit voivat olla suunniteltu tarkkaan tietynlaiselle kohteelle, mutta jotkut mallit voivat tarjota muitakin mittaussvaihtoehtoja, kuten esimerkiksi ympäristön kosteudenmittaus. Nykyaikainen langattomasti toimiva lämpötilasensori on helppo asentaa jälkiasennuksena vanhoihin kohteisiin, joissa ei suunnitteluvai-

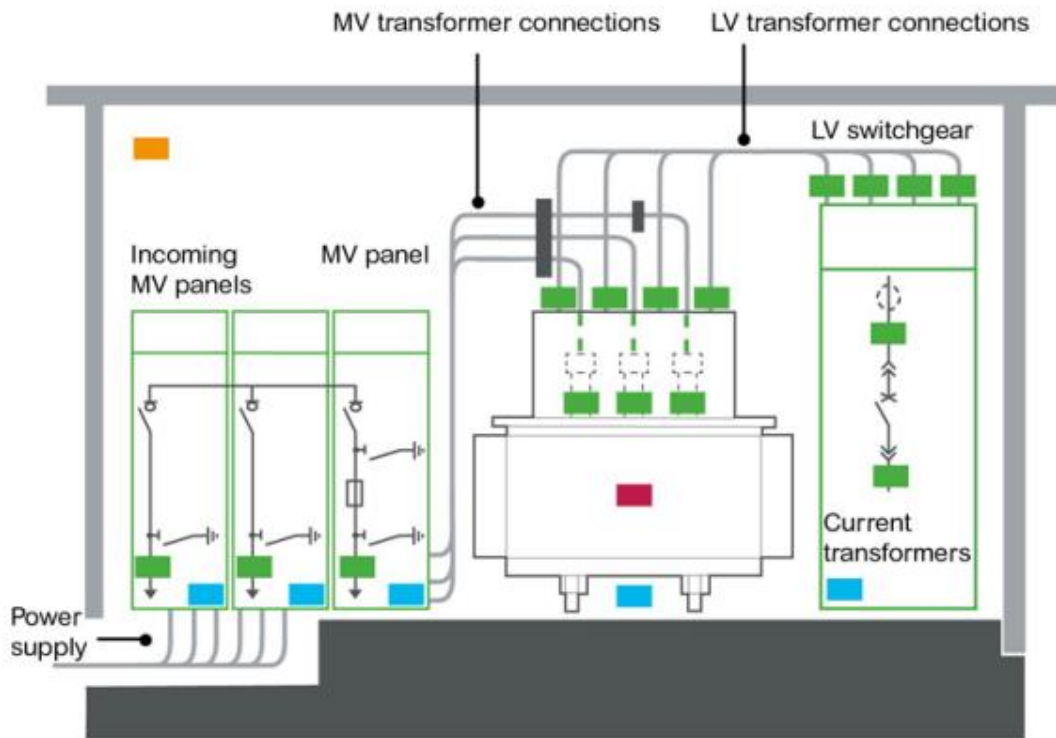
heessa ole otettu anturointia huomioon. Langattoman tiedonsiirron ansiosta sensori ei aiheuta ongelmia eristyksen kanssa, koska erillistä kaapelointia ei tarvita tiedonsiirtoa tai käyttötehoa varten. Käyttöteho voidaan ottaa suoraan virtakiskosta tai jakaa erillisellä akkuparistolla. (23.)

### 5.5.3 Mittauspisteet

Tässä luvussa käydään tarkemmin läpi sensoreiden sijoittelua muuntajatilassa, kiskostossa ja kojeistossa.

Lämpötilasensorit asennetaan jokaiseen tärkeään liitântään sekä muihin lämmölle alttiisiin sähkönjakelujärjestelmän osiin. Keskiännitelaitteistolle sensorit tulee asentaa syöttäville kaapeleille, virtakiskoille ja ulosvedettäville katkaisijälähdöille. Keski- ja pienjännitemuuntajaan mittauspisteet asennetaan keskiännitetyötölle, muuntajan käämitykselle, väliottokytkimille ja pienjännitelähdöille. Pienjännitekiskot rakentuvat useasti päällekkäisistä liitoksista, kulmapaloista, tiukoista mutkista tai liitinrärkeistä. Liitoskohtien valvonta on näissä kohteissa tärkeätä sähköpalojen ehkäisemiseksi. Haastavien muotojen ja tilojen takia pienjännitekiskostot ovat ideaalikohteita langattomalle lämpötilanvalvonnalle. Lisäksi tiloissa tai kytkentäkaapeissa, joissa on useita liitoskohtia, voidaan käyttää kiinteästi asennettua lämpökameraa tai erilaisia kaasuantureita. (23.)

Kuvassa 21 on esitelty erilaisten sensoreiden asennuskohtia. Kohteena on jake-lumuuntaja ja kojeisto.



KUVA 21. Esimerkki jakelumuuntajan ja muuntajatilän anturoinnista (23).

Kuvassa esiintyvä anturointi on seuraava: vihreät mittapisteeet mittaavat liitännöjen lämpötilaa, oranssi anturi on muuntajatilän ympäristön kosteusmittari, punainen anturi mittaa muuntajaöljyn lämpötilaa, siniset mittapisteeet ovat laitteiston kosteusmittareita (23).

## **6 LABORATORION KUIVAMUUNTAJAN KUNNOSSAPITO-SUUNNITELMA**

Tässä luvussa tutustutaan Oulun ammattikorkeakoulun hybridilaboratorion toimintaan ja muuntajan. Lisäksi perehdytään tarkemmin kyseisen kuivamuuntajan suojaukseen.

### **6.1 Hybridilaboratorion muuntaja**

Hybridilaboratorio sijaitsee Oulun ammattikorkeakoulun ja Oulun yliopiston tiloissa Linnanmaan kampuksella. Tiloihin on rakennettu sähkö- ja kaukolämpöverkoja. Rakennettujen verkkojen avulla voidaan tutkia ja kehittää sähkö-, automaatio-, energia- ja talotekniikan järjestelmiä. (24.)

Hybridilaboratorion muuntaja on GBE:n valmistama hartsieristeinen kuivamuuntaja kuvassa 22. Muuntajan teho on 500 kVA. Syöttöjännite on 20 kV ja toisijännite 0,4 kV. Muuntaja sijaitsee erillisessä ulkorakennuksessa oppilaitoksen ulkopuolella.



KUVA 22. Hybridilaboratorion muuntajan tyyppikilpi.



*KUVA 23. Hybridilaboratorion muuntajarakennus.*



*KUVA 24. Hybridilaboratorion muuntaja ennen käyttöönottoa.*

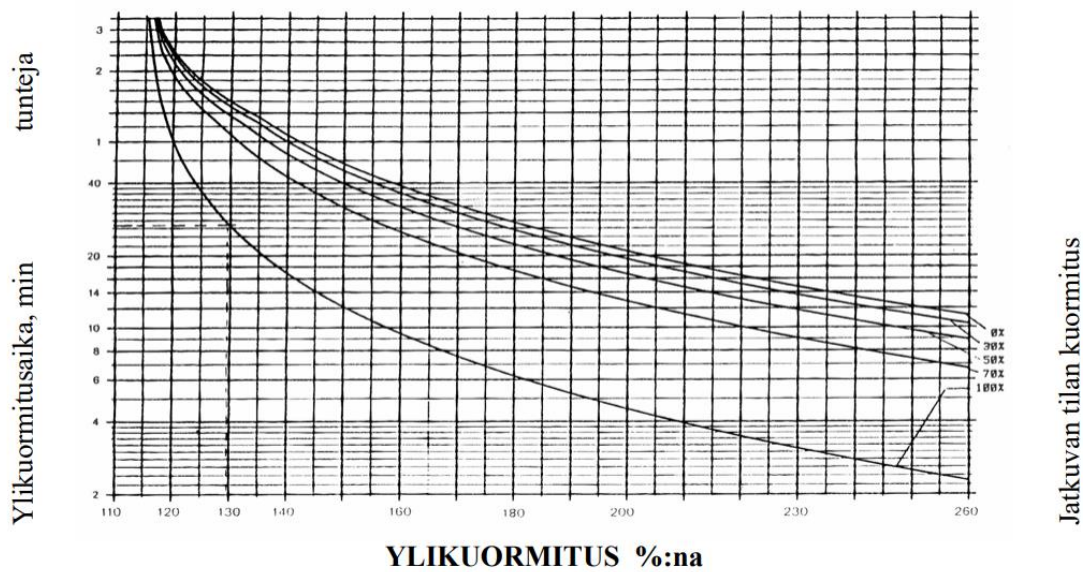
## 6.2 Laboratorion muuntajan suojaus ja kunnonvalvonta

Hybridilaboratoriossa sijaitseva muuntaja on suojattu Finnelectricin (T154) lämpöreleellä, joka saa mittaustietoa lämpöantureilta (23). Saadun tiedon perusteella ohjataan puhallinta. Puhaltimia on kaksi ja niiden teho on 148 W. Puhaltimien käynnistymiselle aseteltu lämpötilaraja on 45 °C. Lämpörele saa anturitietoa jokaiselta kolmelta vaiheelta sekä rautasydämeltä. Valvontareleen näytöllä esitetään muuntajan maksimilämpötila. Lisäksi käyttäjä saa releeltä tiedon kaikkien kolmen eri vaiheen lämpötilasta loogisessa järjestyksessä.

Hälytys sekä laukaisu saadaan releeltä sähköisten vaihtokoskettimien avulla. Käyttäjä voi valita toimintalämpötilat. Tehdasasetukset on asetettu seuraavasti: hälytyslämpötila +140 °C ja laukaisulämpötila +150 °C. Lisäksi releeltä saatua lämpötilatietoa voidaan käyttää jäähdytyspuhaltimen ja viasta ilmoittavan hälytyskoskettimen ohjaukseen. Lämpö- tai hälytystietoa ei toistaiseksi kerätä älykkääseen valvontajärjestelmään. Valvontajärjestelmälle on olemassa kytkentävalmius. (26.)

Lämpösuojausl lisäksi muuntaja on suojattu ylivirroilta ja valokaarilta käyttämällä katkaisijoita ensiö- ja toisiojännitepuolella. Katkaisijat ovat Schneider Electricin valmistamia ja tyyppiä SF1-B1. Valokaarisuojaus on toteutettu omilla optisilla valoantureilla, jotka on sijoitettu kojeiston yhteyteen muuntamokontin kojeisto-osaan. Muuntaja sietää suurta lyhyen aikaa kestävästä ylikuormituksesta hyvin (kuva 25). Lisäksi muuntamon kunnonvalvonnan yhteyteen kuuluu etukojeistot ja pienjännitekojeistot, mutta niihin ei tämän opinnäytetyön puitteissa tutustuta tarkemmin.





KUVA 25. Ylikuormitettavuus ja laukaisuaika, ympäristön lämpötila on +20 °C (24).

Muuntamoon ja sen lähiympäristöön on sijoitettu useita kameroita, joita käytetään etämonitorointiin. Kameroita on muuntajatilassa, kojeistohuoneessa, UPSG-tilassa, sähköautojen latauspisteellä ja relekaapissa. Kameran hyödyntävät PoE –teknologiaa (Power over Ethernet) eivätkä tarvitse erillistä sähkökaapelointia vaan saavat käyttötehonsa Ethernet-kaapelin (cat6) kautta. (24.)

Muuntaja, UPSG-varavoimalaitteisto, akkuenergiavarasto ja riviliitinkotelo ovat suojattu paloilmaisinjärjestelmällä. Käytössä olevat paloilmaiset ovat optisia savuilmaisia. Paloilmaisinjärjestelmä on ketjutettu yhteen ja se toimii paikallisesti merkkilampun avulla. Järjestelmän tuottama hälytystieto on mahdollista kytkeä myös muihin valvontajärjestelmiin. (28, s. 62.)

### **6.3 Laitevalmistajan kunnossapito-ohjeistus**

GBE:n ohjeistuksen mukaan jakelumuuntajan perusteellinen tarkastaminen käytön aikana ehkäisee vahinkoja ja mahdollistaa laitteen pidemmän eliniän. Määräaikaistarkastus toteutetaan määräajoin, tavallisesti 6 kk:n välein. Asennuspai- kasta riippuen puhdistetaan muuntajan keski- ja pienjännitekäämit pölystä. Puhdistus tehdään aina jännitteettömälle muuntajalle. Puhdistamiseen käytetään kuivaa paineilmaa tai kuivia pyyhkeitä. Myös käämien jäähdytyskanavat ja käämien päissä olevat kiristyskappaleet puhdistetaan perusteellisesti.

Lisäksi valmistajan käyttö- ja kunnossapito-ohje ehdottaa seuraavia toimenpitei- tä: määräajoin tulee tehdä käyttöönottotarkastuksessa (liite 1) toteutettuja toi- menpiteitä, merkitä muistiin tarkastetut kohteet ja tarkastuksen tulokset ja mää- ritellä muuntajan huolto- ja toimenpideohjelma pitkäaikaista seuranta varten. (27.)

### **6.4 Muuntajan huolto- ja kunnossapitosuunnitelma**

Muuntamorakennuksen ollessa erillään oppilaitoksesta voisi valmistajan ohjeis- tamia määräaikaistarkastuksia olla järkevä tehdä kaksi kertaa vuodessa. Talvi- ja kesäaikaan sijoitettujen tarkastusten yhteydessä pystytään huomaamaan vuodenaikojen vaihteluiden vaikutukset muuntajatilaan ja itse laitteistoon. Li- säksi muuntajan kuormitusaste vaihtelee kesä- ja talviaikaan.

Edellä mainitut tarkastukset voisi toteuttaa kuvaamisella ja lämpötilan valvon- nalla. Muuntajatilaan voisi sijoittaa yhden videokameran lähettämään kuvaa yleistilanteesta, lisäksi olisi järkevää harkita etäluettavan lämpökameran hank- kimista ja suunnata se kuvaamaan kiskostoja sekä liittimiä. Toisena vaihtoehto-

na on sijoittaa eri liittimiin lämpötilasensoreita ja lisätä muuntajatilän kosteuden mittausta.

Määrävin tehtävien tarkastusten yhteydessä tarkistetaan seuraavat asiat:

- muuntajatilän oven ja lukituksen kunto sekä ulkopuolella olevat sähkötilän merkinnät
- ovien avaamisen jälkeen suojuomit sekä varoituskilvet ja itse muuntajatilän yleinen siisteys
- eristimien kunto ja puhdistustarve
- tilassa olevan jäädytyksen toiminta ja puhtaus sekä muuntajan alajännitteen arvo
- väliottokytkimen ohjain ja suojavaadoitus (17.)

Käyttöolosuhteet huomioiden riittänee huoltoväliksi 5 vuotta. Määräaikaishuollon yhteydessä huolletaan väliottokytkin ja tarkastetaan muuntajan suojalaitteet. Lisäksi suojalaitteiden yhteydet testataan. Edellä mainitut huoltotyöt tehdään muuntajan ollessa jännitteetön. Kun muuntaja todetaan jännitteettömäksi, tulee varmistua muidenkin kuin pääsyötön erottimien toiminnasta. Jännite voi siirtyä myös esimerkiksi pienjännitepuolelta. Määräaikaishuollon tulokset kirjataan kunnossapitojärjestelmään tai dokumentoidaan käytössä olevalla tavalla (liite 4). (17.)

Tarkastuksia tehtäessä suojaudutaan tilalle määriteltujen turvaohjeiden mukaisesti. Myös sähköturvallisuuslaki edellyttää tiettyjä turvallisuuskäytäntöjä ja turvavarusteita. Työtä ei saa tehdä yksin vaan työ tehdään aina vähintään kahden sähköalan ammattilaisen toimesta. Työskenneltäessä jännitteisten osien läheisyydessä on työalue määriteltävä etukäteen. 20 kV muuntajan läheisyydessä työskenneltäessä on työalueen ulkomitan oltava vähintään 1,4 m etäisyydellä jännitteisestä osasta. Huoltotoimia tehdessä pitää tilassa olla saatavilla jännitteenkoetin ja työmaadoitusvälineet. Lisäksi tulee olla työhön sopiva vaatetus. Esimerkkejä käytettävistä suojavaarusteista ovat: suojakypärä, turvakengät, suojavaatteet ja silmäsuojat. (28.)

## 7 YHTEENVETO

Tässä työssä tutustaan jakelumuuntajan toimintaan ja älykkääseen kunnonvalvontaan. Kyseinen jakelumuuntaja sijaitsee Oulun ammattikorkeakoulun hybridi-laboratoriossa Linnanmaan kampuksella. Tutkimus- ja kehitystyö keskittyi GBE:n valmistaman valuhartsieristeisen kuivamuuntajan suojaukseen ja sen toteutukseen. Lisäksi työssä pohdittiin kehitysideoita älykkäälle muuntajan kunnonvalvonnalle.

Muuntaja oli otettu käyttöön keväällä 2021 ja oli työn alkaessa jo käytössä. Tämä aiheutti haasteita mm. muuntajatilassa olevien laitteiden kuvauksen ja kytkentöjen varmistamisen kannalta. Olemassa olevat kuvat eivät olleet vielä täysin ajan tasalla ja älykästä ohjausta ei ole hyödynnetty maksimaalisella potentiaalilla.

Työn tuloksena laadittiin muuntajalle kunnossapito- ja huolto-ohjeet (liite 2). Lisäksi Excel-työkalulla tehtiin tarkastuspöytäkirjan pohja laitteiston huoltotarkastuksille (liite 3).

Työ oli sopivan haastava ja onnistui mielestäni hyvin. Työn alkuvaiheessa oli haasteita löytää sopivia ohjeita kuivamuuntajien kunnontarkkailuun, mutta ongelmista selvittiin ja lopputuloksena tehty dokumentaatio sopii hyvin kyseiselle muuntajalle.

## LÄHTEET

1. Aura, L. & Tonteri, A.J. 1986. Sähkämiehen käsikirja 2. Sähkökoneet. Porvoo: WSOY
2. Elenia. Sähköverkon Turvallisuus. Hakupäivä 26.10.2021. <https://www.elenia.fi/vastuullisuus/turvallisuus/sahkoverkon-turvallisuus>
3. Korpinen, L. Muuntajat ja sähkölaitteet. Hakupäivä 24.10.2021. [http://leenakorpinen.com/archive/svt\\_opus/9muuntajat\\_ja\\_sahkolaitteet.pdf](http://leenakorpinen.com/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf)
4. Peda.net. Fysiikka. Muuntajat. Hakupäivä 27.10.2021. <https://peda.net/kotka/perusopetus/kotkansaaren-koulu/kt/oppiaineet/fysiikka/jannen-ryhmat/s%C3%A4hk%C3%B6/vaihtovirta/muuntaja>
5. GBE. Medium Voltage Dry Type Transformers. Hakupäivä 27.4.2021. <https://www.gbeonline.com/en/prodotti/medium-voltage-dry-type-transformers/>
6. Schneider Electric 2018. EcoStruxure Power Continuous Thermal Monitoring eGuide. Hakupäivä 28.10.2021.
7. Piironen, M. 2015. Sähkösäemien kunnossapitoprosessin kehittäminen. Hakupäivä 29.10.2021. [https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/16242/master\\_Piironen\\_Mikko\\_2015.pdf?sequence=1](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/16242/master_Piironen_Mikko_2015.pdf?sequence=1)
8. Mörsky, J. 1992. Relesuojaustekniikka. Hämeenlinna: Otatieto
9. Se. Medium Voltage. Virtamittamuuntajat. Hakupäivä 24.10.2021. <https://www.se.com/fi/fi/product-range/973-mv-virtamuuntaja/?parent-subcategory-id=87896#overview>
10. Hietalahti, L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Vantaa: Tammertekniikka.
11. ABB. Valvontareleet. Hakupäivä 25.10.2021. <https://new.abb.com/low-voltage/fi/tuotteet/elektroniset-releet/mittaus-ja-valvontareleet/verkon-syoton-valvontareleet>

12. Hamp. Muuntajien lisävarusteet. Kaasureleet. Hakupäivä 28.10.2021.  
<https://hamp.se/tuotteet/muuntajien-lisavarusteet/kaasureleet/?lang=fi>
13. Wika. Shop. Hakupäivä 28.10.2021. [https://shop.wika.com/en-en/shop\\_home.WIKA](https://shop.wika.com/en-en/shop_home.WIKA)
14. Geboshop. Öljymittarit. Hakupäivä 28.10.2021.  
<https://www.geboshop.fi/oljyamaaramittarit>
15. Hamp. Muuntajien ilmankuivauslaitteet. Hakupäivä 29.10.2021.  
<https://hamp.se/tuotteet/muuntajien-ilmankuivauslaitteet/?lang=fi>
16. Ahlsell. Venttiilit. Varoventtiilit. Hakupäivä 26.10.2021.  
<https://www.ahlsell.fi/34/lv/venttiilit/varoventtiilit/>
17. Etto, J. Kunnossapitolehden erikoisliite. Kunnossapitokoulu. Proses-  
sisähköistykseen kunnossapito. Osa 2. Hakupäivä 2.11.2021.
18. Edu. Mitä on kunnossapito?  
[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet\\_1-1\\_mita\\_on\\_kunnossapito.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet_1-1_mita_on_kunnossapito.html) Hakupäivä 26.11.2021.
19. Sähköturvallisuuslaki 1135 / 2016. Finlex. Hakupäivä 2.11.2021.  
<https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>
20. Severi.sähköinfo. ST 53.11. Kuluttajamuuntamot. Hakupäivä 2.11.2021.
21. EATechPodcast Partial Discharge Approach  
<https://www.youtube.com/channel/UC-UPOv2n7JKZfRnflI5xuw>  
Hakupäivä 30.11.2021.
22. Yeint. Eristysvastuksen mittaaminen takaa turvallisuutesi.  
<https://www.yeint.fi/uutiset/eristysvastuksen-mittaaminen> Ha-  
kupäivä 30.11.2021.
23. Schneider Electric. How Thermal Monitoring Reduces Risk of Fire More  
Effectively Than IR Thermography. Hakupäivä 29.10.2021.
24. Schneider Electric. How to Build Smarter Electrical Substations by Mim-  
icking Biology. Hakupäivä 26.10.2021.
25. Hybridilaboratoriossa tutkitaan aidossa ympäristössä lämpö- ja sähkö-  
verkkoja. 2021. Ammattikorkeakoulu tiedottaa. Oulun ammattikorkeakou-  
lu. Hakupäivä 3.11.2021.  
[https://www.oamk.fi/fi/oamk/ajankohtaista?kid=68&tiedote\\_id=67892](https://www.oamk.fi/fi/oamk/ajankohtaista?kid=68&tiedote_id=67892)

26. Finnelectric. Lämpötilan valvontarele T154 kuivamuuntajalle. Asennus- ja käyttöohje.
27. OAMK. Älymuuntamo dokumentaatio. Sisäinen lähde.
28. Sähköturvallisuusstandardi SFS 6002:2015 + A1:2018.

## **LIITTEET**

- Liite 1. Valmistajan käyttöönottotarkastusohje
- Liite 2. Valuhartsieristeisen kuivamuuntajan huolto-ohje
- Liite 3. Sähkölaitteiston tarkastuslomake
- Liite 4. Sähkölaitteiston tarkastuksen tulokset



### 3.4 Sähköiset ja mekaaniset tarkastukset

Ennen kuin muuntaja otetaan käyttöön, asennuksen oikeellisuus ja liitännöiden moitteettomuus on tarkastettava.

Seuraavat kohdat on tarkastettava perusteellisesti:

- a) Keski – ja pienjännitekäämit puhdistetaan perusteellisesti pölystä ja liasta kuivalla paineilmalla tai pyyhkimällä.
- b) Muuntajaa esilämmitetään uunilla, jos on päässyt syntymään kondenssivettä.
- c) Anturien moitteeton toiminta on tarkastettava; riittää, että anturien vastus tarkastetaan muuntajan liitinrasiasta. Anturien vastuksen on vastattava asennuspaikan lämpötilaa vastaavaa vastusarvoa.
- d) Tarkastetaan, ovatko ylä – ja alajänniteliitännät sekä jännitteen säätöliuskat kunnolla kiinni.
- e) Tarkastetaan muuntajan lattiakiinnitykset.
- f) Tarkastetaan että suur – ja pienjännitekäämit ovat symmetrisesti rautasydämen ympärillä.
- g) Tarkastetaan käämien eristys keskenään ja muuntajan runkoa vasten Megger – tyyppisellä megaohmimittarilla yli 3kV:n jännitteellä.
- h) Tarkastetaan sidetangot.
- i) Tarkastetaan muuntajan suojalaitteiden toiminta.
- j) Tarkastetaan – muuntajassa olevan arvokilven ja kaavion avulla – muuntajan soveltuvuus ko. käyttöjännitteelle.
- k) Tarkastetaan jännitteen säätökiskon asento. Sen on oltava sama kaikissa kolmessa käämissä. Jos käyttöjännite on korkeampi kuin mihin säätö on asetettu, tyhjäkäyntihäviöt lisääntyvät ja melutaso nousee.
- l) Tarkastetaan tuulettimien toiminta, mikäli niitä muuntajassa on.

- m) Asennuksen valmistuttua tarkastetaan suojausliitännät ja asetelut (noudattaen erillisiä ohjeita).
- n) Jos muuntajan on toimittava rinnan muiden muuntajien kanssa, vaiheiden yhteensopivuus on tarkastettava huolellisesti jännitemittauksen avulla alajännitepuolelta. Myös muut rinnankäynnin ehdot kuten muuntajan koko, Uk, kytkentäryhmä ym. on tarkistettava.
- o) Tarkastetaan mahdolliset metalliosat, kuten esim. Tuki – ja suojaseinät tai kanavat, joiden on sijaittava tässä käyttöohjeessa selostettujen vähimmäisetäisyyksien päässä.
- p) On ehdottomasti kiellettyä saattaa pien – ja/tai suurjännitekaapeleita, maadoitusjohtimia, metalliosia ja muita osia kosketuksiin tai liian lähelle valuhartsikäimejä ja yhdysjohtimia.
- q) Tarkastetaan, ovatko pultit, mutterit ja sidetangot kunnolla kiinni, varsinkin vaikeissa kuljetuksissa tai jos laitteet on lastattu tai purettu usein (kunnollisesta mekaanisesta kiinnityksestä on lisätietoja tässä käyttöohjeessa).
- r) Varmista ettei suurjännitekäämeissä ole kuljetusvaurioita.
- s) Varmista ettei pj- ja sj-käämien tuuletusrakossa ole mitään vieraita esineitä.
- t) Varmista että käämien välinen tuuletusrako C on vapaa ja symmetrinen. SJ – käämi on tuettu kumiesteillä R ja voimakkaan iskun vuoksi käämi saattaa siirtyä.
- u) Mikäli SJ – käämin sijainti on epäsymmetrinen, on otettava yhteys valmistajaan. Tarkista muuntajat huolellisesti ennen käyttöönottoa.

Määrävälein tehtävät tarkastukset:

- Muuntajatilán ja láhiympáristön siisteyden tarkistaminen. Pölyn määrán arviointi silmämääráisesti ja ylimääráisten esineiden poisto.
- Kokeillaan ovien, saranoiden ja lukituksen toiminta.
- Todetaan tilán valaistuksen kunto.
- Tarkastetaan tarvittavien suojalaitteiden olemassa olo ja kunto.
- Silmämääräinen tarkistus tilán ilmanvaihdon ja ilmansuodattimien kunnosta.
- Tarkastetaan muuntajatilán ulkopuolella "Hengenvaara"- varoituskyltti. Sisällä puomi tai muu kulkusuoja, joka estää muuntajan lähelle pääsyn.
- Lämpötila-antureiden kunnan silmämääräinen tarkistus.
- Kaapeliläpivientien kunnan silmämääräinen tarkistus.
- Liittimien lämpökuvaus muuntajan ollessa kuormitettuna. Minimi turvaetäisyyksiä noudattaen.
- Tarkistetaan pienjännitekeskuksen kunto.
- Keskuksen yleinen siisteys ja pölyn tilanne.
- Dokumentaatio löytyy ja on päivitetty nykytilanteen mukaiseksi.
- Ensiapuvälineet

# Sähkölaitteiston tarkastuslomake

LIITE 3

Sähkölaitteiston tarkastuslomake										
Määrävälein tehtävä tarkastus										
Kohteen nimi:										
Tarkastuksen tyyppi:										
Kuvauskenttä	OK	EI OK	KORJATTAVA	KORJATTAVA VÄLITTÖMÄSTI	TARKKAILTAVA	KOMMENTIT				
Muuntajatilän siisteys:										
Lähiympäristön siisteys:										
Ovien, saranoiden ja lukituksen kunto:										
Valaistus:										
Muuntajatilän suojalaitteet, esim työmaadoitusvälineet:										
Ensiapuvälineet:										
Ilmanvaihto, suodattimien kunto:										
Varoituskyltit ja puomit:										
Antureiden kunto:										
Dokumentaatio:										
Käämien eristys keskenään ja muuntajan runkoa vasten										
Kaapeliläpiviennit:										
PJ-laitteiston kunto:										
Tarkastuksen tekijä:										
Päivämäärä:										
Seuraava tarkastus:										

# Sähkölaitteiston tarkastuksen tulokset

# LIITE 4

Sähkölaitteiston tarkastuksen tulokset:		
Kohteen nimi:		
Tarkastuksen tyyppi:		
Kuvauskenttä	Tulokset:	Muuta huomioitavaa:
Muuntajatilän siisteys:		
Lähiympäristön siisteys:		
Ovien, saranoiden ja lukituksen kunto:		
Valaistus:		
Muuntajatilän suojalaitteet, esim työmaadoitusvälineet:		
Ensiapuvälineet:		
Ilmanvaihto, suodattimien kunto:		
Varoituskyltit ja puomit:		
Antureiden kunto:		
Dokumentaatio:		
Käämien eristys keskenään ja muuntajan runkoa vasten		
Kaapeliläpiviennit:		
PJ-laitteiston kunto:		
Tarkastuksen tekijä:		
Päivämäärä:		