

Jani Kuivanen

# Ilmaeristeiset keskijännitekojeistot Suomessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

12.02.2021

Tekijä Otsikko	Jani Kuivanen Ilmaeristeiset keskijännitekojeistot Suomessa
Sivumäärä Aika	31 sivua + 2 liitettä 12.02.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori Tuomo Heikkinen team leader Fredrik Lindstedt
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Siemens Oy:lle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä asiakaskysely Siemensin toimittamista ilmaneristeisistä keskijännitekojeistoista ja saada arvokasta palautetta asiakkailta. Työssä myös vertailtiin eri valmistajien keskijännitekojeistoja ja tarkempi tarkastelu tehtiin ilmaeristeisille vaunukatkaisija keskijännitekojeistoille.</p> <p>Ilma eristeaineena on aina saatavilla ja turvallisempaa käyttää kuin toista yleistä eristeainetta SF<sub>6</sub>-kaasua. Keskijännitekojeistoilla on tärkeä rooli verkon ylläpidossa ja turvallisuudessa. Keskijännitekojeistojen päätarkoituksia ovat ohjaus, katkaisu ja erotus.</p> <p>Työn alussa perehdyttiin keskijännitekojeistojen pääkomponentteihin, valmistus- ja eristystapoihin, suojaukseen sekä turvallisuuteen.</p> <p>Lopussa tutkittiin ilmaneristeisiä keskijännitekojeistomarkkinoita Suomessa. Tämä tehtiin kyselyllä pyytämällä palautetta asennetuista Siemensin ilmaeristeisistä keskijännitekojeistoista, sekä vertailemalla eri valmistajien markkinoilla olevia ilmaeristeisiä keskijännitekojeistoja.</p> <p>Työn tuloksena saatiin asiakkaiden mielipiteitä ja palautetta Siemensin ilmaeristeisistä keskijännitekojeistoista. Saatua tietoa voidaan käyttää hyödyksi, kun tiedetään mihin asioihin asiakkaat keskittyvät kojeistoja valittaessa. Tärkein kriteeri asiakkaille kyselyn mukaan oli kojeiston hinta ja toisena tärkeänä asiana oli toimitusvarmuus.</p>	
Avainsanat	ilmaeristeinen keskijännitekojeisto, katkaisija, erotin, valokaarisuojaus, asiakaskysely

Author Title	Jani Kuivanen Air Insulated Medium Voltage Switchgear in Finland
Number of Pages Date	31 pages + 2 appendices 12 February 2021
Degree	Bachelor of engineering
Degree Programme	Electrical and automation engineering
Professional Major	Electrical power engineering
Instructors	Tuomo Heikkinen, Senior Lecturer Fredrik Lindstedt, Team leader
<p>The thesis work was carried out for Siemens Oy. The purpose of this thesis work was to inquire customers of Siemens about air insulated medium voltage switchgear and get valuable feedback. Also, comparison was done between air insulated medium voltage switchgear from different manufacturers.</p> <p>Air as an insulating medium is always available and safer to use than another common insulating medium SF<sub>6</sub> gas. Switchgear play a major role in grid maintenance and safety. Main purposes for switchgears are control, cut off and disconnecting.</p> <p>At the beginning of the project switchgear, its purpose, main components, build and insulation methods, protection and safety of the switchgear were studied.</p> <p>The remainder of the project was to study the air insulated medium voltage switchgear market in Finland. This was done by interviewing the customers of Siemens and getting feedback concerning the installed switchgear.</p> <p>The result of the study is feedback from the customers and information concerning matters that are important for customers when choosing an air insulated medium voltage switchgear. The most important issue for customers is the price but also delivery on time is appreciated.</p>	
Keywords	air insulated medium voltage switchgear, circuit breaker, switch-disconnector, arc fault protection, customer survey

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Keskijännitekojeistot	1
3	Ilmaeristeiset keskijännitekojeistot	3
3.1	Ilmaeristeisten keskijännitekojeistojen rakenne	3
3.2	Ilmaeristeisten keskijännitekojeistojen komponentit	5
4	Keskijännitekojeistojen luokitus	11
5	Valokaaret kojeistojen harmina	13
5.1	Valokaarisuojaus	13
5.2	Valokaarikestoisuusluokka	19
6	Ilmaeristeisten keskijännitekojeistojen testaaminen	20
7	Ilmaeristeisten keskijännitekojeistojen vertailu	23
8	Asiakaskysely	26
9	Yhteenveto	28
	Lähteet	30

### Liitteet

Liite 1. Asiakaskysely 1 ilmaeristeisistä keskijännitekojeistoista

Liite 2. Asiakaskysely 2 ilmaeristeisistä keskijännitekojeistoista

## Lyhenteet

EMC *Electromagnetic compatibility.* Sähkömagneettinen yhteensopivuus.

IEC *International Electrotechnical Commission.* Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio.

SF<sub>6</sub> *Sulfur hexafluoride.* Rikkiheksafluoridi, hajuton, myrkytön ja palamaton kaasu.

## 1 Johdanto

Tässä insinööriyössä perehdytään ilmaeristeisiin keskijännitekojeistoihin Suomessa ja tehdään asiakaskysely Siemensin ilmaeristeisistä keskijännitekojeistoista. Työssä vertaillaan myös eri valmistajien ilmaeristeisiä keskijännitekojeistoja. Työ on tehty Siemens osakeyhtiön pyynnöstä, ja tarkoituksena on saada palautetta asiakkailta Siemensin kojeistoista ja kojeistotoimituksista sekä saada tietoa Suomen markkinoilla olevista ilmaeristeisistä keskijännitekojeistoista.

Työssä käydään läpi keskijännitekojeistojen käytön tarkoitus, pääkomponentit ja eri rakenne- ja eristystapoja sekä suojaukseen ja turvallisuuteen liittyviä asioita. Standardeja käsittelevässä osiossa tutustutaan keskijännitekojeistoille vaadittuihin koestuksiin ja muihin määräyksiin. Vertailuosiossa tutkitaan eri valmistajien ilmaeristeisiä keskijännitekojeistoja ja tarkempi vertailu suoritetaan Siemensin NXAIR C:n ja ABB:n ZS8.4 -kojeistojen välillä. Nämä kaksi kojeistoa ovat suoria kilpailijoita, ja vertailussa halutaan tarkastella kojeistojen teknisiä eroavaisuuksia.

Työn lopussa tehdään asiakaskysely Siemensin ilmaeristeisistä keskijännitekojeistoista ja analysoidaan kyselyn tuloksia.

## 2 Keskijännitekojeistot

Keskijännitekojeisto on rakennekokonaisuus, joka sisältää kytkentä-, suojaus-, ohjaus- ja valvontalaitteita. Keskijännitekojeistoja käytetään verkkojen solmukohdissa ja sähkönjakelussa, joissa tarvitaan suojausta, ohjausta, katkaisua ja erotusta. Keskijännitekojeiston eristysaineena voi olla normaalipaineinen ilma (ilmaeristeinen keskijännitekojeisto), muussa kuin normaalipaineessa oleva eristyskaasu (kaasueristeinen keskijännitekojeisto) tai kojeisto voi olla hartsieristeinen. Kalustustavan mukaan keskijännitekojeistot voidaan jakaa ulosvedettävillä (withdrawable) kojeilla varustettuihin kojeistoihin eli vaukkojeistoihin tai kiinteillä kalusteilla varustettuihin kojeistoihin. (1, s. 117.)

Sähköverkkoyhtiöillä on omat vaatimukset keskijännitekojeistoista. Seuraavassa on joitakin yleisiä nimellisarvoja, joita kojeistoilta vaaditaan:

• Käyttöjännite	20 kV
• Nimellisjännite	24 kV
• Nimellistaajuus	50 Hz
• Nimellisvirta (kokoojakisko)	630 A
• Terminen virtakestoisuus (1 s tai 3 s)	16 kA
• Dynaaminen virtakestoisuus	40 kA
• Vaihtojännitelujuus	50 kV
• Syöksyjännitelujuus	125 kV

### Keskijännitekojeistoille asetetut yleiset määräykset

Keskijännitekojeistoille asetetaan vaatimuksia, jotka määritellään standardeissa ja kansallisissa määräyksissä. Vaatimukset pohjautuvat käytössä esiintyviin erilaisiin rasituksiin. Standardit määräävät myös keskijännitekojeistoille tehtävät koestukset sekä sen, miten todetaan, että keskijännitekojeistot täyttävät niille asetetut vaatimukset. Suomessa keskijännitekojeistoille asetettavien vaatimusten takana ovat sähköturvallisuuslaki sekä valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista.

Sähköturvallisuuslaissa määrätään, että sähköturvallisuusviranomaisen julkaisee luettelon standardeista, joita noudattaen sähkölaitteiston katsotaan täyttävän tämän lain vaatimukset. Suomessa käytetään SFS-standardeja, joista vastaa sähkötekniikan alan osalta standardointijärjestö SESKO. SFS-standardit pohjautuvat IEC-standardeihin. Sähköturvallisuusviranomaisena Suomessa toimii Tukes, joka on julkaissut luettelon S10-2019 Sähkölaitteistojen turvallisuutta ja sähkötyöturvallisuutta koskevat standardit. Näistä standardeista keskijännitekojeistoja koskeva standardi on SFS 6001 Suurjännitesähköasennukset. Standardi 6001 ei koske tehdasvalmisteisia tyyppitestattuja kojeistoja, joille on olemassa oma tuotestandardinsa, mutta kojeistojen ulkoisen koteloinnin osalta noudatetaan kuitenkin kyseisen standardin ja säädösten vaatimuksia.

Tehdasvalmisteiset ja tyyppitestatut koteloidut kojeistot on valmistettava ja testattava standardien mukaan. Suomessa näitä kojeistoja koskee esimerkiksi standardit SFS-EN 62271-1, SFS-EN 62271-200, SFS-EN 62271-201 ja SFS-EN 62271-203. Suomen ulkopuolella valmistettavat kojeistot noudattavat niitä standardeja, millä markkinoilla ne liikkuvat, kuten IEC-standardeja. Kun kojeistot on valmistettu ja testattu IEC-standardien

mukaan, niin voidaan todeta, että kojeistot ovat myös SFS-standardien mukaisia. Sähkölaitteistojen käyttöön ja työskentelyyn sähkölaitteistoissa ja niiden läheisyydessä sovelletaan standardia SFS 6002 Sähkötyöturvallisuus. (2; 3; 4; 5; 6)

Tämän työn käsittelyn kohteena ovat tehdasvalmisteiset ilmaeristeiset vaihtojännitekojeistot, joiden nimellisjännitteet ovat 1–52 kV ja taajuus 50 Hz.

### 3 Ilmaeristeiset keskijännitekojeistot

#### 3.1 Ilmaeristeisten keskijännitekojeistojen rakenne

Ilma eristeaineena on laajasti käytetty teknologia yli sadan vuoden ajan. Ilma on saatavilla aina, ja se on neutraali ympäristölle. Ilmaeristeisessä kojeistossa ei tarvitse huolehtia kaasun vuotamisesta tai kaasun haitallisuudesta ja vaarallisuudesta ympäristölle ja ihmisille. Kojeston rakentamisessa ja asennuksessa ei tarvitse miettiä kaasujen käsittelyä tehtaalla tai työmaalla. Kaikkiin kennojen tiloihin on helppo ja vapaa pääsy, ja kojeistoissa voidaan käyttää ulosvedettäviä katkaisijoita. Myös kojeistojen laajennettavuus jälkikäteen on helppoa. Ilmaeristeisten kojeistojen ilmastosta riippuvat käyttökatkot johtuvat siitä, että ne eivät ole hermeettisesti suljettuja. Tämän takia tietyt kojeiston osat voivat olla alttiita ilmankosteudelle sekä pölylle. Ilmaeristeiset kojeistot ovat myös kooltaan isompia kuin kaasueristeiset kojeistot ja vaativat enemmän huoltoa. Ilmaeristeisissä kojeistoissa voidaan käyttää joko kiinteitä katkaisijoita tai ulosvedettäviä vaunukatkaisijoita. Kun käytössä on vaunukatkaisija, niin kojeistossa ei tarvita erillistä erotinta turvallisen erotusvälin muodostamiseen, vaan erotus toteutetaan katkaisija ulosvetämällä. (7; 8 s.4.)

Kuvassa 1 on Siemensin valmistama ilmaeristeinen NXAIR C -keskijännitekojeisto, joka on varustettu vaunukatkaisijalla.

Keskijännitekojeistoja on olemassa myös hybridimallisina, jotka ovat pääosin ilmaeristeisiä, mutta kytkinlaitteet on sijoitettu säiliöön, jossa on eristeaineena SF<sub>6</sub>-kaasua.





Kuva 1. Ilmaeristeinen keskijännitekojeisto Siemens NXAIR C (9, s. 1).

## 3.2 Ilmaeristeisten keskijännitekojeistojen komponentit

### Erottimet

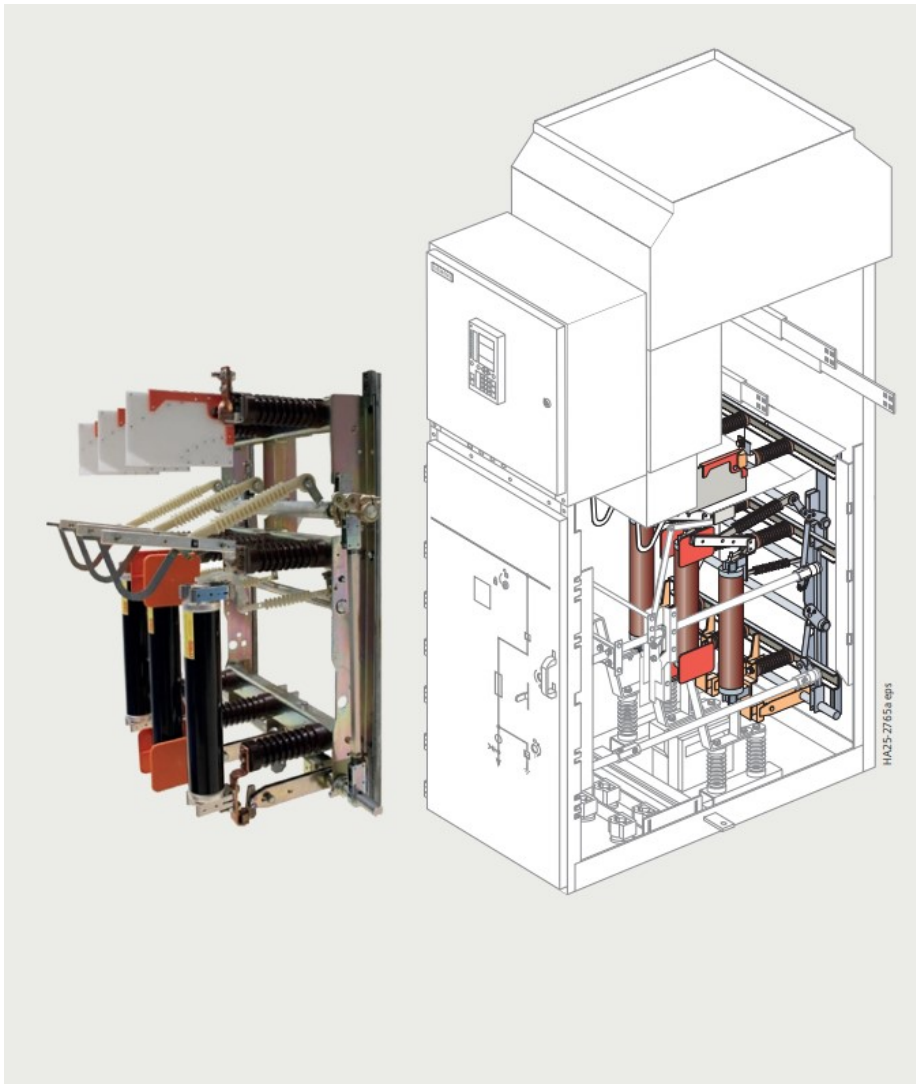
Erotin on kytkinlaite, jonka tehtävänä on muodostaa turvallinen avausväli erotettavan virtapiirin ja muun kojeiston välille ja saada kojeiston osa jännitteettömäksi turvallista työskentelyä varten. Erottimen muodostaman avausvälin on oltava näkyvä tai erotin on varustettava luotettavalla asennonosoituksella. Erottimen on pystyttävä suljettuna johtamaan vaurioitumatta, avautumatta ja liiaksi lämpenemättä kaikki virtapiirissä esiintyvät kuormitus- ja oikosulkuvirrat. Erottimia ei ole tarkoitettu kuormitetun virtapiirin avaamiseen tai sulkemiseen. Tähän tarkoitukseen soveltuu katkaisijan ja erottimen välimuoto eli kuormaerotin. (1, s. 190.)

### Kuormaerotin

Kuormaerotin on kytkinlaite, joka on sekä kytkin että erotin. Sitä käytetään erottamaan kuormitusvirrallisia verkon osia toisistaan. Kuormaerotin pystyy erottimien normaalien tehtävien lisäksi suoriutumaan suurehkojen kuormitusvirtojen katkaisusta sekä pienten oikosulkuvirtojen kytkemisestä. (10, s. 265.)

### Varokekuormaerotin

Varokekuormaerotin on vapaalaukaisulaitteella ja sulakkeilla varustettu kuormaerotin. Yhdenkin sulakkeen toiminta saa aikaan aukiohjauksen ja siten piirin jokaisen vaiheen erottamisen. Varokekuormaerotinta käytetään yleisimmin jakelumuuntamoissa katkaisijan ja suojarleen korvaavana kytkinlaitteena. (1, s. 196.) Kuvassa 2 näkyy varokekuormaerotinlaite ja varokekuormaerotin asennettuna kojeiston sisälle.



Kuva 2. Varokeuormaerotin (8, s.18).

### Katkaisijat

Katkaisijat ovat kojeita, joita käytetään virtapiirien turvalliseen avaamiseen ja sulkemiseen. Niiden on vaaraa aiheuttamatta pystyttävä sulkemaan ja katkaisemaan virtapiirin suurin mahdollinen virta. Katkaisijan on pystyttävä katkaisemaan virtapiirissä esiintyvä suurin oikosulkuvirta ja sillä on voitava kytkeä nimellisjännitteinen virtapiiri verkon 100-prosenttiseen oikosulkuun. Katkaisun on tapahduttava niin, että katkaisija ei saa vahingoittua ja muulle syöttöverkolle aiheutuu mahdollisimman vähän häiriötä. Katkaisija voi toimia automaattisesti tai käsiohjauksesta. Tavallisimmin automaattinen katkaisu johtuu

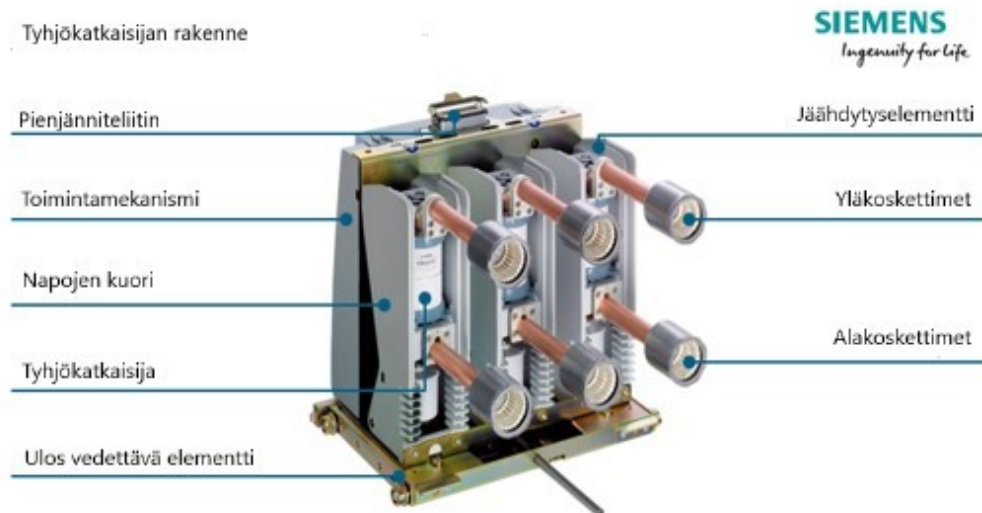
ylivirran vaikutuksesta, jolloin virtapiiriin kytketty rele antaa ohjauskäskyn katkaisijalle. Katkaisija voi myös sulkeutua automaattisesti. (10, s. 245; 11, s. 254.)

Virtapiirin katkaisussa virta ei katkea heti koskettimien avautuessa, vaan virtapiiri pysyy suljettuna valokaaren välityksellä. Valokaarta ympäröivä väliaine valitaan niin, että se auttaa valokaaren sammumisessa. Katkaisukammiossa käytettävän väliaineen mukaan katkaisijat voidaan ryhmitellä seuraavasti:

- ilmakatkaisija
- öljykatkaisijat
- vähäöljykatkaisijat
- paineilmakatkaisijat
- SF<sub>6</sub>- tai yleisemmin kaasukatkaisijat ja
- tyhjökatkaisijat.

Suurilla jännitteillä SF<sub>6</sub>-katkaisijat ovat syrjäyttäneet lähes täysin muut katkaisijalajit, koska se on yleensä taloudellisin katkaisijavaihtoehto. Keskijännitealueella tyhjökatkaisijat ja kaasukatkaisijat ovat yleisimpiä katkaisinlajeja. Öljy- ja paineilmakatkaisijoita ei uusiin kojeistoihin enää valmisteta. Öljykatkaisijan ongelmana on mahdollisen katkaisijan räjähdyksen tuhoisuus, sillä öljyn määrä katkaisijassa on suuri. Muita ongelmia ovat valokaaren aiheuttama öljyn likaantuminen ja siitä aiheutuva eristävyys heikkeneminen. Paineilmakatkaisijoiden huonona puolena on, että ne tarvitsevat toimiakseen paineilma- ja ilmankuivausjärjestelmän. (1, s.161–184.)

Kuvassa 3 näkyy Siemensin ulosvedettävän tyhjökatkaisijan rakenne ja tärkeimmät osat.



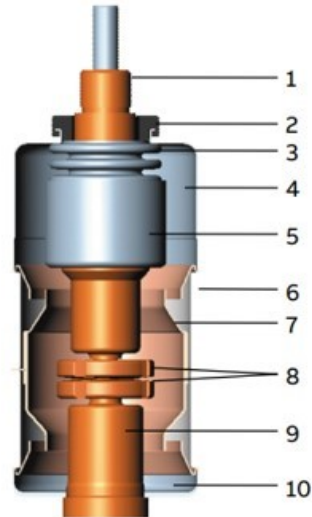
Kuva 3. Tyhjökatkaisijan rakenne (8, s. 17).

### Katkaisijatyypit

Tässä työssä käsitellään tyhjö- ja kaasukatkaisijoita, koska ne ovat hallitsevia katkaisintyyppinä keskijännitekojeistoissa.

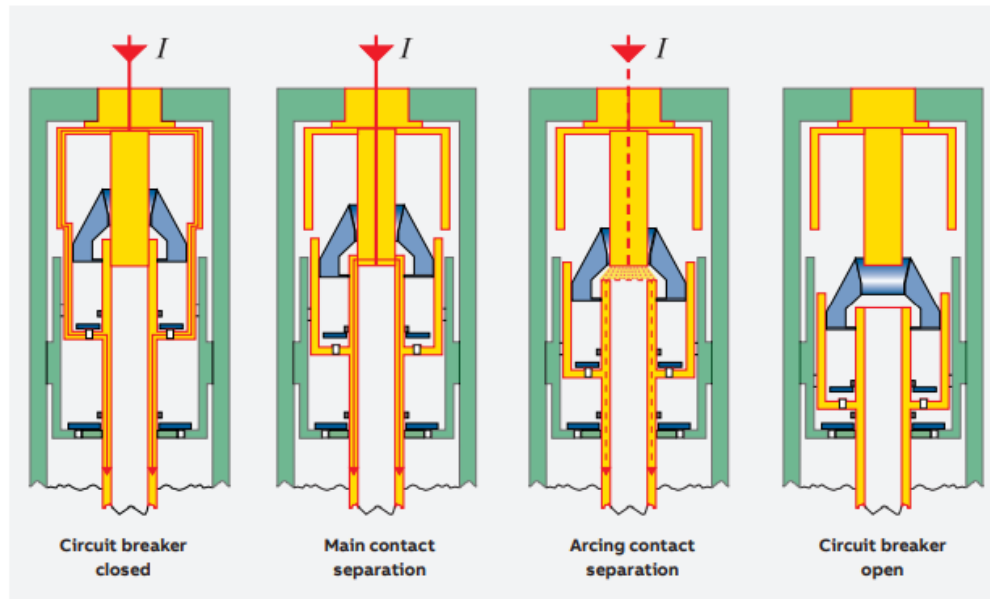
Kuvassa 4 voi huomata, että tyhjökatkaisijan rakenne on yksinkertainen. Tarvitaan vain kiinteä ja liikkuva kosketin, jotka molemmat sijoitetaan tyhjäsaaliin. Kun koskettimet erkanevat toisistaan, jää valokaari palamaan kosketinpinnoilla höyrystyneeseen metallipilveen eikä ionisoituneeseen kaasuun kuten muissa katkaisijarakenteissa. Kun virta saavuttaa nollakohdan, ionisaation katoaa ja itse höyry tiivistyy. Tyhjän hyvän jänniteluuden vuoksi 5–15 mm:n pituinen avausväli on riittävän suuri jänniteluuden saavuttamiseksi. Olennaisimmin valokaaren syntymiseen, palamiseen ja sammumiseen vaikuttavat kosketinpinnoilla käytettävät elektrodiaineet. Myös kuorirakenteen on oltava tiivis. Tyhjö sähköeristeenä on kahdeksan kertaa parempi kuin ilma ja neljä kertaa parempi kuin SF<sub>6</sub>. Tyhjökatkaisijassa ei myöskään ole minkäänlaista räjähdysvaaraa. (10, s.260; 1, s. 182.)

- 1 Pääte
- 2 kiertosuoja
- 3 Metallipalkeet
- 4 katkaisijan kansi
- 5 Suojus
- 6 Keraaminen eristin
- 7 Suojus
- 8 Kontakti
- 9 Pääte
- 10 Katkaisijan kansi



Kuva 4. Tyhjökatkaisijan poikkileikkaus (13, s. 3).

Toinen keskijännitealueella yleisesti käytetty katkaisijatyyppe on SF<sub>6</sub>-katkaisija, yleiseltä nimeltään kaasukatkaisija. Siinä katkaisu tapahtuu SF<sub>6</sub>-kaasussa. SF<sub>6</sub>-katkaisijan etuina ovat väliaineen palamattomuus, suuri valokaaren jäähdytyskyky ja korkea palaavan jännitteen kestoisuus. Keskijännitteellä SF<sub>6</sub>-katkaisijan kuoret voidaan valmistaa valuhartsista ja kaikki jännitteelliset osat suojata. Tämä mahdollistaa erittäin pienet vaihevälit ja pienikokoiset kojeistot. (10, s.259.) SF<sub>6</sub>-katkaisijan toimintaperiaate poikkeaa hieman tyhjökatkaisijasta. Kuvassa 5 näkyy yksi esimerkki, miten SF<sub>6</sub>-katkaisijan katkaisutoiminta on toteutettu.



Kuva 5. SF<sub>6</sub>-katkaisijan toimintaperiaate (14, s. 10).

SF<sub>6</sub>-katkaisijoiden ongelmina ovat olleet valokaaren aiheuttamat myrkylliset ja kosteuden kanssa korroosiota aiheuttavat yhdisteet sekä kaasun nesteytyminen alhaisissa lämpötiloissa. Kun SF<sub>6</sub> havaittiin ilmakehän lämpenemistä aiheuttavaksi kasvihuonekaasuksi, on katkaisijan kaasutiiveyteen pitänyt kiinnittää huomiota. SF<sub>6</sub> eli rikkiheksafluoridi on kaikkein voimakkain kasvihuonekaasu. SF<sub>6</sub> on kolme kertaa parempi sähköeriste kuin ilma, jolloin laitteet voidaan rakentaa pienemmiksi, mutta SF<sub>6</sub> on kasvihuonekaasuna 23 500 kertaa voimakkaampaa kuin hiilidioksidi. (1, s.181.)

#### Vaunukatkaisijakojeistot

1970-luvulla käyttöön tulivat niin sanotut vaunukatkaisijakojeistot, joissa katkaisijaa ympäröivät erottimet korvattiin katkaisijavaunulla. Katkaisijavaunu ulos vedettäessä, muodosti se riittävän ilmavälin. Nämä kehitettiin sähkölaitosten ja teollisuuden vaativiin käyttötarpeisiin huollon nopeuttamiseksi ja erottimien aiheuttamien vikojen vähentämiseksi. (1, s.124.)

## 4 Keskijännitekojeistojen luokitus

### Osastointiluokka

Keskijännitekojeistot voidaan jakaa kahteen osastointiluokkaan, PM ja PI, jotka määrittävät onko osastoinnissa käytetty metallia vai muuta materiaalia. Osastoinnin tarkoitus on erottaa jännitteiset osat ja avattavat osastot toisistaan, jolloin saadaan aikaan tietty suojaustaso.

Osastointiluokka PM tarkoittaa, että avattavien osastojen ja jännitteisten osien väliset väliseinät ovat metallisia ja maadoitettuja.

Osastointiluokka PI tarkoittaa, että yksi tai useampi osastojen ja jännitteisten osien välinen väliseinä on muuta materiaalia kuin metallia. (12, s. 54.)

### Käyttökatkosluokitus

Keskijännitekojeiston käyttökatkosluokitus kertoo sen, missä määrin jännite voi säilyä kojeiston muissa osissa, kun kojeila avataan. Kuvassa 6 on havainnollistettu eri käyttökatkosluokitukset.

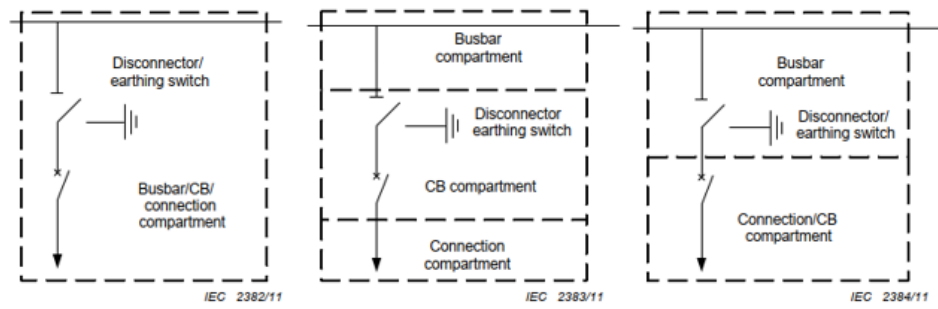
LSC1:ssa jännite ei säily kojeiston muissa osissa luokkuja avattaessa ja saattaa vaatia kojeiston täydellisen erottamisen virtapiiristä.

LSC2 mahdollistaa kojeiston luukkujen avaamisen samalla kun muut kojeiston osat pysyvät jännitteisinä. Vähimmäisvaatimuksena on, että kaapelipäätetilan pystyy avaamaan, kun kokoojakisko on jännitteinen.

LSC2A koskee kojeistoja, joissa on avattavat osastot muille kuin kaapelipäätetilalle, esimerkiksi pääkojetilalle. Tämä mahdollistaa minkä tahansa osaston avaamisen samalla kun kokoojakiskotila on jännitteinen, kunhan avattava osasto on jännitteetön ja maadoitettu.

LSC2B:ssä lisänä LSC2A-luokkaan verrattuna, myös kaapelipäätetila voidaan pitää jännitteisenä. (12, s. 52.)

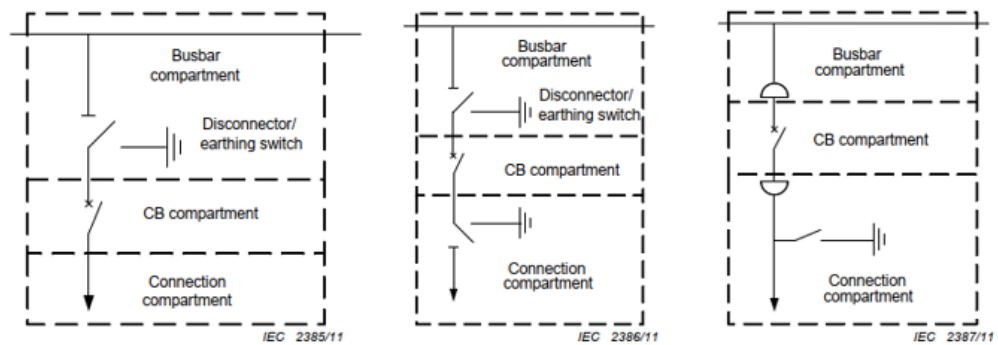




LSC1

LSC2

LSC2



LSC2A

LSC2B

LSC2B

Kuva 6. Käyttökatkosluokitukset (12, s. 54).

## 5 Valokaaret kojeistojen harmina

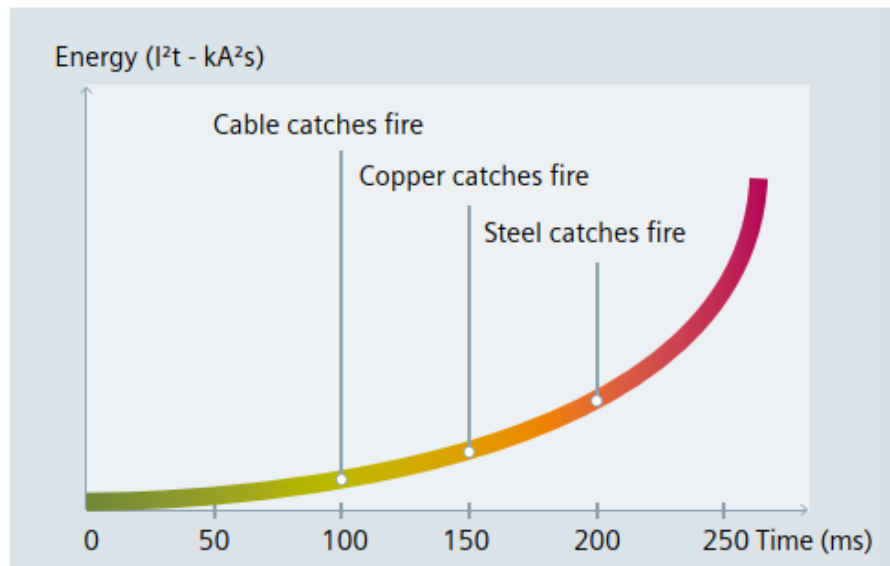
Valokaari syntyy kahden johtimen välille, kun niiden välinen eristys vioittuu ja menettää eristyskykynsä. Eristysrakenteen rikkoontuminen tai johdinten välisen jännitteen nousu riittävän korkeaksi voi johtaa valokaaren syntymiseen. Myös virtapiirin katkaisun yhteydessä syntyy valokaari, joka pyritään sammuttamaan.

Suuren lämpöenergiamäärän takia valokaari kojeiston sisällä voi aiheuttaa kojeistoissa suuria vaurioita, ellei sitä pystytä sammuttamaan riittävän nopeasti. Valokaaret aiheuttavat aina aineellisia vahinkoja ja pahimmassa tilanteessa myös hengenvaaran käyttö- ja huoltohenkilöstölle. (11, s.247.)

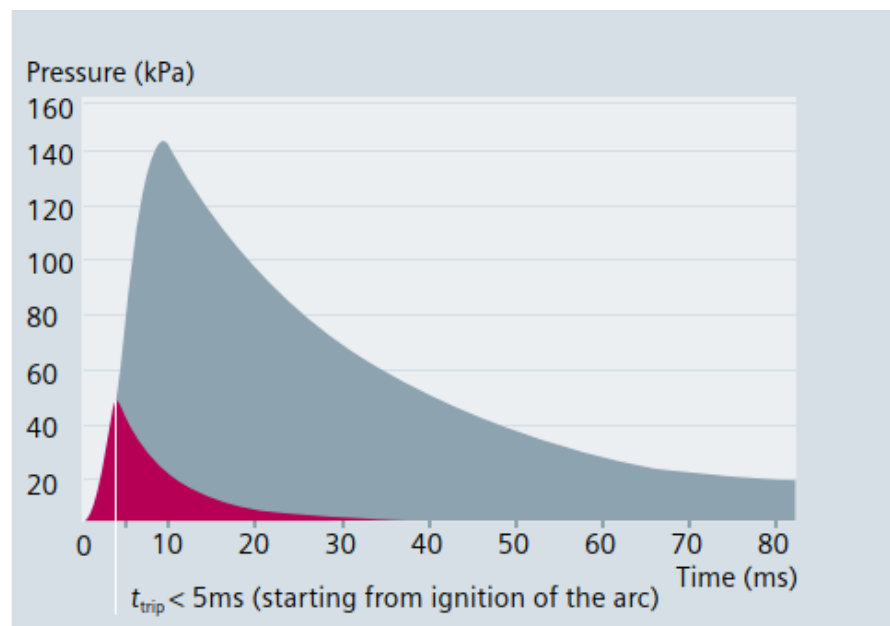
### 5.1 Valokaarisuojaus

Valokaarisuojausrele on suojalaite, jonka avulla voidaan minimoida laitteistovauriot sähköverkon vikatilanteissa. Valokaarisuojauksessa käytettävät releiden on toimittava nopeasti, jotta valokaaren aiheuttamat vauriot olisivat mahdollisimman pienet. Valokaarisensorit havaitsevat valokaaren jo muutamassa millisekunnissa. Tarpeettomien toimintojen estämiseksi valokaarireleen yhteydessä käytetään virtaehtoa, joka hieman hidastaa toimintaa. Tästä huolimatta suojausentoiminta-aika jää reilusti alle 100 ms. Toiminta-ajan pituuteen vaikuttaa enimmäkseen katkaisijan hitaus.

Valokaarireleiden vaikeutena on varsinkin anturien sijoittaminen kojeistoon. Jos kojeisto on rakenteellisesti jaettu useaan erilliseen kennoon, joudutaan jokaiseen kennoon vaikeimmassa tilanteessa asentamaan oma anturi. Tällöin suojauksen hinta nousee verrattuna siihen, jos yhdellä anturilla voitaisiin suojata suurempi tila. Toisaalta kojeiston kenno rakenne itsessään estää valokaaren leviämisen. Kuvassa 7 on esitetty mahdolliset aiheutuvat tuhot kojeiston sisällä, jos valokaarta ei sammuteta, ja kuva 8 osoittaa, miten paine nousee kojeiston sisällä valokaaren alkamisesta. Kuvaan 8 on myös merkitty aika (alle 5 ms), jossa valokaari voidaan sammuttaa erillisellä oikosulkulaitteella.



Kuva 7. Valokaarienergian aiheuttamat tuhot kojeistossa (8, s. 3).



Kuva 8. Valokaaresta aiheutuneen paineen nousun mallintaminen (8, s. 3).

## Valoon perustuva suojaus

Valokaaresta aiheutuva valomäärä voi olla tuhansia kertoja suurempi kuin ympäröivä valo. Tätä suurta valomäärää voidaan käyttää hyödyksi valokaaren havaitsemisessa kojeiston sisällä. Kojeeistoon asennettavat sensorit havaitsevat valon ja antavat valokaari-suojan keskusyksikölle tiedon valokaaresta. Valon havaitsemisen lisäksi voidaan käyttää virtahtoa, joka saadaan virtamuuntajalta.

Vanhempi suojaustapa on käyttää pisteantureita (kuva 9), joiden paikka pitää suunnitella huolella, koska ne havaitsevat valon vain kuidun päässä olevalla linssillä. Uudemmat kuituanturit (kuva 10) havaitsevat valon koko matkaltaan. (15.)



Kuva 9. Valokaaripisteanturi (16).



Kuva 10. Valokaarikuituanturi (17, s. 7).

### Paineeseen perustuva suojaus

Paineeseen perustuvassa suojauksessa voidaan käyttää muuten samaa kokoonpanoa, mutta valoantureiden sijasta käytetään paineantureita. Paineanturit mittaavat paineen nousua kojeiston sisällä ja havahtuvat paineen ylittäessä määrätyn painetason tai asetetun paineen nousunopeuden.

### Oikosulkulaite

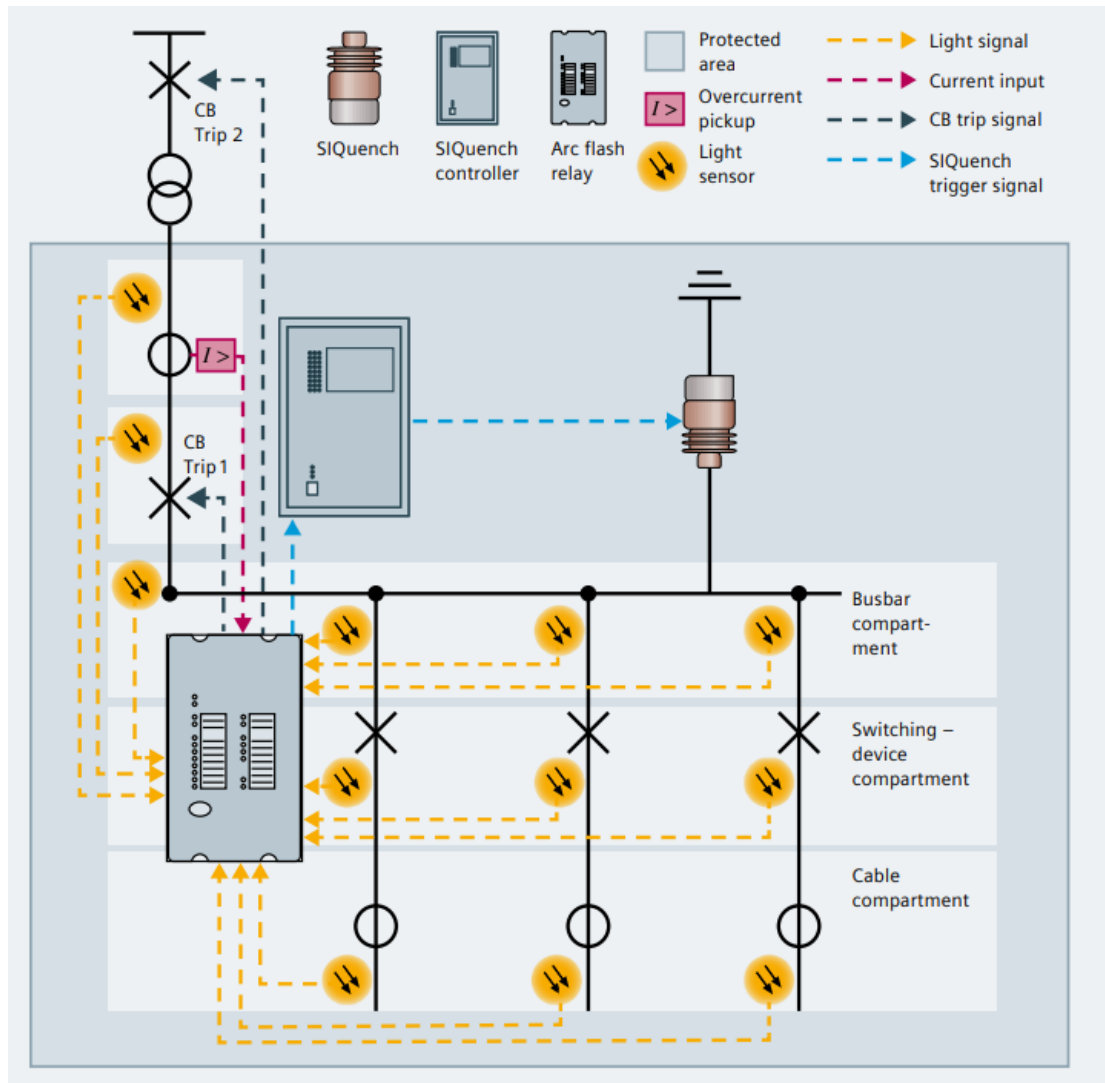
Normaalisti releitä sisältävät suojausratkaisut käyttävät vian erottamiseksi katkaisijoita. Katkaisijoiden toiminta-aika on nopeimmillaan noin 50 ms. Tällöin katkaisijan toiminta-aika muodostaa suurimman osan kokonaistoiminta-ajasta. Valokaari voidaan kuitenkin sammuttaa alle 5 ms:ssa käyttämällä ohituskytkintä ja ohjaamalla virran kulkua sen katkaisemisen sijaan. Valokaari saadaan sammumaan aiheuttamalla pääkiskoon oikosulku erillisellä oikosulkulaitteella. Yksi tällainen oikosulkulaite on ABB:n UFES (Ultra-fast earthing switch), joka pystyy sammuttamaan valokaaren jopa alle 4 ms:ssa. Tällaisella valokaarisuojalla valokaari saadaan sammumaan riittävän nopeasti, ennen kuin se aiheuttaa tuhoja kojeiston sisällä. UFES-valokaarisuojaa voidaan käyttää vain kerran, jonka jälkeen se on huollettava. Ilman suojauksen toimintaa laitetta tarvitsee huoltaa vain 30 vuoden välein. (18.)

## Siemens SIQuench -valokaarisuoja

Valokaaren syntyminen hyvin suunnitellussa, tyyppitestatussa, oikein asennetussa ja käytetyssä kojeistossa on epätodennäköinen, mutta ei mahdoton. Yleensä valokaaresta johtuvat onnettomuudet ovat joko ihmisen tekemiä virheitä tai ympäristöstä johtuvia. Turvallisuus on vain yksi tekijä valokaarivioissa. Valokaaren aiheuttamat tuhot kojeistoon voivat aiheuttaa pitkiä sähkökatkoja ja katkoksia tuotantoon, jolloin kulut voivat olla jopa miljoonia. Tällaisia kuluja voidaan vähentää pienentämällä valokaaren paloaikaa. Siemensin SIQuench (kuva 11) vaikuttaa valokaaren palamisaikaan ja pystyy näin sammuttamaan valokaaren alle 5 ms:ssa. Näin pienellä valokaaren paloajalla valokaaren aiheuttamat tuhot pysyvät minimissään ja kojeiston käyttöä voidaan jatkaa nopeasti. Myös ympäristö säästyy tuhoilta ja siivouskulut jäävät pois. Laitetta voidaan käyttää jopa viisi kertaa ennen uusimistarvetta.

Valokaarisuoja toimii yhdessä releen kanssa, joka tarkkailee jatkuvasti virran muutosta ja valon määrää kojeiston sisällä. Vian ilmetessä rele lähettää käskyn katkaisijalle ja oikosulkulaitteelle, jolloin kojeiston kiskostoon aiheutetaan hallittu maasulku. Tämä tarjoaa virralle reitin, jossa on pienempi impedanssi ja valokaari sammuu.

SIQuenchin nopea toiminta perustuu jousimekanismiin varastoituun mekaaniseen energiaan. Eristeineenä käytetään öljyä, ja jousimekanismi laukaistaan sähkömagneettisella solenoidilla. (19.)



Kuva 11. Esimerkkikaavio SIQuench-valokaarisuojajärjestelmästä kojeistossa (19, s. 4).

### Ilman valokaarisuojaa

Kaikkien valokaarien estäminen saattaa jossain tapauksissa olla liian kallista tai jopa mahdotonta, joten vaihtoehtona valokaarisuojaukselle on valokaaren kestävä kojeisto. Valokaaret tuottavat kojeistoon suuria mekaanisia ja lämmöstä johtuvia rasituksia. Normaaliin kojeistoon verrattuna valokaaren kestävä kojeisto sisältää monia rakenteellisia eroja. Kojeston purkausluukkujen määrä on suurempi ja ne sijoitetaan eri tavalla. Myös kojeiston ovet ja seinät on suunniteltava kestävämmänsuurempia paineenpurkauksia. (20, s.42.)

## 5.2 Valokaarikestoisuusluokka

Valokaarikestoisuusluokka (internal arc classification IAC) tarjoaa todennetun turvallisuustason käyttäjälle kojeiston välittömässä läheisyydessä normaalissa toimintatilassa sekä suojaa viereisiä kenttiä vikatilanteessa. Valokaarikestoisuusluokka on standardin SFS-EN 62271-200 mukaan optio. Se osoittaa sisäisen paineen vaikutuksen kojeiston koteloon, oviin ja tarkastusluukkuihin sekä ottaa huomioon valokaaren lämpövaikutukset kojeiston koteloon ja kuuman kaasun ja hehkuvien partikkeleiden poistumisen.

Metallikuorisille kojeistoille annetaan valokaarikestoisuusluokitus seuraavien kriteerien mukaan:

1. Oikein suljetut ovet ja suojat eivät aukea.
2. Kojeston kuori pysyy ehjänä.
3. Valokaari ei aiheuta paloreikiä valokaarenkestoisuuden luokitetulle sivulle 2000 mm:n korkeudelle asti.
4. Mittalaitteet eivät syty palamaan kuumen kaasun takia.
5. Kojeston kuori pysyy yhdistettynä maadoituspisteeseen. (12, s. 46.)

Valokaarenkestoisuusluokan merkinnöissä ilmoitetaan kojeiston saavutettavuus eri suunnista, suojatut suunnat, valokaaren virta ja valokaaren kesto. Merkintätapa on AFLR I kA / s, jossa:

A on saavutettavuustyyppi A, rajoitettu saavutettavuus vain valtuutetuille henkilöille.

B on saavutettavuustyyppi B, rajoittamaton saavutettavuus.

C on saavutettavuustyyppi C, kojeisto asennettu tavoittamattomiin.

FLR on kojeiston saavutettavuussuunta, F on edestä, L on sivuilta ja R on takaa.



I kA on testausvirta kiloampeereina.

s on testiaika sekunteina. (12, s. 57)

## 6 Ilmaeristeisten keskijännitekojeistojen testaaminen

Kaikki kojeistot tulee testata ja tarkastaa, jotta niiden laatu ja turvallisuus voidaan todeta. Alla luetellut standardit sisältävät keskijännitekojeistoja koskevat määräykset. Niissä on määritelty kojeistoille tehtävät koestukset ja miten kojeistot täyttävät niille asetetut vaatimukset. Suomen ulkopuolella valmistettujen keskijännitekojeistojen testauksessa käytetään kansainvälisiä IEC-standardeja.

SFS-EN 62271-1	High voltage switchgear and control gear-Part 1
SFS-EN 62271-100	High voltage alternating current circuit breakers
SFS-EN IEC 62271-102	High voltage alternating current disconnectors and earthing switches
SFS-EN 62271-200	AC metal-enclosed switchgear and control gear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV

Kojeistojen ja kojeiden tehdastesteihin kuuluvat pakolliset tyyppitestit ja rutiinitestit, joiden suoritustapa ja läpäisyvaatimukset on esitetty standardeissa. SFS-EN 62271-100 katkaisijoille, SFS-EN 62271-1 yleistarkoitukseen kojeistoille, SFS-EN 62271-200 metallikuorisille keskijännitekojeistoille ja SFS-EN IEC 62271-102 erottimille ja maadoituskytkimille.

Pakolliset tyyppitestit

Tyyppitestit suoritetaan jokaiselle eri kojeistotyyppille ja niillä todistetaan kojeistojen ja ohjauslaitteiden nimellisarvot ja ominaisuudet.

Dielektrisellä testillä osoitetaan kojeiston riittävä eristystaso. Taulukossa 1 on esitetty nimellisjänniteväliä 1–52 kV dielektrisissä testeissä käytettävät testausjännitteet.

Taulukko 1. Dielektrisessä testissä käytettävät testausjännitteet (21, s.33).

Rated voltage $U_r$ kV (RMS value)	Rated short-duration power-frequency withstand voltage $U_d$ kV (RMS value)		Rated lightning impulse withstand voltage $U_p$ kV (peak value)	
	Common value	Across the isolating distance	Common value	Across the isolating distance
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
3,6	10	12	20	23
			40	46
7,2	20	23	40	46
			60	70
12	28	32	60	70
			75	85
17,5	38	45	75	85
			95	110
24	50	60	95	110
			125	145
36	70	80	145	165
			170	195
40,5 (NOTE)	80	90	185	215
52	95	110	250	290

Dielektriseen testiin kuuluvat käyttötaajuinen kestojaännitekoe sekä salamasyöksyjännitekoe. käyttötaajuisen kestojaännitekokeen läpäisyyn vaaditaan, että testijännite pidetään 1 minuutin ajan ja että läpilyöntiä ei tapahdu kojeistossa. Salamasyöksyjännitekokeen läpäisyyn vaaditaan, että jokaisessa testisarjassa on vähintään 15 testiä ja läpilyöntien määrä ei ylitä kahta, jokaista testisarjaa kohden.

Lämpötilan nousutesti tehdään kojeiston nimellisvirralla ja se osoittaa, että lämpötila ei nouse liikaa missään kojeiston osassa. Testin aikana sekä kojeisto että katkaisija tai erotin testataan.

Oikosulkukestoisuustesti osoittaa, että päävirtapiiri ja maadoituspiiri kestävät oikosulun niihin aiheuttamat rasitukset ilman vahinkoja. Testikohteessa ei saa esiintyä merkittävää

heikkenemistä ja sen on kyettävä toimimaan normaalisti nimellisvirralla. Kytkinlaitteiden koskettimien kunto ei saa vaikuttaa kyseisten laitteiden suorituskykyyn nimellisvirralla.

Katkaisijasta testataan nimellisvirran ja oikosulkuvirran katkaisu- ja kytkentäkyky. Myös kapasitiivisen ja induktiivisen kuorman katkaisu- ja kytkentäkyky testataan.

Mekaanisella rasituskokeella testataan kojeiden luotettavuus ja se tehdään kaikille toiminnallisille kojeille.

IP-luokan todentaminen tehdään kytkin- ja ohjainlaitteet täysin koottuina. Testit suoritetaan kuitenkin vain, jos standardin noudattamisesta on epäilyksiä.

Toisio- ja ohjauspiireille tehtäviin testeihin kuuluvat toimintakoe, toisiopiirien koskettimien jatkuva sekä lyhytaikainen virrankesto. Näitä testejä ei kuitenkaan tehdä, jos toisiopiirien komponenteille on suoritettu standardien mukaiset testit. (12, s.31.)

#### Rutiinitestit

Rutiinitestit suoritetaan jokaiselle kojeistolle ja mikäli mahdollista, valmistajan tiloissa. Näillä testeillä varmistetaan siitä, että kojeisto on tyyppitestien mukainen.

Dielektrisistä testeistä päävirtapiirille suoritetaan lyhytkestoinen käyttötaajuinen kesto-jännitekoe. Testissä jokainen vaihe kytketään vuorotellen testijännitteeseen, muiden vaiheiden ollessa kytkettynä maahan.

Toisio- ja ohjauspiireistä testataan toiminnallisuus ja suoritetaan käyttötaajuinen kesto-jännitekoe, jossa testausjännitteenä on 1 kV. Myös komponentit tarkastetaan pääsääntöisesti visuaalisesti.

Kojeisto ja ohjauslaitteet tarkistetaan visuaalisesti, että ne ovat asiakkaan vaatimusten mukaisia. Mekaanisella toimintakokeella todetaan kytkinlaitteiden, ulosvedettävien osien sekä lukitusten toiminta. Sähköiset, pneumaattiset ja muut ohjauslaitteet, mukaan lukien lukitukset, joilla on ennalta määrätty toimintajakso, on testattava viisi kertaa peräkkäin aiotulla käyttötavalla.

Asennuksen jälkeen metallikoteloidut kojeistot on testattava oikean toiminnan takaamiseksi. (12, s.47.)

## 7 Ilmaeristeisten keskijännitekojeistojen vertailu

Yksi tutkimuksen päätarkoituksista oli vertailla eri valmistajien ilmaeristeisiä keskijännitekojeistoja. Vertailussa käytettiin valmistajien antamia tietoja kojeistoista. Kojeistovertailussa oli mukana kuusi eri kojeistovalmistajaa. Näistä kolme ovat isoja kojeistovalmistajia: Siemens, ABB ja Schneider, joilla on tarjolla paljon erilaisin versioita eri käyttötarpeisiin. Muut valmistajat VEO, UTU ja Norelco, ovat selvästi pienempiä eikä eri versioita ole tarjolla monia. Eri valmistajilta vertailtiin kaikkia Suomen markkinoilla olevia ilmaeristeisiä keskijännitekojeistoja, ja tarkempi vertailu suoritettiin Siemensin NXAIR C:n ja ABB:n ZS8.4 -kojeistojen välillä. Kaikki valmistajat ilmoittavat, että kojeistot on testattu vaadittujen standardien mukaisesti.

Kojeistovalmistajista Siemens, VEO ja UTU käyttävät kojeistoissaan vain tyhjökatkaisijoita. Muut valmistajat käyttävät ilmaeristeisissä kojeistoissaan sekä tyhjö- että SF<sub>6</sub>-kaasukatkaisijoita. Norelcon valmistamaan kojeistoon voi asentaa myös muiden valmistajien katkaisijoita. Kaikilla valmistajilla on tarjolla vaunukatkaisijakojeistoja, jolloin erillistä erotinlaitetta ei tarvita. Siemens, ABB, Schneider ja Norelco tarjoavat myös hybridimallisen ilmaeristeisen kojeiston, jossa erotinlaite on sijoitettu SF<sub>6</sub>-kaasuun, muun kojeiston ollessa ilmaeristeinen.

Kaikilta vertailun valmistajilta löytyy ilmaeristeisiä kojeistoja yleisimmin käytetyille jännitteille 12 ja 24 kV. Suuremmilta valmistajilta löytyy isompi valikoima eri jännitteille soveltuvia kojeistoja, nimellisjännitteiden vaihdellessa välillä 7,2 kV ja 40,5 kV.

Korkeimmat nimellisvirrat kojeistoilla vaihtelevat 630 A:n ja 5000 A:n välillä, riippuen nimellisjännitteestä. Katkaisijakenttien enimmäisvirrat ovat samat kuin kojeistojen nimellisvirrat lähes kaikissa kojeistoissa. Vain ABB:n Unigear 500R ja Unigear 550 -kojeistoissa katkaisijakenttien enimmäisvirta on pienempi kuin kojeiston nimellisvirta.

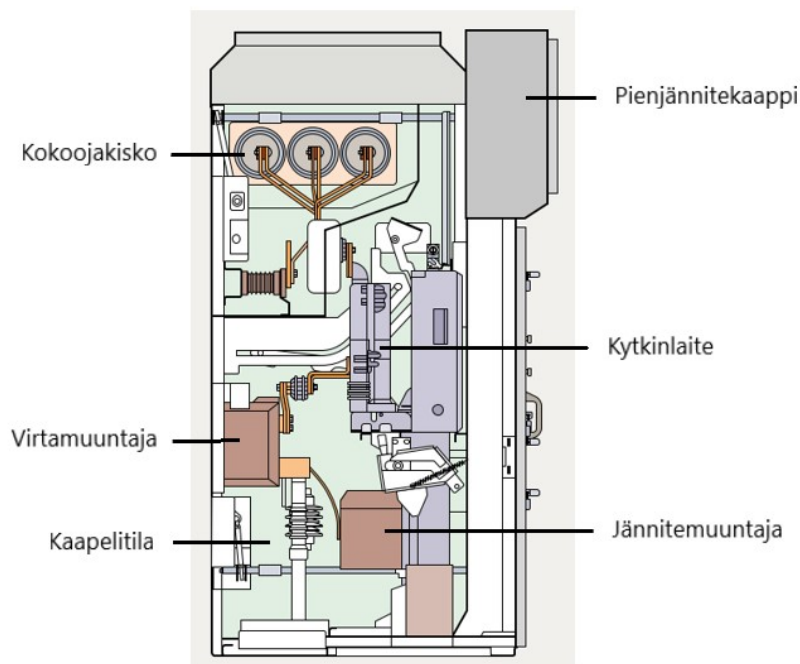
ABB:llä on kojeistoja, jotka on mahdollista varustaa kaksikiskojärjestelmällä. Myös UTU:lla ja Schneiderilla on tarjolla ilmaeristeinen kaksikiskokojeisto. Siemensillä ei ole

ilmaeristeistä kaksikiskokojeistoa, mutta tarjoavat Duplex-tyyppisen kojeiston. Suurimassa osassa vertailun kojeistoista osastointi on metallia (PM) ja osalla valmistajista osastointiluokan voi valita kojeistoissa olevan joko PM tai PI. Kaikki vertailun kojeistot ovat IAC-luokiteltuja, eli ne kestävät valokaaren aiheuttamat räsitukset. Suurin osa markkinoilla olevista kojeistoista on käyttökatkosluokituksestaan LSC 2B.

Kojeistojen fyysisistä mitoista tärkein on leveys. Mitä kapeampi kenttäleveys, sitä useampi kenttä saadaan mahtumaan haluttuun tilaan. Kenttien leveyteen vaikuttaa kenttien varustelu, nimellisjännite ja nimellisvirta. Katkaisijakentistä kapein löytyy ABB:n UniGear 500R -kojeistosta, kentän leveyden ollessa 500 mm.

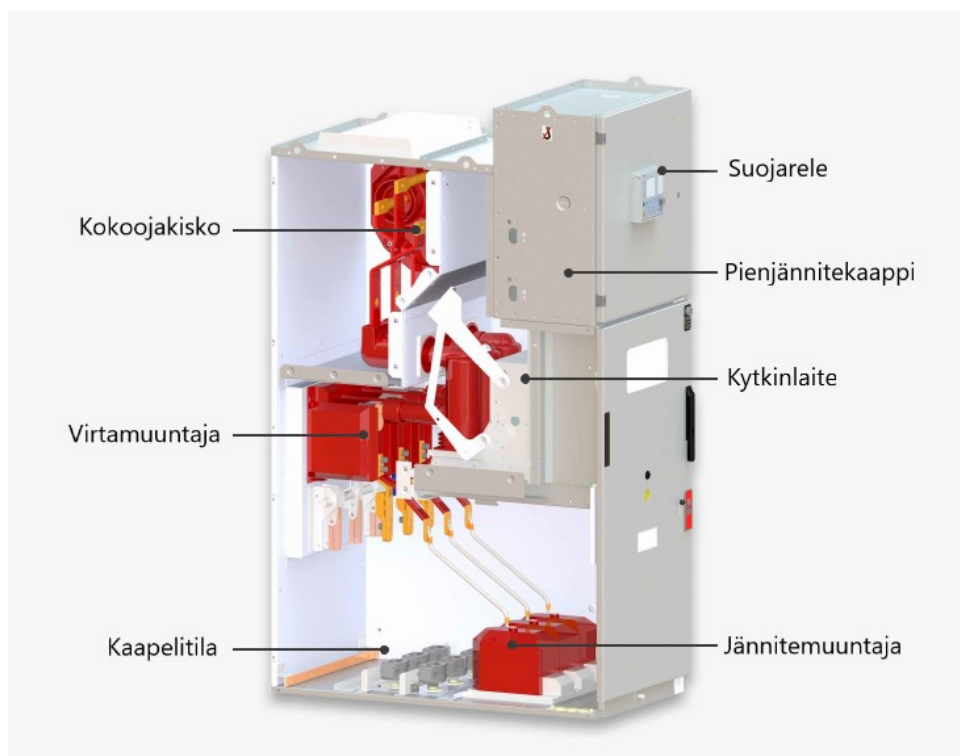
#### NXAIR C -kojeiston vertailu kilpailijoihin

Siemensin NXAIR C -kojeisto on ilmaeristeinen vaunukatkaisijakojeisto, jonka käyttökatkosluokitus on LSC 2A ja osastointi on metallia. Kojeiston nimellisjännitteillä 7,2 kV ja 12 kV nimellisvirraksi ja katkaisijakentän virraksi saa enintään 2000 A ja 24 kV nimellisjännitteellä 1250 A. Katkaisijakentän Kojeiston oikosulkukestoisuus on enintään 25 kA ja valokaarikestoisuusluokka on AFLR 25 kA. NXAIR C -kojeiston voi varustaa tyhjäkatkaisijalla, erottimella, kuormaerottimella tai varokekuormaerottimella. Kojeiston korkeus on pienemmillään 2100 mm ja syvyys 1025 mm. Kenttien leveydet voivat olla joko 600 mm tai 800 mm, riippuen kenttien tyypistä ja varustelusta. Kuvassa 12 on esitetty NXAIR C -kojeiston katkaisijakentän pääkomponentit.



Kuva 12. NXAIR C -kojeiston katkaisijakentän poikkileikkaus (9, s. 11).

Kilpailijoilta kojeistoja löytyy samoille jännite- ja virta-alueille useita, mutta suora kilpailija NXAIR C -kojeistolle on ABB:n ZS8.4, joka on myös vaunukatkaisijakojeisto. Sen saa nimellisjännitteillä 12 kV, 17,5 kV ja 24 kV, nimellisvirran ja katkaisijakentän virran ollessa enintään 1250 A. Oikosulkukestoisuus, kotelointiluokka ja valokaarikestoisuusluokka ovat samat kuin NXAIR C -kojeistossa. Käyttökatosluokitus kojeistossa on LSC 2A ja osastointi on metallia tai eristeainetta. 12 kV:n version saa myös käyttökatosluokituksella LSC 2B, jolloin osastointi on metallia. Kytkinlaitteeksi ZS8.4 -kojeiston saa tyhjökatkaisijan, tyhjökontaktorin, kuormaerottimen tai varokekuormaerottimen. Kojeiston korkeus on välillä 2100–2300 mm ja syvyys 1000–1200 mm. Kenttien leveydet ovat joko 650 mm tai 800 mm. Kuvassa 13 näkyy ZS8.4 -kojeiston katkaisijakentän pääkomponentit.



Kuva 13. ZS8.4 -kojeiston katkaisijakentän poikkileikkaus. (22, s. 13).

Vertailun kaksi kojeistoa ovat ominaisuuksiltaan hyvin samanlaiset. NXAIR C -kojeistoon saa kapeamman kentän, mutta muuten kojeistojen mitoissa ei ole suuria eroja. NXAIR C:n etuna on suurempi nimellisvirta pienemmillä nimellisjännitteillä.

## 8 Asiakaskysely

Asiakaskysely tehtiin lähettämällä sähköpostia yrityksille, joihin on toimitettu Siemensin ilmaeristeisiä keskijännitekojeistoja. Kyselyllä oli tarkoitus kerätä tietoa asiakkaiden käyttämistä kojeistoista siitä, mitkä yleensä ovat valintaperusteita kojeistoille ja mielipiteitä Siemensin ilmaeristeisistä kojeistoista sekä toimituksista. Lisäksi kyselyssä tiedusteltiin valokaarisuojan valintaperusteita, kojeiston valintaan liittyviä laatu- ja turvallisuustekijöitä sekä tukipalveluiden toimivuutta. Kyselylomakkeet esitellään liitteissä 1 ja 2.

## Tulosten analysointi

Kyselyn ensimmäinen osa lähetettiin Siemensin kojeistoasiakkaille 5.3.2020. Vastaanottajia oli yhteensä 16 ja vastauksia tuli lopulta seitsemän. Toinen kysely, jossa haluttiin tarkemmin tietää laatu- ja turvallisuustekijöistä, lähetettiin 1.11.2020. Tämä kysely lähetettiin 16 asiakkaalle ja vastauksia tuli kolme. Kyselyn tärkein tavoite oli saada tietoa kojeistomarkkinoista Suomessa ja erityisesti, minkälaisia kojeistoja halutaan käyttää eri kohteissa. Kyselyn tuloksia voidaan käyttää kojeistojen tarjouksissa, kun tiedetään paremmin, minkälaisia ominaisuuksia asiakkaat haluavat kojeistoilta.

Ensimmäisessä kysymyksessä tiedusteltiin kojeiston valintaperusteita tiettyyn kohteeseen. Yleisin syy valintaan oli hinta, jonka kuudesta vastaajasta viisi mainitsi, mutta myös fyysiset mitat, vanha kumppanuus, tekninen sopivuus ja kustannustehokkuus olivat syitä Siemensin kojeiston valintaan.

Kun kysyttiin, mikä Siemensin kojeistoissa oli hyvää verrattuna muiden valmistajien vastaaviin kojeistoihin, niin arvostettiin Siemensiä suurena valmistajana ja kojeistot ovat teknisesti luotettavia ja laadukkaita. Myös kojeistovalikoima oli Siemensillä hyvä ja yleisesti keuhuttiin NXAIR tuoteperhettä.

Tärkeintä kojeistoa valittaessa oli asiakkaista ylivoimaisesti hinta ja tämän mainitsi vastauksissa kaikki kuusi. Muita tärkeitä kriteereitä kojeistoja valittaessa ovat, toimituksen täsmällisyys, dokumentointi, asennettavuus, fyysiset mitat, laatu, tekniset ominaisuudet, käytön helppous ja turvallisuus sekä tukipalveluiden toimivuus.

Muista kojeistovalmistajista mainittiin viisi eri valmistajaa.

Valokaarisuojausta valittaessa loppuasiakkailla ei kyselyn mukaan ole merkitystä, minkälaista valokaarisuojaa käytetään kojeistoissa. Joko valoon perustuvaa tai paineeseen perustuvaa valokaarisuojaa on yleensä käytössä. Siemensin omasta valokaarisammutimesta, SIQuench, ei vielä ollut kyselyyn vastanneilla kommentoitavaa.

Asiakkailta kysyttiin myös laatu- ja turvallisuustekijöistä kojeistoja valittaessa.



Kojeiston valintaan vaikuttavina laatutekijöinä mainittiin myyjän ammattitaito ja tahtotila palvella asiakasta, kojeiston asennusystävällisyys, ehjä kojeistotoimitus, hinta ja kytkinlaitteiden kestävyys. Myös loppuasiakkaan speksien mukaisuus, kokemukset aikaisemmista toimituksista, kuvien paikkansapitävyys ja kojeiston kommentointi mahdollisuus ovat asioita, joita tarkastellaan kojeistovalintojen laatutekijöissä.

Kojeiston turvallisuutta taas mitataan paineenpurkauksen toteutuksella, valokaarisuojauksen rakenteella, lämpökuvauspaikoilla ja lukituksen ohittamattomuudella. Yleensä turvallisuuteen liittyvissä asioissa riittää standardien mukaan testaaminen.

## 9 Yhteenveto

Vaikka SF<sub>6</sub> on hyvä sähköeriste, kasvihuonekaasuna se on haitallinen ja tietynlaisissa kohteissa SF<sub>6</sub> eristeistä kojeistoa ei voida käyttää. Kaasueristeinen kojeisto on lähes huoltovapaa ja mahtuu pienempään tilaan kuin ilmaeristeinen kojeisto. Ilma eristeaineena ei ole haitallinen ympäristölle, mutta koska tämän tyyppinen kojeisto ei ole hermeettisesti suljettu, niin tietyt kojeiston osat voivat olla alttiita ilmankosteudelle ja pölylle. Ilmaeristeistä kojeistoa on helpompi huoltaa sekä laajentaa, ja siinä voidaan käyttää ulosvedettäviä kojeita. Tulevaisuudessa sekä ilmaeristeisiä että SF<sub>6</sub> eristeisiä keskijännitekojeistoja tulee olemaan, kunnes SF<sub>6</sub>-kaasulle kehitetään parempi vaihtoehto.

Tässä työssä tutkittiin ilmaeristeisiä keskijännitekojeistoja Suomen markkinoilla ja tehtiin kysely Siemensin kojeistoasiakkaille, tavoitteena saada tietoa mitä ilmaeristeisiltä kojeistoilta mahdollisesti halutaan. Siemensin tarve oli saada palautetta toimitetuista ilmaeristeisistä keskijännitekojeistoista ja tarkastella kyseisten kojeistojen markkinoita. Asiakkailta haluttiin mielipiteitä Siemensin kojeistoista sekä siitä, mitkä ovat tärkeimpiä kriteerejä ilmaeristeisiä keskijännitekojeistoja valittaessa. Tarkoitus oli myös vertailla eri valmistajien ilmaeristeisiä keskijännitekojeistoja ja tehdä tarkempi vertailu vaunukatkaisija-kojeistoista.

Kyselyyn vastauksia tuli vähän, joten saatu tieto ei ole riittävä laajempaan arvioon asiakastyytyväisyydestä tai mitä ominaisuuksia kojeistoilta halutaan. Pieneen vastausmäärään saattoi vaikuttaa yleinen kiireys. Kyselystä kuitenkin selvisi asioita, joita asiakkaat arvostavat kojeistotarvetta miettiessä.

Työn tuloksena oli saatu palaute Siemensin keskijännitekojeistoista asiakkailta ja siitä, mitä asioita ilmaeristeisiltä kojeistoilta halutaan. Suurimpana tekijänä keskijännitekojeistoja valittaessa oli kojeiston hinta, mutta myös laatu, fyysiset mitat, turvallisuus, käytön helppous, asennettavuus ja toimituksen täsmällisyys olivat tärkeitä.

## Lähteet

1. Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa. Sähköverkot II. 2011. Helsinki: Otatieto.
2. Sähköturvallisuuslaki 16.12.2016/1135. Verkkoaineisto. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161135#L3>> Luettu 30.10.2020.
3. Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista 21.12.2016/1434. Verkkoaineisto. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161434?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=asetus%20s%C3%A4hk%C3%B6laitteista>> Luettu 30.10.2020.
4. Luettelo S10-2019 sähkölaitteistojen turvallisuutta ja sähkötyöturvallisuutta koskevat standardit. Verkkoaineisto. Tukes. <https://tukes.fi/documents/5470659/8178747/Luettelo+S10-2019+S%C3%A4hk%C3%B6laitteistojen+turvallisuutta+ja+s%C3%A4hk%C3%B6ty%C3%B6turvallisuutta+koskevat+standardit/aac8d149-4409-7c08-2e5b-f67c33def1b4/Luettelo+S10-2019+S%C3%A4hk%C3%B6laitteistojen+turvallisuutta+ja+s%C3%A4hk%C3%B6ty%C3%B6turvallisuutta+koskevat+standardit.pdf> Luettu 30.10.2020.
5. SFS 6001:2018. Suurjännitesähköasennukset. 2018. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
6. SFS 6002. Sähkötyöturvallisuus. 2015. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
7. Air-insulated medium-voltage switchgear NXAIR. Verkkoaineisto. Siemens AG. <<https://new.siemens.com/global/en/products/energy/medium-voltage/systems/nxair.html>> Luettu 30.10.2020.
8. Siemens NXAIR catalog. 2019. Verkkoaineisto. Siemens AG. <<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:78bf32f3-4865-4cde-9a98-9267cc6b7f0b/ha-25-71-en.pdf>> Luettu 30.10.2020.
9. Siemens NXAIR C catalog. 2020. Verkkoaineisto. Siemens AG. <<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:4da39f63-2025-45a9-8dd1-bbddea4a3073/version:1580201608/nxair-c-ipdf-katalog-2019-en.pdf>> Luettu 1.8.2020.
10. Elovaara, Jarmo & Laiho, Yrjö. 2007. Sähkölaitostekniikan perusteet. Helsinki: Otatieto.
11. Aura, Lauri & Tonteri, Antti J. Sähkölaitostekniikka. 1993. Porvoo: WSOY.

12. SFS-EN 62271-200. High-voltage switchgear and control gear - part 200. 2012. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
13. Vacuum interrupters. Verkkoaineisto. ABB. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=DEABB%204068%20EN&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>> Luettu 1.8.2020.
14. HD4-gas insulated mv circuit-breakers. 2018. ABB. Verkkoaineisto. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1VCP000004%202015.09&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>> Luettu 1.8.2020.
15. New standardized approach to arc flash protection. 2016. Arcteq. Verkkoaineisto. <<https://www.arcteq.fi/wp-content/uploads/2016/11/new-standardized-approach-to-arc-flash-protection.pdf>> Luettu 30.10.2020.
16. VAMP products. Verkkoaineisto. Schneider electric. <<https://m.vamp.fi/products/accessories/va-1-da/>> Luettu 1.8.2020.
17. VAMP 321 Modulaariset ratkaisut valokaarisuojaukseen. 2014. Verkkoaineisto. Schneider electric. <[https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=Brochure&p\\_File\\_Id=683089516&p\\_File\\_Name=VAMP+321\\_NRJED112411FI\\_Feb14-020214.pdf&p\\_Reference=NRJED112411FI%2B-%2BVAMP%2B321](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Brochure&p_File_Id=683089516&p_File_Name=VAMP+321_NRJED112411FI_Feb14-020214.pdf&p_Reference=NRJED112411FI%2B-%2BVAMP%2B321)> Luettu 1.8.2020.
18. UFES-Ultra-Fast Earthing Switch. 2019. Verkkoaineisto. ABB. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=DEABB%204095%20EN&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>>. Luettu 30.10.2020.
19. SIQuench® Arc quenching device for medium-voltage switchgear. 2019. Verkkoaineisto. Siemens AG. <<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:f7be25a7-1f33-4dad-bda3-6e105b585eae/siquench-en-screen.pdf>> Luettu 1.8.2020.
20. Karri, Tuomas. 2009. Valokaarisuojausmenetelmien vertailu. Diplomityö.
21. SFS-EN 62271-1. High-voltage switchgear and controlgear. Part 1: Common specifications for alternating current switchgear and controlgear. 2017. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
22. ZS8.4 Medium-voltage air-insulated switchgear. 2017. Verkkoaineisto. ABB. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1VLC000052&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>>. Luettu 30.10.2020

## Asiakaskysely 1 ilmaeristeisistä keskijännitekojeistoista

Hei.

Nimeni on Jani Kuivanen ja teen opinnäytetyötä Metropolia ammattikorkeakoulussa. Teen tutkimusta ilmaeristeisistä keskijännitekojeistoista Suomen markkinoilla. Tutkimuksen tilaaja on Siemens ja tutkimuksen tarkoituksena on kartoittaa laitekantaa ja tarkastella markkinoita.

Pyytäisin teiltä vastausta kysymyksiin liittyen Siemensin ilmaeristeisiin keskijännitekojeistoihin (AIS) sekä yleisesti keskijännite AIS kojeistoihin, tai jos voisitte ohjata kyselyn oikealle henkilölle (esim. loppuasiakas).

1. Miksi Siemensin keskijännite AIS kojeisto on valittu tähän kohteeseen? (Kohde otsikossa tai muihin kohteisiinne)
2. Mitkä yleensä ovat tärkeimmät kriteerit keskijännite AIS kojeistoja valittaessa?
3. Mitä valmistajia suositte keskijännite AIS kojeistoa valittaessa ja miksi?
4. Mikä on yleensä ollut syy valita jonkun muun valmistajan, kuin Siemensin keskijännite AIS kojeisto? (ominaisuudet, hinta, jotain muuta?)
5. Mitä hyvää mielestänne Siemensin keskijännite AIS kojeistoissa on verrattuna muiden valmistajien vastaaviin kojeistoihin?
6. Mikä muiden valmistajien keskijännite AIS kojeistoissa on mielestänne parempaa/houkuttelevampaa?
7. Millaista valokaarisuojaa yleensä kohteissanne suositaan? (valmistaja, suojaustapa?)
8. Oletteko kuulleet tai onko teillä kokemusta Siemensin SIQuench maadoituskytkin valokaarisuojasta, joka pystyy sammuttamaan valokaaren alle 5 ms:ssa?
9. Kommentteja Siemensin keskijännite AIS kojeistoista? (esm. mitä Siemensillä voisi tehdä paremmin liittyen AIS kojeistoihin, mitä ominaisuuksia kaivataan AIS kojeistoihin)

Toivoisin vastausta mahdollisimman nopeasti.

Kiitos käyttämästänne ajasta ja avusta opinnäytetyöni valmistumisessa.

Ystävällisin terveisin

Jani Kuivanen

## Asiakaskysely 2 ilmaeristeisistä keskijännitekojeistoista

Hei.

Nimeni on Jani Kuivanen ja olen tekemässä opinnäytetyötä Metropolia ammattikorkeakoulussa.

Olemme tehneet tutkimusta ilmaeristeisistä keskijännitekojeistoista Suomessa.

Olisin kiitollinen, jos voisitte vastata muutama kysymykseen liittyen ilmaeristeisiin keskijännitekojeistoihin. Toivoisin pikaista vastausta.

1. Mitkä laatutekijät vaikuttavat ilmaeristeisen keskijännitekojeiston valintaan?
2. Miten kojeiston turvallisuustekijöitä mitataan?
3. Miten mielestänne Siemensin tukipalvelut toimivat?
4. Entä muiden valmistajien tukipalvelut? Toimivatko paremmin/heikommin?

Ystävällisin terveisin

Jani Kuivanen