

Teemu Lehto

# **SF<sub>6</sub> kaasupäästöjen vähentäminen kytkinlaitteissa**

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Ympäristötekniologia

2020



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

<b>Tekijä/Tekijät</b>	<b>Tutkintonimike</b>	<b>Aika</b>
Teemu Lehto	Insinööri (AMK)	huhtikuu 2020
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		
SF6 kaasupäästöjen vähentäminen kytkinlaitteissa		51 sivua 7 liitesivua
<b>Toimeksiantaja</b>		
Suomen Ympäristökeskus		
<b>Ohjaaja</b>		
Hannu Poutiainen		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Tämä opinnäytetyö laadittiin yhdessä toimeksiantajan Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) kanssa, SYKE toimii monialaisena tutkimus- ja asiantuntijalaitoksena, koettaen ratkoa yhteiskunnan ongelmia, jotka vaikuttavat ympäristöön. Tutkimuksen tarkoituksena on kartoittaa SF<sub>6</sub> kaasupäästöjen vähentämismahdollisuuksia kytkinlaitteiden valmistajien- ja käyttäjien tekniikan sekä toimintatapojen muutoksilla.</p> <p>Teoriaosuudessa käsitellään kytkinlaitteita, SF<sub>6</sub> kaasua, vuodonseurantajärjestelmää sekä korvaavia tekniikoita. Tutkimuksen kokeellisessa osuudessa suoritettiin erilliset kyselyt SF<sub>6</sub> kaasua käyttävien kytkinlaitteiden valmistajille sekä kytkinlaitteiden käyttäjille. Kyselyn toteutus suoritettiin sähköisellä kyselylomakkeella. SYKE:n asiantuntijat olivat kyselyn laadinnassa mukana ja kyselyn tarkoituksena oli kartoittaa SF<sub>6</sub> kaasupäästöjen yleisimmät syyt kaasueristeisen laitteiston elinkaaren aikana, normaalikäytössä, asennuksessa sekä kunnossapidossa. Kyselyllä pyrittiin myös kartoittamaan mahdollisuudet vähentää kaasupäästöjä työskentely prosessien osalta sekä vuodonseurantajärjestelmiä hyödyntämällä. Lisäksi kartoitettiin saatavilla olevat ympäristöystävälliset kaasuseokset / ratkaisut, joilla SF<sub>6</sub>-kaasun käyttöä voidaan vähentää tulevaisuudessa. Käyttäjäkyselyn avulla kartoitettiin valmiutta ottaa käyttöön tekniikkaa, jotka vähentävät SF<sub>6</sub>-kaasupäästöjä. Kysely laadittiin Suomessa toimiville kytkinlaitteiden valmistajille sekä kytkinlaitteiden käyttäjille, jotka pääasiassa toimivat energiateollisuuden alalla. Kyselyyn vastanneet ovat voineet vastata kyselyyn anonymisti, niin että vastaajan yritystä tai henkilöllisyyttä tiedetä, ellei vastauksissa se käynyt ilmi. Tällä on haettu sitä, että kyselyyn tulisi enemmän vastauksia ja kyselyyn saatiinkin tarvittava määrä vastauksia, vaikkakin ajankohta oli vaikea kyselyn laatimiselle kesälomista johtuen. Käyttäjäkyselyyn vastausaktiivisuus oli 63,2 % ja valmistajakyselyyn vastausaktiivisuus oli 66,7 %.</p> <p>Kyselyn perusteella kytkinlaitteiden toimivien tahojen halukkuus on saada SF<sub>6</sub> kaasupäästöjä vähennettyä uuden tekniikan avulla, mutta yrityksissä ympäristöystävällisyys ei ollut suurin tekijä, joka vaikuttaa uuden tekniikan hankintaan vaan laitteen luotettavuus, hinta ja elinkaarikustannukset nousi suurimmiksi kriteereiksi, kun puhutaan uuden tekniikan hankinnasta vanhan tilalle. Tulosten ja annetun palautteen perusteella energiateollisuuden valmistajat ja käyttäjät ovat kiinnostuneita vähentämään päästöjä sekä pitivät tutkimusta tärkeänä ja olivat valmiita auttamaan tutkimuksen tekemisessä.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
SF <sub>6</sub> , ympäristö, kytkinlaite, kysely, Suomi		

<b>Author (authors)</b> Teemu Lehto	<b>Degree</b> Bachelor of Engineering	<b>Time</b> April 2020
<b>Thesis title</b> Reduction of SF <sub>6</sub> gas emissions in switchgear		51 pages 7 pages of appendices
<b>Commissioned by</b> Finnish Environment Institute SYKE		
<b>Supervisor</b> Hannu Poutiainen		
<b>Abstract</b>  <p>This thesis was prepared together with the client's Finnish Environment Institute (SYKE), SYKE operates as a multidisciplinary research and expert institution, trying to solve society's problems that affect the environment. The purpose of the study was to find out the possibilities of reducing SF<sub>6</sub> gas emissions by examining the technology and operating methods used by the manufacturer and user of switchgear. Separate surveys were conducted for manufacturers and users.</p> <p>The theory part deals with switchgear, SF<sub>6</sub> gas, leakage monitoring system and replacement technologies. In the experimental part of the study, a survey was conducted for manufacturers of switchgear using SF<sub>6</sub> gas and for users of switchgear. The survey was carried out with an electronic questionnaire. SYKE's experts were involved in the preparation of the survey, and the purpose of the survey was to map the most common causes of SF<sub>6</sub> gas emissions during the life cycle of gas-insulated equipment, normal operation, installation and maintenance. The survey also sought to identify opportunities to reduce gas emissions from work processes and by utilizing leakage monitoring systems. In addition, the available environmentally friendly gas mixtures / solutions to reduce the use of SF<sub>6</sub> gas in the future were mapped. The user survey will be used to determine the readiness to adopt technologies that reduce SF<sub>6</sub> gas emissions. The survey was prepared for switchgear manufacturers operating in Finland and for users of switchgear, who mainly operate in the energy industry. Respondents to the survey have been able to respond to the survey anonymously so that the respondent's company or identity is known, unless it was disclosed in the responses. The aim was to get more answers to the survey and to get the necessary number of answers to the survey, although the time was difficult for the survey to be prepared due to the summer holidays. The response rate to the user survey was 63,2% and the response rate to the manufacturer survey was 66,7%.</p> <p>According to the survey, the willingness of switchgear operators to reduce SF<sub>6</sub> emissions through new technology, but in companies, environmental friendliness was not the biggest factor influencing the acquisition of new technology, but the reliability, price and life cycle costs of the device became the biggest criteria. Based on the results and the feedback provided, manufacturers and users in the energy industry are interested in reducing emissions and considered the research important and were ready to help with the research.</p>		
<b>Keywords</b>		



South-Eastern Finland  
University of Applied Sciences

SF<sub>6</sub> gas, switchgear, survey, Finland

## SISÄLLYS

1	.....	1
1	JOHDANTO.....	7
2	SF <sub>6</sub> -KAASU.....	8
2.2	SF <sub>6</sub> -kaasun käsittely.....	10
2.3	Sähköverkonhaltijoiden SF <sub>6</sub> -kaasu tilastoja.....	11
3	KYTKINLAITTEET.....	13
3.1	Kaasueristeinen kytkinlaite.....	15
3.2	SF <sub>6</sub> -kaasueristetyn kytkinlaitteen edut.....	15
3.3	Kaasueristeisen kytkinlaitteiston rakenne.....	16
3.3.1	Katkaisijan rakenne.....	17
3.3.2	Sammutuskammion toiminta.....	18
3.3.3	Yhdistetty erotin ja maadoituserotin.....	18
4	VUODONSEURANTAJÄRJESTELMÄT.....	19
5	KORVAAVAT TEKNIIKAT.....	22
6	KYSELYTUTKIMUS.....	23
6.1	Kyselytutkimuksen tavoitteet.....	23
6.2	Tutkimusmenetelmä.....	23
7	KYSELYTUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	24
7.1	Kyselyn suunnittelu.....	24
7.2	Sähköinen kyselylomake.....	25
7.3	Vastausaktiivisuus.....	26
7.4	Kyselylomakkeen vastausten käsittely.....	27
8	TUTKIMUSTULOKSET.....	27
8.1	Valmistajakyselyn tulokset.....	27
8.2	Käyttäjäkyselyn tulokset.....	30
9	TULOSTEN TARKASTELU.....	42
10	YHTEENVETO.....	45
	LÄHTEET.....	46

KUVALUETTELO .....	49
TAULUKKOLUETTELO .....	52
Liite 1: Valmistajakysely .....	53
Liite 2: Käyttäjäkysely .....	55

## 1 JOHDANTO

Energiateollisuudessa käytetään SF<sub>6</sub>-kaasueristeisiä kytkinlaitteita sähkönjakelussa, joiden päästöt ovat osa tätä teollisuuden alaa. Nykypäivänä pyritään vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä kaikilla keinoilla. Suomi on sitoutunut vähentämään CO<sub>2</sub>-päästöjä kansallisesti, EU:n osana ja YK:n ilmastosopimuksen mukaisesti. Suomessa toimijat ovat velvoitettuja noudattamaan voimassa olevaa lainsäädäntöä ja määräyksiä, joita on EU:n sisällä laadittu. Tällä pyritään takaamaan toimijoille tasapuoliset olosuhteet, joita kaikkien tulisi noudattaa. Suomi raportoi vuosittain kasvihuonekaasupäästönsä EU:n komissiolle. SF<sub>6</sub>-kaasupäästöt kuuluvat raportoitaviin kaasupäästöihin.

Kaasueristeisissä kytkinlaitteissa käytettävä SF<sub>6</sub> on voimakas kasvihuonekaasu, joka nykypäivänä pyritään korvaamaan uusilla tekniikoilla, joissa ei käytetä SF<sub>6</sub>-kaasua.

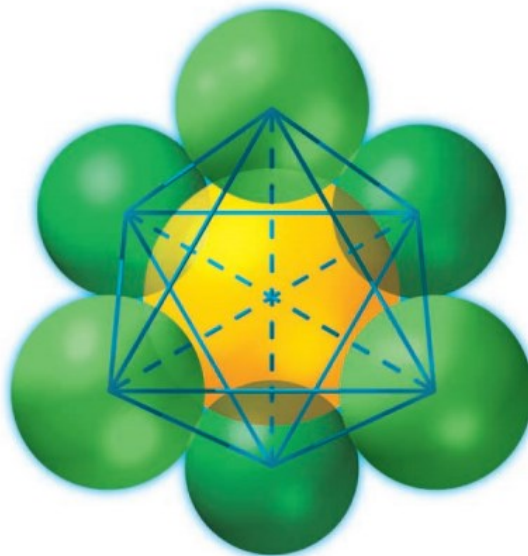
Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus kartoittaa sähköisen kyselytutkimuksen avulla energiateollisuuden toimijoilta heidän mielipiteitään, toimintatapoja sekä tietoisuutta nykypäivän tekniikasta kytkinlaitteiden osalta, halukkuudesta ottaa käyttöön uutta tekniikkaa ja mahdollisesti uusia toimintatapoja sekä minkälaiset ovat alan toimijoiden asenteet muutoksiin. Kyselyn tuomat vastaukset antavat Suomen ympäristökeskukselle hyvää informaatiota siitä minkälaiset ovat energiateollisuudessa asenteet ja mahdollisuudet toimia SF<sub>6</sub>-päästöjen vähentämiseksi tällä hetkellä ja tulevaisuudessa.

Työn teoria osuudessa on käsitelty kytkinlaitteita, SF<sub>6</sub> kaasua ja sen ominaisuuksia. Opinnäytetyön kokeellinen osa tehtiin kyselytutkimuksella, jossa käytettiin apuna sähköistä kyselylomaketta. Kyselyllä kartoitettiin toimijoiden vastauksien perusteella mielipiteitä ja asenteita uuteen tekniikkaan, sekä toimintatapoja kaasupäästöjen pienentämiseksi. Kyselytutkimuksessa kysyttiin toimijoilta, onko heillä käytössä tai tulossa käyttöön uutta tekniikkaa ja millaisella aika välillä.

## 2 SF<sub>6</sub>-KAASU

Rikkiheksafluoridi eli SF<sub>6</sub>-kaasu on voimakas kasvihuonekaasu, joka kuuluu F-kaasuihin. Ominaisuuksiltaan SF<sub>6</sub>-kaasu on hajuton, syttymätön, väritön sekä epäorgaaninen. SF<sub>6</sub>-kaasun ominaisuuksien takia sitä käytetäänkin sähköisissä kytkinlaiteissa eristyskaasuna. F-kaasuihin eli fluorattuihin kasvihuonekaasuihin kuuluvat fluorihiihivedyt (HFC-yhdisteet, perfluorihiihivedyt (PFC-yhdisteet), rikkiheksafluoridi (SF<sub>6</sub>) ja typpitrifluoridi (NF<sub>3</sub>). Nämä kaasut ovat monen kemiallisen yhdisteen kasvihuonekaasuja. Nämä kaasut myöskään eivät esiinny luonnossa vaan ovat ihmisen kehittämiä. (Solvay 2006; Electrical4U 2020.)

SF<sub>6</sub>-molekyyli koostuu kuudesta fluoriatomista, jotka ovat kiinnittyneinä yhteen rikkiatomiin. SF<sub>6</sub>-kaasun tiheys on huomattavasti suurempi verrattuna ilman tiheyteen merenpinnan tasolla, SF<sub>6</sub>-kaasun tiheys on 6,12 g/l ja ilman vastavasti 1,225 g/l. Tiheydestä voidaan päätellä, että kaasu on ilmaa huomattavasti painavampaa ja syrjäyttää suljetuissa tiloissa ilman, joka voi aiheuttaa tukehtumisen vaaran. Sen ilmastoa lämmittävä vaikutus, joka ilmaistaan GWP-arvona (Global Warming Potential) on 22 800, eli yhden kilon päästö SF<sub>6</sub>-kaasua vastaa 22 800 kg hiilidioksidipäästöä ilmakehässä. SF<sub>6</sub>-kaasu ei tuhoa otsonikerrosta, mutta se on voimakas kasvihuonekaasu ja säilyy ilmakehässä hyvinkin pitkään jopa yli 3000 vuotta. (Burges 2018; Solvay 2006; ABB 2014.)



Kuva 1: Rikkiheksafluoridimolekyyli; kuusi fluoriatomia kiinnittyneinä yhteen rikkiatomiin (Solvay 2006)



Sähkölaitteistojen SF<sub>6</sub>-päästöt on helpompi estää verrattuna muihin kasvihuonekaasuihin kuten hiilidioksidiin, jotka syntyvät polttoaineen palamisessa tai erilaisissa tuotannoissa, kun taas SF<sub>6</sub>-kaasun päästöt syntyvät pääasiassa vain laite vuodoissa. Kemiallisesti syttymätön ja reagoimaton, SF<sub>6</sub>-kaasun hyvä eristyskyky sekä sen lämpöominaisuudet ovat ideaaliset juuri isoilla jännitteillä toimivien sähkölaitteiden eristyksessä ja valokaaren sammutuksessa. SF<sub>6</sub>-kaasun hajoamistuotteita valokaarelle altistuessa on muun muassa rikki-fluoridit kaasumaisessa olomuodossa, joka on myrkyllisin hajoamistuote hajoamistuotteista ja vähemmän myrkyllinen hajoamistuote on metallifluoridit sekä on muita hajoamistuotteita, jotka näkyvät alla olevassa kuvassa. (Kuva 2). Jotkin hajoamistuotteista ovat yhdisteitä, jotka ovat syövyttäviä kosteissa olosuhteissa. (ABB 2014; EPA 2018.)

**SF<sub>6</sub>-kaasun hajoamistuotteet**

Sivutuote	Stabiilius ilmassa	Lopputuotteet	MAK-arvo (ppm <sub>v</sub> )	Haju
Rikkitetrafluoridi (SF <sub>4</sub> )	Hajoaa nopeasti	HF, SO <sub>2</sub>	3,6	Voimakkaan pistävä
Dirikkidekafluoridi (S <sub>2</sub> F <sub>10</sub> )	Vakaa	SF <sub>4</sub> , SF <sub>6</sub>	0,26	Voimakkaan pistävä
Tionyylifluoridi SOF <sub>2</sub>	Hajoaa hitaasti	HF, SO <sub>2</sub>	2,5	Mätä kananmuna
Piitetrafluoridi SOF <sub>4</sub>	Hajoaa nopeasti	SO <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0,5	Pistävä
Sulfuryylifluoridi SO <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	Vakaa		2,4	Ei mitään
Rikkidioksidi SO <sub>2</sub>	Vakaa		0,5	Terävä
Vetyfluoridi HF	Vakaa		1,0	Pistävä
SiF <sub>4</sub> (tetrafluorisilaani)	Hajoaa nopeasti	SiO <sub>2</sub> , HF	0,8	Pistävä

MAK = Maximale Arbeitsplatz-Konzentration = haitalliseksi tunnettu pitoisuus (HTP)

Kuva 2: Kuvassa lueteltuna SF<sub>6</sub>-kaasun hajoamistuotteita (ABB 2014, 255.)

Hajoamistuotteille altistuminen on terveydelle vaarallista, esimerkkinä vetyfluoridille altistuminen voi aiheuttaa rytmihäiriöitä, joka voivat johtaa kuolemaan. (ABB 2014, 255.)

## 2.1 F-kaasuasetus ja ilmastolaki

F-kaasuasetus on Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 517/2014, joka on tullut voimaan 1.1.2015 ja se kumosi aiemmin käytetyn asetuksen fluoratuista kasvihuonekaasuista (EY) N:o 842/2006. EU:n asettamat asetukset ovat voimassa EU:n jäsenmaissa, ja niitä tulee noudattaa kuten muutakin lainsäädäntöä. Asetuksessa kerrotaan pätevyysvaatimukset henkilöille, jotka toimivat laitteiden asennuksen, huollon, korjaamisen, kunnossapidon, käytöstä poiston, vuototarkastuksen ja aineiden talteenoton parissa, jotka heikentävät otsonikerrosta tai ovat fluorattuja kasvihuonekaasuja. Asetuksessa on kerrottu kuinka vuototarkastukset tulisi tehdä ja minkälaisia vuotojen havaitsemisjärjestelmien tulisi olla. Asetuksella pyritään ehkäisemään päästöjä ilmakehään mm. säännöllisillä tarkastuksilla, huolloilla ja kaasun talteenotolla laitteiden elinkaaren loputtua. Asetuksella säädetään myös F-kaasujen ja niitä sisältävien laitteiden markkinointia, maahantuontia ja hankintaa. Tällä hetkellä sähköisissä kytkinlaitteissa käyttöä ei ole rajoitettu. (EU 517/2014; SYKE 2017)

Suomen kasvihuonepäästöjä varten on säädetty laki, joka astui voimaan vuonna 2015, jossa on säädetty suunnitelmia kasvihuonepäästöjen pienentämiseen sekä ilmastonmuutoksen sopeutumiseen. Laissa veloitetaan Suomen valtion viranomaisia raportoimaan ja seuraamaan päästöjen kehitystä. SF<sub>6</sub> kuuluu näihin raportoitaviin kaasuihin. (Ilmastolaki 609/2015.)

## 2.2 SF<sub>6</sub>-kaasun käsittely

SF<sub>6</sub>-kaasu, eli rikkiheksafluoridi on hajuton, myrkytön sekä palamaton kasvihuonekaasu. EU:n asetus N:o 517/2014 fluoratuista kasvihuonekaasuista eli niin sanottu F-kaasuasetus edellyttää SF<sub>6</sub>-kaasua käsitteleviä henkilöitä päteväytymään koulutuksella. Valtioneuvoston asetuksen 25.8.2016/766 perusteella henkilöiden, jotka toimivat sähköisten kytkinlaitteiden parissa ottaen kylmäaineita talteen, käytöstä poistossa, asennuksessa, kunnossapidossa, huollossa ja korjauksessa on suoritettava hyväksytysti pätevyyskoe. (Valtioneuvoston asetus 25.8.2016/766)

Pätevyys tulee osoittaa Turvallisuus- ja kemikaalivirasto TUKES:lle, joka myöntää pätevyystodistuksen henkilölle, joka suoriutuu hyväksytysti kokeesta. TUKES ylläpitää julkista rekisteriä henkilöistä, joilla on pätevyys. Toiminnanharjoittajilta vaaditaan, että heillä on pätevyyden omaava henkilö, joka toimii päätoimisena vastuuhenkilönä. (TUKES 2016.)

Varastointiin ja kuljetukseen vaikuttavat paikallisviranomaisen viranomaismääräykset. Varastointi tapahtuu tilapäiskaasusäiliöillä tai -pulloilla. Käytetyn ja uuden SF<sub>6</sub>-kaasun sekaantumiselta vältetään värikoodeilla, joita käytetään säiliöissä ja pulloissa. Vanhaa ja uutta SF<sub>6</sub>-kaasua tai niiden varastointi säiliöitä tai pulloja ei tulisi koskaan sekoittaa varastoinnin aikana. (Sakki 2019.)

### 2.3 Sähköverkonhaltijoiden SF<sub>6</sub>-kaasu tilastoja

Suomessa toimivien sähköverkko toimijoiden omistamissa sähkölaitteissa ja säiliöissä oli vuoden 2019 lopussa SF<sub>6</sub>-kaasua yli 164 000 kg. Alla olevasta kuvasta (Taulukko 1) näkyy, kuinka SF<sub>6</sub>-kaasun määrä on noussut vuosittain ja esimerkkinä vuosien 2018 ja 2019 aikana kaasun määrä on noussut noin 20 000 kg. Kaasun kokonaismäärän kasvu johtuu kojeistojen sisällä olevan kaasun määrän kasvusta. (Heliö 2020.)

Taulukko 1: Sähköverkon haltijoiden SF<sub>6</sub>-kaasun määrät säiliöissä, kojeistoissa sekä kokonaismäärät vuosilta 2017–2019. (Heliö 2020.)

Sähköverkon haltijoiden SF <sub>6</sub> -kaasun määrät säiliöissä, kojeistoissa sekä kokonaismäärät									
SF <sub>6</sub> - kaasutase v. 2017-2019	SF <sub>6</sub> -kaasua säiliöissä (kg)			SF <sub>6</sub> -kaasua kojeistoissa (kg)			Yhteensä SF <sub>6</sub> -kaasua (kg)		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Jakeluverkko	463	513	606	81476	97873	114387	81939	98387	114992
Alueverkko	138	138	138	1858	1822	2283	1996	1960	2421
Kantaverkko	572	544	418	42288	43027	46458	42860	43571	46876
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>1173</b>	<b>1195</b>	<b>1161</b>	<b>125622</b>	<b>142722</b>	<b>163127</b>	<b>126795</b>	<b>143917</b>	<b>164289</b>

Erilaiteryhmät vaikuttavat siihen paljonko niissä on SF<sub>6</sub>-kaasua. Alla olevasta kuvasta (Kuva 3) näkyy Suomessa toimivien sähköverkon toimijoiden SF<sub>6</sub>-kaasumäärät laiteryhmittäin. Suurin osa kaasusta oli 110–400 kV kytkinlaitoksissa (48%), RMU-Kojeistoissa (36%) ja katkasijoissa (17%). (Heliö 2020.)

SF <sub>6</sub> -KAASUN JAKAUTUMINEN LAITERYHMITÄIN 2019	110-400 kV kytkinlaitokset		110-400 kV katkaisijat		10-20 kV kytkinlaitokset		10-20 kV katkaisijat		RMU-kojeistot		Muut		Yhteensä	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
	Jakeluverkko	40113	24,6 %	6892	4,2 %	4886	3,0 %	2792	1,7 %	59342	36,4 %	369	0,2 %	114393
Alueverkko	1396	0,9 %	727	0,4 %			150	0,1 %			9	0,0 %	2283	1,4 %
Kantaverkko	28547	17,5 %	17911	11,0 %									46458	28,5 %
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>70056</b>	<b>42,9 %</b>	<b>25530</b>	<b>15,6 %</b>	<b>4886</b>	<b>3,0 %</b>	<b>2942</b>	<b>1,8 %</b>	<b>59342</b>	<b>36,4 %</b>	<b>378</b>	<b>0,2 %</b>	<b>163134</b>	<b>100,0 %</b>

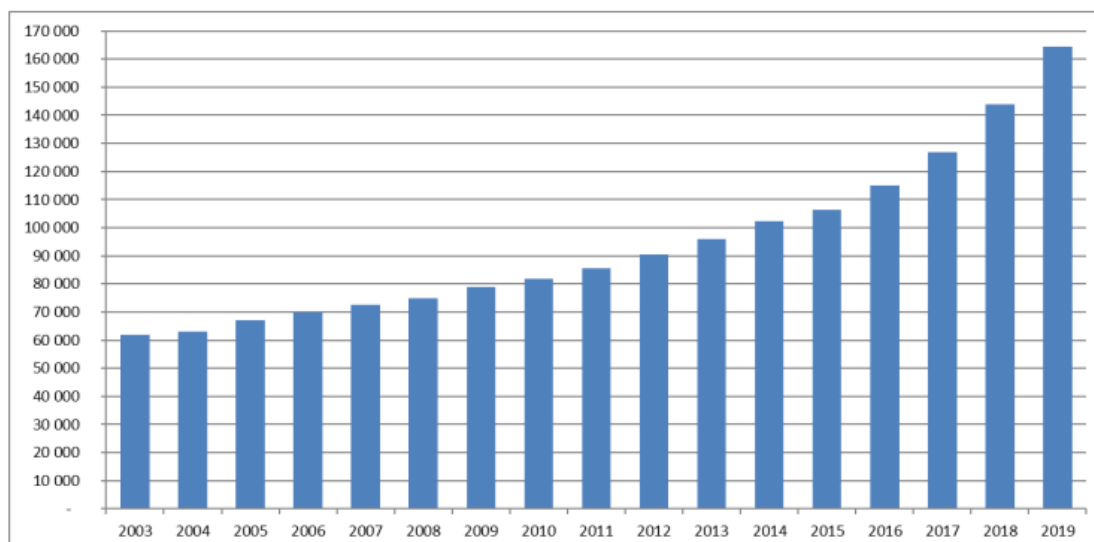
Kuva 3: Sähköverkon haltijoiden SF<sub>6</sub>-kaasumäärät Suomessa laiteryhmittäin. (Heliö 2020.)

Uutta hankittua SF<sub>6</sub>-kaasua oli Suomessa vuonna 2019 noin 19 000 kg (Taulukko 2), määrät ovat pääasiassa muodostuneet sähköverkon toimijoiden hankkimista uusista laitteista ja säiliöistä. Alla olevasta kuvasta näkee, että uusi hankittu SF<sub>6</sub>-kaasu on pääasiassa tullut uusien hankittujen kojeistojen mukana. SF<sub>6</sub>-kaasun päästö määrät vaihtelevat vuosittain. SF<sub>6</sub>-kaasun päästö määrä on 0,09 % toimijoiden hallussa olevasta SF<sub>6</sub>-kaasun kokonaismäärästä. (Heliö 2020.)

Taulukko 2: Sähköverkon haltijoiden uuden hankitun SF<sub>6</sub>-kaasun määrät vuonna 2019 ja päästö määrät ajalta 2017–2019. (Heliö 2020.)

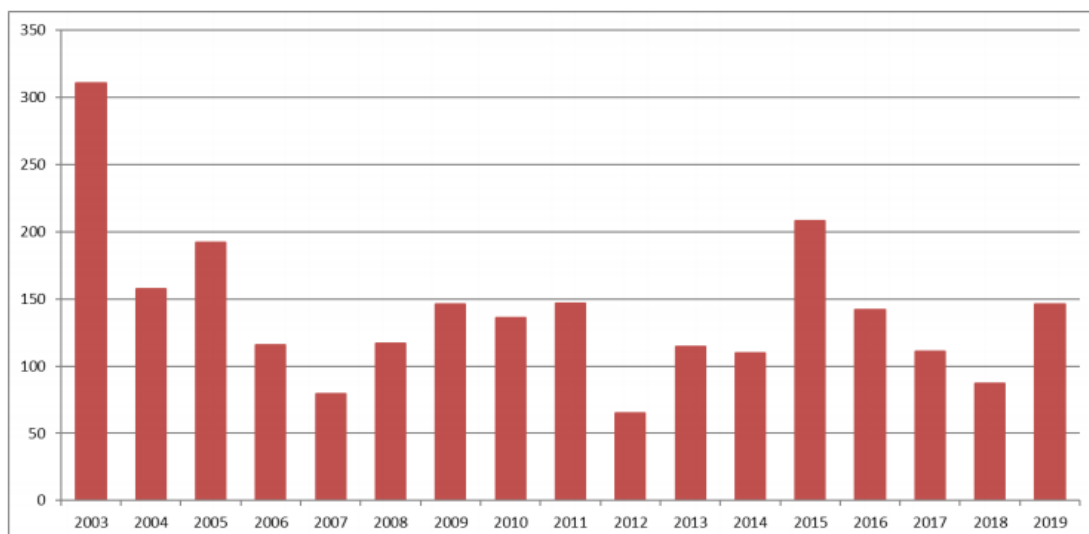
SF <sub>6</sub> -kaasun hankinta ja päästöt (kg)	SF <sub>6</sub> -kaasua hankittu (säiliöt ja kojeistot)	SF <sub>6</sub> -kaasun päästö		
	2019	2017	2018	2019
Jakeluverkko	12112	83	63	95
Alueverkko	509	4	1	5
Kantaverkko	6555	24	22	45
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>19176</b>	<b>111</b>	<b>87</b>	<b>146</b>

Sähköverkon haltijoiden omistuksessa olevan SF<sub>6</sub>-kaasun kokonaismäärät (Kuva 4) ovat nousseet vuosi vuodelta koko 2000- luvun ajan, ja viimeisen 4 vuoden aikana SF<sub>6</sub>-kaasun kokonaismäärän nousu on ollut entistä kiivaampaa edellisvuosiin nähden. Alla olevasta kuvasta näkee kuinka SF<sub>6</sub>-kaasun kokonaismäärät ovat nousseet 2003–2019 välisenä aikana Suomessa. Näiden vuosien aikana SF<sub>6</sub>-kaasun kokonaismäärä Suomessa on yli 2,5 kertais- tunut. (Heliö 2020.)



Kuva 4: Sähköverkon haltijoiden SF<sub>6</sub>-kaasun kokonaismäärät Suomessa vuosien 2003–2019 välisenä aikana (kg). (Heliö 2020)

Energiateollisuus ry:n arvioimat sähkönsiirron ja -jakelun SF<sub>6</sub>-kaasun kokonaispäästöt ovat vaihdelleet vuosi vuodelta riippuen vuotomääristä, joita on tapahtunut sähköverkon toimijoiden laitteissa. (Kuva 5)



Kuva 5: Energiateollisuus ry:n arvioimat sähkönsiirron ja jakelun SF<sub>6</sub>-kaasun kokonaispäästöt Suomessa vuosien 2003–2019 välisenä aikana (kg). (Heliö 2020)

### 3 KYTKINLAITTEET

Sähköistä kytkinlaitetta käytetään sähköenergian tuottamiseen, jakamiseen, siirtämiseen ja muuntamiseen. Kytkinlaitteille tarkempi määritelmä on kytkinlaitteen, kytkinlaitteiden säätö-, suoja-, mittaus-, ja ohjausvälineiden yhdistel-

miä tai tämän kaltaisten laitteiden kokonaisuuksia. Kytkinlaitteita on monia erilaisia ja niitä voi jaotella mm. jännitetason, eristysväliaineen tai kytkinlaitteen mekanismin mukaan. (EU 517/2014)

Pienjännite ja keskijännite laitteita käytetään Euroopassa riippuen maasta pääasiassa sähkönjakeluun ja suurjännite laitteita käytetään sähkönsiirtoon että -jakeluun (Taulukko 3).

Taulukko 3: Kytkinlaite jännitetasot (European Commission 2020.)

Pienjännite	< 1kV
Keskijännite	1 kV – 52 kV
Suurjännite	> 52 kV

Eristysväliaineina kytkinlaitteissa voidaan käyttää ilmaa, kaasua, nestemäistä tai kiinteää materiaalia. Tyypillisesti kytkinlaitteet, jotka käyttävät kaasua eristysväliaineena käyttää SF<sub>6</sub>-kaasua (Kuva 6). Kaasueristeiset laitteet (GIS) jotka eivät käytä SF<sub>6</sub>-kaasua, käyttävät erilaisia kaasuseoksia niin kuin teknistä ilmaa (happea ja typpeä). Joissakin tapauksissa SF<sub>6</sub>-kaasua korvaavissa kaasuseoksissa on pieniä määriä fluorattuja tai synteettisiä aineita. Ilmastovai-  
 kutus kaasuseoksilla on pienempi kuin SF<sub>6</sub>:lla. Ilmaeristeisen kytkinlaitteen (AIS) eristysväliaineena käytetään ulkoilmaa. Ilmaeristeiset laitteet vaativat suuremman tilan kuin kaasueristeinen kytkinlaite. Ilmaeristeinen kytkinlaite altistuu suuremmalla todennäköisyydellä kosteudelle ja pölylle, johtuen laitteen ominaisuuksista. Ilmaeristeislaitetta käytetäänkin alueilla, jossa ympäristötekijät sekä tilan määrä ovat helpommin hallittavissa. Nestemäisten (LIS) ja kiinteiden (SIS) ratkaisuiden käyttö Euroopan alueella on suhteellisen vähäistä johtuen korkeammista kustannuksista verrattaessa SF<sub>6</sub>:lla toimiviin ratkaisuihin. (European Commission 2020)



Kuva 6: Kuvassa esimerkki kaasueristeisestä kytkinlaitteistosta. Malli: ELK-04. (Hitachi ABB Power Grids 2020.)

### 3.1 Kaasueristeinen kytkinlaite

Katkaisija on laite, jota käytetään kytkinlaitoksessa sähköjako- verkossa. Katkaisija toimii virtapiirien avaajana ja sulkijana. Katkaisijat ovat laitteita, jotka suojelevat muita laitteita sähköjako- verkossa. Kun kyseessä on SF<sub>6</sub>-kaasua eli rikkiheksafluoridia käyttävä katkaisija on kyseessä kaasukatkaisija. SF<sub>6</sub>-kaasua käytetään katkaisijoissa sen ominaisuuksien takia. Hyvä erityiskyky ja lämpöominaisuudet, jolla saadaan valokaari hallintaan. (Elovaara & Haarla, 2011, s. 161)

### 3.2 SF<sub>6</sub>-kaasueristetyn kytkinlaitteen edut

Metallikoteloidut SF<sub>6</sub>-kaasueristetyt kytkinlaitokset (GIS) tarvitsevat vain noin 5 % verrattavien tavanomaisten ulkoilma-kytkinlaitosten (AIS) tilantarpeesta. Sen takia tämä tekniikka tarjoaa kaupunkialueilla hyvän ja taloudellisen ratkai-

sun. GIS-laitteiden ominaispiirteitä ovat: hyvä käyttöturvallisuus, hyvä luotettavuus, pitkä käyttöikä, vähäinen tilantarve, moduulirakenne, suhteellisen lyhyt asennusaika. (ABB 2012.)

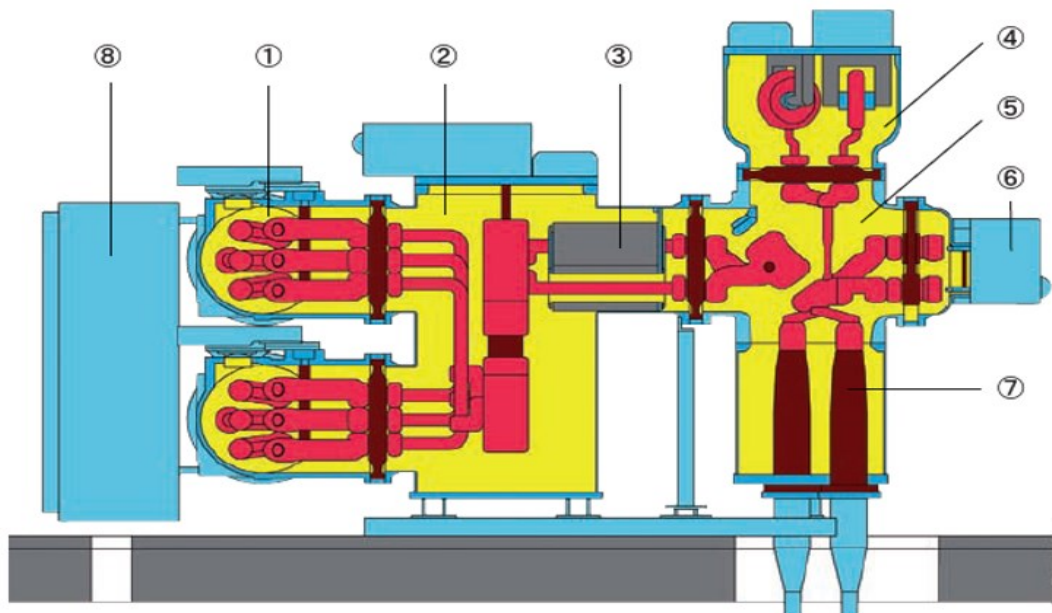
### 3.3 Kaasueristeisen kytkinlaitteiston rakenne

Kaasueristeisen kytkinlaitoksen komponentit on jaettu tilaeristimillä (sulkueristin) omiin kaasutiloihin. Kaasutiiviit tilaeristimet kaasutilojen välillä pienentävät mahdollisten vikojen vaikutuksia viereisissä kytkinlaitoksen osissa.

GIS-laitteiden runko-osat ovat korroosionkestävää alumiinia. Alumiinin vähäisen painon ansiosta ei tarvita raskaita perustusrakennelmia.

GIS-laitteiden rakenne on niin kutsuttu moduulirakenne, jossa komponentteja voidaan yhdistää käyttö kohteeseen sopivaksi kokonaisuudeksi.

Kolmi- tai yksivaiheiset moduulit yhdistetään laippaliitäntöjen avulla, jossa liitos kohdassa on aina tuki- tai sulkueristin. (ABB 2012.) Alla olevissa kuvissa näkyy kytkinlaitteiston rakennekuvaa. (Kuva 7).



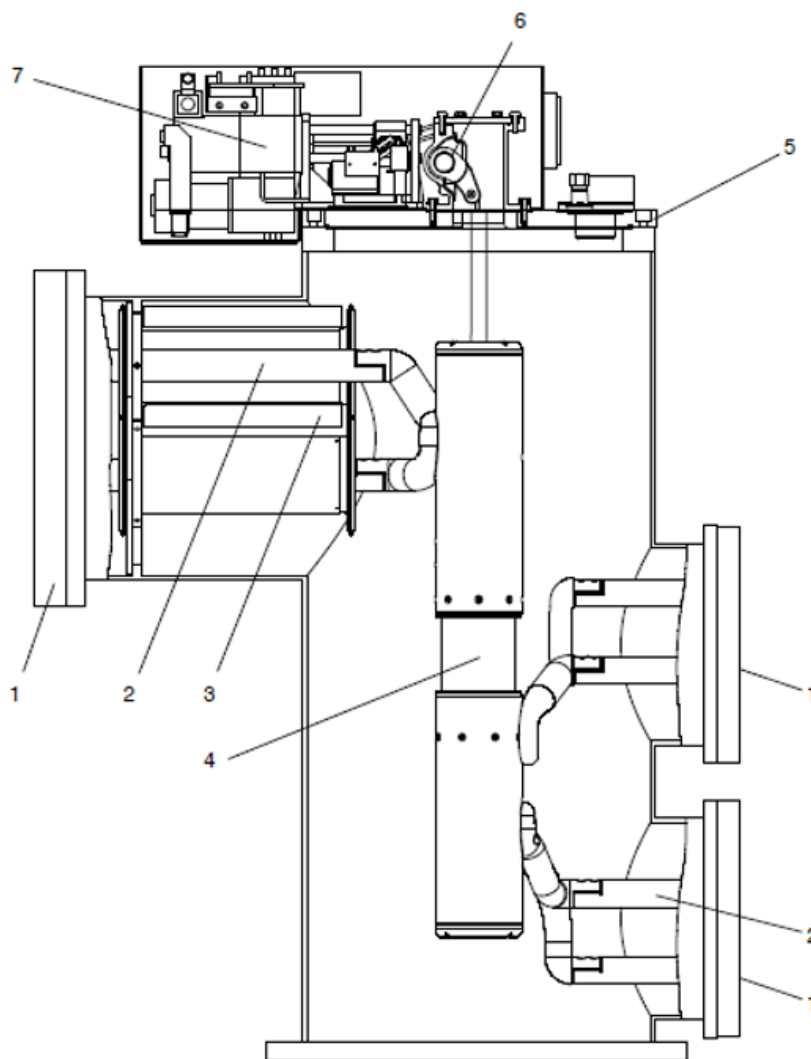
Kuva 7: SF<sub>6</sub> kaasueristeisen kytkinlaitoksen leikkauskuva. Keltainen väri kuvaa SF<sub>6</sub> kaasua kytkinlaitoksen sisällä. Rakennneosat: 1. Kiskoerotin / maadoituskytkin, 2. Katkaisija, 3. Virtamuuntaja, 4. Jännitemuuntaja, 5. Johtoerotin, 6. Pikamaadoituskytkin, 7. Kaapelipääte. (ABB 2009.)



Tyypillisesti katkaisijan SF<sub>6</sub> täyttöpaine on 700kPa luokkaa, kun kojeistossa eristyskaasuna toimivan SF<sub>6</sub>-kaasun paine on 400–600 kPa. (ABB 2012.)

### 3.3.1 Katkaisijan rakenne

Katkaisija (Kuva 8) toimii itsepuhallusperiaatteella yhdellä avausvälillä napaa kohti. Aukikytkennän aikana valokaari sammutuskammiossa tuottaa kaasunpaineen nousun ja kaasuvirtauksen, jota hyödynnetään valokaaren sammuttamisessa. (ABB 2012.)



Kuva 8: Kaasueristeisen kytkinlaitoksen katkaisijan rakenne: 1. tilaeristin, 2. virtatie, 3. virtamuuntaja, 4. sammutuskammio, 5. ohjaimen kiinnityslevy, 6. kääntöläpivienti, 7. ohjain (ABB 2012)

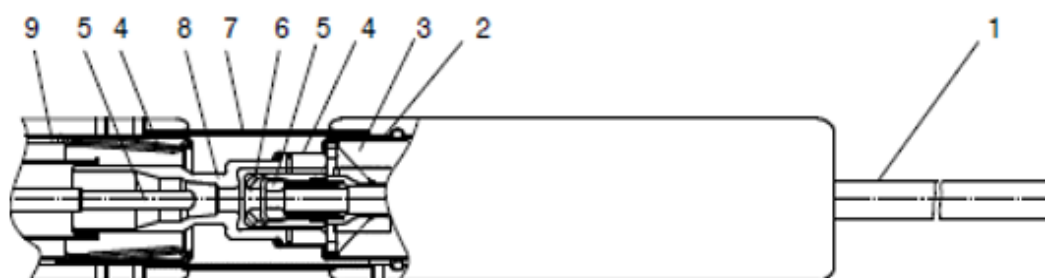
Katkaisijan kaasutilaan on integroitu virtamuuntaja (3). Katkaisijan kaasutila kuten muutkin moduulit on erotettu tilaeristimillä (1) toisistaan.

Sammutuskammiot (4) on rivissä vierekkäin, joista virtatiet (2) on kiinnitetty ti-laeristimen (1) koskettimiin. Ohjaimen (7) energia siirretään vivustolla akselin kautta kääntöläpiviennin (6) läpi sammutuskammioihin (4)

### 3.3.2 Sammutuskammion toiminta

Sammutuskammion (kuva 9) kiinnikytkennässä ohjaimen voima välitetään kytkintankoon (1). Kytkintangot (1) liikuttavat sammutuskammion osia (puhallussylinteri (2), apusuutin (6) ja eristyssuutin (8) kiinteän koskettimen suuntaan (9). Ensin kytkeytyy valokaarikoskettimet (5). Pääkoskettimet (4) kytkeytyvät lähes virrattomasti.

Sammutuskammion aukikytkennän liikesuunta on päinvastainen, ja siinä ensin avautuu pääkoskettimet (4) ja sen jälkeen avautuu valokaarikoskettimet (5). Katkaisijan läpi kulkeva virta kommutoidaan valokaarikoskettimiin (5). Valokaaren energia nostaa painetta sammutuskammiossa (3). Aukiohjaus liikkeen voimasta syntyvä kaasuvirtaus ohjataan apusuuttimen (6) ja eristyssuuttimen (8) kautta Valokaarikoskettimeen (5), paineistunut kaasu ja virtaus jäähdyttää syntyvän kytkentävalokaaren voimakkaan puhalluksen avulla ja sammuttaa valokaaren virran saavuttaessa nolla kohdan. (ABB 2012.)

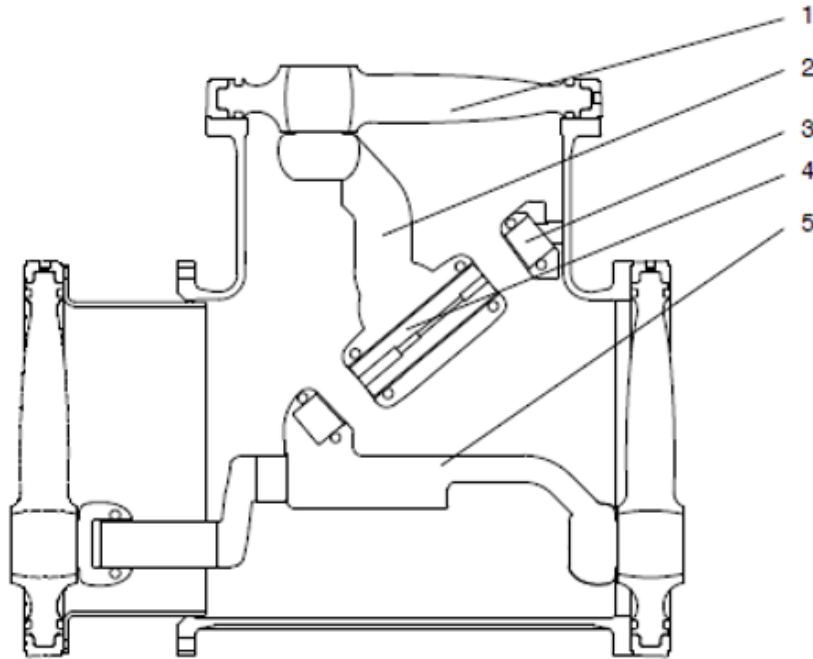


Kuva 9: SF<sub>6</sub>-katkaisijan sammutuskammion rakenne: 1. kytkintanko, 2. puhallussylinteri, 3. lämmityskammio, 4. pääkoskettimet, 5. valokaarikoskettimet, 6. apusuutin, 7. kammioeristin, 8. eristyssuutin, 9. kiinteä kosketin. (ABB 2012)

### 3.3.3 Yhdistetty erotin ja maadoituserotin

Maadoituserotin ja erotin on yhdistetty samaan laitteeseen (kuva 10), jossa samaa kosketinta käytetään kolmessa asennossa.

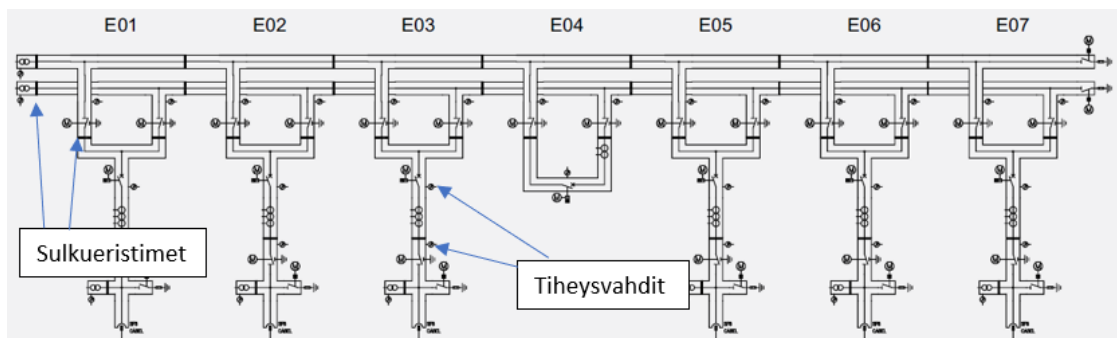
Maadoituserottimen ja erottimen kytkentätilat: erotin kiinni, erotin auki / maadoituserotin auki, maadoituserotin kiinni.



Kuva 10: Yhdistetty erotin ja maadoituserotin. Rakenne: 1. tilaeristin, 2. johdin, 3. maadoitus-erottimen vastakosketin, 4. kytkentäkosketin, 5. Erottimen vastakosketin. (ABB 2012)

#### 4 VUODONSEURANTAJÄRJESTELMÄT

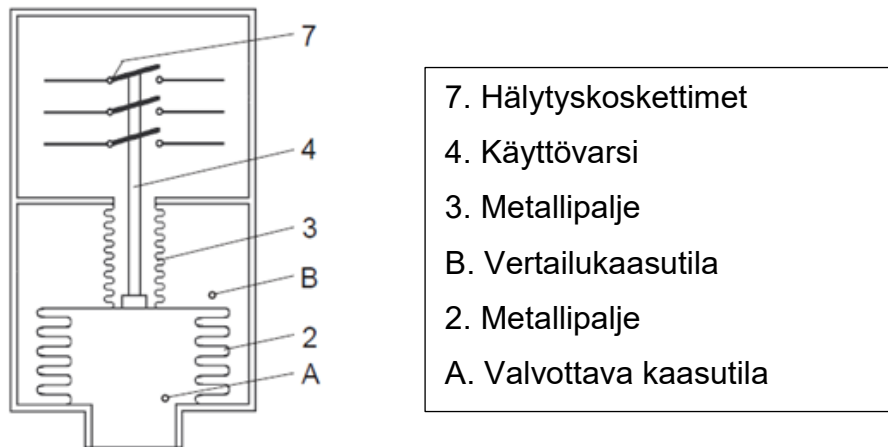
Kaasueristeisen kytkinlaitoksen osat on jaettu sulkueristimien avulla erillisiksi kaasutiloiksi (Kuva 11). Kaasun tiheyden valvonta on välttämätön kytkinlaitoksen sähköisen eristystason valvonnan vuoksi. Perinteisessä vuodonseurantajärjestelmässä tiheyttä valvotaan tiheysvahtien avulla (Kuva 12). Mikäli kaasun paine laskee alle asetettujen raja-arvojen, tiheysvahti antaa hälytyksen käyttöjärjestelmään, jolloin kaasua on lisättävä. Nykyaikaisessa "Online" vuodonseurantajärjestelmässä kaasun tiheyttä seurataan kaasuntiheysanturilla, joka mahdollistaa jatkuvan kaasun seurannan. (ABB 2012)



Kuva 11: SF<sub>6</sub>-kaasueristeisen kytkinlaitoksen tyypillinen kaasutilojen jako (ABB 2009)

Tiheysvahtina voidaan käyttää lämpötilakompensoitua kosketinpainemittaria tai referenssikaasutilalla varustettua tiheyden valvontarelettä.

Tiheysvahdissa merkinanto kaasun vuodosta saadaan vasta sitten kun kaasun paine on alentunut asetellulle rajalle. Perinteisen tiheysvahdin lisäksi on saatavilla jatkuvaan "Online" seurantaan tarkoitettuja tiheysantureita, joilla kaasutilaa voidaan seurata ja tallentaa muutokset mittausjärjestelmään (Kuva 13). (ABB 2012.)

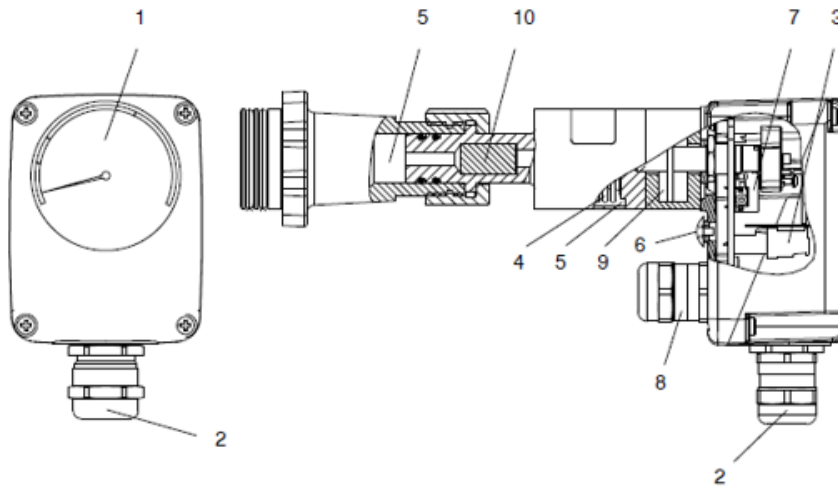


Kuva 12: Vertailukaasutilalla varustetun tiheysvahdin rakenne. (ABB)



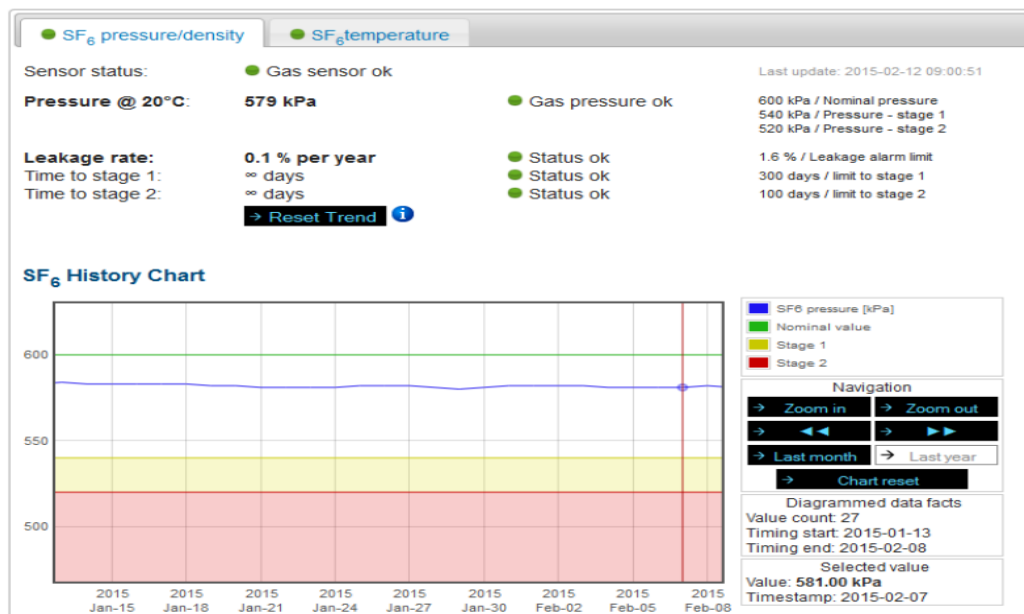
Kuva 13: Tiheysvahti (vasen) ja SF<sub>6</sub>-kaasutiheysanturi (oikea). (Trafag 2020)

Hybridi-kaasutiheysvahti on yhdistelmälaite (Kuva 14), joka koostuu kaasun tiheysvahdista ja kaasutiheysanturista. Tiheysvahti ja kaasutiheysanturi toimivat toisistaan riippumatta.



Kuva 14: Hybridi-kaasuntiheysvahdin rakenne: 1. painenäyttö, 2. kaapeliiliitos, 3. ruuviliitin, 4. metallipalje referenssikaasulla, 5. kytkinlaitteen kaasutila, 6. tuuletuskalvo, 7. mikrokytkin, 8. kaapeliiliitos, 9. tiheysanturi, 10. suodatin. (ABB 2012.)

Hybridi-kaasuntiheysvahti tai erillinen kaasuntiheysanturi mahdollistaa jatkuvan kaasutilojen vuodon seurannan. Jatkuvalla "Online" vuodonseurannalla (Kuva 15) saadaan tieto vuodosta heti vuodon alettua. Jokaista kaasutilaa seurataan SF<sub>6</sub> kaasuntiheysanturilla ja tieto kerätään järjestelmään, jossa mitaustiedoista lasketaan useita vuodon seurannan arvoja kuten esimerkiksi vuotoaste prosentteina vuodessa.



Kuva 15: Esimerkki jatkuvan vuodonseurantajärjestelmän käyttöliittymästä. Järjestelmällä voi tarkastella trendiseurantoja. Järjestelmä tallentaa tiheysanturin keräämän tiedon ja laskee

trendiseurannan arvoja, joita voi tarkastella käyttöliittymällä. Esim. Vuotoaste%/vuosi (ABB 2020)

## 5 KORVAAVAT TEKNIIKAT

Ympäristöystävällisen korvaavan vaihtoehdon SF<sub>6</sub>-kaasulle tulee täyttää kytkinlaitteessa käytettävän eristekaasun vaatimukset: Korkea erityslujuus, hyvät lämpöominaisuudet, hyvä valokaaren sammutuskyky, korkea höyrystymispaine matalissa lämpötiloissa ja alhainen kiehumispiste. Lisäksi korvaavan vaihtoehdon tulee täyttää ympäristölle ja turvallisuudelle asetetut vaatimukset, kuten matala ilmastoja lämmittävä vaikutus (GWP-arvo), ei vaikutusta otsonikehään, palamaton, räjähtämätön ja myrkytön. (Pan 2020, 2.)

Usealla valmistajilla on jo saatavilla tai kehitteillä kaasuseoksiin perustuvia ratkaisuja SF<sub>6</sub> tekniikoiden tilalle. 145 kV jännitetasoon saakka useita kaasueristisiä ratkaisuja on esitelty ja pilotoitu. Riippuen kaasuseoksen ominaisuuksista, soveltuvuus alhaisiin lämpötiloihin voi olla rajoitettu. Korkeammille jännitetasoille korvaavan tekniikan ratkaisuja kehitetään, käyttäjille soveltuvia laitteita odotetaan tulevan markkinoille viiden vuoden kuluttua. (Burges 2018; Burges 2020; European Commission, 7.) Euroopan alueen kolmen suurimman valmistajan tarjoamia korvaavia tekniikoita:

General Electrics (GE) on yhdysvaltalainen yritys, joka tarjoaa SF<sub>6</sub>-kaasun korvaavaksi kaasuksi g<sup>3</sup>-kaasuseosta. Kaasuseoksen GWP-arvo on noin 1300 eli 94 % alempi kuin SF<sub>6</sub>-kaasulla. Eristekaasun säilyvyys ilmakehässä noin 30 vuotta. g<sup>3</sup> -kaasua käyttävän kaasueristeen kytkinlaitteen vaikutus otsonikatoon 15 % suurempi verrattuna valmistajan SF<sub>6</sub> kytkinlaitteeseen, johtuen polytetrafluorieteeni (PTFE) materiaalin suuremmasta määrästä katkasijoissa. g<sup>3</sup>-kytkinlaitteessa kaasun paino on noin puolet SF<sub>6</sub> -kytkinlaitteen kaasun painosta. g<sup>3</sup>-kaasuseosta pystytään käyttämään lämpötilaolosuhteissa aina -30 ° C:seen asti. (General Electrics 2020; General Electrics 2019; Pan 2020.)

ABB on ruotsalais-sveitsiläinen yritys, joka tarjoaa SF<sub>6</sub>-kaasun korvaavaksi kaasuksi AirPlus™-kaasuseosta. Kaasuseoksen GWP-arvo on 1 eli yli 99 % alempi kuin SF<sub>6</sub>-kaasulla. Eristekaasun säilyvyys ilmakehässä on noin 0,04 vuotta. Tekniikassa käytetään fluoriketoni-pohjaista kaasuseosta. Kaasuseos

ei tuhoa otsonikerrosta. AirPlus™-kaasuseosta pystytään käyttämään ulkokyt-kinlaitteissa (AIS) -50 ° C lämpötilaolosuhteissa ja kaasueristetyissä kytkinlai-toksissa (GIS) aina -25 ° C saakka. (ABB 2020; Mahdizadeh 2020; Beroual & Haddad 2017; Hyrenbach 2015.)

Siemens on monialainen saksalainen yritys, joka tarjoaa SF<sub>6</sub>-kaasun korvaa-vaksi tekniikaksi "Blue" nimistä tekniikkaa, jossa käytetään Clean air-kaasuse-osta (80 % N<sub>2</sub>/ 20 % O<sub>2</sub>). GWP-arvo on 0 eli 100 % alempi kuin SF<sub>6</sub>-kaasulla. Blue tekniikkaa pystytään käyttämään -50 ° C lämpötilaolosuhteissa. Kaasu-seos ei sisällä F-kaasuja, eikä sillä ole myöskään vaikutusta otsonikehään. (Burges 2018; Siemens 2020.)

Taulukko 4: Vertailu kolmen eri valmistajan vaihtoehtoisista suurjännitteisistä kaasueristetyistä kytkinlaitteista. (Burges 2018.)

Vertailu: SF <sub>6</sub> :n saatavilla olevista korvaavista suurjännitteisistä kaasueristeisistä kytkinlaitteista			
Kytkinlaitteen nimi	ABB GLK-14	GE F35 g <sup>3</sup>	Siemens 8VN1
Eristyskaasu	AirPlus	g <sup>3</sup>	Clean Air
Eristyskaasun GWP-arvo	1	1300	0
Jännitetaso (kV)	170	145	145
Alin käyttölämpötila (°C)	-5	-25	-50

## 6 KYSELYTUTKIMUS

### 6.1 Kyselytutkimuksen tavoitteet

Tavoitteena kyselytutkimuksessa oli kartoittaa energiateollisuudessa toimivien SF<sub>6</sub>-kaasu kytkinlaitteiden valmistajien sekä käyttäjien asenteita korvaaviin tekniikoihin, päästöjen vähentämiseen ja toimintatapoihin. Kyselyllä kartoitettiin, minkälaisia korvaavia tekniikoita on jo olemassa ja minkälaisella asen-teella sekä valmistajat että käyttäjät ovat mahdollisiin muutoksiin tulevaisuu-nessa investoitaessa ympäristö- ja ilmastoystävällisempään tekniikkaan.

### 6.2 Tutkimusmenetelmä

Kyselylomake toteutettiin kvantitatiivisella, että kvalitatiivisilla kysymyksillä. Valmistaja kysely painottui selvästi enemmän vapaasti vastattaviin kysymyk-siin, joilla pyrittiin saamaan enemmän tietoa heidän valmistamistaan laitteista

ja tekniikoista, vain yhdessä valmistajankyselyn kysymyksessä pyydettiin vastaamaan numeroimalla asioita järjestykseen.

Käyttäjäkyselyssä oli vapaasti vastattavia kysymyksiä, valintaruutu kysymyksiä sekä pyydettiin numeroimaan asioita järjestykseen. Kysymyksillä, jotka sisälsivät valintaruutu vastauksen, saatiin helpommin numeraalista tietoa käyttäjien asenteista ja toimintatavoista.

Kyselylomake toteutettiin sähköisesti ja lähetettiin energiatasollisuudessa toimiville yrityksille, jotka ovat alalla toimivia valmistajia sekä käyttäjiä. Valmistaja puolen yritykset valittiin sen mukaan, jotka ovat kyselyyn liittyen suurimpia valmistajia Euroopassa. Käyttäjä puolen yritykset valittiin sen mukaan ketkä ovat suurimpia toimijoita Suomessa sekä tiedustelemalla alan asiantuntijoilta keille kysely olisi hyvä välittää. Yritysten sijainnit ja laitekannat ovat eripuolilla Suomea, näin saatiin kattavasti vastauksia kyselyyn eri olosuhteissa toimivilta yrityksiltä. Kyselylomake laadittiin Google Formsin kautta ja lähetettiin saate-teksti kanssa, vastaajat saivat linkin sähköpostiosoitteisiinsa, josta pääsivät vastaamaan kyselyyn. Kyselyyn vastanneet ovat voineet vastata kyselyyn anonymisti, niin että vastaajan yritystä tai henkilöllisyyttä tiedetä, ellei vastauksissa se käynyt ilmi.

## **7 KYSELYTUTKIMUKSEN TOTEUTUS**

### **7.1 Kyselyn suunnittelu**

Kyselyiden kysymysten täytyi olla helposti vastattavia ja selkeitä. Kytkinlaitteiden valmistajille ja käyttäjille suunniteltiin erilliset kyselyt. Kysely päätettiin suorittaa sähköisellä kyselyllä (Google Forms) ja kyselyyn tulleet vastaukset olivat anonyymeja, ellei vastauksissa tullut ilmi vastaaja. Kyselyn vastausaikaa pyrittiin näin lyhentämään ja saataisiin mahdollisimman moni vastaamaan kyselyyn kyselyn vastaanottajista. Kyselyssä kerrotaan, että erilliset kyselyt tehdään valmistajille sekä käyttäjille. Kyselyiden vastaanottajat valittiin oman tiedon haun ja eri asiantuntijoiden avustuksella. Valmistajakyselyyn laadittiin 12 kysymystä, joista 11 kysymykseen pystyi vastaamaan vapaasti tekstikenttään ja yhdessä kysymyksessä pyydettiin laittamaan vastauksia järjestykseen. Käyttäjäkyselyyn laadittiin 18 kysymystä, joista kuudessa pyydettiin vastaamaan vapaasti tekstikenttään. Kymmenen kysymyksistä oli laadittu niin, että



vastaajat valitsivat vastaukselleen sopivan valintaruudun. Kahdessa kysymyksessä pyydettiin laittamaan vaihtoehtoja järjestykseen.

Valmistajakyselyn kysymykset käsittelivät kytkinlaitteiden korvaavia tekniikoita, saatavilla olevien tekniikoiden ympäristöystävällisyyttä nyt ja lähitulevaisuudessa, korvaavan tekniikan saatavuutta, korvaavan tekniikan käyttöolosuhteet, vuotomäärät, kaasuvuodot, huolto ja ylläpito. Valmistajakyselyssä pyydettiin myös tietoa heidän tarjoamistansa korvaavista tekniikoista. Jokaisessa kysymyskentässä oli mahdollista vastata vapaasti kysymykseen, myös kysymyksessä, jossa pyydettiin laittamaan järjestykseen kaasuvuotojen syitä. Valmistajakyselyllä haluttiin valmistajilta tietoa kytkinlaitteista ja SF<sub>6</sub>-kaasulla toimivien kytkinlaitteiden korvaavista tekniikoista.

Käyttäjäkyselyn aiheina oli kytkinlaitteiden kaasuvuodot, vuotomäärät, vuodonseurantajärjestelmä, korvaavat tekniikat ja ympäristöystävällisyys. Käyttäjäkyselyssä oli enemmän valintaruutukysymyksiä, jolloin saatiin helpommin tarvittavia vertailuja ja graafeja muodostettua kysymysten vastauksista. Käyttäjäkyselyllä kokonaisuudessaan haluttiin tietoa käyttäjien asenteista, korvaavista tekniikoista sekä kytkinlaitteista.

## **7.2 Sähköinen kyselylomake**

Google Forms -ohjelma tarjoaa helpon tavan tehdä sähköisen kyselylomakkeen pohjan ja on myös helppo käyttää. Google Forms tarjoaa monia erilaisia vastausmahdollisuuksia ja vastaustyyli on helppo vaihtaa, jos on tarvetta. Kyselyssä ei käytetty kuvia ja pyrittiin pitämään mahdollisimman yksinkertaisena vastaajalle. Yksinkertaisella kyselylomakkeen ulkoasulla haettiin kyselyyn enemmän "virallista" tunnelmaa, tarkoituksena että vastaajat suhtautuisivat kyselyyn tosissaan.

Kun kysymykset olivat suunniteltu valmiiksi, lisättiin kysymykset kyselyohjelmaan. Vastausmuotoina kysymyksissä käytettiin vapaata tekstikenttää, valintaruutuja sekä tekstikenttää, johon pyydettiin numeroimaan vapaasti kysymyksessä ilmi tuotuja asioita. Kysely eteni aihealueiden mukaan, jotta kyselyyn vastannut henkilö pystyi helpommin löytämään tarvittavaa tietoa kysymyksiin

ja näin myös haettiin mielekkyyttä kyselyn tekoon, eikä haluttu hukata vastaajan aikaa. Kaikki kyselyn kysymykset olivat vapaaehtoisia. Kyselyn kysymysten määrää ei ennalta rajoitettu, vaan kyselyyn tehtiin kysymyksiä sen verran kuin nähtiin olevan tarpeen tehdä, jotta saatiin tarvittavat vastaukset valmistaja- sekä käyttäjäyrityksiltä. Kysymysten määrä kuitenkin pyrittiin pitämään mahdollisimman pienenä, jotta kyselyyn tulisi vastauksia enemmän ja kyselyyn käytettävä aika pysyisi mahdollisimman pienenä. Kyselyyn käytettävää aikaa on vaikea arvioida.

Kysely pyrittiin lähettämään yritysten asiantuntijoille. Vastaanottajaa pyydettiin välittämään kysely asiasta vastaavalle henkilölle, mikäli alkuperäinen vastaanottaja ei ollut asiasta vastaava henkilö. Kysely lähetettiin sähköpostitse vastaajille Google Forms:n kautta. Sähköpostiosoitteet kirjoitettiin manuaalisesti vastaanottajakenttään. Saateteksti laadittiin kyselylomakkeessa sille varattuun paikkaan. Google Forms muodosti automaattisesti linkin vastaajien sähköpostiin, kun kyselylomake oli heille lähetetty. Saatetekstissä kerrottiin olennaiset tiedot kyselylomakkeesta ja mihin sitä oli tarkoitus käyttää, sekä kerrottiin että kyselyitä tehdään valmistajille ja käyttäjille. Lisäksi kerrottiin kyselyn olevan vapaaehtoinen sekä luottamuksellinen vastaajia kohtaan. Kyselylomakkeet löytyvät liitteistä Liite1 ja Liite 2.

### **7.3 Vastausaktiivisuus**

Kyselytutkimuksen valmistajakyselyn kyselylomake lähetettiin kolmeen yritykseen ja käyttäjäkysely lähetettiin 19 yritykseen. Käyttäjäkysely jouduttiin lähettämään useampaan kertaa yrityksiin, jotta saatiin riittävä määrä vastauksia. Vastauksien viivästyminen johtui enimmäkseen ihmisten kesälomista. Lopulta käyttäjäkyselyyn saatiin vastaukset 12 yritykseltä ja kahdelta valmistaja yritykseltä. Vastausaktiivisuus valmistajien kohdalla oli 66,7 % ja käyttäjäkyselyn kohdalla vastausaktiivisuus oli lopulta 63,2 %. Kokonaisvastausaktiivisuus kyselyihin 63,6% (Taulukko 5).

Taulukko 5: Vastausaktiivisuus kyselyissä

	Lähetetty	Vastauksia vastaanotettu	Vastausaktiivisuus
Käyttäjäkysely	19	12	63,2 %
Valmistajakysely	3	2	66,7 %
Kyselyt	22	14	63,6 %

#### 7.4 Kyselylomakkeen vastausten käsittely

Google Forms-ohjelmalla pystyy luomaan vastauksista erilaisia raportteja, taulukkoja sekä graafeja, joita olen myös käyttänyt vastausten käsittelyssä ja analysoinnissa. Vapaan tekstikentän vastaukset on myös huomioitu tuloksissa, ja ne on myös käsitelty yksitellen. Lisäksi vastausten käsittelyssä on käytetty MS Excel-ohjelmaa.

## 8 TUTKIMUSTULOKSET

Kaikki kyselytutkimukseen vastanneet yritykset toimivat Suomessa. Valmistajakyselyyn vastanneet yritykset ovat alansa suurimpia monialaisia yrityksiä, jotka toimivat globaalisti, käyttäjäkyselyyn vastanneet yritykset toimivat pääasiassa energiateollisuudessa. Yritysten kokoa ei käsitelty henkilömäärän mukaan kyselyssä, ja haluttiin yrityksen koosta riippumatta nähdä, minkälaiset asenteet yrityksissä on päästöjen vähentämisen ja uuden tekniikan kannalta.

### 8.1 Valmistajakyselyn tulokset

Ensimmäisessä kysymyksessä vapaaseen tekstikenttään valmistajilta tiedusteltiin, millaisia SF<sub>6</sub>-kaasua korvaavia tekniikoita on saatavilla nyt ja tulevaisuudessa. Kahdelta vastanneelta valmistajalta tuli vastaukset kysymykseen. Molemmilla valmistajilla on jo markkinoilla korvaavaa tekniikkaa olemassa niin keskijännite- ja suurjännitekytkinlaitteissa. Yksi valmistajista kertoo vastauksessaan saatavilla olevan korvaavan kaasuseoksen, joka sisältää 80 % N<sub>2</sub> ja 20% O<sub>2</sub>. Korvaava kaasu on GWP-arvoltaan 0 ja että sillä päästään 0-päästöihin. Valmistajan korvaavat tekniikat ulottuvat aina 145 kV:n jännitetasolle ja tulevaisuudessa suuremille jännitetasoille pyritään saamaan ratkaisuja. Toinen valmistajista kertoo, että heillä on kaksi kaasuseosta, joilla korvata SF<sub>6</sub>-kaasu. Ilmaeristeisissä kytkinlaitteissa kaasuseoksena toimii CO<sub>2</sub> /O<sub>2</sub> jännitetasolle

145 kV asti ja kaasueristeisissä C5PFK / CO<sub>2</sub> / O<sub>2</sub> kaasuseosta. Molemmissa kaasuseoksissa GWP arvo on <1. Lisäksi toinen valmistajista kertoo, että heillä on tulossa tiiveyteen liittyvä ratkaisu, joka vähentää vuosittaisia vuotoja huomattavasti ja olisi käytettävissä vanhoihin ja uusiin kytkinlaitteisiin.

Seuraava kysymys on jatkokysymys ensimmäiseen kysymykseen, jossa on vapaa tekstikenttä, ja kysytään, milloin mahdollinen korvaava tekniikka olisi saatavilla. Molemmilla valmistajilla on korvaavia ratkaisuja jo saatavilla ja tälläkin hetkellä käytössä. Toinen valmistaja kertoo, että osassa ratkaisuissa sarjatuotanto alkaa 2021 koskien kaasueristeisiä kytkinlaitteita ja korkeamman jännitetaso-  
laitteita olisi saatavilla noin 3–5 vuoden kuluttua.

Myös seuraavat kaksi kysymystä ovat jatkokysymyksiä liittyen SF<sub>6</sub>-kaasun korvaavien tekniikoiden kaasuseoksen GWP-arvoon ja korvaavan tekniikan saatavuuteen. Yksi valmistajista kertoo korvaavan tekniikan GWP-arvoksi 0 ja korvaavat tekniikat ovat saatavilla 145 kV jännitetasoon asti. Toinen valmistaja kertoo korvaavan tekniikan GWP-arvoksi <1 sekä korvaavat tekniikat ovat saatavilla lähitulevaisuudessa 145 kV jännitetasoon asti. Myöhemmin tulevaisuudessa korvaavaa tekniikkaa saatavilla myös korkeammille jännitetasoille.

Valmistajilta kysyttäessä SF<sub>6</sub>-kaasua korvaavista ratkaisuista, jotka soveltuvat vanhoihin kytkinlaitteisiin. Vastauksista tuli ilmi, ettei vielä ole saatavilla uusia ratkaisuja, joka suoraan soveltuisi vanhoihin kytkinlaitteisiin. Keski-  
jännitetaso-  
laitteissa valmistajilla on saatavilla tyhjiökatkaisijat, joita voidaan käyttää kaasukatkaisijoiden tilalla. Kehitteillä on kuitenkin erilaisia ratkaisuja vanhoihin kytkinlaitteisiin.

Kuudennessa kysymyksessä kysyttiin korvaavien tekniikoiden soveltuvuudesta eri lämpötilaolosuhteissa. Vastauksissa valmistajat kertovat, että ratkaisuja löytyy -50°C - +50°C lämpötila-alueelle. Kytkinlaite ratkaisut valitaan sen mukaan minkälaiset ympäristötekijät vallitsevat, jotta laitteet soveltuvat kohteeseen. Toisen valmistajan kaasueristeisien (GIS) kytkinlaitteiden lämpötila-  
alue on alimmillaan -5 °C.

Seuraavissa kysymyksissä valmistajilta kysyttiin kaasuvuotoihin liittyvistä asioista, ensimmäisenä vuorossa kysymys millaisia kytkinlaitteiden vuodonseurantajärjestelmiä on saatavilla. Valmistajat vastasivat, kytkinlaitteiden tiiveyttä valvotaan perinteisesti tiheysvahdeilla. Lisäksi on saatavilla ”Online” seuranta-järjestelmiä, jotka soveltuvat trendiseurantaan.

Kysyttäessä kaasuvuotoja aiheuttavia syitä kokoonpano- ja asennusvaiheessa, valmistajat kertoivat todennäköisimmiksi syiksi asennusvaiheen vuotoihin epäpuhtaudet ja syntyneet naarmut liitoskohdissa. Asennusvirheet ja erehdykset ovat mahdollisia, mutta ovat harvinaisia. Tehtaalla kokoonpanovaiheessa asennusvirhe ja erehdykset lueteltiin syiksi kaasuvuodoille, mutta ne ovat harvinaisia.

Valmistajilta kysyttiin tilastoiko he kaasuvuotojen vuotomääriä ja kuinka paljon niitä syntyy kokoonpano- ja asennusvaiheessa. Vastauksista kävi ilmi, että valmistajat testaavat laitteitaan omilla tehtaillaan vuotojenvaralta, laitteet eivät pääse tuotannosta eteenpäin, jos vuotomäärät testauksissa ylittävät tietyt rajat, tavoitteena päästötön laitekokoonpano. Asennus- ja kokoonpanovaiheissa laitteista poistettava kaasua otetaan säilöön. Kokoonpanovaiheen kaasuvuotojen määristä ei saatu vastausta, mutta mahdolliset vuodot tilastoidaan tehtaalla.

Seuraavan kysymyksen aiheena oli kaasueristeisen kytkinlaitoksen / kytkinlaitteen käyttöiän aikana syntyvät kaasuvuodot, valmistajaa pyydettiin laittamaan vuodon syyt yleisyys järjestykseen numeroiden ne. Vain yksi valmistaja vastasi kysymykseen. Alla taulukko 6, josta näkyy kaasuvuotojen syyt käyttöiän aikana.

Taulukko 6: Kytkinlaitteen käyttöiän aikana syntyvät kaasuvuodot numeroituna yleisyys järjestykseen.

1.	Ulos asennetut kaasutilat / korroosio
2.	Akselitiivistys
3.	Apulaitteista johtuvat vuodot
4.	Vaurio tai vikaantuminen
5.	Muu syy
6.	Staattiset tiivisteet

Kuinka kaasuvuotoja minimoidaan huollossa ja ylläpidossa oli seuraavana kysymyksenä valmistajille. Vastauksissaan valmistajat kertovat, huoltoa ja ylläpitoa suorittaa vain koulutettu ja sertifioitu henkilöstö. Toinen valmistaja myös korosti korkealaatuisten kaasunkäsittelylaitteiden käyttöä huollossa sekä SF<sub>6</sub>-kaasun käsittelyn ohjeistusta henkilöstölle. Myös henkilöstön ammattitaidon ylläpito mainittiin keinoksi, jolla minimoidaan asennuksessa ja huollossa syntyviä kaasuvuotoja.

Viimeisessä kysymyksessä valmistajilta kysyttiin, minkälainen valmius on reagoida mahdolliseen kaasuvuotoon Suomessa. Molemmilta valmistajilta löytyy valmius reagoida mahdollisiin kaasuvuotoihin. Valmistajat kertovat varautuneensa kouluttamalla paikallista henkilökuntaa ja heiltä löytyy laitteet kaasunkäsittelyyn.

## **8.2 Käyttäjäkyselyn tulokset**

Ensimmäiseksi kyselyssä kysyttiin kytkinlaitoksen / kytkinlaitteen käyttöiän aikana syntyvien kaasuvuotojen yleisimpiä syitä (Taulukko 7). Yhdeksän 12:sta vastaajasta vastasi kysymykseen, kahdella vastaajalla ei ole ollut vuotoja tai ollut yksi vuoto eikä numeroituna vastausta. Vastaajia pyydettiin numeroimaan järjestykseen syitä kaasuvuodoille. Staattiset tiivisteet oli viidellä vastaajalla mainittuna yleisimmäksi syyksi tai toiseksi yleisimmäksi syyksi. Valuvika, akselitiivistys, ulos asennettu kaasutila/korroosio sekä apulaitteet olivat mainittu kerran yleisimmäksi syyksi kaasuvuotoihin. Alla taulukko, josta näkyy miten vastaajat ovat numeroineet vuodon syitä. Vastaajat numeroitu kyselylomakkeen järjestyksen mukaan.

Taulukko 7: Kytkinlaitteiden kaasuvuodon syitä numeroituna yleisyys järjestykseen. (1 =yleisin syy – 6= vähiten yleisin).

	Vas- taaja 2	Vas- taaja 3	Vas- taaja 4	Vas- taaja 7	Vas- taaja 8	Vas- taaja 9	Vas- taaja 11
Valuvika	1		5				3
Akselitiivistys		1	3		3	5	
Vaurio tai vikaantumisen		2	2		4	3	
Staattiset tiivisteet			1	1	2	1	2
Ulos asennettu kaasutila/korroosio			6	2	1	4	
Apulaiteet		3	4		6	6	1
Muu syy	2				5	2	

Toisessa kysymyksessä vastaajien annettiin vastata vapaasti kertoakseen heidän näkemyksensä kaasuvuotojen yleisyydestä kytkinlaitteiden eri sukupolvissa. Kymmenen vastasi tähän kysymykseen ja käyttäjillä on paljon eri näkemyksiä kaasuvuotojen yleisyydestä. Osa vastaajista oli sitä mieltä, ettei vanhemmissa sukupolvissa ole sen enempää kaasuvuotoja kuin uusissakaan kytkinlaitteissa, kun taas osa oli sitä mieltä, että vanhemmissa laitteissa on enemmän vuotoja. Kahdella käyttäjäryityksellä myös täysin päinvastaiset näkemykset, toinen on sitä mieltä, että ikä on määräävä tekijä ja toisen näkemys on, että ikä ei ole määräävä tekijä ja ei pystyisi tilastollisilla menetelmillä analysoimaan. yhden vastaajan näkemys on, että valmistajalla on isompi merkitys kuin iällä.

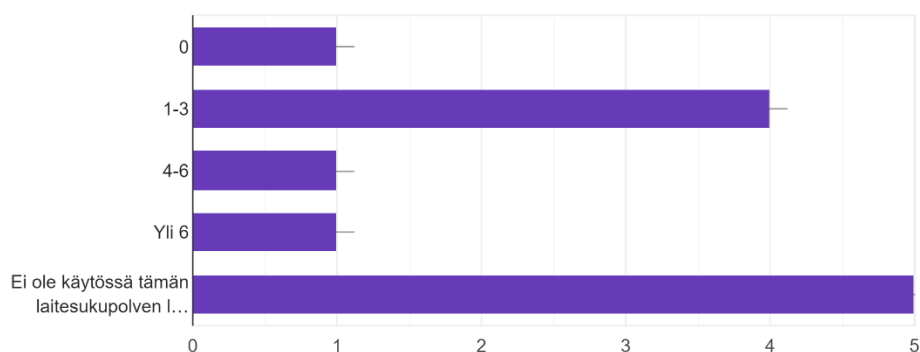
Seuraavaan kolmeen kysymykseen vastattiin valintaruuduilla ja kysymyksissä kysyttiin vuototapausten lukumääriä eri laitesukupolvissa viimeisen 5 vuoden aikana. Laitesukupolvet, joista kysyttiin: -70 ja -80 luvulla valmistetut laitteet, -90 luvulla valmistetut laitteet sekä 2000 luvulla valmistetut laitteet.

-70 ja -80 luvulla valmistettuja laitteita ei ollut viidellä vastaajalla käytössä (41,7 %) (Kuva 16). Yksi vastaajista kertoi, että heillä ei ole ollut vuotoja kyseisen laitesukupolven laitteissa (8,3 %). Neljä vastaajaa kertoi, että heillä on ollut 1–3 kpl:tta vuototapauksia viimeisen viiden vuoden aikana (33,3 %). Yksi

vastaaja kertoi, että vuototapauksia oli ollut 4–6 kpl:tta viimeisen viiden vuoden aikana (8,3 %) ja yhdellä vastanneista oli vuototapauksia kerrottu olevan yli 6 kpl:tta (8,3 %).

Vuototapausten lukumäärä eri laitesukupolvissa viimeisen 5 vuoden aikana. -70...-80 luvulla valmistetut kytkinlaitteet

12 vastausta

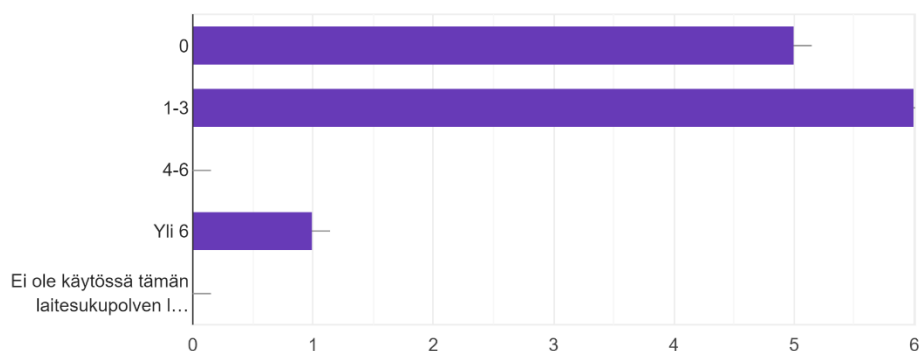


Kuva 16: Vuototapausten lukumäärä -70 ja -80 luvulla valmistetuissa laitteissa.

-90 luvulla valmistetuissa kytkinlaitteissa (Kuva 17) viisi vastaajaa kertoi, että heillä ei ole ollut vuototapauksia tämän sukupolven laitteissa (41,7 %). Kuu-  
della vastaajalla puolestaan oli ollut 1–3 kpl:tta vuototapauksia tämän sukupolven laitteissa (50 %). Yhdellä vastaajista oli ollut yli 6 kpl:tta vuototapauksia (8,3 %).

Vuototapausten lukumäärä eri laitesukupolvissa viimeisen 5 vuoden aikana. -90 luvulla valmistetut kytkinlaitteet.

12 vastausta



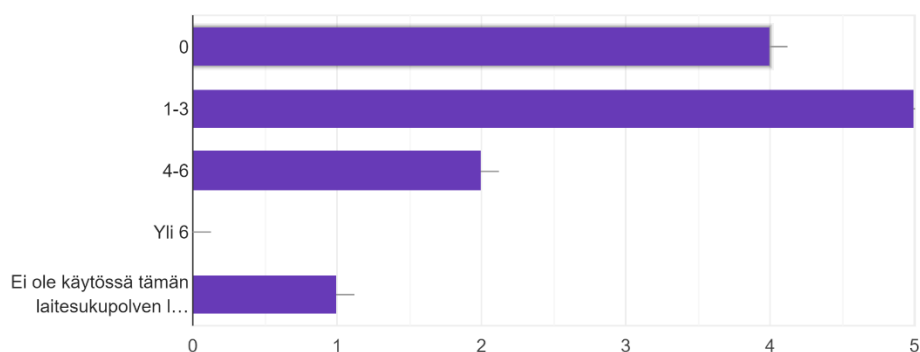
Kuva 17: Vuototapausten lukumäärä -90 luvulla valmistetuissa laitteissa.



2000 luvulla valmistetuissa kytkinlaitteissa (Kuva 18) neljällä vastaajalla ei ole ollut vuototapauksia (33,3 %). Viisi vastaajaa kertoi, että heillä oli ollut 1–3 kpl:tta vuototapauksia (41,7 %). Kahdella vastaajista oli ollut 4–6 kpl:tta vuototapauksia (16,7 %). Yhdellä vastaajista ei ollut lainkaan kyseisen laitesukupolven laiteita käytössä.

Vuototapausten lukumäärä eri laitesukupolvissa viimeisen 5 vuoden aikana. 2000 luvulla valmistetut kytkinlaitteet.

12 vastausta



Kuva 18: Vuototapausten lukumäärä 2000 luvulla valmistetuissa laitteissa.

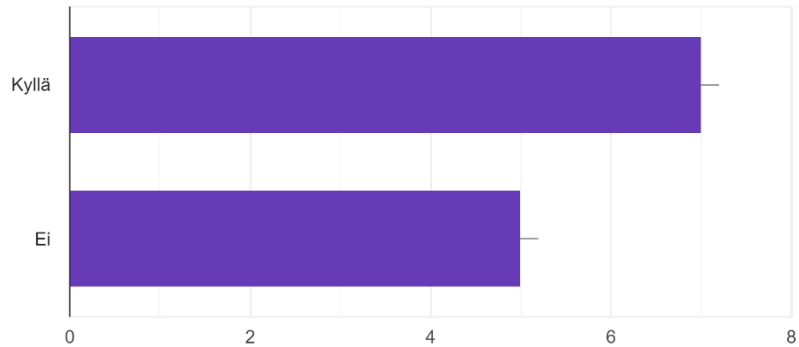
Käyttäjiltä kysyttiin tämän jälkeen, onko heillä tilastoitu kaasuvuotojen vuotomääriä ja minkä verran niitä syntyy per/vuosi, johon he pystyivät vastaamaan vapaasti. Seitsemän kyselyyn vastanneista ilmoitti, että vuotomääriä tilastoidaan jossain määrin, vastauksissa vuotomäärien tarkkuudet vaihtelivat eikä ihan tarkkoja lukuja tullut ilmi. Kielteisesti vastanneista kertoivat, ettei tarkkaa tilastointia ole mutta jonkinlainen käsitys vuotomääristä on.

Seuraavassa kysymyksessä kysyttiin kaasuvuotoihin varautumisesta, kun tarvitaan pikaista korjausta. Kolme vastanneista kertoi, ettei heillä ole mitään erityisvarautumista äkillisen kaasuvuodon korjauksiin, 9 vastanneista oli jossain määrin varautunut kaasuvuotoihin. Käyttäjäyritykset kertovat tukeutuvansa laitevalmistajan korjausresursseihin ja osalla vastanneista on varaosakomponentteja hankittu.

Seuraavassa kysymyksessä haluttiin kartoittaa, onko kytkinlaitteiden käyttäjillä käytössä nykyaikaista jatkuvatoimista "Online" kaasunvalvontajärjestelmää

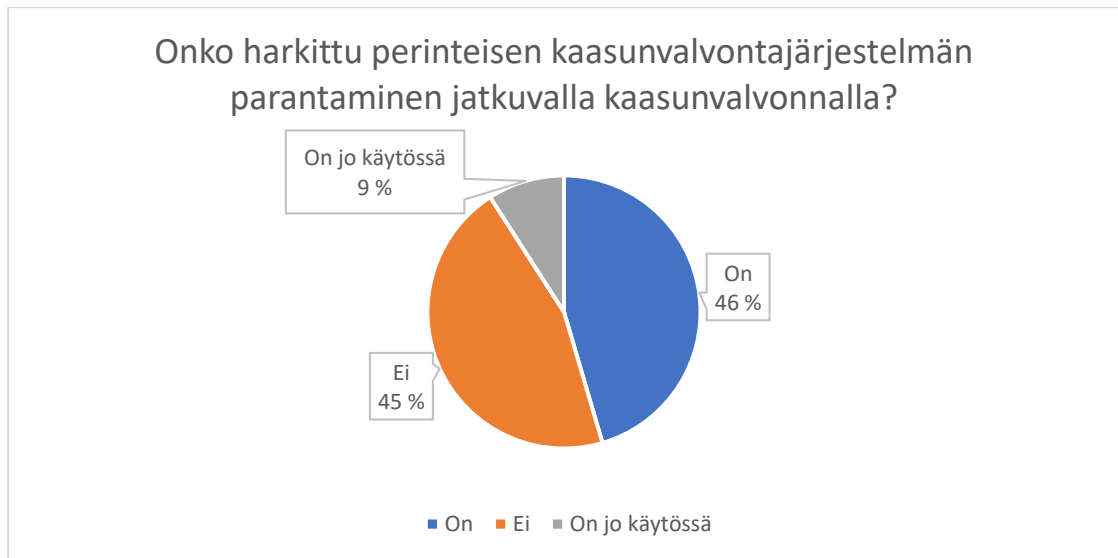
(Kuva 19). Seitsemän (58,3 %) vastanneista kertoi, että heillä on käytössä nykyaikainen jatkuvatoiminen kaasunvalvontajärjestelmä laitteissaan. Viisi (41,7 %) vastanneista puolestaan kertoi, että heillä ei ole käytössä kysyttyä kaasunvalvontajärjestelmää.

Onko käytössänne nykyaikaisia "On-Line" jatkuvatoimisia kaasunvalvontajärjestelmiä?  
12 vastausta



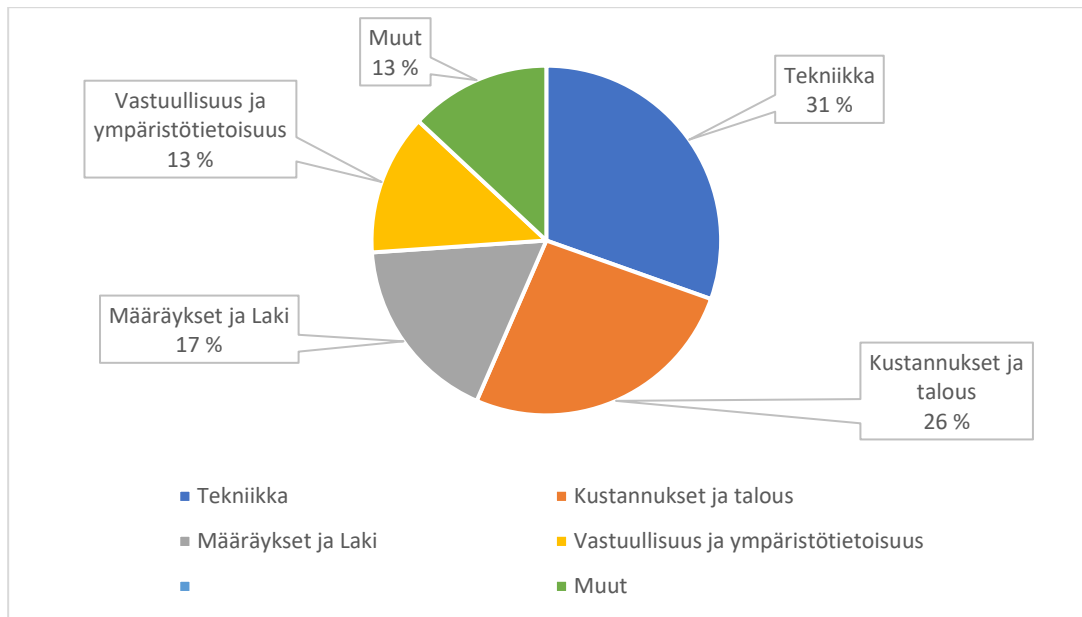
Kuva 19: Nykyaikaisen jatkuvatoimisen kaasunvalvontajärjestelmän käyttö käyttäjillä.

Käyttäjiltä seuraavaksi kysyttiin, onko heidän yrityksissä harkittu perinteisen kaasunvalvontajärjestelmän parantamista jatkuvalla kaasunvalvonnalla, jotta saataisiin kaasupäästöjä vähennettyä (Kuva 20). Kysymykseen vastasi 11 käyttäjää 12:sta. Yleisesti ottaen käyttäjäyritykset on aika kaksijakoisesti miettinyt kaasunvalvontajärjestelmän parantamista. Viisi kyselyyn vastanneista vastasi kieltävästi kysymykseen kaasunvalvontajärjestelmän parantamisesta jatkuvalla kaasunvalvonnalla. Viisi käyttäjistä vastasi, että kaasunvalvontajärjestelmän parantamista on harkittu. Yhdellä vastanneista sellainen on jo käytössä.



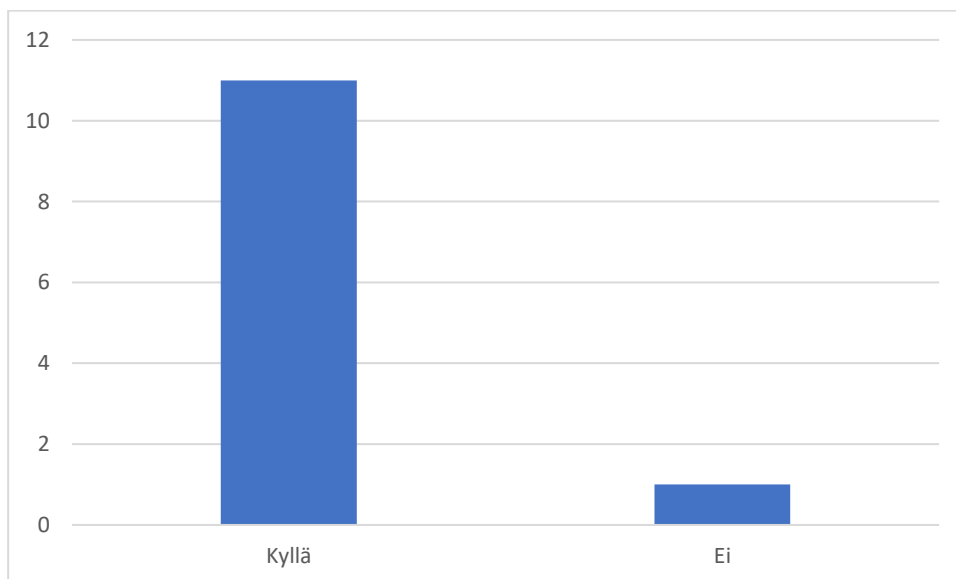
Kuva 20: Käyttäjyrytysten harkinta perinteisen kaasunvalvontajärjestelmän parantamisesta

Seuraavaksi käyttäjiltä kysyttiin, mitkä asiat vaikuttavat päätöksiin investoida ympäristöystävälliseen tekniikkaan, jotta kaasupäästöjä saataisiin vähennettyä (taulukko 21). Kysymykseen vastattiin vapaasti tekstikenttään. Kuusi vastanneista on maininnut, että heidän päätöksensä investoida ympäristöystävälliseen tekniikkaan vaikuttaa kustannukset ja talous (26 %). Seitsemän vastanneista on maininnut, että heidän päätöksensä investoida ympäristöystävälliseen tekniikkaan vaikuttaa tekniikka kokonaisuus (31 %). Neljä vastanneista on maininnut, että määräykset ja lait vaikuttavat investointeihin (17 %). Vastuullisuus ja ympäristötietoisuus vaikuttavat kolmella vastaajalla investointiin (13 %). Vastaajilla oli myös yksittäisiä asioita mainittuna: imagoasiat, vertaispaine alalla, firman arvot, vaikuttavuus (13 %).



Kuva 21: Ympäristöystävällisiin investointeihin vaikuttavat asiat.

Seuraavassa kysymyksessä haluttiin kartoittaa ovatko käyttäjäpuolen yritykset tietoisia saatavilla olevista SF<sub>6</sub>-kaasua korvaavista ympäristöystävällisistä vaihtoehdoista (Kuva 22). Käyttäjät vastasivat, että 11 yritystä (91,7 %) oli tietoisia saatavilla olevista vaihtoehdoista ja yksi yrityksistä (8,3 %) ei ollut tietoinen saatavilla olevista ympäristöystävällisistä vaihtoehdoista.



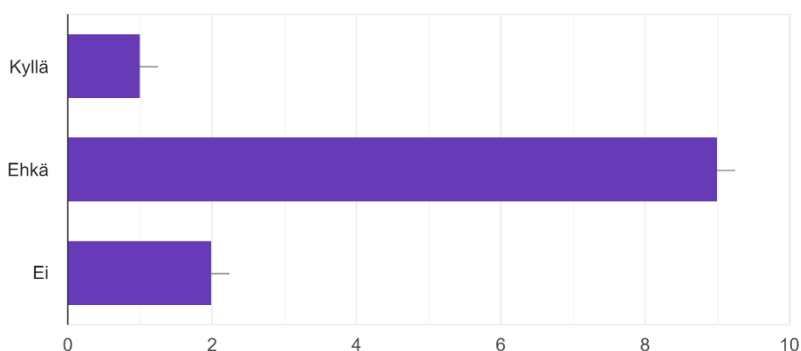
Kuva 22: Tietoisuus SF<sub>6</sub>-kaasua korvaavista ympäristöystävällisistä vaihtoehdoista.

Jatkokysymyksenä edelliseen kysymykseen käyttäjäpuolen yrityksiltä kysyttiin esimerkkejä ympäristöystävällisistä ratkaisuista, jos he olivat vastanneet kysymykseen ”Kyllä”. Kysymykseen vastanneet olivat tietoisia monista eri SF<sub>6</sub>-vapaista vaihtoehtoista mainintoja tuli ilma-, tyhjiö- ja hiilidioksiditeknikoilla toimivista vaihtoehtoista, Osalla vastanneista oli myös tiedossa eri valmistajien eri kaasuseoksia, joilla pystytään korvaamaan SF<sub>6</sub>-kaasu. kaasuseoksista mainittiin fluoriketoni -pohjainen kaasuseos ja G<sup>3</sup> -kaasuseos.

Seuraavissa kahdessa kysymyksessä kysyttiin, onko yritykset harkinneet hankkia lähitulevaisuudessa 1–5 vuoden aikana (Kuva 23) tai 5–10 vuoden aikana (Kuva 24) SF<sub>6</sub>-kaasua korvaavia ympäristöystävällisiä kytkinlaitteita. Vastaus annettiin valintaruuduilla. Seuraavan 1–5 vuoden aikana yksi käyttäjäyrityksistä (8,3 %) harkitsee hankkia ympäristöystävällisiä kytkinlaitteita. Yhdeksän käyttäjäyrityksistä (75 %) olivat epävarmoja ja olivat vastanneet ”Ehkä”. Kaksi käyttäjäyrityksistä (16,7 %) ei harkitse hankkivansa SF<sub>6</sub>-kaasua korvaavia kytkinlaitteita. Seuraavan 5–10 vuoden aikana seitsemän yrityksistä (58,3 %) harkitsee hankkivansa ympäristöystävällisiä kytkinlaitteita, jotka korvaisivat SF<sub>6</sub>-kaasua käyttävät kytkinlaitteet. Neljä yrityksistä (33,3 %) ovat epävarmoja ja olivat vastanneet ”Ehkä”. Yksi vastanneista (8,3 %) ei harkitse hankkivansa SF<sub>6</sub>-kaasua korvaavia kytkinlaitteita.

Oletteko harkinneet hankkia lähitulevaisuudessa (1 - 5 vuoden aikana) ympäristöystävällistä SF<sub>6</sub> kaasua korvaavaa tekniikkaa hyödyntäviä kytkinlaitteita?

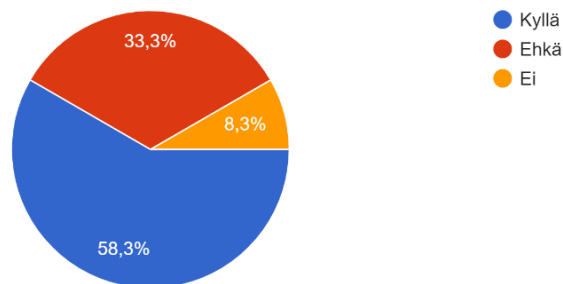
12 vastausta



Kuva 23: Käyttäjäyritysten harkinta hankkia 1–5 vuoden aikana ympäristöystävällistä SF<sub>6</sub>-kaasua korvaavaa tekniikkaa kytkinlaitteissa.

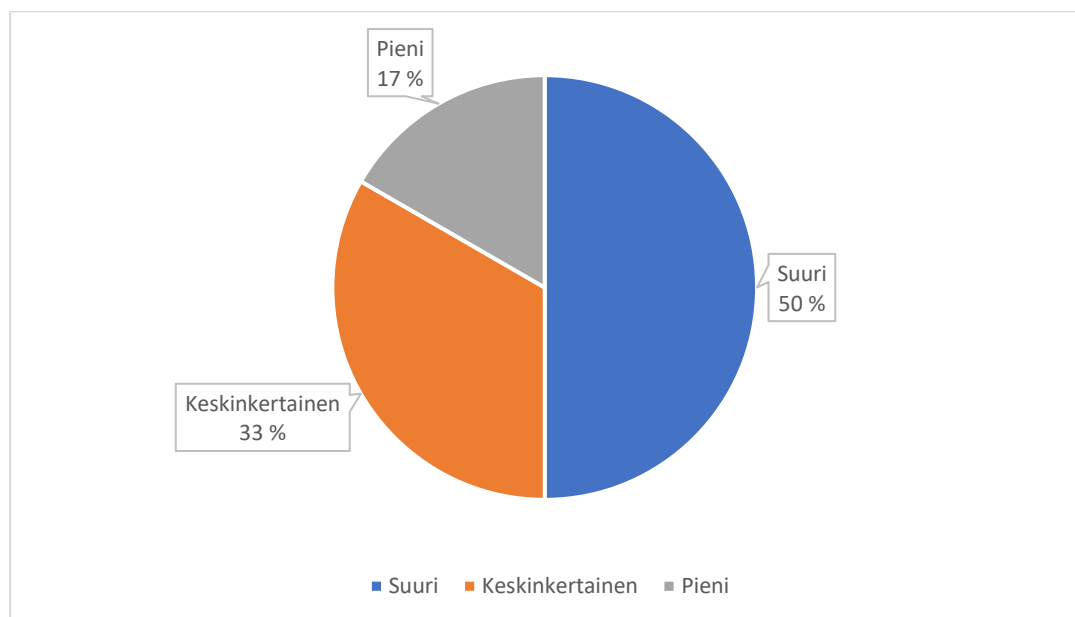
Oletteko harkinneet hankkia lähitulevaisuudessa (5 - 10 vuoden aikana) ympäristöystävällistä SF<sub>6</sub> kaasua korvaavaa tekniikkaa hyödyntäviä kytkinlaitteita?

12 vastausta



Kuva 24: Käyttäjyritysten harkinta hankkia 5–10 vuoden aikana ympäristöystävällistä SF<sub>6</sub>-kaasua korvaavaa tekniikkaa kytkinlaitteissa.

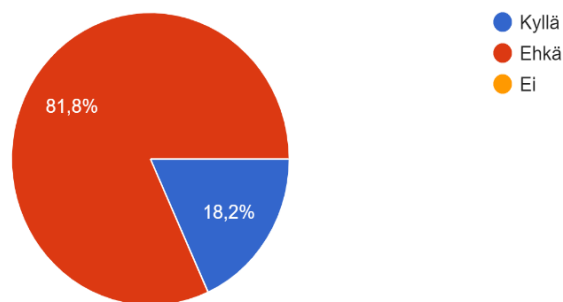
Seuraavassa kysymyksessä käyttäjäpuolen yrityksiltä kartoitettiin, minkälaisen painoarvon he antavat ympäristöystävällisyydelle uusissa laitehankinnoissa (Kuva 25). Vastaukset tehtiin valintaruuduilla. Kuusi käyttäjäyrityksistä oli vastanneet, että painoarvo ympäristöystävällisyydelle uusissa laitehankinnoissa on ”Suuri” (50,0 %). Neljällä vastanneista käyttäjäyrityksistä painoarvo on ”Keskinkertainen” (33,3 %). Kahdella vastanneista yrityksistä ympäristöystävällisyyden painoarvo uusissa laitehankinnoissa on ”Pieni” (16,7 %).



Kuva 25: Ympäristöystävällisyyden painoarvo uusissa laitehankinnoissa.

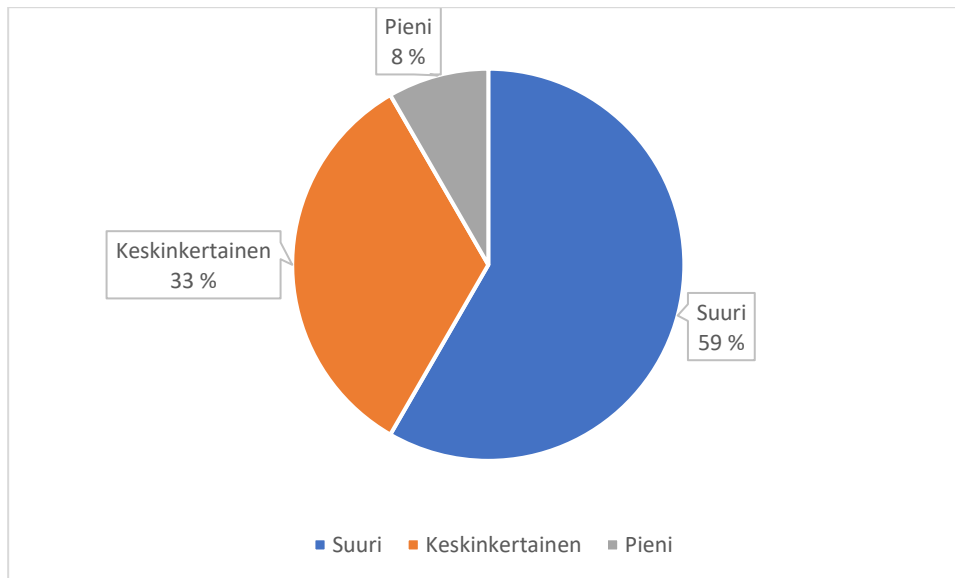
Seuraavassa kysymyksessä haluttiin kartoittaa yritysten asennetta Pohjois-Suomessa käytettäviin kytkinlaitteisiin. Kysymyksessä kysyttiin voisiko yritys harkita ottaa käyttöön Pohjois-Suomen olosuhteissa erilaista tekniikkaa käytäviä kytkinlaitteita kuin Etelä-Suomessa päästöjen pienentämiseksi (Kuva 26). Yksi 12:sta käyttäjäyrityksestä jätti vastaamatta kysymykseen, vastaukset tehtiin valintaruutuihin. Kaksi käyttäjäyritystä oli vastanneet ”Kyllä” (18,2 %), että voisivat harkita ottaa käyttöön eri tekniikalla toimivia kytkinlaitteita Pohjois-Suomen olosuhteissa. Yhdeksän yritystä oli epävarmoja ja olivat vastanneet ”Ehkä” (81,8 %). Yksikään yritys ei vastannut kieltävästi kysymykseen.

Voisitteko harkita ottaa käyttöön Pohjois - Suomessa erilaista tekniikkaa käytäviä kytkinlaitteita kuin Etelä – Suomessa kasvihuonekaasupäästöjen pienentämiseksi?  
11 vastausta



Kuva 26: Käyttäjäyritysten harkinta eri tekniikasta Pohjois-Suomeen kuin Etelä-Suomeen kasvihuonepäästöjen pienentämiseksi.

Seuraavassa kysymyksessä haluttiin kartoittaa käyttäjäpuolen yritysten asennetta ympäristöystävällisiin ratkaisuihin huollossa tai modernisoinnissa vanhojen kytkinlaitteiden ylläpidossa (Kuva 27). Seitsemän (58,3 %) käyttäjäyritystä olivat vastanneet, että ympäristöystävällisyydelle annetaan suuri painoarvo yrityksen huollossa ja modernisoinnissa. Neljä (33,3 %) käyttäjäyritystä olivat vastanneet, että painoarvo on keskinkertainen. Yksi (8,3 %), käyttäjäyritys oli vastannut, että heille ympäristöystävällisen ratkaisun painoarvo on pieni huollossa ja modernisoinnissa.



Kuva 27: Ympäristöystävällisyyden painoarvo vanhojen kytkinlaitteiden huollossa ja modernisoinnissa.

Viimeisessä kysymyksessä pyydettiin numeroimaan tärkeysjärjestykseen valinta kriteerejä, kun valitaan SF<sub>6</sub>-kaasua käyttävän tekniikan tai korvaavan ympäristöystävällisen tekniikan välillä. Yrityksiä pyydettiin numeroimaan mm. hinta, luotettavuus, elinkaarenaikaiset kustannukset, ympäristöystävällisyys, muut valintakriteerit. Vastaukset tehtiin vapaaseen tekstikenttään, johon pystyi lisäämään muita valintakriteerejä. Yksi yrityksistä ei vastannut kysymykseen. Käyttäjäyritykset vastasivat, että luotettavuus on selkeästi käyttäjille tärkein valintakriteeri valittaessa kytkinlaite tekniikkaa. Hinta ja elinkaarikustannukset ovat yrityksille toiseksi tärkeimmät valintakriteerit. Ympäristöystävällisyys on valintakriteerinä neljänneksi tärkein. Osa kyselyyn vastanneista yrityksistä olivat maininneet muiksi valintakriteereiksi mm. fyysinen koko ja logistiset järjestelyt. Alla taulukot, joista näkee miten käyttäjäyritysten valintakriteerien tärkeysjärjestyksen (taulukko 8) ja kokonaispistemäärät valintakriteereille (taulukko 9).



Taulukko 8: Valintakriteerien tärkeysjärjestys valittaessa perinteisen SF6 tekniikan tai ympäristöystävällisen tekniikan välillä. 1= Tärkeä 5= Vähiten tärkeä.

	Hinta	Luotettavuus	Elinkaarikus- tannukset	Ympäristöystä- vällisyys	Muut valinta- kriteerit
Vastaaja 1	-	-	-	-	-
Vastaaja 2	4	1	2	3	5
Vastaaja 3	3	2	1	4	5
Vastaaja 4	2	1	3	4	5
Vastaaja 5	2	1	4	3	5
Vastaaja 6	1	2	3	4	5
Vastaaja 7	4	1	3	2	5
Vastaaja 8	3	2	1	4	5
Vastaaja 9	1	2	3	5	4
Vastaaja 10	3	1	4	2	5
Vastaaja 11	3	1	4	2	5
Vastaaja 12	3	2	1	4	5
	<b>29</b>	<b>16</b>	<b>29</b>	<b>37</b>	<b>54</b>

Taulukko 9: Pienin lukema kertoo mikä on tärkein valintakriteeri (Luotettavuus 16) valittaessa SF<sub>6</sub>-kaasua käyttävän tekniikan ja ympäristöystävällisen tekniikan välillä.

Hinta	<b>29</b>
Luotettavuus	<b>16</b>
Elinkaarikustannukset	<b>29</b>
Ympäristöystävällisyys	<b>37</b>
Muut valintakriteerit	<b>54</b>

## 9 TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimuksen tarkoituksena oli kartoittaa kyselytutkimuksella, minkälaiset asenteet vallitsevat energiateollisuudessa eri yrityksillä ja millaisia SF<sub>6</sub>-kaasupäästöjen vähentämismahdollisuuksia voidaan löytää kytkinlaitteiden valmistaja- ja käyttäjäyritysten toimintatapojen sekä käytössä olevan tekniikan tarkastelulla. Tutkimuskohteeksi valittiin SF<sub>6</sub>-kaasua kaasueristeiset kytkinlaitteet, joissa käytettävän kaasun määrä on kasvanut viime vuosina merkittävästi (Kuva 4). SF<sub>6</sub>-kaasu on voimakas kasvihuonekaasu, mutta sähköisissä kytkinlaitteissa käyttöä ei ole rajoitettu Euroopassa. EU:n F-kaasusetuksen uusiminen on käynnissä (European Commission 2020), ja siinä yhteydessä EU:n Komissio tarkastelee, tulisiko SF<sub>6</sub>:n käytölle joissain tapauksissa asettaa rajoituksia. Tällä voitaisiin kannustaa ympäristöystävällisten vaihtoehtojen teknistä kehittämistä. Tutkimuksessa kartoitettiin myös tällä hetkellä ja lähitulevaisuudessa saatavilla olevat ympäristöystävälliset vaihtoehdot SF<sub>6</sub>-kaasulle.

Kyselytutkimus toteutettiin sähköisellä kyselylomakkeella, joka oli osaltaan haastava tapa kerätä vastauksia aiheen kysymyksiin, vaikkakin kyselyn laatijalle sähköinen kyselylomake on varsin miellyttävä tapa tehdä kyselyitä ja kerätä vastauksia.

Haasteiksi osoittautui muun muassa riittävä vastauksien määrä, koska kysely lähetettiin vastaajille ajankohtana, jolloin yrityksissä vietettiin vielä kesälomia ja se viivästytti vastausten saamista. Riittävän suuren vastausaktiivisuuden saavuttamiseksi, kyselylomake jouduttiin lähettämään useampaan kertaan yrityksille. Riittävän suurella vastausaktiivisuudella saadaan tuloksiin lisää luotettavuutta. Toiseksi haasteeksi voisi mainita, että joissakin yrityksissä sähköpostiin lähetettävä kyselylomake voidaan tulkita tiedon kalasteluksi, jota yritykset haluavat välttää ja se on voinut olla osa syy siihen, ettei kaikki yritykset vastanneet kyselyihin. Kolmanneksi haasteeksi voisi mainita, kyselyn vastaajat eivät välttämättä halua vastata kyselyihin, koska yritykset saavat paljon erilaisia sähköpostikyselyitä, ne voidaan kokea tylsiksi ja aikaa vieviksi, vaikka kyselyyn olisikin helppo ja nopea vastata. Osa tämän kyselytutkimuksen kysymyksistä on saattanut olla yrityksille haastavia vastata, ja siksi joissakin kysymyksissä yksittäiset yritykset ovat jättäneet vastaamatta.

Valmistajakyselyyn vastanneilla yrityksillä on vastausten perusteella selkeät suunnitelmat uuden tekniikan käyttöönottoon sekä kehittämiseen. Yritykset pyrkivät saamaan markkinoille kaikille jännitetasoilla toimivia ympäristöystävällisiä ratkaisuja SF<sub>6</sub>-kaasua käyttävien kytkinlaitteiden tilalle. Useilla yrityksillä on jo kehitettynä SF<sub>6</sub>-kaasun korvaavat kaasuseokset, mutta ne eivät vielä välttämättä pysty toimimaan samoissa olosuhteissa kuin SF<sub>6</sub>-kytkinlaitteet. (Taulukko 4).

Valmistajilla myös saatavilla vuodonseurantajärjestelmiä (kaasunvalvontajärjestelmä), joilla kaasupäästöjä voidaan vähentää (Kuva 19). Käyttäjäkyselyssä kävi ilmi, että viidellä (41,7 %) vastaajista ei ollut käytössä nykyaikaista ”Online” vuodonseurantajärjestelmää. Käyttäjiltä myös kysyttiin ovatko he harkinneet käytössä vuodonseurantajärjestelmän parantamista ja viisi yritystä (45 %) oli vastannut kieltävästi, vastauksissa ei käynyt ilmi miksi he eivät ole harkinneet järjestelmän hankkimista. Vuodonseurantajärjestelmät voisi olla yksi parannuskohde käyttäjäyrityksille kaasupäästöjen vähentämiseksi. Mielestäni kannattaisi tehdä jatkotutkimusta, miksei kaikki käyttäjät ole harkinneet tai ottanut käyttöön näitä järjestelmiä.

Kyselyissä vastaajien mukaan kaasuvuotojen yleisimmiksi syiksi ilmeni, laitteiden asennuksessa epäpuhtaudet ja naarmut, käyttöiän aikana yleisimmiksi syyksi mainittiin staattiset tiivisteet, korroosio, valuvika ja akselitiivistys. Vuotojen lukumäärää katsottaessa (Kuva 16, Kuva 17, Kuva 18), voidaan päätellä että, vuototapaukset eivät ole kovin yleisiä. Kaasupäästöjen vuosittainen määrä vaihtelee (Taulukko 2, Kuva 5). Laitteiden asennus ja käyttöönotto näyttäisi olevan laadukasta, koska vuototapausten lukumäärä on suhteellisen pieni. Kytkinlaitteiden ikä ei näyttäisi olevan tämän tutkimuksen mukaan syy vuotoihin, vuototapaukset jakautuivat vastauksista päätellen suhteellisen tasaisesti ikäluokkien kesken. Vuotojen syitä olisi aiheutta tutkia myös laajemmalla kartoituksella, jossa olisi mukana koko Suomen tai Pohjois-Euroopan laitekanta.

Valmistaja puolen yrityksillä kytkinlaitteiden huollon ja ylläpidon toimintatavat näyttäisivät olevan kunnossa, enemmänkin joillakin käyttäjäpuolen yrityksillä olisi ehkä parannettavaa, koska kaikilla ei ollut varautumista kaasuvuotoihin,

vaikka valmistajayrityksillä olisi tähän keinot. Suurimmalta osalta silti kaasuvuotoihin varautuminen katsottiin olevan tärkeä asia, jossa valmistaja- ja käyttäjäyritykset toimivat yhdessä ja ovat laatineet sopimuksia kyseisiä tilanteita varten. Olisi hyvä tehdä tarkempi tutkimus minkälaiset ovat yritysten toimintatavat kaasuvuoto tapauksissa.

Käyttäjäyritysten investointipäätökseen (Kuva 21) vastausten perusteella vaikuttaa suurimmaksi osaksi tekniikka ja kustannukset. Ympäristön ja vastuullisuuden osuutta olisi odottanut suuremmaksi. Tämä siksi, koska vastaajat olivat suurimmalta osalta tietoisia korvaavista ympäristöystävällisistä ratkaisuista sekä suurimmaksi osaksi yrityksiä oli harkinnut hankkivansa ympäristöystävällistä tekniikkaa tulevaisuudessa. Lisäksi puolet yrityksistä oli vastannut ympäristöystävällisyydellä olevan suuri painoarvo uusissa laitehankinnoissa. Lainsäädännön ja määräysten vaikutus investointipäätökseen oli mainittuna monella vastaajalla, joten voidaan olettaa, että nykyistä että tulevaa lainsäädäntöä ja määräyksiä seurataan hyvinkin tarkasti, myös ympäristöystävällisten kytkinlaitteiden hankinnassa.

Valmistajayritykset kertoivat vastauksissaan, että SF<sub>6</sub>-kaasulle korvaavia laitteita on saatavilla jopa -50°C olosuhteisiin. Osa korvaavista tekniikoista soveltuu vain sisäkäyttöön pohjoisissa olosuhteissa. Korvaavaan tekniikkaan valitun kaasun ominaisuudet rajoittavat käyttölämpötilaa. Kolmella valmistajalla on tällä hetkellä saatavilla SF<sub>6</sub>-kaasulle korvaavaa tekniikkaa 145 kV jännitetasoon saakka. (Borges, 2018, 46–58.) Toinen kyselyyn vastanneista valmistajista kertoi vastauksessaan, että korvaavan tekniikan kehitystyö korkeammille jännitetasoille on käynnissä.

Vastauksien perusteella suurella osalla käyttäjäyrityksistä (81,8 %) on epävarmuutta erilaisesta tekniikasta Pohjois-Suomen olosuhteisiin, kun harkitaan kytkinlaite tekniikan hankintaa. Vastaajista 18,2 % voisi ottaa käyttöön erilaista tekniikkaa Pohjois-Suomen olosuhteissa, kasvihuonepäästöjen pienentämiseksi. Epävarmuuteen voi vaikuttaa, että suurin osa yrityksistä toimii pääosin Etelä-Suomessa.

## 10 YHTEENVETO

Tutkimuksessa tavoitettiin varsin kattavasti Suomen energiateollisuus alalla toimivia yrityksiä, näin saatiin kartoitettua luotettavasti tämänhetkistä tilannetta asenteiden ja teknisten ratkaisuiden osalta SF<sub>6</sub>-päästöjen vähentämiseksi tällä hetkellä ja tulevaisuudessa.

SF<sub>6</sub>-korvaava tekniikkaa alkaa olemaan saatavilla usealla valmistajalla. Lisäksi käyttäjien tietoisuus ja kiinnostus ympäristöystävälliseen tekniikkaan todettiin tutkimuksessa olevan korkealla tasolla. Uusissa laitehankinnoissa kuitenkin kustannusten vaikutus vaikuttaa olevan ympäristöasioiden edellä. Uusi ympäristöystävällinen tekniikka on luonnollisesti kustannustasoltaan hieman korkeampi, toisaalta käyttäjillä ei ole riittävästi kokemusta uuden tekniikan luotettavuudesta. Käynnissä olevan f-kaasuasetuksen uudistaminen, tulee todennäköisesti ohjaamaan ympäristöystävällisten ratkaisujen käyttöönottoa tulevaisuudessa.

Käytössä olevan SF<sub>6</sub>-kaasua käyttävän laitekannan päästöjen vähentämiseen löytyy tutkimuksen perusteella myös olemassa olevia ratkaisuja mm. vuodonseurantajärjestelmän parantaminen, jolla mahdollinen kaasuvuoto saadaan tietoon jo alkuvaiheessa.

Tutkimuksella herätettiin energiateollisuuden yrityksissä kiinnostusta ympäristöasioihin laitehankintojen sekä kunnossapidon osalta. Asenne muutoksilla on mahdollista vaikuttaa kaasupäästöjen vähentämiseen.

Tutkimuksen perusteella odottaisi käyttäjä- ja valmistajayritysten tiiviimpää yhteistyötä päästöjen vähentämiseksi, keinot ovat kuitenkin käytettävissä molemmilla osapuolilla. Yritykset voisivat tehdä yhteistyöprojekteja, joilla saataisiin toimintatapoja/tekniikkaa parannettua ja sitä kautta kaasupäästöjä vähennettyä. Tämä voi tietysti olla vaikeaa toteuttaa, koska yritysten välillä vallitsee kilpailu niin valmistajilla kuin käyttäjilläkin. Tällä hetkellä SF<sub>6</sub>-kaasun määrä kasvaa Suomessa vuosittain ja tämä lisää riskiä kaasupäästöjen lisääntymiseen. Uudella tekniikalla saataisiin näin ollen parhaiten päästöjä vähennettyä. Kyselytutkimusta tehtäessä ei vastaavanlaisia tutkimuksia Suomesta ei löytynyt johon olisi pystynyt vertamaan tutkimustuloksia.

## LÄHTEET

ABB. 2012. SF6 Kaasueristeinen kytkinlaitos ELK-04 (520). Käyttöohjekirja.

ABB. 2014. Työturvallisuuden hyvät käytännöt. Ohjekirja.

ABB. 2017. High Voltage Products, Live Tank Breaker AirPlus™, Ympäristöystävällinen kaasukatkaisija. Esite.

ABB. 2020. Ekotehokas vaihtoehto SF<sub>6</sub>-kasvihuonekaasuun pohjautuville suurjännitekatkaisijoille. WWW-Dokumentti. Saatavilla: <https://new.abb.com/news/fi/detail/61852/ekotehokas-vaihtoehto-sf6-kasvihuo- nekaasuun-pohjautuville-suurjannitekatkaisijoille> [viitattu 28.11.2020]

Beroual, A., Haddad, A. 2017. Recent Advances in the Quest for a New Insulation Gas with a Low Impact on the Environment to Replace Sulfur Hexafluoride (SF6) Gas in High-Voltage Power Network Applications. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/8/1216/htm>. [viitattu 28.11.2020]

Burges, K., Döring, M., Hussy, C., Rhiemeier, J-M., Franck, C., Rabie, M. 2018. Concept for SF6-free transmission and distribution of electrical energy Final report. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.umweltbu-desamt.de/sites/default/files/medien/2503/dokumente/final-report-sf6\\_en.pdf](https://www.umweltbu-desamt.de/sites/default/files/medien/2503/dokumente/final-report-sf6_en.pdf) [viitattu 8.11.2020]

Burges, K., Warncke, K., Gschrey, B. 2020. Briefing paper: SF6 and alternatives in electrical switchgear and related equipment. Öko-Recherche GmbH. PDF-Dokumentti. Saatavissa: [https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/0106/2020\\_03\\_25\\_sf6\\_and\\_alternatives\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/0106/2020_03_25_sf6_and_alternatives_en.pdf) [viitattu 27.11.2020]

Electrical4U. 2020. SF6 Gas or Sulfur Hexafluoride Gas Properties. WWW-Dokumentti. Päivitetty 20.10.2020. Saatavissa: <https://www.electrical4u.com/electrical-engineering-articles/switchgear/> [viitattu 1.11.2020]

Elovaara, J., Haarla, L. 2011. Sähköverkot II. Helsinki: Otatieto.

EPA. 2018. Overview of SF6 Emissions Sources and Reduction Options in Electric Power Systems. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-08/documents/12183\\_sf6\\_partnership\\_overview\\_v20\\_release\\_508.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-08/documents/12183_sf6_partnership_overview_v20_release_508.pdf) [viitattu 30.11.2020]

Euroopan neuvoston ja parlamentin asetus 517/2014.

European Commission. 2020. Report from the Commission. assessing the availability of alternatives to fluorinated greenhouse gases in switchgear and related equipment, including medium-voltage secondary switchgear. PDF-Dokumentti. [https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/news/docs/c\\_2020\\_6635\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/news/docs/c_2020_6635_en.pdf) [viitattu 11.11.2020]

General Electrics. 2019. g3, the SF<sub>6</sub>-free solution in practice. <https://www.think-grid.org/g3-sf6-free-solution-practice>. [viitattu 28.11.2020]

General Electrics. 2020. Gas-insulated substations are switching to g<sup>3</sup>, the SF<sub>6</sub>-free solution. <https://www.gegridsolutions.com/press/gepress/sf6-free.htm>. [viitattu 28.11.2020]

Heliö, R. 2020. Rikkiheksafluoridin (SF<sub>6</sub>) käyttö sähkönjakelulaitteissa – yhteenveto verkonhaltijoille tehdystä kyselystä, tilastovuosi 2019. Adato Energia Oy. PDF-Dokumentti. Saatavissa: [https://energia.fi/files/4845/SF6-kaasu\\_2019.pdf](https://energia.fi/files/4845/SF6-kaasu_2019.pdf) [viitattu 1.11.2020]

Hyrenbach, M., Hintzen, P., Müller, P., Owens J. 2015. Alternative gas insulation in medium-voltage switchgear. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://ci-red.net/publications/cired2015/papers/CIRE2015\\_0587\\_final.pdf](http://ci-red.net/publications/cired2015/papers/CIRE2015_0587_final.pdf). [viitattu 28.11.2020]

Mahdizadeh, N. 2020. High-voltage AirPlus™ switchgear for eco-efficiency. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/19\\_mahdizadeh\\_navid\\_-\\_hvdc\\_workshop\\_abb\\_eco\\_switchgear.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/19_mahdizadeh_navid_-_hvdc_workshop_abb_eco_switchgear.pdf). [viitattu 28.11.2020]

Pan, B., Wang, G., Shi, H., Shen, J., Ji, H-K., Kil, G-S. 2020. Green Gas for Grid as an Eco-Friendly Alternative Insulation Gas to SF<sub>6</sub>. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/7/2526/htm>. [viitattu 28.11.2020]

Sakki, H. 2019. Kaasukatkaisijan huolto-ohje. Insinööriyö, Metropolia ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/170497> [viitattu 1.11.2020]

Siemens. 2020. Siemens Energy Blue High-Voltage Products, Sustainable switchgear technology for a CO<sub>2</sub> neutral future. PDF-Dokumentti. Saatavilla: <https://assets.siemens-energy.com/siemens/assets/api/uuid:1e83b691-89a5-42f0-a42a-8d70c62832b7/2020-08--siemens-energy-blue-portfolio-customer-presentation-en-.pdf> [viitattu 27.11.2020]

Solvay. 2006. Special Chemicals Sulphur Hexafluoride. PDF-dokumentti. [https://www.solvay.com/sites/g/files/srpend221/files/2018-08/SF6-Sulphur-Hexafluoride\\_0.pdf](https://www.solvay.com/sites/g/files/srpend221/files/2018-08/SF6-Sulphur-Hexafluoride_0.pdf). [viitattu 1.11.2020]

SYKE. 2014. Fluorattujen kasvihuonekaasujen ominaisuudet ja päästöt. WWW-Dokumentti. Päivitetty 30.11.2020. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/Ilmasto\\_ja\\_ilma/Kasvihuonekaasupaastojen\\_raportointi\\_ja\\_seuranta/Kasvihuonekaasupaastojen\\_seuranta\\_Suomessa/Fkaasujen\\_ominaisuudet\\_ja\\_paastot](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/Ilmasto_ja_ilma/Kasvihuonekaasupaastojen_raportointi_ja_seuranta/Kasvihuonekaasupaastojen_seuranta_Suomessa/Fkaasujen_ominaisuudet_ja_paastot). [viitattu 30.11.2020]

SYKE. 2017. Fluoratut kasvihuonekaasut. WWW-Dokumentti. Päivitetty 30.11.2020. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/fkaasut> [viitattu 30.11.2020]

TUKES. 2016. Uusi pätevyysasetus kylmäalalle. WWW-Dokumentti. Saatavissa: <https://tukes.fi/-/uusi-patevyysasetus-kylmaalal-1>. [viitattu 1.11.2020]

Valtioneuvoston asetus fluorattuja kasvihuonekaasuja tai otsonikerrosta heikentäviä aineita sisältävien laitteiden käsittelijän pätevyysvaatimuksista 766/2016.



## Kuvaluettelo

Kuva 1: Rikkiheksafluoridimolekyyli; kuusi fluoriatomia kiinnittyneinä yhteen rikkiatomiin. Solvay. 2006. Special Chemicals Sulphur Hexafluoride. Saatavissa: [https://www.solvay.com/sites/g/files/srpend221/files/2018-08/SF6-Sulphur-Hexafluoride\\_0.pdf](https://www.solvay.com/sites/g/files/srpend221/files/2018-08/SF6-Sulphur-Hexafluoride_0.pdf) [viitattu 1.11.2020]

Kuva 2: SF<sub>6</sub>-kaasun hajoamistuotteita. 2014. Työturvallisuuden hyvät käytännöt. Ohjekirja.

Kuva 3: Sähköverkon haltijoiden SF<sub>6</sub>-kaasumäärät Suomessa laiteryhmittäin (2019). RIKKIHEKSAFLUORIDIN (SF<sub>6</sub>) KÄYTTÖ SÄHKÖNJAKELULAITTEISSA – yhteenveto verkonhaltijoille tehdystä kyselystä, tilastovuosi 2019. Heliö, R. 2020. Adato Energia Oy. PDF-Dokumentti. Saatavissa: [https://energia.fi/files/4845/SF6-kaasu\\_2019.pdf](https://energia.fi/files/4845/SF6-kaasu_2019.pdf) [viitattu 1.11.2020]

Kuva 4: Sähköverkon haltijoiden SF<sub>6</sub>-kaasun kokonaismäärät Suomessa vuosien 2003–2019 välisenä aikana (kg). RIKKIHEKSAFLUORIDIN (SF<sub>6</sub>) KÄYTTÖ SÄHKÖNJAKELULAITTEISSA – yhteenveto verkonhaltijoille tehdystä kyselystä, tilastovuosi 2019. Heliö, R. 2020. Adato Energia Oy. PDF-Dokumentti. Saatavissa: [https://energia.fi/files/4845/SF6-kaasu\\_2019.pdf](https://energia.fi/files/4845/SF6-kaasu_2019.pdf) [viitattu 1.11.2020]

Kuva 5: Energiateollisuus ry:n arvioimat sähkönsiirron ja jakelun SF<sub>6</sub>-kaasun kokonaispäästöt Suomessa vuosien 2003–2019 välisenä aikana (kg). RIKKIHEKSAFLUORIDIN (SF<sub>6</sub>) KÄYTTÖ SÄHKÖNJAKELULAITTEISSA – yhteenveto verkonhaltijoille tehdystä kyselystä, tilastovuosi 2019. Heliö, R. 2020. Adato Energia Oy. PDF-Dokumentti. Saatavissa: [https://energia.fi/files/4845/SF6-kaasu\\_2019.pdf](https://energia.fi/files/4845/SF6-kaasu_2019.pdf) [viitattu 1.11.2020]

Kuva 6: Kuvassa esimerkki kaasueristeisestä kytkinlaitteistosta. Malli: ELK-04. Hitachi ABB Power Grids. Saatavissa: <https://www.hitachiabb-power-grids.com/fi/fi/offering/product-and-system/high-voltage-switchgear-and-breakers/gas-insulated-switchgear/gis-for-72-5-1200-kv/gis-elk-04-up-to-170-kv> [viitattu 1.11.2020]

Kuva 7: SF<sub>6</sub> kaasueristeisen kytkinlaitteen leikkauskuva. Keltainen väri kuvaa SF<sub>6</sub> kaasua kytkinlaitoksen sisällä. 1 Kiskoerotin / maadoituskytkin, 2 Katkaisija, 3 Virtamuuntaja, 4 Jännitemuuntaja, 5 Johtoerotin. 6 Pikamaadoituskytkin, 7 Kaapelipääte. ABB. Käyttöohjekirja SF<sub>6</sub> Kaasueristeinen kytkinlaitos ELK-04 (520). ABB. 2009. PDF-Dokumentti. Saatavissa: Gas-insulated Switchgear ELK-04 - Modular System up to 170 kV, 4000 A, 63 kA (abb.com)

Kuva 8: Katkaisijan rakenne 1. tilaeristin, 2. virtatie, 3. virtamuuntaja, 4. sammutuskammio, 5. ohjaimen kiinnityslevy, 6. kääntöläpivienti, 7. ohjain. ABB. 2012. Käyttöohjekirja SF<sub>6</sub> Kaasueristeinen kytkinlaitos ELK-04 (520)

Kuva 9: Sammutuskammion rakenne 1. kytkintanko, 2. puhallussylinteri, 3. lämmityskammio, 4. pääkoskettimet, 5. valokaarikoskettimet, 6. apusuutin, 7. kammioeristin, 8. eristyssuutin, 9. kiinteä kosketin. ABB. 2012. Käyttöohjekirja SF<sub>6</sub> Kaasueristeinen kytkinlaitos ELK-04 (520)

Kuva 10: Yhdistetty erotin ja maadoituserotin. Rakenne: 1. tilaeristin, 2. johdin, 3. maadoituserottimen vastakosketin, 4. kytkentäkosketin, 5. Erottimen vastakosketin. ABB. 2012 Käyttöohjekirja SF6 Kaasueristeinen kytkinlaitos ELK-04 (520)

Kuva 11: SF<sub>6</sub>-kaasueriteisen kytkinlaitoksen tyypillinen kaasutilojen jako. ABB. Product Brochure. Gas-insulated Switchgear ELK-04 Modular System up to 170 kV, 4000 A, 63 kA. 2009. PDF-Dokumentti. Saatavissa: [Gas-insulated Switchgear ELK-04 - Modular System up to 170 kV, 4000 A, 63 kA \(abb.com\)](https://www.abb.com/products/switchgear/ELK-04-Modular-System-up-to-170-kV-4000-A-63-kA) [1.11.2020]

Kuva 12: Vertailukaasutilalla varustettu tiheysvahti. ABB. Instructions for Operation and Maintenance. Density Monitors. Publication: H70007E Rev A

Kuva 13: Tiheysvahti (vasen) ja SF<sub>6</sub>-kaasutiheysanturi (oikea). Trafag. 2020. Saatavilla: <https://www.trafag.co.uk/en/products/sf6-gas-density-monitors-and-sensors/>. [viitattu 1.11.2020]

Kuva 14: Hybridi-kaasutiheysvahti. ABB. 2012. SF<sub>6</sub> Kaasueristeinen kytkinlaitos ELK-04 (520). Käyttöohjekirja.

Kuva 15: Esimerkki jatkuvan vuodonseurantajärjestelmän käyttöliittymästä. Järjestelmällä voi tarkastella trendiseurantoja. Järjestelmä tallentaa tiheysanturin keräämän tiedon ja laskee trendiseurannan arvoja, joita voi tarkastella käyttöliittymällä. Esim. Vuotoaste%/vuosi. ABB. 2020. Modular Switchgear Monitoring Condition monitoring for high-voltage switchgear. PDF-Dokumentti. Saatavissa: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107680A9585&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

Kuva 16: Vuototapausten lukumäärä -70 ja -80 luvulla valmistetuissa laitteissa.

Kuva 17: Vuototapausten lukumäärä -90 luvulla valmistetuissa laitteissa.

Kuva 18: Vuototapausten lukumäärä 2000 luvulla valmistetuissa laitteissa.

Kuva 19: Nykyaikaisen jatkuvatoimisen kaasunvalvontajärjestelmän käyttö käyttäjillä.

Kuva 20: Käyttäjyryitysten harkinta perinteisen kaasunvalvontajärjestelmän parantamisesta

Kuva 21: Ympäristöystävällisiin investointeihin vaikuttavat asiat.

Kuva 22: Tietoisuus SF<sub>6</sub>-kaasua korvaavista ympäristöystävällisistä vaihtoehdoista.

Kuva 23: Käyttäjyryitysten harkinta hankkia 1–5 vuoden aikana ympäristöystävällistä SF<sub>6</sub>-kaasua korvaavaa tekniikkaa kytkinlaitteissa.

Kuva 24: Käyttäjyrytysten harkinta hankkia 5–10 vuoden aikana ympäristöystävällistä SF<sub>6</sub>-kaasua korvaavaa tekniikkaa kytkinlaitteissa.

Kuva 25: Ympäristöystävällisyyden painoarvo uusissa laitehankinnoissa.

Kuva 26: Käyttäjyrytysten harkinta eri tekniikasta Pohjois-Suomeen kuin Etelä-Suomeen kasvihuonepäästöjen pienentämiseksi.

Kuva 27: Ympäristöystävällisyyden painoarvo vanhojen kytkinlaitteiden huollossa ja modernisoinnissa.

## Taulukkoluetelo

Taulukko 1: Sähköverkon haltijoiden SF<sub>6</sub>-kaasun määrät säiliöissä, kojeistoissa sekä kokonaismäärät vuosilta 2017–2019. Heliö, R. 2020. Adato Energia Oy. PDF-Dokumentti. Saatavissa: [https://energia.fi/files/4845/SF6-kaasu\\_2019.pdf](https://energia.fi/files/4845/SF6-kaasu_2019.pdf) [viitattu 1.11.2020]

Taulukko 2: Sähköverkon haltijoiden uuden hankitun SF<sub>6</sub>-kaasun määrät vuonna 2019 ja päästömäärät ajalta 2017–2019. Heliö, R. 2020. Adato Energia Oy. PDF-Dokumentti. Saatavissa: [https://energia.fi/files/4845/SF6-kaasu\\_2019.pdf](https://energia.fi/files/4845/SF6-kaasu_2019.pdf) [viitattu 1.11.2020]

Taulukko 3: Kytkinlaite jännitetasot. European Commission. 2020. Report from the Commission. assessing the availability of alternatives to fluorinated greenhouse gases in switchgear and related equipment, including medium-voltage secondary switchgear. PDF-Dokumentti. [https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/news/docs/c\\_2020\\_6635\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/news/docs/c_2020_6635_en.pdf) [viitattu 11.11.2020] (European Commission 2020.)

Taulukko 4: Vertailu kolmen eri valmistajan vaihtoehtoisista suurjänniteisistä kaasueristetyistä kytkinlaitteista. Burges, K., Döring, M., Hussy, C., Rhiemeier, J-M., Franck, C., Rabie, M. 2018. Concept for SF<sub>6</sub>-free transmission and distribution of electrical energy Final report. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.umweltbu-desamt.de/sites/default/files/medien/2503/dokumente/final-report-sf6\\_en.pdf](https://www.umweltbu-desamt.de/sites/default/files/medien/2503/dokumente/final-report-sf6_en.pdf) [viitattu 30.11.2020].

Taulukko 5: Vastausaktiivisuus kyselyissä

Taulukko 6: Kytkinlaitteen käyttöiän aikana syntyvät kaasuvuodot numeroituna yleisyys järjestykseen.

Taulukko 7: Kytkinlaitteiden kaasuvuodon syitä numeroituna yleisyys järjestykseen. (1 = yleisin syy – 6 = vähiten yleisin).

Taulukko 8: Valintakriteerien tärkeysjärjestys valittaessa perinteisen SF<sub>6</sub> tekniikan tai ympäristöystävällisen tekniikan välillä. 1 = Tärkeä 5 = Vähiten tärkeä.

Taulukko 9: Pienen lukema kertoo mikä on tärkein valintakriteeri (Luotettavuus 16) valittaessa SF<sub>6</sub>-kaasua käyttävän tekniikan ja ympäristöystävällisen tekniikan välillä

## Liite 1: Valmistajakysely

1. Millaisia SF<sub>6</sub> kaasua korvaavia, ympäristöystävällisiä tekniikoita on saatavilla nyt ja lähitulevaisuudessa?

---

---

---

---

---

2. Milloin mahdollinen korvaava tekniikka olisi saatavilla?

---

3. Mikä on SF<sub>6</sub> kaasua korvaavassa tekniikassa käytettävän seoksen/aineen GWP-arvo (Global Warming Potential)?

---

---

---

---

---

4. Onko korvaava tekniikka saatavilla kaikkiin kytkinlaitteisiin?

---

---

---

---

---

5. Onko saatavilla SF<sub>6</sub> kaasua korvaavia ratkaisuja, jotka soveltuvat vanhoihin kytkinlaitteisiin?

---

---

---

---

---

6. Soveltuuko korvaava tekniikka ulkokäyttöön pohjoisissa ympäristöolosuhteissa, lämpötilaluokka -30°C/-40°C/-50°C?

---

---

7. Millaisia kaasuvuodon/tiiveyden seurantajärjestelmiä on saatavilla?

---

---

---

---

---

8. Millaiset syyt aiheuttavat kaasuvuotoja kokoonpano- ja asennusvaiheessa? (Esim. Epäpuhtaus, asennusvirhe, erehdys tai laitevika kaasunkäsittelyssä.)

---

---

---

---

---

9. Onko kaasuvuotojen vuotomääriä tilastoitu? Minkä verran kaasupäästöjä syntyy kokoonpano- ja asennusvaiheessa?

---

---

---

---

---

10. Kaasueristeisen kytkinlaitteen / kytkinlaitoksen käyttöiän aikana syntyvät tyypilliset kaasuvuodot. Numeroi seuraavat vuodon syyt järjestykseen. (1. yleisin syy...6. vähiten yleisin syy) Akselitiivistys, Vaurio tai vikaantuminen, Staattiset tiivisteet, Ulos asennetut kaasutilat / korroosio, Apulaitteista johtuvat vuodot, Muu syy. (Esim. valuvika materiaalissa)

---

---

11. Kuinka laitevalmistaja minimoi huollon ja ylläpidon aikana syntyviä kaasuvuotoja? (Esim. Ohjeistus, henkilöstön osaaminen, laitteet.)

---

---

---

---

---

12. Onko laitevalmistajalla valmius reagoida nopeasti kaasuvuotoihin Suomessa? (Esim. Osaaminen, erikoislaitteet, resurssit.)

---

---

---

## Liite 2: Käyttäjäkysely

Kaasueristeisen kytkinlaitteen / kytkinlaitoksen käyttöiän aikana syntyvät tyypilliset kaasuvuodot. Numeroi seuraavat vuodon syyt järjestykseen. (1. yleisin syy...6. vähiten yleisin syy) Akselitiivistys, Vaurio tai vikaantuminen, Staattiset tiivisteet, Ulos asennetut kaasutilat / korroosio, Apulaitteista johtuvat vuodot, Muu syy. (Esim. valuvika materiaalissa)

Oma vastauksesi

---

---

Kuinka laitevalmistaja minimoi huollon ja ylläpidon aikana syntyviä kaasuvuotoja? (Esim. Ohjeistus, henkilöstön osaaminen, laitteet.)

Oma vastauksesi

---

---

Onko laitevalmistajalla valmius reagoida nopeasti kaasuvuotoihin Suomessa? (Esim. Osaaminen, erikoislaitteet, resurssit.)

Oma vastauksesi

---

---

Kaasueristeisen kytkinlaitteen / kytkinlaitoksen käyttöiän aikana syntyvät tyypilliset kaasuvuodot. Numeroi seuraavat vuodon syyt järjestykseen. (1. yleisin syy...6. vähiten yleisin syy) Akselitiivistys, Vaurio tai vikaantuminen, Staattiset tiivisteet, Ulos asennetut kaasutilat / korroosio, Apulaitteista johtuvat vuodot, Muu syy. (Esim. valuvika materiaalissa)

Oma vastauksesi

---

---

Kertokaa vapaasti näkemyksenne kaasuvuotojen yleisyydestä eri laitesukupolvissa?

Oma vastauksesi

Vuototapausten lukumäärä eri laitesukupolvissa viimeisen 5 vuoden aikana.  
-70...-80 luvulla valmistetut kytkinlaitteet

- 0
  - 1-3
  - 4-6
  - Yli 6
  - Ei ole käytössä tämän laitesukupolven laitteita
- 

Vuototapausten lukumäärä eri laitesukupolvissa viimeisen 5 vuoden aikana. -90  
luvulla valmistetut kytkinlaitteet.

- 0
  - 1-3
  - 4-6
  - Yli 6
  - Ei ole käytössä tämän laitesukupolven laitteita
- 

Vuototapausten lukumäärä eri laitesukupolvissa viimeisen 5 vuoden aikana. 2000  
luvulla valmistetut kytkinlaitteet.

- 0
  - 1-3
  - 4-6
  - Yli 6
  - Ei ole käytössä tämän laitesukupolven laitteita
-



Onko kaasuvuotojen vuotomääriä tilastoitu? Minkä verran kaasupäästöjä ilmakehään syntyy per/vuosi?

Oma vastauksesi

---

---

Onko yhtiössänne varauduttu mahdollisen kaasuvuodon pikaiseen korjaukseen ja millä tavoin? (käyttökeskeytys suunnittelu, varaosakomponentit, korjausresurssien ja erikoislaitteiden saatavuus)

Oma vastauksesi

---

---

Onko käytössänne nykyaikaisia "On-Line" jatkuvatoimisia kaasunvalvontajärjestelmiä?

- Kyllä
- Ei
- 
- 

Onko yhtiössänne harkittu perinteisen kaasunvalvontajärjestelmän parantamista jatkuvalla kaasunvalvonnalla, kaasupäästöjen pienentämiseksi?

Oma vastauksesi

---

---

Millaiset asiat vaikuttavat päätökseenne investoida ympäristöystävälliseen tekniikkaan kaasupäästöjen minimoimiseksi?

Oma vastauksesi

---

---

Oletteko tietoinen saatavilla olevista SF<sub>6</sub> kaasua korvaavista ympäristöystävällisistä vaihtoehdoista?

Kyllä

Ei

---

Jos vastasit "Kyllä" edelliseen kysymykseen, mainitse esimerkkejä ympäristöystävällisistä vaihtoehdoista.

Oma vastauksesi

---

Oletteko harkinneet hankkia lähitulevaisuudessa (1 - 5 vuoden aikana) ympäristöystävällistä SF<sub>6</sub> kaasua korvaavaa tekniikkaa hyödyntäviä kytkinlaitteita?

Kyllä

Ehkä

Ei

---

Oletteko harkinneet hankkia lähitulevaisuudessa (5 - 10 vuoden aikana) ympäristöystävällistä SF<sub>6</sub> kaasua korvaavaa tekniikkaa hyödyntäviä kytkinlaitteita?

Kyllä

Ehkä

Ei

---

Millainen painoarvo yhtiössänne on laitteen ympäristöystävällisyydellä, uusissa laitehankinnoissa?

- Suuri
- Keskinkertainen
- Pieni
- 
- 

Voisitko harkita ottaa käyttöön Pohjois - Suomessa erilaista tekniikkaa käyttäviä kytkinlaitteita kuin Etelä – Suomessa kasvihuonekaasupäästöjen pienentämiseksi?

- Kyllä
- Ehkä
- Ei
- 
- 

Millainen painoarvo on yhtiössänne huolto- tai modernisointi ratkaisun ympäristöystävällisyydellä, vanhojen kytkinlaitteiden ylläpidossa?

- Suuri
- Keskinkertainen
- Pieni
- 
- 

Valintakriteerien tärkeysjärjestys valittaessa perinteisen SF6 tekniikan tai ympäristöystävällisen tekniikan välillä? Numeroi tärkeysjärjestykseen (mm. hinta, luotettavuus, elinkaarenaikaiset kustannukset, ympäristöystävällisyys, muut valintakriteerit.)

Oma vastauksesi