



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Iiro Tuomola

MUUNTAJAN ULKOA TOIMITETTAVIEN
KOMPONENTTIEN PUHTAUDEN KEHITTÄ-
MINEN

Hitachi Energy Finland

Tekniikka
2025

TIIVISTELMÄ

Tekijä	liro tuomola
Opinnäytetyön nimi	Muuntajan ulkoa toimitettavien komponenttien puhtauden kehittäminen
Vuosi	2025
Kieli	suomi
Sivumäärä	31 + 1 liitettä
Ohjaaja	Mikko Kytöharju, Jari Koski

Opinnäytetyössä tutkittiin muuntajan ulkoa toimitettavien komponenttien epäpuhtauksia ja niiden vaikutusta muuntajan toimintaa. Työ tehtiin Vaasassa sijaitsevalle Hitachi Energy Finlandille. Työn tavoitteena oli luoda yleinen ohjeistus kriittisten komponenttien pakkaamiseen ja kuljetussuojaukseen epäpuhtauksien ja siitä seuraavien laatuongelmien vähentämiseksi.

Työ on kehitetty tieteellisten julkaisujen, alan kirjallisuuden, Hitachi Energyn sisäisten dokumenttien, reklamaatioiden, laadunhallinnassa työskentelevien henkilöiden haastatteluiden sekä omien havaintojen pohjalta.

Opinnäytetyön lopputuloksena laadittiin selkeä ja käytännönläheinen ohjeistus, jonka avulla toimittajat voivat varmistaa komponenttien puhtauden koko toimitusketjun ajan vähentäen näin laatuongelmia.

ABSTRACT

Author	Iiro Tuomola
Title	Improving the Cleanliness of Externally Supplied Transformer Components
Year	2025
Language	Finnish
Pages	31 + 1 Appendices
Name of Supervisor	Mikko Kytöharju, Jari Koski

The thesis examined the contamination of externally supplied components for transformers and its impact on transformer performance. The thesis was carried out for Hitachi Energy Finland, located in Vaasa. The goal of the thesis was to create general guidelines for the packaging and transport protection of critical components in order to reduce contamination and the resulting quality issues.

The thesis was developed based on scientific publications, industry literature, internal documents from Hitachi Energy, complaints, interviews with personnel working in quality management, as well as personal observations.

As a result of the thesis, a clear and practical set of guidelines was created, enabling suppliers to ensure the cleanliness of components throughout the entire supply chain, thereby reducing quality issues.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	7
2	YRITYSESITTELY.....	8
3	MUUNTAJA.....	9
3.1	Muuntajan toiminta.....	9
4	EPÄPUHTAUKSISTA JOHTUVAT ONGELMAT MUUNTAJISSA.....	11
4.1	Eristysneste.....	11
4.2	Osittaispurkaukset.....	11
4.3	Ruoste.....	12
4.4	Kosteus.....	12
5	MUUNTAJAN PAKKAAMINEN KULJETUSTA JA VARASTOINTIA VARTEN.....	14
5.1	Sydän.....	14
5.2	Eristysosat.....	15
5.3	Käämit.....	15
5.4	Säiliö.....	16
5.5	Kansi.....	18
5.6	Paisuntasäiliö.....	19
5.7	Puristus osat.....	20
5.8	Läpiviennit.....	22
5.9	Virtamuuntaja.....	22
5.10	Metalliset irto-osat.....	23
6	LÄHTÖKOHDAT.....	24
6.1	Rakennekuva.....	24
6.2	Nykytilanne.....	26
7	KEHITYSEHDOTUKSET JA OHJEEN LUONTI.....	27
8	YHTEENVETO.....	29

LÄHTEET	30
LIITTEET	32

KUVAT

Kuva 1. Havainnekuva yksivaihemuuntajan toiminnasta.	10
Kuva 2. Muuntajasydän pakattuna VCI-tapaa käyttäen.	14
Kuva 3. Hyvin suojattu käämilankarulla.	16
Kuva 4. Muuntajan säiliö muovitettuna.	17
Kuva 5. Muuntajan kansi suojattuna.	18
Kuva 6. Paisuntasäiliö suojattuna.	20
Kuva 7. Puristuspalkit häkissä suojattuna muovilla.	21
Kuva 8. MDS-muuntajan rakenne.	24
Kuva 9. MDS-kannen rakennekuva.	25
Kuva 10. Excel-taulukko kriittisistä osista.	26

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä lähdettiin tutkimaan muuntajan ulkoa toimitettavien komponenttien epäpuhtauksia. Työssä selvitetään, missä ja miten epäpuhtaudet syntyvät sekä miten niitä pystyttäisiin ennaltaehkäisemään. Laadulla on merkittävä rooli muuntajatuotannossa, ja laatuun kohdistuvat ongelmat aiheuttavat jatkuvasti lisätyötä. Mitä myöhemmin ongelmat ilmenevät, sitä suurempi haitta yleensä on. Pienikin metallilastun pala voi pahimmillaan aiheuttaa isot vauriot muuntajalle. Epäpuhtauksien, kuten muidenkin laatuongelmien kohdalla, ennaltaehkäisy on avainasemassa.

Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia yleinen ohjeistus muuntajan kriittisimpien komponenttien kuljetussuojaukseen ja pakkaamiseen. Tarkoituksena ei ollut luoda yksityiskohtaisia työohjeita, vaan tarjota toimittajille helposti noudatettava perusohjeistus, jonka avulla voidaan minimoida epäpuhtauksista johtuvat riskit ja niiden seuraukset.

2 YRITYSESITTELY

Hitachi Energy perustettiin 30. kesäkuuta 2021, mutta yrityksen juuret tulevat yli 250 vuoden takaa edeltäjä ABB:stä ja sen emoyhtiöstä Hitachi Ltd:stä. Vuonna 2020 Hitachin ja ABB Power Gridsin liiketoiminta yhdistyi muodostaen Hitachi ABB Power Gridsin. Kaksi vuotta myöhemmin ABB luopui lopusta osuudestaan, ja Hitachi Energystä tuli täysin Hitachi Ltd:n alainen. [1.]

Hitachi Energyn tavoitteena on edistää kestävää energiatulevaisuutta kaikille. Yritys pyrkii tekemään maailman energiajärjestelmistä kestävämmän, sekä turvallisemman. Yritys on myös sitoutunut hiilineutraaliuteen, kehittäen ympäristöystävällisiä tuotteita ja ratkaisuja. Yhtiö pyrkii olemaan edelläkävijä tarjoten ratkaisuja uusiutuvan energian, sähkösiirron ja -jakelun, sekä teollisuuden tarpeisiin. [1.]

Hitachi Energy Suomi tukee verkkoyhtiöitä, teollisuutta ja infrastruktuurialoja tarjoamalla asiakaskohtaisia ratkaisuja energiaketjun jokaiseen eri vaiheeseen. Suomessa yhtiö suunnittelee, valmistaa, toimittaa ja kunnossapitää muuntajia, reaktoreita, sähköverkon hallinnan eri järjestelmiä sekä erinäköisiä projekteja liittyen sähköön jakeluun ja siirtoon, kuten sähköasemakokonaisuuksia. [2.]

Hitachi Energyn muuntajatuotannolla on pitkä ja merkittävä historia Suomessa. Strömberg aloitti muuntajien valmistuksen Suomessa vuonna 1914. Tämä jatkuu vieläkin vahvana Hitachi Energyn Vaasan tehtaalla. Hitachi Energyn Vaasan tehdas on nykyisin Suomen suurin ja merkittävin muuntajia valmistava tehdas. Muuntajat ovat avainasemassa sähköverkon joustavuuden, luotettavuuden, sekä uusiutuvan energian hyödyntämisessä. Vaasan tehdas panostaa jatkuvasti uusiin investointeihin vastatakseen kasvavaan kysyntään ja vahvistaen samalla Suomen asemaa globaalina muuntajaosaamisen keskuksena. [3.]

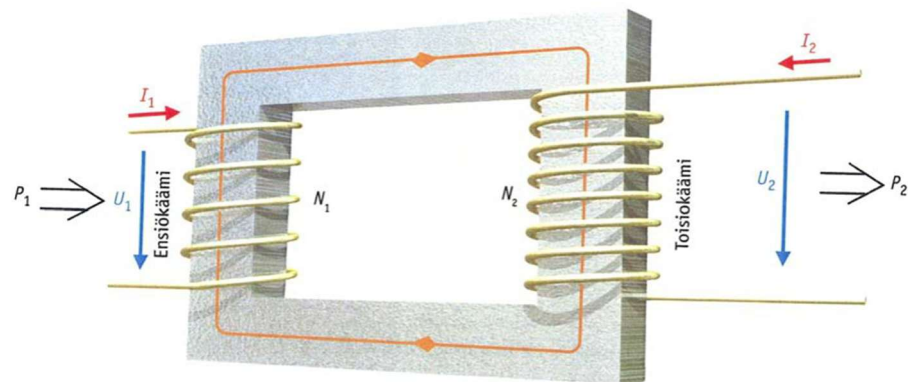
3 MUUNTAJA

Muuntaja on yksi sähkönsiirron ja -jakelun kulmakivistä. Se on ollut käytössä yli sadan vuoden ajan. Sen ensisijainen tehtävä on muuntaa sähköverkossa käytettäviä jännitetasoja niin, että sähköä voidaan siirtää tehokkaasti ja turvallisesti pitkiä matkoja, sekä jakaa kuluttajille oikeassa muodossa. Muuntajan peruskomponentit ovat magneettisesti johtava sydän ja sähköisesti johtavat käämit, joiden yhteistyö mahdollistaa sähkömagneettisen induktion periaatteeseen perustuvan toiminnan. Suomessa muuntajien valmistus alkoi 1940-luvulla. [4.]

Sähköverkon toimintaa voidaan ajatella monimutkaisena ekosysteeminä, jossa muuntajat toimivat keskeisinä solmukohtina. Niiden avulla sähkö voidaan siirtää korkeajännitteisenä pitkiä matkoja, jolloin siirtohäviöt pysyvät pieninä. Lähellä kuluttajaa jännite muunnetaan matalammaksi, jotta sitä voidaan käyttää turvallisesti kodeissa ja teollisuudessa. Ilman muuntajia sähkönjakelu nykymuodossaan ei olisi mahdollista. [4.]

3.1 Muuntajan toiminta

Muuntajan toimintaa voidaan verrata tavalliseen magneettiin. Muuntaja koostuu käämityksistä. Niitä ovat ensiökäämitys ja toisiokäämitys, jotka on kiedottu yhteisen rautasydämen ympärille. Yläjännite U_1 ja alajännite U_2 riippuvat käämien kierroslukumäärästä. Jos ensiökäämissä on enemmän kierroksia kuin toisiokäämissä, on toisiokäämin jännite suhteessa pienempi kuin ensiökäämin jännite, ja vastaavasti toisinpäin. Teho syötetään ensiökäämitykseen. Toisiokäämitys on vastaavasti käämitys, josta saadaan teho ulos muuntajasta. [4.]



Kuva 1. Havainnekuva yksivaihemuuntajan toiminnasta. [4.]

Kun ensiökäämiin kytketään vaihtojännite U_1 , aiheuttaa se rautasydämeen muuttuvan magneettivuon Φ , joka indusoi toisiökäämissä jännitteen U_2 . Indusoituvan jännitteen suuruus riippuu käämien kierroslukujen suhteesta. Ensiö- ja toisiojännitteiden suuruudet ovat siis suoraan verrannollisia käämien kierroslukujen suhteeseen. Ensiö- ja toisiovirrat käyttäytyvät sen sijaan päin vastaisesti kuin jännitteen, ne ovat kääntäen verrannollisia kierroslukujen suhteen. Tämä voidaan esittää alla olevalla kaavalla. [4.]

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

4 EPÄPUHTAUKSISTA JOHTUVAT ONGELMAT MUUNTAJISSA

Epäpuhtaudet ovat iso riskitekijä muuntajan luotettavalle toiminnalle. Epäpuhtaudet voivat aiheuttaa sekä ulkoisia, että sisäisiä vikoja aiheuttaen huomattavasti lisääntyä, kustannuksia, sekä tuotantokatkoksia. Vaikka epäpuhtaudet voivat vaikuttaa vähäisiltä, niiden vaikutukset voivat olla vakavia. Siksi puhtauden hallinta on keskeinen osa laadunvarmistusta.

4.1 Eristysneste

Eristysnesteellä on muutamia tarkoituksia. Se toimii sähköisenä eristykseenä estäen sähköisiä purkauksia, sekä oikosulkuja. Toinen tärkeä ominaisuus on toimia jäähdytysaineena, toisin sanoen lämmönsiirtäjänä. Tämä on tärkeää, koska toimissaan muuntaja tuottaa lämpöä ja muuntaja voi pahimmassa tapauksessa ylikuumentua, mikä vahingoittaa muuntajaa. Muuntajan yleisiä ongelmia ovatkin sähköiset purkaukset ja ylikuumeneminen. [5.] , [6.]

Epäpuhtaudet heikentävät muuntajan eristysnesteeseen ominaisuuksia, joka voi mahdollistaa esimerkiksi ylikuumenemista ja eristeiden heikkenemistä. Eristysnesteeseen on aina täytettävä standardien vaatimukset, sekä spesifikaatiot. Onkin siis erityisen tärkeää pitää eristysneste niin puhtaana kuin mahdollista. [5.] , [6.]

4.2 Osittaispurkaukset

Osittaispurkaukset ovat sähköpurkauksia, jotka tapahtuvat eristysmateriaalin sisällä tai pinnalla, ilman että ne johtavat täydelliseen läpilyöntiin. Yksi osittaispurkauksien syy muuntajissa on epäpuhtaudet. Pienikin metallihiukkanen voi alentaa purkausjännitettä huomattavasti. Hiukkasten koolla on myös väliä: mitä isompi esimerkiksi metallihiukkanen on, sitä suuremmaksi todennäköisyys purkaukseen kasvaa. Samalla kasvaa myös mahdollisuudet läpilyöntiin. Terävä metallihiukkanen voi kerätä varausta ja johtaa paikalliseen läpilyöntiin. Osittaispurkaukset ovat usein merkki eristeen heikkenemisestä, ja ne voivat lopulta johtaa täydelliseen läpilyöntiin, ellei niitä korjata tai havaita. [7.]

PD-mittauksella voidaan havaita eristysrakenteiden piileviä heikkouksia, jotka saattavat johtaa muuntajan vaurioitumiseen käytössä. Kyseessä on rutiinikoe yli 72,5kV muuntajille. Alle 72,5kV muuntajille PD-mittaus tehdään vain asiakkaan tilatessa sen erikseen. Osittaispurkauksien taustalla voi olla epäpuhtaudet. Varsinkin johtavat epäpuhtaudet, sekä ionisoituneet alueet ovat vaarallisia. [8.]

4.3 Ruoste

Ruoste syntyy, kun rauta tai teräs reagoi hapen ja kosteuden kanssa. Tämä kemiallinen reaktio aiheuttaa metallin hajoamisen muodostaen punaruskean pinnoitteen. Ruostetta on pinnallista ruostetta, joka vaikuttaa metallin pintaan, sekä syvää ruostetta, joka on vakavampi ruosteen muoto, joka tunkeutuu syvemmälle metalliin ja heikentää sitä merkittävästi. Ilmastolla on iso vaikutus ruosteen muodostumiseen. Ruosteen vaikutukset sähkömuuntajiin voi olla isoja. Ruoste voi aiheuttaa rakenteellisia vaurioita, jotka voivat aiheuttaa vuotoja ja johtaa ylikuumentumiseen ja muihin lisävaurioihin. Ruoste on myös sähköä johtavaa, joten se voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa oikosulkuja muuntajassa. Epäpuhtauksien kannalta esimerkiksi lika ja pöly ovat haitallisia, sillä ne voivat edistää ruosteen muodostumista keräämällä kosteutta tai vaurioittamalla muuntajan pinnoitetta. [9.]

Ruostetta vastaan suojaudutaan usein erilaisilla pinnoitteilla. Onkin tärkeää tarkistaa, että maalipinta on puhdas ja eikä se ole saanut vaurioita. Oikeanlainen varastointi, kuljetus ja ennakoiva huolto ovatkin isossa asemassa.

4.4 Kosteus

Kosteus on yksi isoimmista tekijöistä, joka vaikuttaa eristeosien toimivuuteen ja käyttöikänsä. Eristeinä toimivat materiaalit, kuten prespaani, muuntajapaperi sekä puuosat sisältävät luonnostaan noin 6–8 % kosteutta suhteessa omaan painoonsa. Suuri osa muuntajan kosteudesta koostuu juuri näihin osiin. Kuivausprosessin jälkeä eristemateriaalien kosteuspitoisuus pyritään laskemaan alle 1 %. Kosteuden

läsnäolo heikentää merkittävästi eristenesteen, sekä muiden eristeiden sähkökestoa ja nopeuttaa näiden vanhenemista. Esimerkkinä uuden käsitellyn eristysnesteeseen tulee kestää tiettyä määrää jännitettä. Jos eristysneste ei kestä tätä jännitettä voi mahdollisena syynä olla juuri kosteus tai esimerkiksi pöly eristysnesteessä. Eristysmateriaalien kuntoa voidaan arvioida eristysresistanssi mittauksella, joka kuvaa eristyksen vuotovirtavastusta. Kosteuden ja muiden epäpuhtauksien vaikutuksesta eristeeseen syntyy sähköisesti varautuneita ioneita, jotka sähkökentässä liikkeessaan aiheuttavat vuotovirtaa. Mitä vähemmän kosteutta ja muita epäpuhtauksia eristeessä on, sitä suurempi on sen eristysresistanssi. [4.] , [8.]

Vaikka eristysosat lopulta kuivataan uunissa, on niiden suojaaminen kosteudelta jo varastointi ja kuljetusvaiheessa erittäin tärkeää. Selluloosapohjaiset eristemateriaalit voivat kosteutta kerätessään turvota tai kutistua. Niihin voi myös muodostua sisäisiä jännityksiä ja pahimmillaan näkymättömiä halkeamia materiaalien sisäosiin, jotka heikentävät mekaanista lujuutta. Lisäksi jos haihtuva vesi ei poistu riittävän nopeasti kuivauksen aikana voi seurata ongelmia. [10.]

Tärkeimpiä muuntajan eristysmateriaaleja ovat muuntajapaperi, prespaani ja eristysneste. Näin ollen kosteuden hallinta koko toimitusketjun ajan on keskeisessä osassa laadunvarmistusta. Myös niiden oikeanlainen käsittely ja kosteudelta suojaaminen ovat keskeisiä muuntajan toiminnan ja käyttöään kannalta.

5 MUUNTAJAN PAKKAAMINEN KULJETUSTA JA VARASTOINTIA VARTEN

5.1 Sydän

Muuntajasydämen tehtävänä on ohjata magneettivuo kulkemaan haluttujen käännyksien kautta. Sydän koostuu pylväistä ja ikeistä, jotka rakennetaan raudasta piirin magneettisen vastuksen pienentämiseksi. [4.]

Sydänten suojaamisessa on tärkeää, että se tuetaan kunnolla. Pakkaus täytyy olla huolellisesti tehty ja oikeita materiaaleja käyttäen. Pitkäaikaisessa varastoinnissa on isona riskinä sydämen ruostuminen tästä syystä oikea pakkausmateriaali ja tapa ovat tärkeitä. Kuvassa 2 on esitetty muuntajan rautasydän pakattuna VCI pakkaustapaa käyttäen.



Kuva 2. Muuntajasydän pakattuna VCI-tapaa käyttäen.

VCI-pakkaaminen eli Volatile Corrosion Inhibitor on erikoistunut pakkausratkaisu, joka on suunniteltu suojaamaan metalliosia korroosion ja ruosteen haitallisilta vaikutuksilta. VCI-pakkaus on hyvä suojauskeino erityisesti haastavissa ympäristöissä ja pitkäaikaisessa varastoinnissa. [11.]

VCI pakkaamisen toiminta perustuu, että se vapauttaa haihtuvia korroosion estoaineita, jotka muodostavat metallipinnalle suojaavan kerroksen. Suojakerros on vain muutaman molekyylin paksuinen ja on näkymätön. Tämä kerros estää kosteuden, suolan ja muiden syövyttävien aineiden pääsyn metalliin. [11.]

5.2 Eristysosat

Muuntajat ovat vaativia järjestelmiä, joissa eristysmateriaalien laatu on erittäin kriittinen. Eristysosilla on erinomaiset sähköiset ja mekaaniset ominaisuudet. Puu ja eristysosat ovat alttiita kosteudelle, mikä voi vaikuttaa eristysosien fyysisiin ominaisuuksiin. Osat imevät herkästi ilman kosteutta, mikä voi johtaa osien turpoamiseen ja halkeiluun jo varastoinnin aikana. [4.]

On siis erityisen tärkeää pitää eristysmateriaalit, kuten puu, prespaani ja paperi eristeet kuivina ja puhtaina suojaten niitä epäpuhtauksilta, mekaanisilta vaurioilta sekä kosteudelta koko kuljetus- ja varastointiprosessin ajan. Käytännössä paras tapa suojata on siis sulkea osat tiiviisti kosteudelta suojaavaan pakkaukseen heti valmistuksen jälkeen.

5.3 Käämit

Muuntajista löytyy aina vähintään kaksi peruskäämitystä, jotka ovat yläjännitekäämitys ja alajännitekäämitys. Käämien valmistusmateriaaleina toimii puhdas kupari tai sähköalumiini, jotka eristetään muuntajapaperilla. Eristyspaksuus valitaan käämityyppin tai jänniterasituksen mukaan. Se esiintyy käämissä. [4.]

Käämeissä on erittäin tärkeää, että se on suojattu hyvin ja oikealla tavalla. Pienetkin määrät metallipölyä voi aiheuttaa isot riskit. Mekaaniset vauriot ovat myös

erittäin haitallisia käämeissä, koska pelkästään käämin muodolla on merkitystä. Kosteus ja pöly eristyspaperissa on myös haitallista. Kuvassa 3 on hyvin pakattu käämirulla.



Kuva 3. Hyvin suojattu käämilankarulla.

5.4 Säiliö

Säiliö toimii muuntajan kantavana rakenteena, öljysäiliönä ja jäähdyttimenä sekä suojaa muuntajan sisällä olevia osia. Säiliöt valmistetaan teräksestä. [4.]

Säiliöiden pakkaamisessa on tärkeää torjua ne ilmastorasituksia ja mekaanisia iskuja vastaan. Erityishuomiona erityyppiset laipat, putkistot ja onkalot on hyvä suojata erikseen. Tärkeintä on toimittajan huolellisuus ennen pakkaamista. Säiliön täytyy olla täysin puhdas niin sisältä kuin ulkoa, ennen kuin se laitetaan pakettiin. Säiliö on hyvä suojata muovittamalla kuvan 4 mukaisesti. Tämän lisäksi olisi hyvä, että kaikki aukot suojattaisiin väliaikaisilla tulpilla/kansilla heti valmistuksen jälkeen.



Kuva 4. Muuntajan säiliö muovitettuna.

5.5 Kansi

Kansi sulkee säiliön yläpäästä ja on yleisesti kiinni aktiiviosassa. Kansi kiinnitetään säiliöön joko hitsaamalla tai pultteja käyttämällä. Kannen ja säiliön väliin tulee aina tiiviste. Jos kansi hitsataan säiliöön väliin, tulee myös tiivistettä suojaava palosuojanauha. Muuntajan kannessa on yleensä erilaisia laippoja ja liitoksia, joihin tarvittavat varusteet kiinnitetään. [4.]

Kannen suojaukseen pätee kaikki samat asiat, kuin säiliön suojaukseen. Kuvassa 5 nähdään kansi hyvin suojattuna.



Kuva 5. Muuntajan kansi suojattuna.

5.6 Paisuntasäiliö

Kannen ja säiliön tapaan paisuntasäiliö valmistetaan teräksestä ja sen tehtävänä on toimia nimensä mukaisesti paisuntatilana muuntajan öljylle. Paisuntasäiliön mitoituksella on tärkeä rooli, sillä öljyn lämpötilan muuttuessa öljyn tilavuus muuttuu. Paisuntasäiliö mitoitetaan siten, että öljyn lämpötilan ollessa korkeimmillaan paisuntasäiliö on suunnilleen täynnä, ja öljyn lämpötilan ollessa kylmimmillään paisuntasäiliössä on vielä riittävästi öljyä. [4.]

Paisuntasäiliön suojaukseen kannen ja säiliön tapaan tulee erityisesti suojata ilmas- torasituksilta, sekä juuri onkalot, laipat ja putkistot olisi hyvä suojata erikseen. Kuvassa 6 näkyy hyvin suojattu paisuntasäiliö. Lisänä kuvan suojaukseen olisi suojata laipat ja putkistot vielä erikseen.



Kuva 6. Paisuntasäiliö suojattuna.

5.7 Puristus osat

Puristusosat valmistetaan yleisimmin metallista, prespaanista ja puusta. Muuntajan pääpuristusosiin kuuluu puristuspalkit, vetolevyt, vaarnaruuvit, prespaanilieriöt, sekä käämipedit. Näiden lisäksi kokonaisuuteen sisältyy paljon pienempiä puristusosia. Puristusosien ensisijainen tehtävä on tukea aktiiviosaa. Puristusosat

mitoitetaan kestävästi käämeissä mahdollisten oikosulkujen aikana syntyvät voimat. [8.]

Kaikkien puristusosien kuljetussuojauksessa on tärkeää varmistaa näiden puhtaus, sekä vaurioiden estäminen. Puu- ja prespaanikomponentit tulee suojata kosteutta vastaan mahdollisimman tehokkaasti. Metalliset puristuspalkit toimitetaan yleensä omissa kuljetushäkeissä. Nämä on myös hyvä suojata kuvan 7 mukaisesti muovilla estäen epäpuhtaudet ja mekaaniset vauriot.



Kuva 7. Puristuspalkit häkissä suojattuna muovilla.

5.8 Läpiviennit

Läpiviennit ovat kriittisiä komponentteja muuntajassa. Ne varmistavat turvallisen ja tehokkaan liittymisen sähköverkkoon. Läpiviennit suunnitellaan kestäväksi korkeita jännitteitä ja lämpötiloja. Niiden eristyskyky on olennainen osa muuntajan toimintaa. Läpivienneissä käytetty materiaali on yleensä posliinia. Asennuspaikkana läpivienneille toimii kansi, mutta joskus myös läpiviennit asennetaan muuntajan kylkeen. Läpiviennit ovat herkkiä komponentteja, joten niiden pakkaamisessa on erityisen tärkeää suojata läpiviennit iskuilta, kolhuilta ja vastaavilta. Lisäksi kosteus on yksi läpivientien ongelmista. Monissa läpivienneissä on paperipohjainen eristys sisällä. Se imee herkästi ilmankosteutta. [4.]

Erityyppisillä läpivienneillä on omat vaatimuksensa pakkauksiin, mutta kaikilla on yhteistä estää osien liikkuminen kuljetuksen aikana. Läpiviennit ovat herkkiä ja helposti vaurioituvia komponentteja, minkä vuoksi niiden oikeanlainen suojaaminen on erityisen tärkeää. Lisäksi on huolehdittava suojaus kosteutta, likaa ja muita epäpuhtauksia vastaan.

5.9 Virtamuuntaja

Virtamuuntajat ovat laitteita, jotka pystyvät muuttamaan suuriakin virtoja pieniksi. Muuntajissa virtamuuntajia tarvitaan muuttamaan isoja virtoja suojalaitteille sopiviksi. Suurilla jännitteillä myös mittauspiirin eristämiseksi suurjännitepiiristä virtamuuntaja on välttämätön. Virtamuuntajaa käytetään myös energian mitauksessa. [8.]

Virtamuuntajien kuljetuksessa on erityisen tärkeää suojata laitteet kosteudelta ja epäpuhtauksilta. Paras tapa on kuljettaa virtamuuntajat puulaatikoissa suojattuna esimerkiksi kutistemuovilla. Tällä tavalla saadaan suojattua virtamuuntajat kos-

teudelta ja epäpuhtauksilta. Virtamuuntajat voidaan kuljettaa myös pahvilaatikoissa suojattuina kosteudelta. Tämä tapa voi olla tilansäästön kannalta parempi ratkaisu.

5.10 Metalliset irto-osat

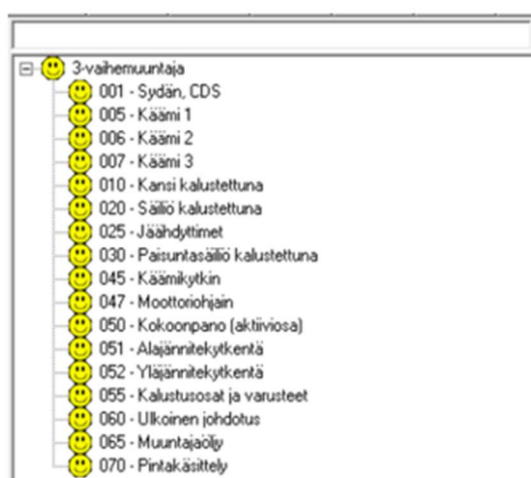
Muuntajaan kuuluu paljon metallisia irto-osia. Nämä toimitaan usein suurina määrinä samalla lavalla. Näiden suojauksessa on tärkeää, että ne suojataan ilmastorasituksia ja kolhuja vastaan. Osien pakkaamisessa on tärkeää, että ne ovat huolellisesti eroteltuina toisistaan esimerkiksi suojamuovien avulla. Näin pystytään estämään osien hankautumiset ja kolhut toistensa kanssa. Putkistojen kohdalla on myös erityisen tärkeää estää kosteuden kondensoituminen, sekä epäpuhtauksien pääsy putkien sisäpuolelle. Tehokas tapa on tiivistää putkien päät suojakannella tai vastaavalla tulppauksella estäen epäpuhtauksien ja kostean ilman pääsy putken sisälle.

6 LÄHTÖKOHDAT

6.1 Rakennekuva

Työssä lähdettiin tarkastelemaan muuntajan rakennekuva, jonka avulla pyrittiin tunnistamaan komponentit yleisestä kolmivaihemuuntajasta komponentit, jotka vaatisivat erityistä huomiota kuljetuksen ja varastoinnin ajaksi. Työn tavoitteena oli löytää muuntajan rakenteesta kriittiset komponentit ja varmistaa niiden asianmukainen suojaus kuljetuksen ja välivarastoinnissa syntyvien vaurioiden estämiseksi.

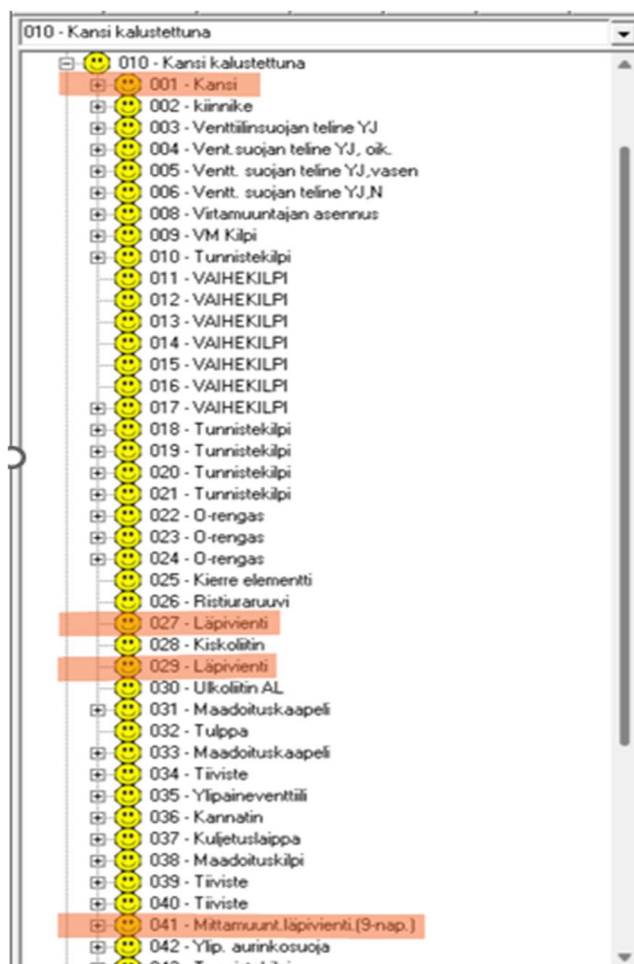
Rakennekuvan analysoinnissa käytettiin työkaluna MDS-ohjelmistoa, joka mahdollistaa yksityiskohtaisen tarkastelun. Kuvassa 8 on esitetty MDS-ohjelmasta avatuna erään 3-vaihemuuntajan rakennekuva. Jokainen pääkohta on jaettu tarkempaan alakohtiin, jotka sisältävät yksittäiset komponentit.



Kuva 8. MDS-muuntajan rakenne.

Analyysi aloitettiin purkamalla jokainen pääkohta vaihevaiheelta ja merkkamalla osat, jotka arvioitiin toiminnan kannalta kriittisiksi. Kuvassa 9 näkyy esimerkkinä muuntajan kannen rakennekuva. Siihen on merkitty komponentit, jotka ovat muuntajan toiminnan kannalta kriittisiä. Lisäksi itse kannen rakenne arvioitiin kriittiseksi, sillä sen vaurioituminen vaikuttaa suoraan muuntajan toimintavarmuuteen.

teen. Kannen rakenne sisältää myös paljon osia kuten tiivisteitä ja nimikilpiä, joiden kuljettaminen ja suojaaminen on helppoa. Niihin ei tarvitse kiinnittää yhtä paljon huomiota.



Kuva 9. MDS-kannen rakennekuva.

Kuvassa 9 käytettyä analysointimenetelmää käytettiin järjestelmällisesti myös muissa pääkohdissa. Lopputuloksena muodostettiin Excel-taulukko (Kuva 10), johon on listattu komponentit, joiden puhtautta ja suojasta päätettiin tarkastella enemmän.

Pääosa	Sydän	Käämi	Kansi	Säiliö	Paisuntasäiliö	Radiaattorit
Alaosa	Puristuspalkit	Eristys ja puuosat	Virtamuuntaja	Putket	Putket	
	Eristysosat		Läpivienti			
	Puristusosat		Putket			

Kuva 10. Excel taulukko kriittisistä osista.

Kuvan 10 taulukosta näkyy selkeästi mitkä komponentit vaativat erityistä huolellisuutta logistisissa vaiheissa.

6.2 Nykytilanne

Metalliosien eli säiliöiden, paisuntasäiliöiden, kansien, putkien, sekä muiden irtosien kohdalla käytössä on tällä hetkellä yksi yhteinen kuljetus- ja pakkausohje. Nykyisessä ohjeessa kerrotaan hyväksyttävät pakkaustyyppit, eli mitkä pakkaustyyppit ovat hyväksyttäviä ja mitkä eivät. Ohjeessa kerrotaan myös, kuinka pakkaukset tulevat merkitä. Samasta ohjeesta löytyy myös muutamia havainnollistavia esimerkkikuvia pakkauksista, jotka eivät ole hyväksyttäviä sekä muutamia havainnollistavia malliesimerkkejä hyvistä pakkauksista. Sen sijaan muiden komponenttien osalta ei ole tällä hetkellä olemassa yhtenäistä pakkausohjetta.

7 KEHITYSEHDOTUKSET JA OHJEEN LUONTI

Opinnäytetyössä lähdettiin tutkimaan tarkemmin muuntajan komponentteja, joiden laadulla on kriittinen merkitys muuntajan luotettavan toiminnan ja käyttöiän kannalta. Aluksi tiedonkeruu toteutettiin perehtymällä yrityksessä aiemmin esiintyneisiin reklamaatioihin sekä haastatteleamalla laadunhallinnan parissa työskenteleviä henkilöitä. Tämän lisäksi hyödynnettiin omia havaintoja tuotantoprosessin aikana ilmenneistä ongelmatilanteista. Kootut tiedot, mukaan lukien visuaaliset havainnot ja dokumentoidut ongelmat, kerättiin yhteen kattavaan Word-tiedostoon, joka toimi pohjana ongelmien yksityiskohtaisemmalle analyysille.

Ongelmat analysoitiin tarkemmin pyrkimyksenä löytää niiden juurisyitä ja selvittää, olivatko kyseiset ongelmat seurausta puutteellisesta pakkaamisesta vai jostakin muusta syystä, kuten materiaalien laadusta tai kuljetuksessa tapahtuvista vaurioista. Samalla kartoitettiin olemassa olevat ohjeistukset toimittajille. Tämän kartoituksen tuloksena havaittiin, että ainoastaan metalliosille oli laadittu lyhyt ja yleisluontoinen pakkausohje, mutta muiden komponenttien osalta tarkemmat ohjeistukset puuttuivat kokonaan.

Työssä keskityttiin erityisesti niihin ongelmiin, joiden ratkaisemiseksi parannettu pakkaaminen olisi mahdollista ja tehokasta. Ratkaisuiden kehittämisessä tutkittiin erilaisia pakkausmateriaaleja ja menetelmiä, jotka toimivat voisivat toimia hyvin parantaen komponenttien laatua ja säilyvyyttä.

Isoon osaan ongelmista, joita ilmeni ratkaisuna, on pelkästään toimittajan huolellisuus. Varsinkin pölyn ja likaantumisen kaltaiset epäpuhtaudet johtuvat yleensä suoraan toimittajan huolimattomuudesta. Tämä aiheuttaa paljon lisätyötä tuotannossa.

Vaikka toimittajien huolellisuudella on merkittävä vaikutus, löytyi työn aikana useita kehityskohteita komponenttien kuljetussuojaukseen, joita tulee vaatia toimittajilta paremman suojauksen varmistamiseksi.

Kun kattava tietopohja ja analyysi oli luotu, laadittiin uusi pakkausohjeistus. Ohjeistuksen tavoitteena on tarjota selkeä ja käytännönläheinen opastus asianmukaiseen komponenttien pakkaamiseen huomioiden sekä toimitusketjun eri vaiheet että mahdolliset ympäristöolosuhteet. Uudella ohjeistuksella pyritään varmistamaan, että komponentit saapuvat tuotantoon ja loppukäyttäjälle virheettöminä, mikä vähentää reklamaatioiden määrää ja parantaa tuotannon tehokkuutta sekä yleisesti laatua.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä lähetettiin tutkimaan ulkoa toimitettavien komponenttien puhautta ja kuljetussuojaamista sekä niiden vaatimuksia. Työn lähtökohtana oli vähentää tuotannossa havaittuja epäpuhtauksista koituvia ongelmia, erityisesti muuntajan komponenteissa, joissa lika ja vauriot voivat aiheuttaa isoja vahinkoja ja viivästyksiä tuotannossa. Tavoitteena oli luoda toimittajille pakkausohjeistus. Työssä esiteltiin epäpuhtaudesta johtuvia ongelmia muuntajissa, sekä tutkittiin pakkaustapoja, jotka toimivat parhaiten eri komponenteille. Työssä käytettiin apuna vanhoja reklamaatioita, alan ammattilaisten kommentteja sekä omia havaintoja.

Opinnäytetyön keskeisenä tuloksena saatiin luotua selkeä ja helposti noudatettava pakkausohje toimittajalle, jonka avulla pystytään ennaltaehkäisemään epäpuhtauksista koituvia ongelmia parantaen tuotannon tehokkuutta ja laatua. Vaikka pakkausohje tukee oikeanlaista toimintaa ja auttaa siinä, suurin vastuu on kuitenkin toimittajalla, että asiat tehdään oikealla tavalla.

LÄHTEET

1. Our Story | Hitachi Energy [Internet]. [viitattu 24. helmikuuta 2025]. Saatavissa: <https://www.hitachienergy.com/us/en/about-us/company-profile/our-story>
2. Yhtiötiedot | Postiosoitteet | Sertifikaatit | Myynnin yhteystiedot | Hitachi Energy [Internet]. [viitattu 27. maaliskuuta 2025]. Saatavissa: <https://www.hitachienergy.com/about-us/company-profile/country-and-regional-information/finland/yhtiotietoja>
3. Teollista muuntajatuotantoa Suomessa 110 vuotta | Hitachi Energy [Internet]. [viitattu 27. helmikuuta 2025]. Saatavissa: <https://www.hitachienergy.com/about-us/company-profile/country-and-regional-information/finland/maailman-muuntajat>
4. ABB muuntajatekniikan perusteet [Internet]. 2007. Saatavissa: ABB:n sisäinen koulutusmateriaali
5. T. O. Rouse. Mineral insulating oil in transformers. IEEE Electrical Insulation Magazine. kesäkuuta 1998;14(3):6–16.
6. A. S. Gill. The design of transformer oil. Teoksessa: Conference Record of the 2000 IEEE International Symposium on Electrical Insulation (Cat No00CH37075). 2000. s. 247–50.
7. Y. Li, C. Zhang, J. Zhao, X. Yu. Study on the Influence of Impurities on Partial Discharge and Flashover Characteristics of Pressboard Based on Three-parameter Weibull Model. Teoksessa: 2023 IEEE 6th International Electrical and Energy Conference (CIEEC). 2023. s. 3697–701.
8. Muuntajatekninen peruskoulutus [Internet]. 1998. Saatavissa: ABB:n sisäinen koulutusmateriaali
9. Ibrahim E. Rust and Transformers: What You Need to Know [Internet]. SafetyFrenzy. 2023 [viitattu 22. lokakuuta 2024]. Saatavissa: <https://www.safetyfrenzy.com/rust-and-transformers/>
10. Fisher F. Moisture Protection of Insulation Material [Internet]. Weidmann Electrical Technology AG. 2019 [viitattu 17. huhtikuuta 2025]. Saatavissa: <https://weidmann-electrical.com/moisture-protection-of-insulation-material/>
11. Understanding Corrosion Inhibiting VCI Packaging: An In-depth Guide - IP Products [Internet]. 2023 [viitattu 27. helmikuuta 2025]. Saatavissa:

<https://ipproducts.com/understanding-corrosion-inhibiting-vci-packaging-guide/>

LIITTEET

LIITE 1. Packing instruction (restricted)