

Eristinketjuja ääriolosuhteisiin

Eurolaite Oy on vuonna 1988 perustettu sähkötekniikan tuotteiden maahantuontiin, markkinointiin ja myyntiin erikoistunut asiantuntijayritys. Keskeisenä tavoitteena on hyvä asiakaspalvelu, täsmälliset toimitukset ja korkeatasoinen tekninen tuki. Vahvuksiamme on ammattitaitoinen henkilökunta ja heidän pitkä kokemus alalta. Edustamme alamme johtavia toimittajia, joiden tuotteet ja palvelut tarjoavat asiakkaillemme laadukkaita ja kil-

pailukykyisiä kokonaisratkaisuja. Tuotteemme käsittävät mm. tuotteet sähköasemille, sähkön laadun hallintaan, sähköverkon suojaukseen ja jakeluverkon rakentamiseen.

Olemme osa ruotsalaista pörssinoteerattua Addtech konsernia ja sen Energy Supply yksikköä. Voimme yhdessä sisaryritystemme kanssa tarjota kattavan tuote- ja palveluverkoston pohjoismaiden alueella.

Eristinketjuja ääriolosuhteisiin

PFISTERER

Ranskalainen siirtoverkko-operaattori Réseau de Transport d'Électricité (RTE) hyväksyi Pfistererin 225 ja 400 kV:n suurjänniteverkkojen eristinketjuratkaisujen toimittajaksi. Hyväksynnässä painotettiin silikonikomposiittieristimien ja niiden suojaliittimien tarkkaa integrointia aiemmin asennettuihin eristinketjuihin, joissa normaalisti käytetään lasieristimiä. Kyseessä oli haastava prosessi, joka vaati huomattavaa asiantuntemusta. Tämä tarina havainnollistaa sitä, miten eristinketjujen luotettavan, turvallisen ja taloudellisen käytön varmistaminen pitkällä aikavälillä edellyttää paitsi laadukkaita materiaaleja ja nykyaikaisia valmistusprosesseja myös eristinketjun osien sovelluskohtaista suunnittelua, niiden vuorovaikutukset mukaan lukien.

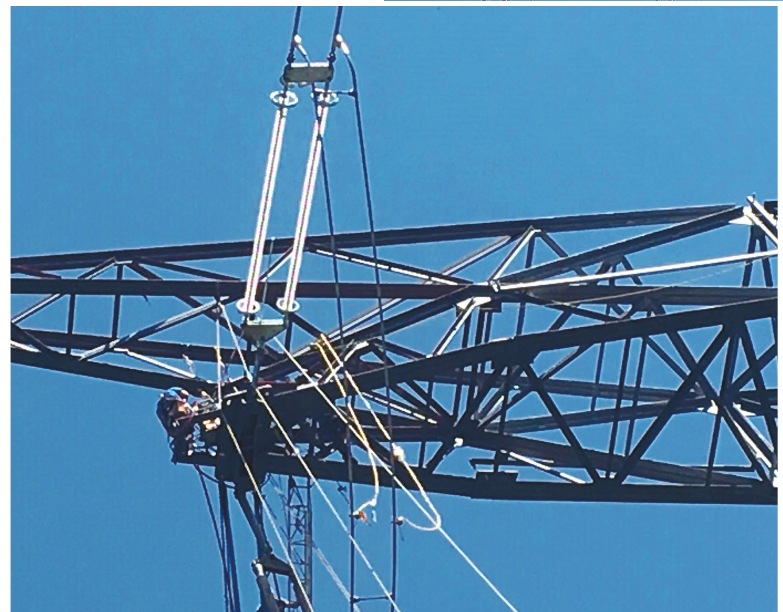
” Täällä silikonikomposiittieristimien vahvuudet tulevat todella esille.”

Ivan von Meister
Pfistererin projektipäällikkö

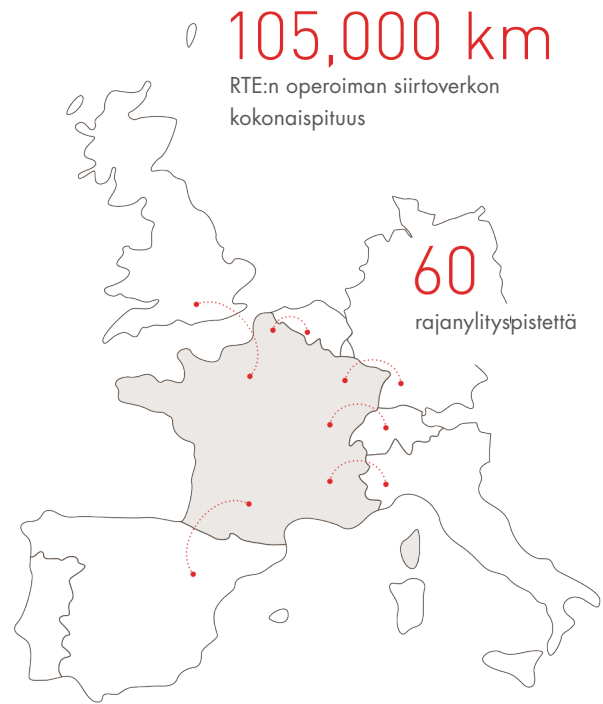
RTE OPEROI EUROOPAN LAAJINTA SIIRTOVERKKOJA, jonka linjojen yhteispituus on lähes 105 000 km. Lähes puolta yhtiön 400 ja 225 kV:n ilmajohtoista käytetään sähkön kaukosiiirtoon, ja osa niistä kulkee 60 rajanylityspisteen kautta Ison-Britannian, Benelux-maiden, Saksan, Sveitsin, Italian ja Espanjan verkkoihin. 150, 90 ja 63 kV:n linjoja käytetään alueelliseen sähkönsiiirtoon. Ilmajohtojen eristinketjuissa käytetään pääasiassa lasieristimiä. RTE käyttää silikonikomposiittieristimiä silloin, kun linja kulkee teollisuusalueen, rannikkoalueen tai vuoriston halki.

PFISTERERin projektipäällikkö Ivan von Meister, jolla oli johtava rooli RTE:n uusien komponenttien hyväksyntäprosessissa, selittää asian taustoja: ”Näillä alueilla ilmajohtolinjojen operointiolosuhteet ovat erityisen vaikeita ilmansaasteiden suuren määrän tai hankalan maaston vuoksi. Täällä silikonikomposiittieristimien vahvuudet tulevat todella esille.”

Teknologian siirto:
Hyväksynnässä painotettiin silikonikomposiittieristimien ja niiden suojaliittimien tarkkaa integrointia aiemmin asennettuihin, lasieristimille suunniteltuihin eristinketjuihin.



JOTKIN NÄISTÄ vahvuuksista johtuvat käytettävästä silikonikumimateriaalista. Komposiittieristimien vaipat on valmistettu materiaaliseoksesta, joka on erityisesti kehitetty ulkokäyttöön suurille jännitteille. Yksi silikonikumin kiinnostavista ominaisuuksista on sen hydrofobisuus: kosteus ei imeydy, vaan valuu pisaroina pois eristimen pintaa pitkin. Pinnalle ei siis pääse muodostu yhtenäistä kalvoa, jossa voisi syntyä pintavuotovirtoja epäpuhtauksien aiheuttaman johtavuuden vuoksi. Tuloksena on erittäin hyvä valokaaren kestävyys saasteisissa ympäristöissä, kuten rautatietunneleissa. "Silikonikumilla on myös kyky elvyttää ja siirtää hydrofobisuus. Se pystyy siis palauttamaan heikentyneen hydrofobisuuden ja siirtää sen kontaminaatiokerroksiin", selittää Pfistererin teknologiaosaston komposiittimateriaalien kehityksestä vastaava johtaja **Christiane Bär**. Silikonikomposiittirakenteissa voidaan siis unohtaa perinteisten ulkokäyttöön suunniteltujen eristimien vaatimat kunnossapitotoimet, kuten puhdistus ja pintakäsittely. Silikonikomposiittieristimillä on myös hyvä vetolujuus. Lisäksi ne ovat kevyitä, mikä helpottaa kuljetusta ja asennusta.



Kustannustehokasta kestävyttä

"NÄIDEN OMINAISUUKSIEN ansiosta silikonikomposiittieristimet ovat saavuttaneet yleisen hyväksynnän. Pfisterer on jatkanut innovatiivisten ratkaisujen kehittämistä ja käytännön tutkimusten ja testien tekemistä", sanoo **Frank Schmuck**, Pfistererin teknologiajohtaja ja ilmajohtojen komposiittituotevalikoiman johtaja. Hän on työnsä ohessa kirjoittanut myös silikonikomposiittieristimiä käsittelevän hakeoksen "Silikon-Verbundisolatoren – Werkstoffe, Dimensionierung, Anwendungen" (Springer-Verlag). Käytettiinpä komposiittieristimiä sitten koko verkossa tai valikoivasti, kuten RTE:n tapauksessa, ne tukevat suurjännitejohtojen ja siten myös sähkönsiirtojärjestelmien toiminnallista luotettavuutta ja taloudellista tehokkuutta.

"RTE on sitoutunut varmistamaan sähkön hyvän saatavuuden toimiessaan verkko-operaattorina Ranskassa ja sähköyhtiöiden kumppanina eri puolilla maailmaa, joten turvallisuus ja taloudellisuus ovat sille erittäin tärkeitä näkökohtia", sanoo Pfistererin Ranskan tytäryhtiön toimitusjohtaja **Michel Bartissol**. RTE:n paikallisena yhteyshenkilönä Illzachissa hän teki projektin toteutuksen aikana läheistä yhteistyötä Pfistererin Maltersin (Sveitsi) ja Kadanin (Tšekki) toimipaikkojen kanssa.

TAMMIKUUSTA 2019 alkaen Pfisterer on toimittanut silikonikomposiittieristimiä ja suojaliittimiä useisiin kannatin- ja kiristysketjuihin noudattaen RTE:n standardeja jännitteille ja kuormaluokille 225 kV / 150 kN, 400 kV / 300 kN ja 400 kV / 600 kN. Eristimien rakenne oli kattavan hyväksyntäprosessin seurausta.



Vahva paineen alla:

Pfistererin silikonikomposiittieristimiä ja suojaliittimiä asennetaan 1 200 kN:n kaksoiskiristintekijöihin. Kukaan eristin kestää jopa 600 kN:n mekaanisen kuorman, mikä vastaa noin 61 tonnin painoa maassa.

PFISTERER ratkaisi nämä haasteet osaamisellaan ja pitkällä kokemuksellaan: lähes 100 vuotta ilmajohtojärjestelmien suunnittelua ja yli neljä vuosikymmentä silikonikomposiittieristimien suunnittelua. "Uusi tekniikka kehittää asiantuntemustamme, ja me kehitämme uutta tekniikkaa", sanoo Pfistererin ilmajohtokomposiittiosaston johtaja **Thomas Bachmann**. "Teemme yhteistyötä alan organisaatioiden,

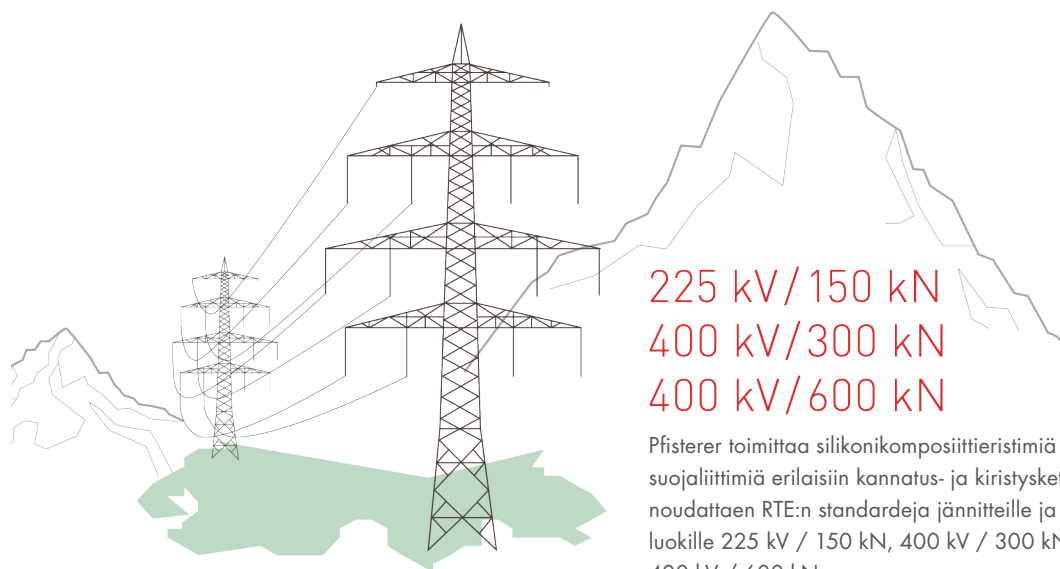
kuten CIGRE:n ja IEC:n, ja eri puolilla maailmaa toimivien asiakkaidemme kanssa."

JOKAINEN suunnitelma on monimutkainen, oli kyseessä sitten vakiosovellus tai erikoisratkaisu. Yleisenä tavoitteena on aina toiminnallinen ja taloudellisesti optimoitu lopputuote. Pfistererin teknisen tuen suunnittelija **Christophe D'Hondt** kuvaa monimutkaisuutta näin: "Jokaisen eristinketjun täytyy täyttää useita mekaanisia ja sähköisiä vaatimuksia. Joskus ne vaativat keskenään ristiriitaisia ominaisuuksia, mutta ne kaikki täytyy silti toteuttaa yhtenäisenä ja tehokkaana kokonaisuutena." RTE on hyvä esimerkki näistä haasteista.

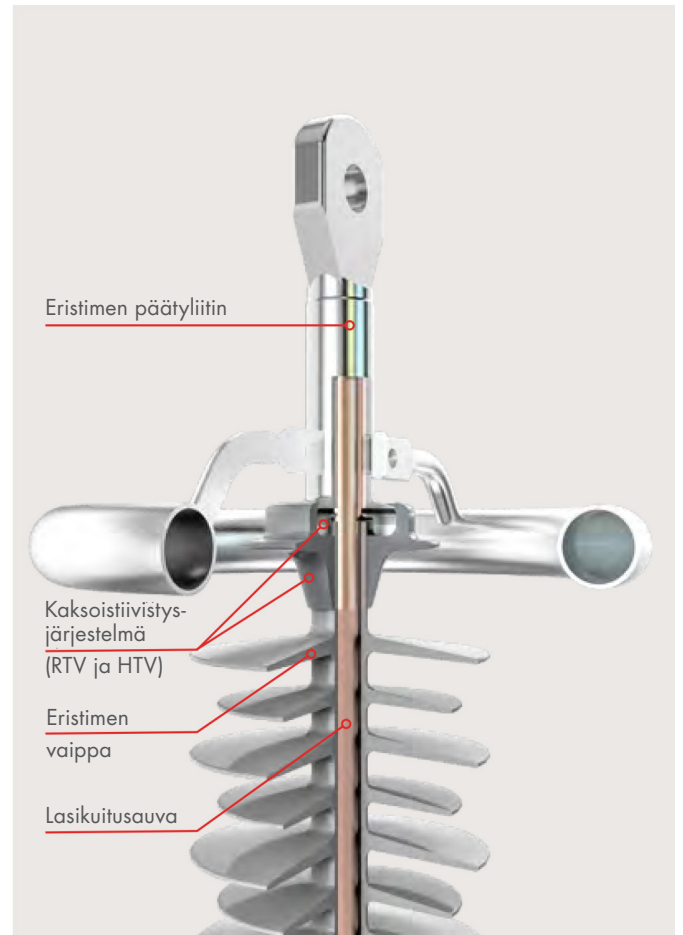
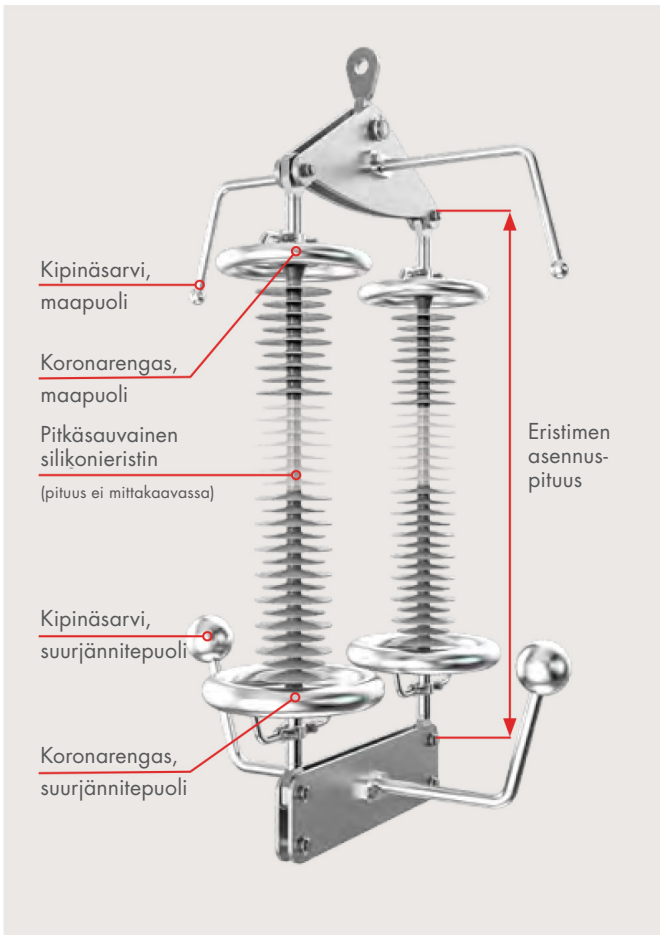
SILIKONIKOMPOSIITTIERISTIMET ja suojaliittimet täytyi integroida RTE:n eristinketjuihin, joissa yleensä käytetään lasieristimiä. Tämä oli Pfistererin asiantuntijoille kova haaste: miten toteuttaa teknologian muutos saumattomasti hyvin tiukkojen mittojen puitteissa ottaen huomioon toisistaan riippuvaiset suunnittelukriteerit. 400 kV:n kaksoiskiristintekijöiden eristimien ja suojaliittimien tarkastelu havainnollistaa joitakin vaatimuksia sekä lasi- ja silikonikomposiittieristimien tyypillisiä eroja.

Vahva paineen alla. Turvallinen käytössä.

KUN SIIRTOLINJA kulkee vuoristoisen alueen halki, sen reitillä on usein huomattavia korkeusmuutoksia. Tällöin kaapeleihin voi kohdistua huomattavaa vetorasitusta, mikä vaikuttaa myös eristinketjuihin ja pylväisiin. Tällaisissa sovelluksissa RTE käyttää erityisvahvoja kaksoiskiristysketjuja ja 1 200 kN:n kokonaiskuormakapasiteettia (esimerkki eristinketjurakenteesta on kuvassa sivulla 7). Tästä seuraa, että jokaisen eristinketjussa käytettävän 400 kV:n eristimen täytyy kestää jopa 600 kN:n kuorma. Yksi rakenteen



Pfisterer toimittaa silikonikomposiittieristimiä ja suojaliittimiä erilaisiin kannatus- ja kiristysketjuihin noudattaen RTE:n standardeja jännitteille ja kuormaluokille 225 kV / 150 kN, 400 kV / 300 kN ja 400 kV / 600 kN.



Turvallinen ja luotettava käyttö vuosikymmenien ajan: Pfisterer suunnitteli komposiittieristimet ja suojaliittimet RTE:n eristinketjuihin tarkasti 3D-mallien avulla. Vasemmalla on esimerkki 400 kV:n / 600 kN:n kaksoiskannatusketjusta, jossa on silikonikomposiittieristimet (kukin 300 kN). Oikealla olevassa leikkauskuvassa esitetään eristinketjukomponenttien sisäinen rakenne.

kriittisistä tekijöistä on eristimen metallisten päätyliittimien rakenne. Nämä liittimet valmistetaan yleensä lasieristimiä varten. Pitkäsaavaisissa komposiittieristimissä liittimet painetaan lasikuitusauvaan, jolloin eristimen murtumiseen vaadittava voima kasvaa liittimen puristuspuiteuden ja lasikuitusauvan halkaisijan mukana. Mitä suurempi vetorasitus silikonikomposiittieristimen täytyy kestää, sitä suurempi puristusalueen täytyy olla. Tärkeä suunnittelumuuttuja on lasikuitusauvan "vaurioraja", jonka alapuolella ei tapahdu käytännöllisesti katsoen lainkaan kuitukatkoja.

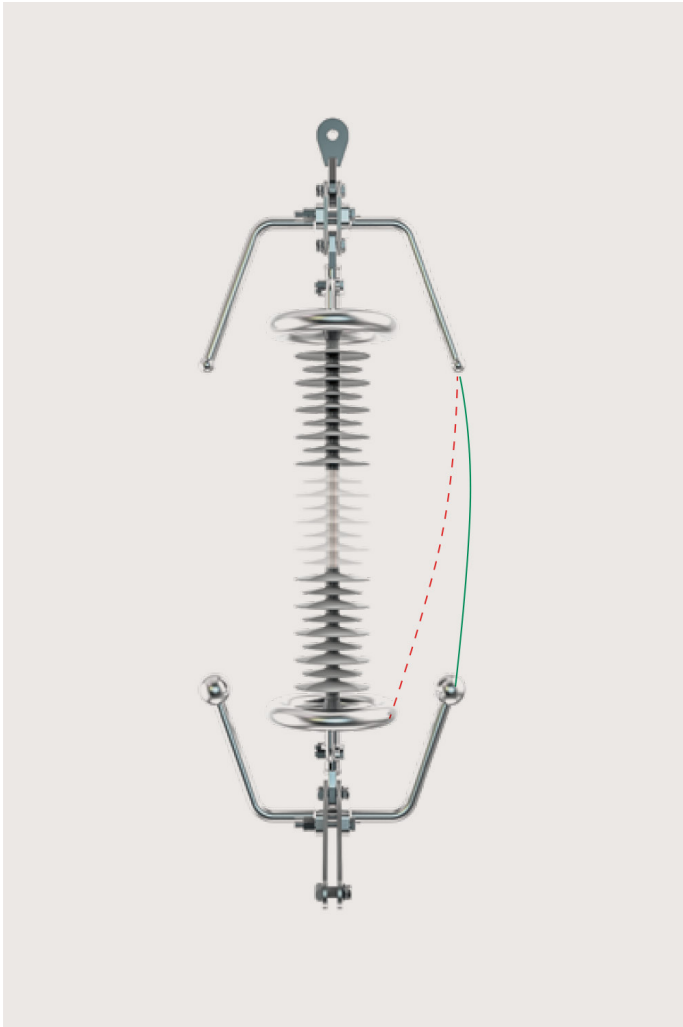
PÄÄTYLIITTIMIEN mitoitus puolestaan voi vaikuttaa siihen, miten sähköiset vaatimukset toteutetaan esimerkiksi suojaliittimien suunnittelussa. Valokaarisuojaliittimet suojaavat suurjännite-eristimiä esimerkiksi salaman tai kytkentätöiden aiheuttaman valokaaren vahingollisilta vaikutuksilta. Tämän suojoitoiminnon kannalta kriittinen tekijä on valokaarisuojaliittimien välinen etäisyys, joka vaikuttaa eristyskestoajännitteen arvoon merkittävästi. Se määrittää rajan, jonka alapuolella eristinketjussa ei saa tapahtua ylilyöntejä ylijännitteestä huolimatta. Jos tämä raja-arvo ylittyy ja

tapahtuu ylilyönti, valokaarisuojaliittimet muodostavat kipinävälin, joka toimii ylijännitesuojana. Niiden geometrian ansiosta valokaari tukahduttaa itsensä hallitusti riittävällä etäisyydellä eristimen vaipasta.

KÄYTTÖKOKEMUKSEN perusteella silikonikumieristystä käyttävien suurjännite-eristimien käytön hyödyt ja koko käyttöiän aikainen luotettavuus edellyttävät myös koronasuojausta. Perinteisen koronasuojauksen tarkoituksena on estää ketjun metalliosissa tapahtuvat koronapurkaukset sekä niihin liittyvät ilmiöt, kuten melu ja radio- tai TV-häiriöt. Lisäkoronasuojaus toteutetaan yleensä suojausrenkailla. Niiden tarkoituksena on estää koronapurkaukset eristimien pinnalla kosteissa olosuhteissa (vesipisarakorona) sekä eristimen pinnan välittömässä läheisyydessä olevissa ketjun metalliosissa, jotta eristinketjun komponentit ja eristimien vaipat eivät vahingoitu. Koronasuojaus voidaan yhdistää valokaarisuojaukseen ja toteuttaa yhdellä suojaliittimellä. Korona- ja valokaarisuojaus voidaan toteuttaa myös erikseen kahdella suojaliittimellä, kuten RTE vaati omissa eristinketjuissaan.

Tehokkuutta standardien avulla. Joustavuutta yksilöllisiin tarpeisiin.

VAATIMUKSET voidaan täyttää taloudellisesti ja tehokkaasti käyttämällä standardeituja resursseja ja toimintatapoja koko yrityksessä. "Pfistererillä on useita testattuja ja hyväksi havaittuja komponentteja ja suunnitelmia integroiduille eristinketjuille. Niillä voimme kattaa monia erilaisia vakiosovelluksia suoraan", Ivan von Meister sanoo. "Samalla olemme myös tottuneet mukauttamaan ja kehittämään yksilöllisiä ratkaisuja, kun tietyt sovellukset tai asiakasmääritykset niin vaativat." RTE:n käyttämissä eristinketjuissa eristimillä ja suojaliittimillä on kiinteät asennuspituudet, jotka rajoittivat Pfistererin vakioratkaisujen käyttöä täytettäessä edellä kuvattuja RTE:n mekaanisia ja sähköisiä vaatimuksia. Lopputulos on kuitenkin menestys – ammattimainen ja virtaviivainen.



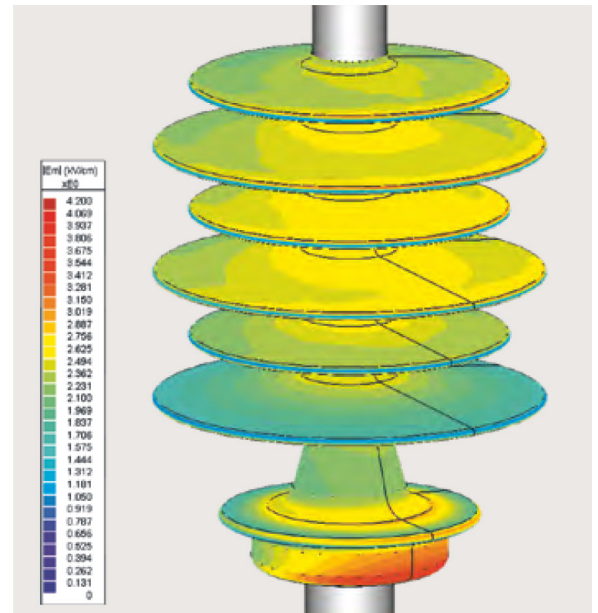
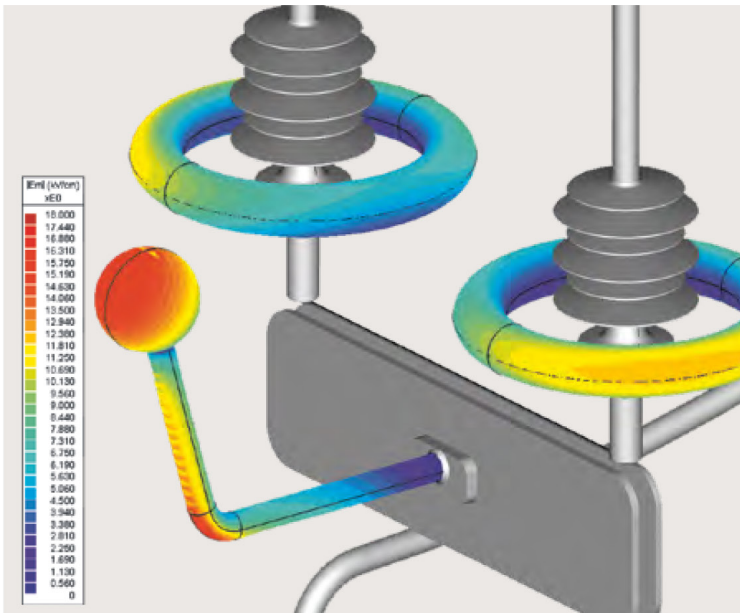
Oikea koordinaatio: Koronarenkaiden ja kipinäsarvien välinen etäisyys on kriittistä korona- ja valokaarisuojauksen kannalta. Jos etäisyys on liian pieni, valokaari voi hypätä kipinäsarvesta koronarenkaaseen (punainen katkoviiva) ja vahingoittaa eristinketjun osia. Jos etäisyys määritetään oikein, ylilyönti tapahtuu vain hallitusti kipinäsarvien välissä (vihreä viiva), jolloin eristimet ja muut ketjun osat pysyvät suojattuina. Tämä osoitettiin RTE:n 225 kV:n kannatusketjulle tehdyssä salamasyöksyjännitetestissä EGU:n suurjännitelaboratoriossa (kuva oikealla).

Jotta voitiin saavuttaa ennalta määritetty asennuspituus silikonikomposiittieristimillä ja ottaa samalla huomioon tarvittavat kuormaluokat, Pfistererin eristinketjuasiantuntijat kehittivät vaihtoehdoisen rakenteen päätyliittimille. Tämä lähestymistapa toimisi vain, jos Pfisterer voisi taata, että eristimet valmistetaan käyttämällä tavallista pienempiä asennuspituuksien toleransseja. Samalla jo asennetut eristinketjut synnyttivät toisen monimutkaisen suunnitteluhaasteen: moniosaisten valokaarisuojaliittimien ja koronarenkaiden integroinnille oli hyvin vähän tilaa. Nämä suojaliittimet täytyi koordinoida keskenään hyvin huolellisesti ja tarkasti.

CHRISTIANE BÄR selittää koordinoitiprosessia ja sen merkitystä: "Jotta suojaliittimet toimivat oikein, niiden täytyy täyttää tietyt suunnittelu ehdot. Koronarenkaat täytyy esimerkiksi asetella tarkasti tiettyihin eristinketjun kohtiin. Valokaarisuojauksessa puolestaan kipinäsarvien välissä täytyy olla tarkasti määritetty etäisyys. Nämä suunnitteluominaisuudet eivät kuitenkaan saa aiheuttaa häiriöitä toisilleen. Tässä kriittinen tekijä on riittävä etäisyys koronarenkaiden ja kipinäsarvien välissä. Muuten valokaari ei ehkä pala turvallisesti sarvien välissä vaan hyppää koronaan, tuhoaa sen lämmöllä ja mahdollisesti vahingoittaa eristintä ja eristinketjua." Oikeaa koordinaatiota havainnollistetaan vasemmalla olevissa kuvissa.

PFISTERER laski sähkökentän voimakkuudet uusimmilla simulointiohjelmistoilla, mikä auttoi RTE:n eristimien ja suojaliittimien sähkösuunnittelussa (katso sivun yläreunan





Tehokasta kehitystä: Pfistererin simulointiohjelmisto laskee sähkökenttien voimakkuudet ja auttaa näin suojaliittimien ja eristimien suunnittelussa. Yllä olevissa kuvissa esitetään sähkökentän voimakkuuden simuloinnit suurjännitepuolen suojaliittimille (vasemmalla) ja suurjännitepuolen eristimen silikonikumipinnalle (oikealla). Värit ilmaisevat, etteivät määritetyt kentänvoimakkuuden raja-arvot (18 kV/cm vasemmalla ja 4,2 kV/cm oikealla) ylitä.

kuva). ”Käytämme näitä laskelmia yhdessä kokemuspöytäarvojen kanssa vahvistamaan, kelpaako eristinketjun rakenne koronasuojauksen kannalta vai tarvitaanko lisäsäätöjä. Tämä nopeuttaa suunnitteluprosessia ja antaa varmuutta eristinketjujen myöhempisiin eristävyyskokeisiin”, selittää Pfistererin kehitysinsinööri ja sähkökenttäsimoilintien asiantuntija Jaka Strumbelj. ”Tähän tarvitaan kokemusta numeerisista tietokonemalleista ja tulosten tulkitsemisesta.” Pfisterer on laatinut omat laskentamäärityksensä, jotka perustuvat yrityksen 15 vuoden kokemukseen tältä alalta, projektikokemukseen eri puolilta maailmaa sekä riippumattomiin tutkimuksiin.

vät komposiittieristimien vaipan valmistuksessa käytettävän materiaalin formuloinnin. Paras vaihtoehto tähän on alumiinihydraatilla (ATH) täytetty kuumavulkanoitava HTV-silikonikumi. Se voittaa matalaviskositeettiset silikonikumityypit, joita ei ole täytetty ATH:lla, kuten huoneenlämmössä kovettuvat (RTV) tai nestemäiset (LSR) silikonit, erinomaisella syöpymisen- ja vuodonkestollaan sekä erittäin hyvillä hydrofobisilla ominaisuuksillaan, kuten nopealla hydrofobisuuden palautumisella ja lyhyillä siirtoajoilla. Pfistererin uusin tehdas Kadanissa Tšekin tasavallassa on nyt suurin silikonituotantolaitos (lisää sivulla 12), jonka RTE auditoi ja hyväksyi kesäkuussa 2019.

Testien menestyjä

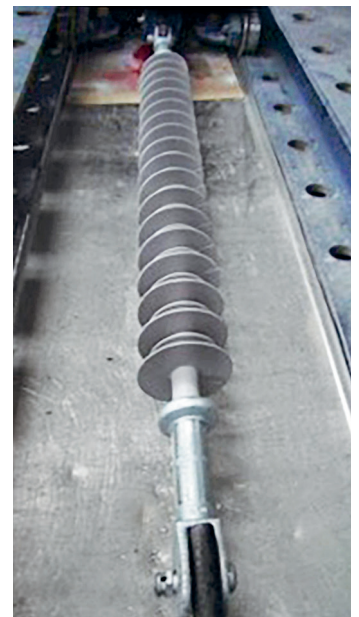
PFISTERERin eristimet ja suojaliittimet ovat osoittaneet laatunsa ja moitteettoman toimintansa eristinketjukokoonpanon osana useissa mekaanisissa ja sähköisissä testeissä, jotka Pfisterer on teettänyt RTE:n puolesta riippumattomissa testilaitoksissa. Suojaliittimien oikea koordinaatio, salamasyöksyjännitetestin mukaan lukien, vahvistettiin EGU:n eristävyyskokeissa (katso kuva sivulla 8). Eristinketjujen laajat valokaarikokeet tehtiin KEMAssa, käyttämällä joissakin tapauksissa RTE:n edellyttämiä tiukempia vaatimuksia: esimerkiksi 400 kV:n eristinketjut kestivät 63 kA:n oikosulkuvirtaa 0,25 sekunnin ajan, mikä osoittaa niiden erinomaisen oikosulkukeston.

PFISTERER varmistaa RTE:lle ja muille asiakkailleen toimittamiensa tuotteiden yhdenmukaisen korkean laadun noudattamalla kansainvälisiä normeja sekä optimoituja sisäisiä materiaali- ja tuotantostandardeja. Nämä käsittä-

Testattu palautumiskyky:

Esimerkki vetolujuuden testuslaitteeseen kiinnitetystä silikonikomposiittieristimestä. Pfistererin RTE:lle valmistamat eristimet suunniteltiin kuormaluokille 150 kN, 300 kN ja 600 kN.

Kaikki läpäisivät testit onnistuneesti.



Yhteystiedot

Eurolaite Oy
Sinimäentie 6 A
02630 Espoo, Finland
Puh.: 020 155 7444
S-posti: eurolaite@eurolaite.fi

www.eurolaite.fi