

**KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU  
TEKNIikka**

Elorinne Marko

**Komposiittieristimien käyttö sähkönsiirrossa**

Työn liitteet ovat salassa pidettäviä 15.5.2012 asti.

Sähkötekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö  
Sähkövoimatekniikka  
Kemi 2009

## **ALKUSANAT**

Kiitän Eltel Networks Oy:tä antamalla minulle mahdollisuuden perehtyä komposiittieristimien kiinnostavaan maailmaan. Opinnäytetyön aihe oli erittäin mielenkiintoinen. Kiitos siitä kuuluu Tapio Leskiselälle. Suuri kiitos kuuluu myös työn valvojana toimineelle Pentti Talalalle sekä työn tärkeälle käytäntöön soveltajalle Jorma Viirille. Aiheeseen perehdyttämisestä ja aineiston jakamisesta kiitos kuuluu Yrjö Ojalalle.

Kehitysideoiden jakamisesta, kannustuksesta sekä oikealle tielle ohjaamisesta haluan kiittää Pekka Hemminkiä, Pekka Laaksoa, Heikki Wallinia, Ari Stenrothia ja Seppo Maksimaista.

Suurin kiitos kuuluu tietenkin omalle vaimolle kannustuksesta ja tuesta. Nyt kun opinnäytetyö on valmis, täytyy minun luultavasti alkaa osallistua siivoamiseenkin.

## TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Tekniikan yksikkö	
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Opinnäytetyön tekijä	Marko Elorinne
Opinnäytetyön nimi	Komposiittieristimien käyttö sähkönsiirrossa
Työn laji	Opinnäytetyö
päiväys	2.5.2009
sivumäärä	25 + 29 liitesivua
Opinnäytetyön ohjaaja	Tuntiopettaja, Antero Martimo
Yritys	Eltel Networks Oy
Yrityksen yhteyshenkilö/valvoja	Aluepäällikkö, Pentti Talala

Suomessa voimajohdoissa on perinteisesti käytetty posliini- tai lasieristimiä. Muualla maailmassa komposiitista valmistettuja eristimiä on käytetty jo vuosikymmenien ajan. Suomen kantaverkkoa vahvistetaan rakentamalla uusi 400 kV:n voimajohto asemavälille Keminmaa-Petäjäskoski. Voimajohto rakennetaan komposiittieristimillä.

Opinnäytetyö sisältää perustietoa voimajohdoilla käytettävistä lasi- ja posliinieristimistä sekä tarkempaa tietoa komposiittieristimistä. Opinnäytetyön liitteenä on Silicosil 400 kV:n komposiittieristimien vastaanotto-, varastointi-, kuljetus- ja asennusohjeita. Lisäksi työssä on kehitelty komposiittieristimien asennusta helpottavia työmenetelmiä ja -kaluja. Työn pohjalta on tehty koulutusmateriaali komposiittieristimien kanssa työskenteleville työntekijöille.

Työn tavoitteena edellä mainittujen lisäksi oli verrata eri eristinvalmistajien komposiittieristimiä toisiinsa, mutta tämä tavoite jäi saavuttamatta tiedon ja kokemusten puutteen vuoksi. Työmenetelmät sen sijaan ovat olleet käytössä Keminmaa-Petäjäskoski 400 kV:n linjan rakennustyömaalla. Kokemukset ohjeistuksesta ja työvälineistä ovat olleet erittäin positiiviset.

Komposiittieristimistä saadut asennuskokemukset ovat olleet lupaavia. Komposiittieristimien keveys on helpottanut asennustöitä voimajohtotyömaalla. Tarkkoja euromääräisiä kustannusvertailuja on melkein mahdotonta tehdä, koska työtunnit vaihtelevat niin paljon maaston, ilmaston ja muiden tekijöiden seurauksena.

Asiasanat: komposiitit, sähkönsiirto, eristimet.

## ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Electrical Engineering
Name	Marko Elorinne
Title	Composite Insulators in Power Transmission Lines
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	2 May 2009
Pages	25 + 29 appendices/appendixes
Instructor	Antero Martimo, BSc
Company	Eltel Networks Oy
Contact Person/Supervisor from Company	Pentti Talala, Eltel Networks Oy

### Composite Insulators in Power Transmission-Lines

Power line construction in Finland has traditionally used class insulators. In many other countries the usage of composite insulators is a daily routine. Eltel Networks Oy is building a power transmission line Keminmaa-Petäjaskoski 400 kV to Fingrid Oyj. The power line is being built with composite insulators. Keminmaa-Petäjaskoski is the first ever build 400 kV transmission line in Finland with composite insulators.

The aim of this final year project was to examine composite insulators and familiarize Eltel Networks personnel to work with new type of insulators. This final year project has instructions for receiving, handling, storage and transportation composite insulators. New types of working methods and work equipment have been developed at this final year project. All the instructions are based on the manufacturers` and Sigres instructions. The development of new equipment in this final year project is based on experience of linemen and site management.

The developed new work equipment for assembling and lifting the composite insulators are in use at Keminmaa-Petäjaskoski site. The experience from the new work equipment has been very positive. All the personnel working with composite insulators have been trained for handling the composite insulators. One of the aims of this last year project was originally to compare different composite insulator manufacturers but because of lack of time and resources that was not done. The lightness of composite insulators has helped the building of the transmission line. The lightness of composite insulators has decreased the costs of usage of rented machines.

Key words: composite, transmission line, insulators.

## SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT .....	I
TIIVISTELMÄ.....	II
ABSTRACT.....	III
SISÄLLYSLUETTELO.....	IV
1. JOHDANTO .....	1
2. ELTEL NETWORKS OY.....	2
2.1. Taustatietoa .....	2
2.2. Eltel Networks tänään .....	2
3. SÄHKÖNSIIRROSSA KÄYTETYT ERISTIMET.....	4
3.1. Yleistä .....	4
3.2. Riippu- eli kannatineristimet.....	5
3.3. Tukieristin .....	5
3.4. Lasieristimet.....	7
3.5. Posliinieristimet .....	8
3.6. Jännitteenjakauma .....	9
3.7. Eristinvarusteet.....	9
4. KOMPOSIITTIRAKENTEET.....	11
4.1. Komposiittimuovien kehitys ja historia .....	11
4.2. Komposiittimuovin valmistusmenetelmä .....	11
4.2.1. Pultruusio .....	11
4.3. Raaka-aineet.....	12
4.3.1. Kertamuovit.....	12
4.3.2. Kestomuovit.....	12
4.3.3. Täyte- ja apuaineet .....	13
4.3.4. Lujitekuidut.....	14
5. KOMPOSIITTIERISTIN .....	17
5.1. Yleistä .....	17
5.2. Päätekappale.....	18
5.3. Lasikuidulla vahvistettu ydin .....	20
6. KOMPOSIITTIERISTIMEN KÄYTTÖÖN LIITTYVÄ OHJEISTUS JA TYÖVÄLINEET .....	22
7. YHTEENVETO .....	23
8. LÄHDELUETTELO .....	24
9. LIITELUETTELO.....	25

## 1. JOHDANTO

Fingrid Oyj rakennuttaa 400 kV:n voimajohdon Keminmaan sähköasemalta Petäjäskosken sähköasemalle. Voimajohdon pääurakoitsijana toimii Eltel Networks Oy. Noin 63 kilometrin pituisen voimajohdon rakentaminen on osa Pohjois-Suomen kantaverkon vahvistamista. Uusi voimajohto varmistaa voimajärjestelmän käyttövarmuutta ja auttaa ylläpitämään verkon siirtokapasiteettia käyttökeskeytyksiä vaativien peruskorjausten ja huoltojen aikana. /3/

Suuren kaivoshankkeen ja loma-asuntorakentamisen myötä on sähkönkulutus Lapissa kasvanut merkittävästi viime vuosien aikana. Kulutusennusteet osoittavat alueen sähkön käytön kasvun jatkuvan. Kasvava kulutus edellyttää kantaverkon vahvistamista Keminmaan sähköaseman ja Petäjäskosken sähköaseman välillä. Noin yhdeksän miljoonaa euroa maksavan hankkeen on tarkoitus valmistua marraskuussa 2009. /3/

Voimajohdolle asennetaan komposiittieristimet. Eltel Networks Oy rakentaa uuden voimajohdon komposiittieristimillä perinteisten lasieristimien sijaan. Suomessa ei aikaisemmin ole rakennettu 400 kV:n voimajohtoa komposiittieristimillä. Komposiittieristimien käsittely-, vastaanotto-, varastointi ja asennusohjeistuksen puute antoi mahdollisuuden niiden luomiseen tässä opinnäytetyössä.

Työ sisältää perustietoa komposiitista ja perehdyttää lukijansa lasi-, posliini- ja komposiittieristimien rakenteeseen. Tavoitteena on luoda selkeät ohjeistukset komposiittieristimien käsittelyyn, varastointiin ja asentamiseen. Työssä verrataan myös komposiittieristimien asennuskustannuksia perinteisten lasieristimien asennuskustannuksiin. Komposiittieristimien asennuksessa ja kuljetuksessa käytettävien työvälineiden suunnittelu on tärkeä osa opinnäytetyötä. Komposiittieristinvalmistajien suuresta määrästä johtuen työstä saatavat ohjeistukset ja työmenetelmät on rajattu koskemaan ainoastaan Silicon-merkkisiä 400 kV:n komposiittieristimiä.

## **2. ELTEL NETWORKS OY**

### **2.1. Taustatietoa**

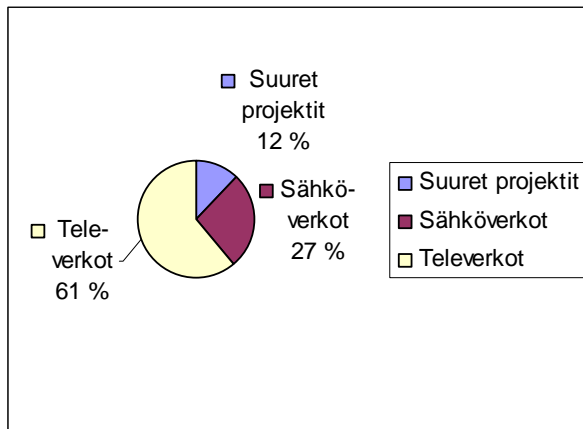
Eltel Networks on perustettu kesäkuussa 2001. Eltel Networks Oy sai alkunsa, kun Fortum Oyj päätti myydä sähkö- ja televerkkojen rakentamis- ja kunnossapitotoiminnat Eltel Networks Oy:lle. Voimajohtojen rakentamis- ja kunnossapitotoimintoja hoitamaan oli aikoinaan Fortum Oyj:lle perustettu oma itsenäinen tulosityksikkö, IVO Transmission Engineering. /5/

IVO Transmission Engineeringin päätuotteet olivat voimansiirto- ja jakeluverkkojen, mobiilitukiasemien ja -mastojen sekä rautateiden sähköistykseen liittyvät kunnossapito- ja rakennustoiminta. Lisäksi IVO Transmission Engineering tarjosi konsultointi- ja suunnittelupalveluja. IVO Transmission Engineering omisti osan sen kahdeksasta tytäryhtiöstä, joista merkittävimpiä olivat Transmast Oy, Sähköradat Oy, Transelectric AB Ruotsista sekä Linjebygg AS Norjasta. Pelkästään voimansiirto- ja jakeluverkkojen kunnossapitoon ja rakentamiseen tytäryhtiöistä oli keskittynyt Pohjoistec Oy, Länsitec Oy, Johtotec Oy ja virolainen Transelectric. Tytäryhtiöistä tuli myös osa Eltel Networks Oy:tä. /5/

Eltel Networks Oy:n omistaa pääomasijoitusyhtiö 3i. 3i harjoittaa liiketoimintaa maailmanlaajuisesti ja on keskittynyt yritysjärjestelyihin, kasvuyrityksiin ja teknologiasijoituksiin. 3i:n strategiana on tuoda lisäarvoa sijoituksilleen ja osakkeenomistajilleen laajan kansainvälisen verkostoitumisen avulla. /5/

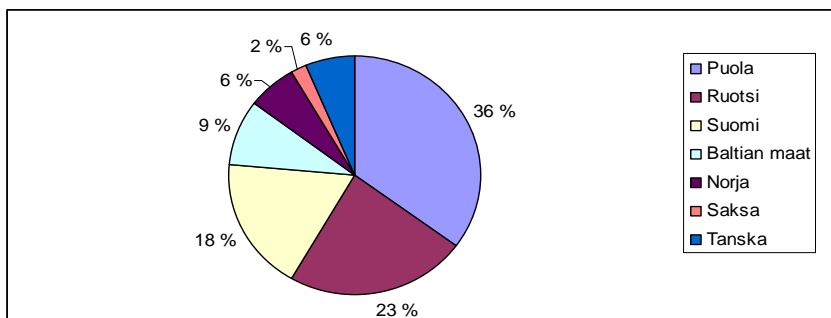
### **2.2. Eltel Networks tänään**

Eltel Networks on eurooppalainen infranetyhtiö. Eltel Networksillä on toimipaikkoja Pohjoismaissa, Baltiassa ja Puolassa ja asiakasprojekteja yli 80 maassa. Yhtiön pääkonttori toimii Espoossa. Eltel Networksin liikevaihto oli vuonna 2007 858 miljoonaa euroa. Tärkein Eltel Networksin toimiala on televerkkojen rakentaminen ja kunnossapito. Kuvasta 1 nähdään että muita toimialoja ovat sähköverkot ja suuret rakennusprojektit. /5/



**Kuva 1. Eltel Networks Oy:n liikevaihto toiminnoittain /5/**

Työntekijöitä Eltel Networks Oy:llä on 9500. Kuvasta 2 nähdään, että suurin osa Eltel Networks Oy:n henkilökunnasta toimii Puolassa, Ruotsissa ja Suomessa. Suomessa Eltel Networks Oy:n palveluksessa on noin 1600 työntekijää. /5/



**Kuva 2. Eltel Networks Oy:n henkilöstö maittain /5/**

Eltel Networks Oy:n tavoitteena on toimia asiakkaidensa lähellä ja yhtiöllä onkin 50 toimipistettä ympäri Suomea. Yhtiö on jakaantunut Suomessa neljään yksikköön:

- Sähköpalvelut tarjoaa sähköverkkojen koko elinkaaren aikaisia suunnittelu-, rakentamis- ja ylläpitopalveluja.
- Telepalvelut on erikoistunut sekä kiinteiden verkkojen että matkapuhelinverkkojen suunnitteluun, rakentamiseen, käyttöönottoon sekä koko elinkaaren kattavaan huoltoon ja ylläpitoon.
- Projekti-liiketoiminta on erikoistunut suurten voimajohto- ja ratasähköistysprojektien suunnitteluun ja rakentamiseen avaimet käteen -toimituksina tai osatoimituksina.
- Alueyhtiöt vastaavat sopimusten toteuttamisesta, resurssihallinnasta paikallisista asiakkaista sekä lisämyynistä. /5/



### 3. SÄHKÖNSIIRROSSA KÄYTETYT ERISTIMET

#### 3.1. Yleistä

Eristimiä tarvitaan tukemaan tai kannattelemaan jännitteisiä johtimia. Eristimillä saadaan toiminnan kannalta riittävät etäisyydet jännitteisien osien ja maadoitettujen tai muiden jännitteellisten osien välille. Eristimet on rakennettava kestävämpään ympäristöolosuhteiden ja asennuksen rasitukset. /2/

Suomessa sähkönsiirtolinjoilla on yleisesti käytössä lasi- ja posliinieristimiä. Uutena eristinmateriaalina Suomeen ovat tulossa komposiittieristimet. Rakenteellisesti eristimiä käytetään riippu- ja tukieristiminä. Lasi- ja posliinieristimet ovat lautaseristimiä, joita yhdistetään tarvittava määrä peräkkäin sähköisten vaatimusten saavuttamiseksi. Taulukosta 1 nähdään eristinyksiköiden lukumäärän kasvavan nimellisjännitteen mukaan.

**Taulukko 1. Eristinlautasten lukumäärä eristinketjussa eri siirtojännitteillä /2/**

Nimellisjännite (kV)	110	220	400
Eristinlautasten lukumäärä (kpl)	6-8	10-12	18-21

Eristinlautasten koko ja niiltä vaadittava mekaanisen rasituksen sietokyky vaihtelee eri jänniteportilla. Taulukossa 2 ovat tyypilliset eristimiltä vaadittavat mekaaniset vetolujuudet. Jännitteen kasvaessa myös eristinvarusteiden ja johtimien massa kasvaa, joten eristin joutuu suuremmalle mekaaniselle rasitukselle.

**Taulukko 2. Eristinlautasten mekaanisen rasituksen vaatimukset eri siirtojännitteillä /2/**

Nimellisjännite (kV)	110	220	400
Eristintyyppi (kN)	7 - 12	12	16 -21

### 3.2. Riippu- eli kannatineristimet



**Kuva 3. 400 kV:n kannatuspylväs KI-PT-voimajohdolla**

Riippu- eli kannatuseristimiä käytetään kannatuspylväillä. Yleensä kannatuseristimet asennetaan kuvassa 3 näkyvällä tavalla niin kutsutuiksi I-eristinketjuiksi. Kannatuseristimiä on kuitenkin mahdollista asentaa myös V-ketjuiksi. V-ketju koostuu kahdesta eristinketjusta jotka on asennettu V-kirjaimen muotoon kannattelemaan johtimia. V-ketjun käytöllä pystytään vähentämään johtimien sivuttaisheilauteluja. V-ketjua käyttämällä 400 kV:n linjan voi rakentaa 220 kV:n johtokadulle. V-ketjua käytetään kuitenkin vain erikoistapauksissa kustannussyistä. Viimeisin V-ketjuilla varustettu linja valmistui vuonna 2008. Fingrid Oyj:n rakennuttama 400 kV:n linja Ulvila–Kangasala käytetään V-ketjua sen vaatiman kapeamman johtokadun ansiosta. Johtokadun vieressä oli muun muassa liito-oravien pesimäalueita, jolloin johtokatu oli pidettävä mahdollisimman kapeana. V-ketjun edut tavalliseen I-ketjuun verrattuna ovat:

- Eristinketjun katkeaminen ei välttämättä johda johtimien putoamiseen.
- Mahdollistaa kapeamman johtokadun.
- Johtimien heilumista ei tarvitse huomioida pylvässuunnittelussa.
- Eristimien kalteva asento puhdistaa eristimet jossain määrin itsestään.
- Eristinketjun pituus on vapaammin valittavissa, koska lyhin ylilyöntitie voi olla jopa 40 % pitempi kuin I-ketjulla samalla etäisyydellä orresta. /2/

### 3.3. Tukieristin

Tukieristimiä käytetään Suomessa lähinnä keskijännitteellä, sähkökentillä ja -asemilla. Tukieristimiä käytetään myös muutamissa erityistapauksissa ahtailla johtokaduilla kaupungeissa ja luonnonsuojelualueilla. Suomessa ei vielä ole 400 kV:n sähkönsiirtolinjaa rakennettu tukieristimillä. 110 kV:n jännitteellä komposiittitukieristimiä on käytetty

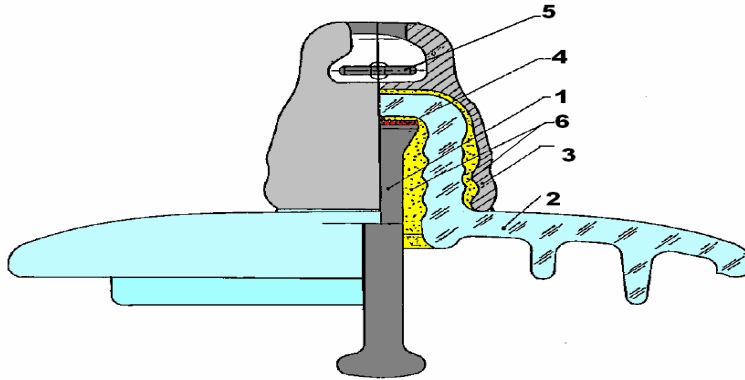
esimerkiksi vuonna 2008 valmistuneessa Iin Energian rakennuttamassa voimajohdossa Matkakangas-Sorosenperä. Voimajohdon pääurakoitsijana toimi Eltel Networks Oy, ja se valmistui Iin kunnan lähialueelle. /6/



**Kuva 4. Komposiittitukieristimillä rakennettu voimajohto Matkakangas-Sorosenperä 110 kV**

Kuvasta 4 nähdään tukieristimillä rakennetun Matkakangas-Sorosenperä erittäin kapea pylväsrakenne. Iin Energia halusi rakentaa voimajohdon mahdollisimman kapealle johtokadulle, joten ainoaksi vaihtoehdoksi jäi komposiittitukieristimillä varustettu linja, niin kutsuttu Slim-line. Valtaosa linjasta on toteutettu kolmeen suuntaan haruksilla tuetuin puupylväin. Komposiitista valmistetut tukieristimet ovat mekaanisesti vahvarakenteisia. Ne kestivät johdon vedon aikana johtopyörien kiinnittämisen eristimien päähän. Johtimina linjalla on käytetty Pigeon-johtimia, jotka on tarkoitettu pienien tehojen siirtoon. /6/

### 3.4. Lasieristimet



**Kuva 5. Lasieristimen poikkileikkaus**

Kuvassa 5 oleva lasieristimen poikkileikkauksessa näkyvät lasieristimen materiaalit ovat:

- 1. sinkitystä teräksestä tai valuraudasta valmistettu tappisilmukka
- 2. eristeenä toimiva karkaistulasi
- 3. sinkitty valuraudasta valmistettu kuori ja kuppi
- 4. polyeteeni tiiviste
- 5. kiinnityssokka
- 6. sideaineena toimiva sementti.

Lasieristimen eristysaineena käytetään nimensä mukaisesti karkaistua lasia. Mekaanisesti kestävä karkaistu lasi mahdollistaa ohuemman rakenteen kuin esimerkiksi posliini. Lasieristin valmistetaan valamalla lasi muottiin, minkä jälkeen se karkaistaan. Karkaisu tapahtuu kuumentamalla lasi uudelleen ja jäädyttämällä sen pinta nopeasti. Lasimassan valmistuksessa lasin ominaisuuksia pyritään parantamaan myös lisäaineilla esimerkiksi natriumilla. Valmiissa lasieristimessä lasin rakenne on dynaamisessa tasapainotilassa. Lasieristimen pinnalla vaikuttava puristus muuttuu eristimen sisällä jännitykseksi. /2/

Karkaistun lasin pinnalla on mikroskooppisen pieniä halkeamia. Kriittisen koon saavuttaessa halkeamat voivat edetä lasin läpi ja aiheuttaa eristimen pirstoutumisen. Huonolaatuiset eristimet yritetään poistaa valmistuksen jälkeen eristimille tehtävällä lämpörasituskokeella. Pirstoutuminen voi tapahtua eristimen asennuksessa mekaanisen iskun voimasta tai käytössä olevan likaisen eristimen pintavirtojen aiheuttamasta eroosiosta. Lasieristimiä käsitellessä on aina käytettävä suojalaseja. Lasieristimet ovat väriltään vihertäviä. /2/

### 3.5. Posliinieristimet

Yleensä käytettävät keraamiset eristimet on valmistettu posliinista. Posliini muistuttaa monilta ominaisuuksiltaan lasia, mutta poikkeavuuksiakin on. Posliinieristimen valmistusprosessi on monivaiheinen. Muotoilun jälkeen posliini lasitetaan ja poltetaan. Lasituksella eristimelle saadaan tasainen pinta ja sen lian hylkimiskyky paranee. Mikroskooppisen pienet halkeamat ovat posliinieristimelle luonteenomaisia ja ne aiheutuvat posliinin eri ainesosien erilaisista lämpölaajenemisominaisuuksista. Halkeamien ja hiukkas- ja huokoskoon jakautuminen vaikuttaa yhdessä negatiivisesti eristimen sähköisiin ja mekaanisiin ominaisuuksiin. Posliinieristimen erottaa helpoimmin lasieristimestä sen ruskeasta väristä. /2/

**Taulukko 3. Lasieristimien ominaisuuksien vertailua posliinieristimiin /2/**

	<b>Lasi</b>	<b>Posliini</b>
<b>Pirstoutuminen</b>	Pirstoutuu	Ei pirstoudu
<b>Mekaaninen lujuus</b>	Hyvä, mahdollistaa ohuemmat rakenteet.	Täyttävät määräykset
<b>Valmistus</b>	Vaikea valmistaa massiivisia eristimiä	Helpompi valmistaa massiivisia eristimiä
<b>Lämpölaajeneminen</b>	Samat metallien kanssa	Vaihtelee lämpötilojen mukaan
<b>Läpilyöntilujuus</b>	Parempi kuin posliinilla	Täyttävät määräykset
<b>Vikojen havaitseminen</b>	Eristin hajoaa läpilyönnin seurauksena.	Vaikeaa, läpilyönnit havaittavissa tarkasti vain jännitetyönä tehtävällä mittauksella.
<b>Käsittely</b>	Kevyempiä kuin posliinieristimet, mutta vaativat käsiteltäessä suojalasis.	Ei vaadi erityistä suojavarustusta, mutta ovat raskaita käsitellä.

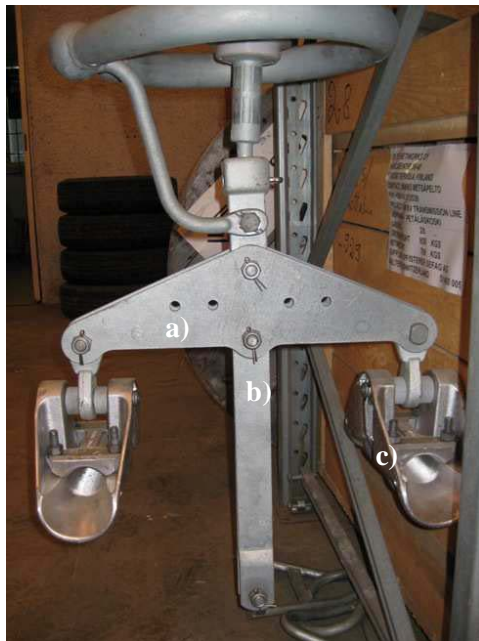
Taulukosta 3 nähdään lasin sopivan posliinia paremmin eristinlautasten valmistukseen. Posliinieristimet ovat jäämässä pois Suomen sähkönsiirtoverkoista. Uusiin rakennettaviin linjoihin niitä ei enää laiteta. Viimeisimmät posliinieristimillä rakennetut linjat valmistuivat 1970-luvun vaihteessa. Suomessa on kuitenkin paljon posliinieristimiä vanhemmissa sähkönsiirtolinjoissa, joiden kunnossapidossa uusia posliinieristimiä vaihdetaan vielä rikkinäisten tilalle. /7/

### 3.6. Jännitteenjakauma

Eristinyksiköihin kohdistuva jännitekuorma jakaantuu epätasaisesti eristinketjussa. Ilmiötä esiintyy varsinkin vaihtojännitteellä kuivilla ja pitkillä eristinketjuilla sekä syöksyjännitteellä. Epälineaarinen jännitteen jakautuminen johtuu ketjun maakapasitanssiarvojen erosta eristinlautasien välillä. Jännite jakautuu epälineaarisesti eristinmateriaalista riippumatta. Eristinketjun päissä olevat eristinlautaset joutuvat huomattavasti suuremmalle jänniterasitukselle kuin eristinketjun keskellä olevat. Siitä johtuen eristinketjun pituuden lisääminen ei vaikuta eristinlautasiin tai komposiittieristimen laippoihin kohdistuvaan jänniterasitukseen. Parhaiten jännitettä voidaan jakaa käyttämällä kuvassa 6 näkyviä ala- ja yläkoronarenkaita. /2/

### 3.7. Eristinvarusteet

Johtimien kiinnittämiseksi eristimeen ja eristimen suojaksi käytetään erilaisia eristinvarusteita, esimerkiksi: ylä- ja alasuojasarvia, välিকেitä ja kuppi/tappisilmukoita. Eristimen alaosaan kiinnitettävistä eristinvarusteista otetussa kuvassa 6 näkyy tyypillisiä 400 kV:n kannatineristimellä käytettäviä varusteita.



**Kuva 6. 400 kV:n eristimen alapäähän kiinnitettävät eristinvarusteet**

Kuvassa 6 on esitetty KI-PT-voimajohdon kannatuseristimien alapään eristinvarusteet:

- a) Välike yhdistää osajohtimet kiinnitettäväksi samaan eristimeen.
- b) Kaksoissilmukan avulla keskimäinen osajohdin kiinnitetään muita osajohtimia alemmaksi. Näin saadaan osajohtimet lähemmäksi toisiaan.
- c) Johtokouru, johon johtimet kiristetään. Kuvasta puuttuu keskimäisen osajohtimen kouru.



**Kuva 7. Ala- ja yläsuojasarvina käytettävät koronarenkaat**

Ylä- ja alasuojasarvia käytetään eristimien suojana ohjaamaan mahdollisten ylilyöntien seurauksena muodostuvat tehovalokaaret pois eristimien pinnalta. Ylä- alasuojasarvien tilalla voidaan hyvin käyttää koronarenkaita, kuten kuvassa 7 on esitetty. Koronarenkailla on myös suuri vaikutus jännitejakaumaan. Käyttämällä koronarenkaita jännite jakautuu tasaisemmin komposiittieristimillä eristinlaippojen tai lautaseristimillä eristinlautasten välillä. /2/



**Kuva 8. Kierrettytappisilmukka, koronarenkaan kiinnitys reiällä varustettu kuppisilmukka ja sakkeli**

Kuvassa 8 tappi- ja kuppisilmukoissa ovat reiät myös koronarenkaiden kiinnitystä varten. Sakkeleiden käytöllä mahdollistetaan eristinketjun vapaa sivuttainen ja pitkittäinen liikkuvuus.

## 4. KOMPOSIITTIRAKENTEET

Kaikista kahden tai useamman keskenään toimivan materiaalin yhdistelmästä, jotka eivät ole lienneet tai sulautuneet toisiinsa, voidaan käyttää yleisnimitystä komposiitti. Matriisiksi eli sideaineeksi kutsutaan materiaaliyhdistelmän kokonaisuudeksi sitovaa ainesosaa. /1/

Komposiittimuovit ovat yksi tärkeimmistä komposiittien alaryhmistä. Komposiittimuovi on erittäin kevyt ja erityisen luja materiaali. Komposiittimuovi koostuu matriisista ja lujien kuitujen yhdistelmästä. Matriisi voi olla kesto- tai kertamuovia. Eniten käytettyjä kuitulujuitteita ovat lasikuidut. /1/

### 4.1. Komposiittimuovien kehitys ja historia

Ensimmäinen fenolimuvien lujittamista koskeva patenti myönnettiin 1900-luvun alussa. Siitä voidaan katsoa alkaneen nykyaikaisten muovikomposiittien käyttö. Sanaa komposiitti käytettiin ensimmäisen kerran painetussa tekstissä kaupanimenä muottipuristetuille sellakkaeristeille vuonna 1923. 1930-luvulla kehitettiin polyesteri- ja epoksimuovit, ja tuolloin muovikomposiitit saivat todellista kaupallista merkitystä. Lasikuitujen kaupallinen tuotanto aloitettiin 1930-luvun lopulla. 1940-luvulla kuitulujuitettujen muovituotteiden valmistusmenetelmiä olivat ruiskutus, kelaus ja pultrusio. Nämä menetelmät ovat yhä yleisesti käytössä. /1/

### 4.2. Komposiittimuovien valmistusmenetelmä

Komposiittimuoveja voidaan valmistaa monella eri tavalla. Seuraavaksi käsitellään suolakemenetelmään perustuvaa valmistustapaa eli pultrusiota. Muita valmistusmenetelmiä ovat laminointi-, puristus- ja injektio menetelmät. /1/

#### 4.2.1. Pultrusio

Pultrusio eli suulakeveto on saumaton ja jatkuvatoiminen putkien ja profiilien valmistusmenetelmä. Suulakevedossa hartsilla kastellut lujitelangat vedetään kuuman muotin läpi, jolloin lämpö kovettaa hartsin. Suulakeveto sopii suurien sarjojen tekemiseen ja on valmistusprosessina helposti automatisoitavissa. Suulakevedossa voidaan valmistaa onttoja, umpinaisia ja kaarevia muotoja. Tyypillisiä suolakemenetelmällä valmistettuja tuotteita ovat esimerkiksi suksisauvat, pesäpallomailat ja rakennusteollisuuden kantavat palkistot. Suulakevedolla valmistetaan myös kappaleissa 5 esiteltävät komposiittieristimien sydäntangot. /11/



### 4.3. Raaka-aineet

Komposiittimuovin valmistuksessa käytettävät raaka-aineet lajitellaan seitsemään eri lajiin:

- kertamuovit
- kestopuovut
- täyte- ja apuaineet
- lujitekuidut
- pinnoitteet
- kerroslevyjen ydinaineet
- liimat. /8/

Seuraavaksi käsitellään komposiittieristimen valmistuksessa käytettäviä kerta- ja kestopuoveja, täyte- ja apuaineita sekä lujitekuituja. Energiatallisuuden lujitteena käyttämää lasikuitua tarkastellaan muita tarkemmin. /8/

#### 4.3.1. Kertamuovit

Synteettisiä orgaanisia polymeerejä, jotka kovettuvat nestemäisestä hartsista kiinteäksi aineeksi kovettumisreaktiossa, kutsutaan kertamuoveiksi. Kertamuoveja ei voi kovettumisen jälkeen enää muovata uudelleen. Kertamuoveja käytetään runsaasti esimerkiksi pinnoitteissa, maaleissa, liimoissa ja puulevyteollisuuden liima-aineena. Kertamuovit lujitetaan kuiduilla ja täyteaineilla. Kuidut kantavat suurelta osin kappaleeseen kohdistuvan kuorman. Kertamuovien valmistuksessa käytetään myös täyteaineita. Täyteaineita käytettiin aikaisemmin vain alentamaan kustannuksia ja kasvattamaan tilavuuksia. Nykyisin täyteaineita käytetään myös parantamaan muovien mekaanisia ja fysikaalisia ominaisuuksia. Yleensä täyteaineiden ja lujitteiden osuus kertamuovista on 30–70 %. /8/

Kertamuovit ovat ihanteellisia lujitettujen tuotteiden valmistukseen. Kertamuovien työstö on helppoa eikä vaadi kalliita investointeja. Kestomuoveihin verrattuna kertamuovien korrosio- ja lämmönkestävyys, mekaaniset ja fysikaaliset ominaisuudet ovat yleensä paremmat. Kertamuovien heikkoja puolia ovat hauras murtumismekanismi ja heikko iskunkestävyys. Kierrätys ei ole mahdollista kertamuoveille ja se onkin vähentänyt kertamuovituotteiden käyttöä. /8/

#### 4.3.2. Kestomuovit

Kestomuoveiksi kutsutaan muoveja, joita voidaan muokata lämmön avulla uudelleen rakenteen muuttumatta. Kestomuoveja käytetään monissa eri sovelluksissa. Tyypillisiä muoveja ovat polyeteeni (PE), polypropeeni (PP), polyvinyylidikloridi (PVC) ja polystyreeni (PS). /8/

## Polyeteeni

Polyeteeni jakaantuu kahteen päätyyppiin: pienitiheyspolyeteeni PE-LD ja suuritiheyspolyeteeni PE-HD. Polyeteenityyppien yhteisiä ominaisuuksia ovat muiden muassa:

- hyvä sähköneristyskyky
- pehmenevät tiheydestä riippuen 80 – 130 celsiusasteessa
- vahamainen pinta
- UV-säteily, joka aiheuttaa vanhenemista
- vettä kevyempää
- helposti palavaa
- kemiallisesti inertejä eli eivät reagoi kemiallisesti muiden aineiden kanssa. /8/

Polyeteenin PE-LD-tyyppiä käytetään esimerkiksi muovikasseissa, maitopurkeissa ja pakkausmateriaalina. PE-HD-tyypin polyeteeniä käytetään esimerkiksi auton bensatankeissa ja pakkausmateriaalina. Polyeteeniä käytetään myös sähkönsiirrossa käytetyissä lasieristinlautasten tiivistysaineena. /8/

## Polypropeeni (PP)

Polypropeeni muistuttaa kemiallisilta ominaisuuksiltaan polyeteenejä. Polypropeenilla on kuitenkin korkeampi sulamislämpö ja se on kovempaa. Polypropeenilla käytetään mm. puhelinten ja pakasterasioiden valmistamisessa. /8/

## Polyvinyylikloridi (PVC)

Polyvinyylikloridi eli PVC on yksi vanhimmista muoveista. Sen ominaisuuksia pystytään säätelemään erilaisten lisäaineiden avulla. Polyvinyylikloridia käytetään mm. sadeasuissa, kengissä ja rakennusteollisuuden käyttämissä putkissa. /8/

## Polystyreeni (PS)

Polystyreenien ominaisuuksiin kuuluu hyvä kemiallinen kesto ja hyvä sähkön eristyskyky. Ne ovat myös helposti työstettävä ja hankintahinnaltaan edullisia. Polystyreeniä käytetäänkin esimerkiksi jogurttipurkeissa, matkapuhelimien kuorissa ja lämpöeristeenä rakennuksissa. /8/

### 4.3.3. Täyte- ja apuaineet

Täyteaineilla tarkoitetaan yleensä muoveihin sekoitettavia kiinteitä, nestemäisiä tai kaasumaisia aineita, joita on tuotteessa yli 10 %. Täyteaineiden käyttöä ovat lisänneet mm. perusraaka-aineiden hinnannousu, valmistusmenetelmien kehittyminen, täyteaineiden vakaa hintakehitys sekä tehokkaammat tartunta-aineet. Täyteaineiden käyttäminen

vaikuttaa myös valmistettavan tuotteen ominaisuuksiin. Oikean täyteaineiden käytöllä voidaan esimerkiksi lisätä tuotteen kierrätettävyyttä. Täyteaineilla on myös suuri merkitys tuotteen jäykkyyteen, tiheyteen, palonkestoon ja väriin. Parhaan mahdollisen tuloksen aikaansaamiseksi onkin usein yhdisteltävä eri täyteaineita. Taulukossa 4 on lueteltu ihannetäyteaineen ominaisuuksia. Täyteaineiden haittapuolena on niiden taipumus sitoa muoviin ilmaa. Ilma lisää tuotteen huokoisuutta ja sen takia aineiden sekoitus on tehtävä huolellisesti. Tarvittaessa ilman poisto on suoritettava ilmapaineimulla. /1/

**Taulukko 4. Ihannetäyteaineen ominaisuudet /1/**

Hinnaltaan edullinen		Terveysriskitön
Haluttu	vaikutus	Helposti saatavilla
tuoteominaisuuksiin		Veteen ja orgaanisiin liuotteisiin liukenematon
Kemiallisesti reagoimaton		Imee vettä hyvin vähän tai ei ollenkaan
Palamaton		Puhdas
Lämmönkestävä		Täydellisesti dispergoituvaa eli hajoavaa
Väriltään neutraali		Helposti muoveissa kastuva
Helposti muoveihin sekoittuva		Partikkelikokojaumaltaan kontrolloitu
Laitteistoja kuluttamaton		

Täyteaineilla voidaan parantaa myös tuotteen sähkönjohtavuutta. Hyvin sähköä johtavaa muovia tarvitaan esimerkiksi sähkömagneettisilta ja suurtaajuushäiriöiltä suojaavaan koteloon. Kotelo suojaa häiriösäteilyltä, jonka taajuusalue on 30-1000 MHz. Menetelmiä muovituotteen sähkönjohtavuuden parantamiseksi on monia. Yleisimmin käytetään valmiin kappaleen pintakäsittelyä johtavalla maalilla. Kotelon pintaan voidaan myös kiinnittää alipaineen avulla ohut alumiinikalvo. Muovin sähkönjohtokykyä lisäävistä täyteaineista yleisimpiä ovat hienojakoinen hiilimusta, hiilikuidut, alumiini ja metallit. Täyteaineita käytetään kuituina, hiutaleina tai pulverina. /1/

#### 4.3.4. Lujitekuidut

Lujitekuituja käytetään vahvistamaan muovien mekaanisia ominaisuuksia. Lujitteiden tehtävänä on kantaa komposiittiin kohdistuvat kuormitukset. Matriisina toimiva kerta- tai kestumuovi sitoo lujitekuidut toisiinsa. Muovi myös suojaa kuiturakennetta ja siirtää kuorman kuitujen kannettavaksi. Taulukosta 5 voidaan havaita, että lasikuituja käytetään ja valmistetaan maailmassa ylivoimaisesti eniten. Lasikuidun osuus kaikista lujitekuiduista on noin 95 %. Muita merkittäviä lujitekuituja ovat hiili- ja aramidikuidut. Lasikuituja käytetään yleisesti komposiittieristimen sydäntangon vahvikkeena, joten seuraavassa käsitellään tarkemmin ainoastaan lasikuidut. /1/

**Taulukko 5. Lujitekuitujen arvioitu valmistuskapasiteetti vuonna 2008 /1/**

<b>Lujitekuitu</b>	<b>Valmistuskapasiteetti (t)</b>	<b>Osuus kokonaisvalmistus-kapasiteetista (%)</b>
Lasikuidut ( E-, R- ja S-kuidut)	3 300 000	95,2
Hiilikuidut	56 000	1,6
Aramidikuidut	55 000	1,6
Luonnonkuidut	48 000	1,4
HP-polyeteenikuidut	8 000	0,2
Muut lujitekuidut	50	0,0
<b>Yhteensä</b>	<b>3 467 050</b>	<b>100,0</b>

## Lasikuidut

Lasikuidun valmistus jatkuvina kuituina keksittiin 1930-luvun alussa. Nykyään lasikuitua valmistetaan kaikissa maanosissa. Suurin valmistuskapasiteetin kasvu on viime aikoina tapahtunut Kiinassa. Euroopassa lasikuitua valmistettiin vuonna 2007 noin 700 000 t.. Euroopassa lasikuitua käytettiin vuonna 2007 noin 1 000 000 t.. Lasikuidun käyttö maailmanlaajuisesti on arvioitu kasvavan noin 3 % vuodessa. Eniten lasikuitua käytetään lujitemuoviteollisuudessa. Lasikuitua valmistetaan myös Suomessa. Ahlstrom Glassfibre Oy tehdas sijaitsee Karhulassa, ja lasikuidut jatkojalostetaan saman yhtiön tuotantolaitoksessa Mikkelissä. /1/

Lujitekuituna käytettäviä lasikuituja valmistetaan neljää eri tyyppiä. Ylivoimaisesti eniten valmistetaan E-lasia. Sen osuus kaikesta valmistetusta lasikuidusta on noin 99 %. Muut kolme lasikuitutyyppiä ovat, erityisesti lentokoneiteollisuutta varten kehitetyt S-lasi ja R-lasi sekä E-lasista kehitetty muunnos C-lasi, joka kestää E-lasia paremmin happamissa olosuhteissa. Komposiittieristimien vahvikekuituna käytetään yleisesti E-lasista valmistettuja kuituja. /1/

Lasikuidun valmistuksessa käytettyjen raaka-aineiden on oltava hienojakoisia ja kemiallisesti tasalaatuisia. Valmistus alkaa raaka-aineiden punnituksella, sekoittamisella ja sulattamisella. Lasikuidun sulaminen vaatii korkean 1400 °C lämpötilan. Sulatusprosessissa on erityisen tärkeää, että saavutetaan yhtenäinen ja kaasukuplaton lasimassa. Kuidut vedetään sulatetusta massasta suuttimen läpi 50-150 kilometrin tuntinopeudella, joten kuidun vetovaihe on erittäin altis häiriöille. Vedon jälkeen kuidut jäädytetään ennen pinnoittamista. Pinnoitteen tärkeimmät tehtävät ovat:

- muodostaa kemiallinen tartunta lasin ja hartsin välille
- muodostaa kuiduista kuitukimppu
- vähentää kitkaa kuitujen välillä
- estää kuitujen vahingoittuminen
- muodostaa stabiili emulsio

- vähentää hankaussähkön muodostumista.
- Lopuksi kuidut kelataan hylsyjen päälle ja siirretään panosuuneihin kuivumaan. /1/

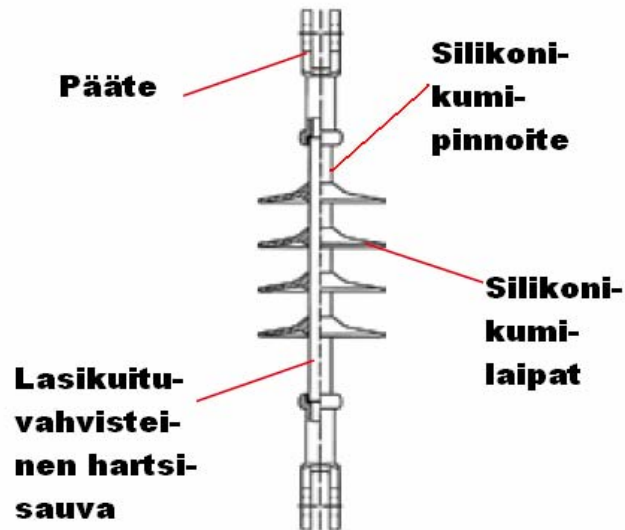
## 5. KOMPOSIITTIERISTIN

### 5.1. Yleistä

Ensimmäiset komposiittieristimet valmistettiin 1960-luvun lopulla. Ideana oli yhdistää eri materiaalien hyviä ominaisuuksia ja saada ne toimimaan yhdessä. Ensimmäiset komposiittieristimet asennettiin Etelä-Afrikkaan ja Italiaan. Komposiittieristimien käyttö on lisääntynyt tasaisesti. Käytön laajentumisen myötä komposiittieristimien hinnat ovat laskeneet lähemmäksi lasieristimiä. Suomeen ensimmäiset komposiittieristimet 110 kV:n siirtojohdoille asennettiin vuonna 2004. /2/

400 kV:n siirtojohdoilla ei Suomessa ole käytetty komposiittieristimiä. 400 kV:n sähkönsiirtolinjoilla Suomessa käytetään 160 kN:n ja 210 kN:n eristimiä. Eristimiltä vaadittavat vetovoiman kestoisuudet ovat samat kuin lasieristimiä käytettäessä. Uuteen Keminmaa–Petäjäskoski–voimajohtoon asennetaan 210 kN:n eristimiä kannatinpylväiden eristimiksi sekä kiristäjäpylväiden eristimiksi. Myös vaihevuorottelussa käytettävät eristimet ovat 210 kN:n eristimiä.

Monet ns. ensimmäisen sukupolven komposiittieristimistä katkesivat elektrolyyttisen kuormituksen aiheuttaman korroosion vaikutuksesta. Elektrolyyttisen kuormituksen aiheuttamasta korroosiosta käytetään lyhennystä BF – (Brittle Fracture), suoraan suomennettuna hauras murtuma. BF:lle tyypillistä on veden pääsy sydäntangolle ja sen muuttuminen sydäntangolla lasikuituja syövyttäväksi aineeksi. BF aiheuttaa sydäntangon mekaanisen katkeamisen. Ensimmäiset komposiittieristimissä havaitut viat tulivat esiin pian asennuksen jälkeen. Eristimen valmistustapojen muutoksella on hauraat murtumat saatu ehkäistyä. /9/



**Kuva 9. Komposiittieristimen osat /10/**

Kuvassa 9 on esitetty komposiittieristimen osat, jotka ovat: tarkoitukseen sopiva päätekappale, ytimen suojana toimiva kotelo sekä lasikuiduilla vahvistettu hartisauva niin sanottu ydin, jonka tehtävänä on kantaa eristimeen kohdistuvat kuormat, silikonikumilaipat, joiden tehtävänä on lisätä sähkönsyöttömatkaa.

## 5.2. Päätekappale



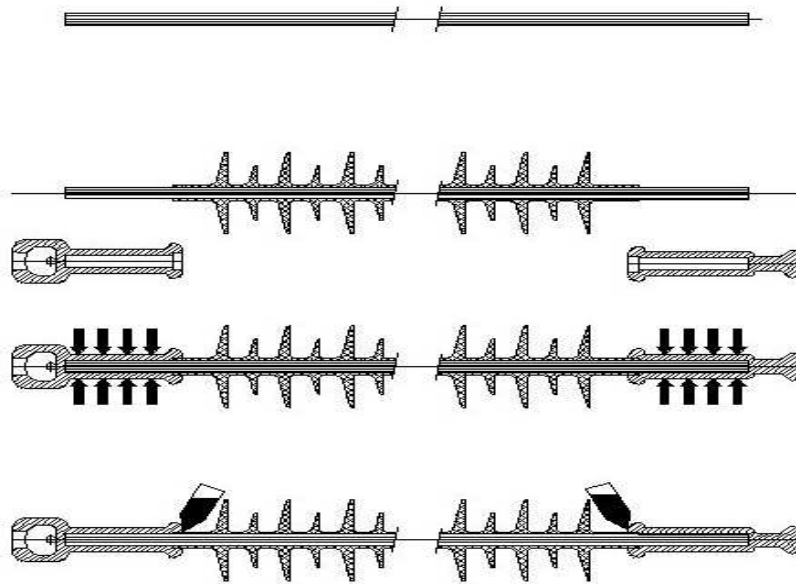
**Kuva 10. Tyypillisiä komposiittieristimen päätekappaleita /10/**

Kuvassa 10 esitettyjen päätekappaleiden avulla eristin kiinnitetään pylväästä roikkuvaan U-pulttiin ja vastakappaleeseen. Päätekappaleiden mitat ovat esitetty standardeissa IEC

60120, IEC 60471 ja IEC 61466. Vastaavat mittastandardit löytyvät myös ANSI-standardista. /2/

Yli 70 kN:n voimissa käytetään valurautaisia päätteitä ja alle 70 kN päätteitä voidaan valmistaa myös taivutetusta teräksestä. Kaikilla 110 kV:n ja sitä suuremmilla voimajohdoilla on käytettävä valurautaisia päätteitä. Ratasähköistyksessä käytetään usein vahvistetusta alumiinista valmistettuja pätekkappaleita. Teräksestä valmistetut päätteet galvanoidaan upottamalla pätekkappale sinkkiin. Galvanointia käsitellään IEC:n standardissa 60383. Suomessa käytettävät pätekkappaleet ovat yhteensopivia lasi- ja keraamisien eristimien kanssa. /2/

400 kV:n sähkönsiirtolinjoilla Suomessa kannatuspylväillä käytetään 160 kN:n eristimiä. Joillakin kulmapylväillä ja kiristyspylväillä käytetään 210 kN:n eristimiä. Suurimmat erot eri valmistajien välillä liittyvät pätekkappaleiden kiinnittämiseen. Yleisin tapa on puristaa pätekkappaleet valmiiksi silikonikumilla koteloidun sydäntangon päälle. Puristuksen jälkeen silikonikumin ja valuraudan liittymäkohta tiivistetään. Ongelmana kuvassa 11 esitettyssä kiinnitystavassa on liitoskohdan tiivistäminen.

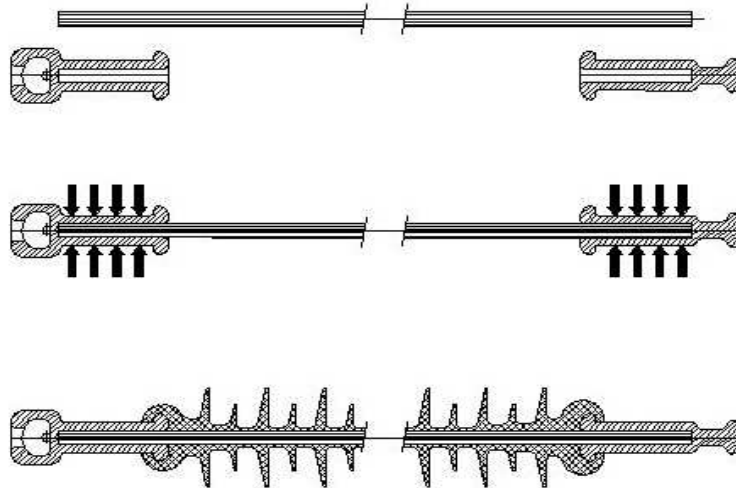


**Kuva 11. Perinteisen pätekkappaleen kiinnityksen vaiheet /10/**

Pätekkappale voidaan puristaa sydäntankoon myös ennen ytimen päällystämistä, kuten kuvassa 12 on esitetty. Tällä menetelmällä saadaan yhtenäinen silikonikumikerros päteksen ja ytimen liitoksen päälle. Ytimen silikonikumipäällysteen ja päteksen yhtymäkohtaa kutsutaan triple-pointiksi. Eristimeen kohdistuva sähköinen rasitus on suurin triple-pointkohdassa. Tämä johtuu jännitteenjakautumisesta epälineaarisesti eristinketjun eri kohtien kesken. Jännitteen jakaamaa on käsitelty tarkemmin kappaleessa 3.6. Ytimen



päällystäminen tapahtuu valamalla tai ruiskuttamalla silikonikumista valmistettu päällystysaine sydäntangon päälle.



**Kuva 12. Päätekappaleiden yli ulottuva kotelointi /10/**

### 5.3. Lasikuidulla vahvistettu ydin



**Kuva 13. Pultruusiomenetelmällä valmistettuja komposiittitankoja /8/**

Eristimen ydin on valmistettu lasikuidulla vahvistetusta hartsista. Eristimen tärkein osa kantaa eristimelle asetettu kuorma. Ydin on yleensä valmistettu pultruusiomenetelmällä. Kuten kuvassa 13 nähdään, komposiittitankoja valmistetaan eri paksuisia käyttötarkoituksen mukaan. Eristimen ytimen valmistamisessa lasikuidun ja matriisina toimivan hartsin toisiinsa sitoutuminen on erittäin tärkeää. Lasikuituja pitää olla vetolujuuden saavuttamiseen tarvittava määrä ja lasikuitujen määrän pitää olla suhteutettuna matriisin määrään. /8/

Matriisina käytettävälle aineelle sähkön ja kosteuden aiheuttamat muutokset on selvitettävä ennen valmistusta. Eniten maailmassa valmistetaan epoksi-pohjaisia hartsitankoja.

Eristimien valmistuksessa lasin laadulla on suuri vaikutus eristimen elektrolyyttisen kuormituksen aiheuttamaa korroosiota vastaan. /8/

Täyteaineilla hartsitangoista voidaan valmistaa läpikuultavia tai läpinäkymättömiä. Käytettäessä tarkoin valittuja ja tarkastettuja materiaaleja hartsitangon läpinäkyvyydellä ei ole merkitystä sydäntangon vetolujuuteen eikä kestävyuteen. /8/

## **6. KOMPOSIITTIERISTIMEN KÄYTTÖÖN LIITTYVÄ OHJEISTUS JA TYÖVÄLINEET**

Koska komposiittieristimien käytöstä on niin vähän kokemuksia, oli yksi keskeinen tavoite tälle opinnäytetyölle laatia ohjeistus- ja koulutusmateriaali sekä työvälineet komposiittieristimien eri käsittelyvaiheisiin. Eltel Networks Oy:n vaatimus oli kuitenkin se, että nämä materiaalit ovat salassapidettäviä kolme vuotta julkaisupäivämäärästä eteenpäin. Tämän vuoksi käyttöohjeet ja koulutusmateriaali ovat tämän työn liitteinä.

Liitteistä löytyvät ohjeet komposiittieristimien vastaanottoon ja varastointiin (liite 1) sekä komposiittieristimien kuljetukseen (liite 2). Lisäksi on laadittu asennusohjeet maassa tapahtuvaan asennukseen ja asennukseen pylväsoston yhteydessä (liite 3). Työn liitteissä esitellään ohje myös johtimien asennukseen, välisiteiden vetoon sekä sitomiseen (liite 4). Asennusohje kiristyspylväille ja vuorotteluun on liitteessä 5. Ohjeiden teossa on käytetty hyväksi vastaavaan tarkoitukseen luotuja englanninkielisiä ohjeita ja täydennetty niitä suomenkielisen lähdeaineiston avulla. Ohjeiden lähteet on merkitty jokaisen liitteen perään Eltel Networks Oy:n toivomuksesta.

Taloudellinen vertailu komposiittieristimien ja lasieristimien välillä on tehty kuvitteelliselle voimajohdonrakennustyömaalle (liite 6). Eri työvaiheisiin käytetty aika on oma arvioni ko. työvaiheeseen kuluneesta ajasta.

Tämän opinnäytetyön ja siihen sisältyvien liitteiden pohjalta on tehty myös koulutusmateriaali niille Eltel Networks Oy:n työntekijöille, jotka joutuvat työssään tekemisiin komposiittieristimien kanssa (liite 7). Koulutettavia on tähän mennessä ollut n. 20 työntekijää. Sekä koulutuspalautte että -tulokset ovat olleet positiivisia. Koulutettavien palautteissa on koettu tärkeäksi mm. se, että pelkkien käsittelyohjeiden lisäksi selitetään syyt tietylle käsittelytavalle. Ei pelkästään kielletä tiettyä käsittelytapaa, vaan myös selitetään, miksi näin ei voi toimia.

Opinnäytetyön suurimpia haasteita oli kehittää tarvittavat työvälineet komposiittieristimien asennukseen. Ohjeiden laadintaan oli mahdollista hyödyntää jo olemassa olevaa materiaalia, mutta asennuksen eri vaiheissa tarvittavien työvälineiden ideointi ja toteutus ovat omaa tuotostani. Tavoitteena oli kehittää asennuksessa tarvittavat tikkaat, työtaso sekä eristimien suojaus-, kuljetus- ja nostovälineet. Niiden suunnittelussa on ollut suurta hyötyä omasta asentajana saamastani työkokemuksesta.

## 7. YHTEENVETO

Opinnäytetyön tekemistä on koko ajan helpottanut tarkkaan tehty projektisuunnitelma. Aihe sinänsä oli erittäin laaja ja vaarana oli, että työ paisuu liian suureksi. Työn rajaamisessa onnistuin kuitenkin mielestäni hyvin.

Työtä tehdessä koin erittäin hankalaksi sen, että osaa materiaalista ei saanut yleisesti julkistaa. Työn tekemisen kannalta olisi ollut helpompaa asettaa koko työ salaiseksi kolmen vuoden ajaksi. Näin olisi ollut mahdollista kommentoida ja kertoa enemmän työn tekemisen vaiheista ja tuloksista. Myös voimajohto Keminmaa-Petäjäskoski rakentamisen tiukka aikataulu loi paineita työmenetelmien sekä työvälineiden valmistumiselle.

Tikkaiden kehittäminen (liite 4) oli yksi työn haasteellisimmista työvaiheista. Onneksi sain apua erittäin ammattitaitoiselta tikasvalmistajalta. Tuloksena valmistuneet tikkaat ovat olleet kovassa käytössä työmaalla. Komposiittieristimen asennus kiristäjäpylväälle ja vuorottelijalle oli alussa tarkoitus tehdä nostokoriin sijoitetusta telineestä, mutta työn tuloksena syntynyt eristimen suojausmenetelmä (liite 5) teki asennustelineen tarpeettomaksi. Kehitellessäni eristimien kuljetuslaitetta työmaalle otin mallia kuljetuslaatikoista, joissa ne tulivat Sveitsistä Suomeen. Kuljetus onnistuu nyt erittäin kätevästi eikä haittaa muiden tavaroiden kuljetusta (liite 2). Eristimen nostoon valmiiksi pystytettyyn kannatuspylvääseen kehittelemäni nostohaarukka (liite 3) on ollut nyt käytössä noin 60 pylvään eristimien nostolla ja sillä on myös jouduttu laskemaan yhdeksän pylvään eristimet. Nostohaarukka, kuten kaikki muutkin työni tulokset ovat erittäin yksinkertaisia töitä helpottavia keksintöjä. Kaikki nämä keksinnöt ovat tarkemmin esitelty työn liitteissä.

Tulevaisuudessa työmenetelmät komposiittieristimien käsittelyssä ja asennuksessa varmasti saavat uusia helpottavia piirteitä. Kokemusten myötä myös kehittelemäni työvälineet tulevat muotoutumaan. Pidän kuitenkin työn tuloksia erittäin hyvinä haasteellisen aikataulun huomioon ottaen.

## 8. LÄHDELUETTELO

- /1/ Airasmaa, Komppa, Kokko, Saarela, Skirifvars, Komposiittirakenteet, 1. painos, Muoviyhdistys ry, 2007.
- /2/ Aro, Elovaara, Karttunen, Nousiainen, Palva, Suurjännitetekniikka, 2. Painos, Otatieto, 2003.
- /3/ Fingrid Oyj, 400 kV Keminmaa-Petäjaskoski, [WWW-dokumentti], [http://www.fingrid.fi/portal/suomeksi/voimajohdot\\_ja\\_maankaytto/tyomaat/voimajohdot/400\\_kv\\_keminmaa-petajaskoski/](http://www.fingrid.fi/portal/suomeksi/voimajohdot_ja_maankaytto/tyomaat/voimajohdot/400_kv_keminmaa-petajaskoski/), 2.5.2009.
- /4/ Elovaara, Laiho, Sähkölaitostekniikan perusteet, 4. painos, Otatieto, 2001.
- /5/ Eltel Networks Oy, Taustatietoa [WWW-dokumentti], <http://www.eltelnetworks.fi/main.aspx?ID=02A040DF-EB2A-412C-B956-D01F5A004A2C>, 3.12.2008.
- /6/ Laakso, Pekka, Työmaapäällikkön haastattelu, Eltel Networks Oy Tampere, 4.12.2008.
- /7/ Maksimainen, Seppo, Voimajohtoasentajan haastattelu, Eltel Networks Oy Tampere, 27.4.2009.
- /8/ Nieminen, Ina-Sofia, Nurmio, Katariina, Muovit, [WWW-dokumentti] <<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/muovit2/opettajalle/index.htm>> 4.11.2008
- /9/ Schmuck, Turreil, Brittle fractures of composite insulators, Electra, 214, 2004, 40-45.
- /10/ Silcosil, Silicone insulators, Overhead lines, Technical facts, versio 01En, Pfisterer I Sefag, 09/2007
- /11/ Vienamo, Teppo, Muoviteknologia, [WWW-dokumentti], <[http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/muoviteknologia/menetelmat/07-00\\_kompos.html](http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/muoviteknologia/menetelmat/07-00_kompos.html)> 4.11.2008

## 9. LIITELUETTELO

Liite 1	Komposiittieristimen vastaanotto- ja varastointiohje
Liite 2	Komposiittieristimen kuljetusohje
Liite 3	Komposiittieristimien ja johtopyörien asennus
Liite 4	Johtimien asennus komposiittieristimillä varustettuun pylvääseen
Liite 5	Komposiittieristimien asennus kiristäjäpylväälle ja vuorotteluun
Liite 6	Taloudellinen vertailu lasi vs. komposiitti
Liite 7	Koulutusmateriaali komposiittieristimen asennukseen ja käsittelyyn