

SF₆ -kaasun käyttö ja korvaaminen kytkinlaitoksissa

Teknologiaselvitys

14.4.2025

Patjas, Loukkalahti

14.4.2025

Sisällys

SF ₆ -kaasun korvaaminen kytkinlaitoksissa	2
1 Tiivistelmä	2
2 Johdanto.....	2
3 F-kaasut ja SF ₆	3
4 EU lainsäädäntö ja raportointi.....	4
4.1 F-kaasuasetus 2024/573	5
4.1.1 Asteittain etenevät kiellot ja aikarajat	5
4.1.2 Siirtymäajat.....	5
4.1.3 Ekologisen suunnittelu	6
4.1.4 Poikkeamat.....	6
4.1.5 Asetuksen täytäntöönpano ja valvonta.....	6
4.2 Raportointi.....	7
5 SF ₆ -kaasun käsittely, kunnossapito ja kunnonvalvonta	7
5.1 SF ₆ -kaasun käsittelyyn liittyvät pätevyysvaatimukset.....	7
5.2 SF ₆ -kytkinlaitosten kunnossapito ja kaasuvuotojen valvonta.....	7
5.3 Rajoituksia SF ₆ -kaasun käyttöön	8
6 Teknologiakehitys SF ₆ -kaasun korvaamiseksi	8
6.1 Vaihtoehtoinen eristekaasu C4-FN	8
6.2 Kaasueristeisten F-kaasuttomat teknologiat	9
6.3 SF ₆ -kaasu ja digitaaliset sähköasemat.....	10
7 Johtopäätökset ja yhteenveto	10
Lähteet, lisätietoa.....	11

14.4.2025

SF₆-kaasun korvaaminen kytkinlaitoksissa

1 Tiivistelmä

F-kaasuasetus tulee kieltämään asteittain uusien SF₆-kojeistojen myymisen ja asentamisen EU:ssa. Tämä vaikuttaa merkittävästi sähkönjakeluverkkoyhtiöiden kytkinlaitosten laiteinvestointeihin ja elinkaarien hallintaan.

Selvitys tuottaa ajantasaista tietoa SF₆-kaasun käytöstä ja uuden F-kaasuasetuksen kielloista ja vaikutuksista uusien kojeistojen hankintaan, käyttöön ja kunnossapitoon. Julkaisussa raportoidaan myös Helen Sähköverkon SF₆-käytöstä. Selvitystyön ja lainsäädännön valmistelussa on tehty myös alan edunvalvontaa lausumalla siihen verkkoyhtiönäkökulmaa valmistelun etenemisen myötä sen eri vaiheissa.

SF₆-kaasu on voimakas kasvihuonekaasu, joten sen käyttöön tulee suhtautua vastuullisesti. Valmistajat kehittävät korvaavia teknologisia vaihtoehtoja SF₆-kaasulle ja tämä on tärkeä kehityssuunta alan vastuullisessa toiminnassa kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi.

Tähän raporttiin on koottu tiivistetysti otsikkotasolla yhteenveto F-kaasuasetuksen valmistelun yhteydessä tehdyistä teknologiaselvityksistä.

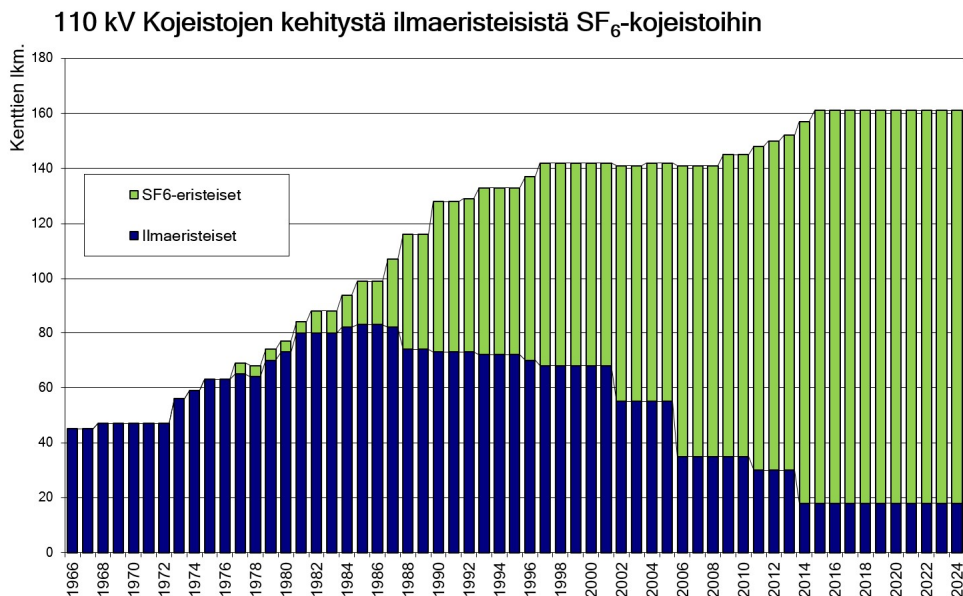
2 Johdanto

SF₆-kaasu eli rikkiheksafluoridi on sähkönsiirron kojeistoissa käytettävä eristyskaasu. SF₆-kaasun sähkönsiirron eristyskyky ja valokaaren sammutuskyky sekä muut ominaisuudet ovat sähkötekniikasta erinomaisia, joka on mahdollistanut kompaktien ja pienikokoisten kaasueristeisten kojeistojen valmistuksen.

Kojeistolla tarkoitetaan sähkötekniikassa rakennekokonaisuutta, johon kuuluu kytkentä-, suojaus-, ohjaus- sekä valvontalaitteet. Kojestojen avulla voidaan eri sähköverkon osia yhdistää ja erottaa toisistaan. Kojestot ovat välttämättömiä sähköverkon toiminnan kannalta. Kojestot koostuvat katkaisijoista, erottimista, mittamuuntajista sekä erinäisistä suojauslaitteista. Kojestojen jaetaan sähkötekniikassa jännitetasojen mukaan.

SF₆-kaasuun perustuva teknologia on mahdollistanut pienikokoisten kaasueristeisten kojeistojen rakentamisen. Tämä on ollut välttämätöntä erityisesti suurkaupunkiympäristöissä, joissa isokokoisille ilmaeristeisille kytkinlaitoksille ei ole tilaa. Lisäksi kaasueristeiset kojeistot ovat turvallisia, koska jännitteiset osat ovat koteloituna kojeistojen sisään sekä niillä on myös pienemmät kunnossapitokustannukset verrattuna ilmaeristeisiin kojeistoihin. SF₆-kaasu on mahdollistanut myös sähköasemien rakentamisen maanalaisiin tiloihin. SF₆-kaasun käyttö kojeistoissa yleistyi välttämättömäksi teknologiseksi 80-luvulla.

14.4.2025



Kuva 1. Helen Sähköverkko OY:n osalta teknologista kehitystä ilmaeristeisistä 110 kV kytkinlaitoksista SF₆-kaasueristeisiin kytkinlaitoksiin.

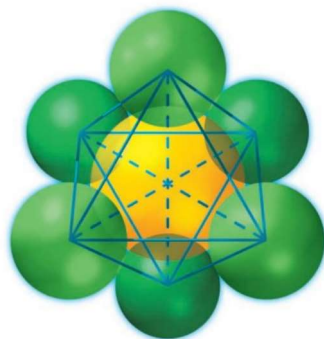
Vuoden 2024 lopussa SF₆-kaasua on Helen Sähköverkko Oy:n kojelaitoksissa yhteensä n. 23.000 kg. joista 77% on 110kV kojelaitoksissa. SF₆-kaasun edut korostuvat korkeimmilla jännitetasoilla, joissa saavutettu tilahyöty sekä kaasueristeisten kojelaitosten turvallisuuskäsitteet korostuvat.

3 F-kaasut ja SF₆

SF₆-kaasu kuuluu ns. F-kaasuihin. F-kaasuihin eli fluorattuihin kasvihuonekaasuihin kuuluvat mm. fluorihidriidit (HFC-yhdisteet, perfluorihidriidit (PFC-yhdisteet), rikkiheksafluoridi (SF₆) ja typpitrifluoridi (NF₃). F-kaasuja ei esiinny luonnossa vaan ovat ihmisen kehittämiä. F-kaasujen käyttöön liittyy useita turvallisuuteen ja ympäristön kannalta huomioon otettavia asioita. //Solvay 2006; Electrical4U 2020

Ominaisuuksiltaan puhdas SF₆kaasu on hajuton, syttymätön, väritön sekä epäorgaaninen. SF₆-molekyylillä koostuu kuudesta fluoriatomista, jotka ovat kiinnittyneinä yhteen rikkiatomiin.

14.4.2025



Kuva 2: Rikkiheksafluoridimolekyyli; kuusi fluoriatomia kiinnittyneinä yhteen rikkiatomiin (Solvay 2006)

SF₆-kaasun tiheys on huomattavasti suurempi verrattuna ilman tiheyteen merenpinnan tasolla, SF₆-kaasun tiheys on 6,12 g/l ja ilman vastaavasti 1,225 g/l. Koska SF₆-kaasu on ilmaa huomattavasti painavampaa, se voi suurina pitoisuuksina syrjäyttää suljetuissa tiloissa ilmaa ja voi ilmaa raskaampana aiheuttaa tukehtumisen vaaran. // Solvay 2006, Burges 2018

SF₆-kaasun osalta on erityisesti huomioitava, että kaasun hajoamistuotteet valokaaren yhteydessä ovat toksisia. Vaarallisimpia SF₆-kaasun hajoamistuotteita valokaarelle altistuessa on rikkifluoridit kaasumaisessa olomuodossa. Myrkyllisiä hajoamistuotteita ovat metallifluoridit. Lisäksi on muita hajoamistuotteita, joista osa on syövyttäviä kosteissa olosuhteissa. //EPA 2018

SF₆-kaasun ilmastoa lämmittävä vaikutus, joka ilmaistaan GWP-arvona (Global Warming Potential), on 24.300. GWP kertoo, kuinka paljon lämpöenergiaa kasvihuonekaasu vangitsee ilmakehään tietyksi ajanjaksoksi suhteessa hiilidioksidin CO₂. GWP kertoo, kuinka paljon massayksikkö kyseistä kaasua sitoo lämpöä suhteessa massayksikköön hiilidioksidia ja se ilmaistaan suhdelukuna siten, että hiilidioksidin lämmityspotentiaali on 1 eli yhden kilon päästö SF₆-kaasua vastaa 24.300 kg hiilidioksidipäästöä ilmakehässä. SF₆-kaasu ei tuhoa suoraan otsonikerrosta, mutta se on voimakas kasvihuonekaasu ja säilyy ilmakehässä jopa yli 3.200 vuotta. SF₆-kaasu on erittäin hyvä eristekaasu sähkötekniisesti, mutta sen haittapuolena on, että se on ilmastonmuutoksen kannalta haitallinen ja voimakas kasvihuonekaasu. // https://climate.ec.europa.eu/eu-action/fluorinated-greenhouse-gases/about-f-gases_en

4 EU lainsäädäntö ja raportointi

Suomessa toimijat ovat velvoitettuja noudattamaan voimassa olevaa lainsäädäntöä ja asetuksia, joita on EU:n sisällä laadittu. EU:n asettamat asetukset ovat voimassa EU:n jäsenmaissa ja ovat suoraan jäsenmaita velvoittavaa lainsäädäntöä. Osana globaalia ilmastonmuutoksen torjuntaa EU on kiristänyt lainsäädäntöä F-kaasujen osalta.

SF₆-kaasun käyttöä ohjaa EU:n F-kaasuasetus. Lainsäädäntö on kiristynyt vaiheittain. Vuoden 2006 asetuksessa fluoratuista kasvihuonepäästöistä (EY) N:o 842/2006 säädeltiin SF₆-kaasua sisältävien laitteiden markkinointia, maahan tuontia ja hankintaa. Sitten vuoden 2015 alussa tuli voimaan asetus (EU)

14.4.2025

N:o 517/2014, joka asetti rajat vuotojen seuraamiseksi ja pätevyysvaatimuksille kaasun käsittelyyn. Siinä ei vielä rajoitettu sähköisissä kytkinlaitteissa SF₆-kaasua sisältävien laitteiden valmistusta. //EU 517/2014

4.1 F-kaasuasetus 2024/573

Uusi asetus on tullut voimaan 11.3.2024 ja se kumoaa aiemman asetuksen nro 517/2014. Asetus kieltää asteittain SF₆-kaasua sisältävien laitteiden valmistuksen ja myynnin EU:n alueella.

Uutta asetuksessa ovat kojeistojen eristekaasuille määritellyt GWP-rajat. Eristekaasun GWP-rajat ovat olennaista uuden asetuksen osalta. Uusi F-kaasuasetus ohjaa valitsemaan mahdollisimman alhaisen GWP-arvon omaavia kojeistoja.

// https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202400573#d1e2476-1-1

4.1.1 Asteittain etenevät kiellot ja aikarajat

Asetuksessa on kuvattu hankintamenettelyt koskien kojeistoissa käytettäviä GWP-rajoja. Asetuksessa on määritetty päivämäärät, jonka jälkeen uusissa hankinnoissa ja niiden asennuksissa kielletään SF₆-kaasu. Aikarajat kielloille on määritetty jänniterajoittain asetuksen III Luvussa, Artikla 13, kohdat 9a ja 9c seuraavasti:

- 1.1.2026 alkaen Kj-kytkinlaitokset, joiden jännite on enintään 24 kV // III, 13, 9a
- 1.1.2028 alkaen 110 kV kytkinlaitokset, joiden jännite on vähintään 52 kV ja enintään 145 kV ja oikosulkuvirta enintään 50 kA // III, 13, 9c

Aikarajat ovat velvoittavia. Kuitenkin jos kojeistoja on hankittu ja sopimukset sekä tilaukset tehty ennen 11.3.2024, ne voidaan asentaa em. aikarajojen jälkeenkin. // III, 13, 14

4.1.2 Siirtymäajat

Asetus asettaa tiukat aikarajat. Vaatimuksista syntyy edelleen teknologista kehitystarvetta ja markkinoiden kyky vastata muutokseen voi aiheuttaa saatavuusongelmia. Tämän vuoksi uusien kojeistojen hankinnoille on säädetty kahden vuoden siirtymäajat.

- Kytkinlaitokset, jännite enintään 24 kV, on siirtymäaika 1.1.2026 - 31.12.2027
- 110 kV kytkinlaitokset, jännite vähintään 52 kV ja enintään 145 kV, on siirtymäaika 1.1.2028-31.12.2029.

Siirtymävuosien aikana tehtyjen hankintojen osalta on huomioitu SF₆-vapaiden kojeistojen saatavuuteen liittyvät ongelmat. Tämä on huomioitu siten, että jos ei tilaaja saa siirtymäajan puitteissa kuin 0 tai 1 tarjousta, voi kysyä seuraavaksi tarjousta GWP alle 1000 kojeistoista.

14.4.2025

Jos näistäkään ei saada kuin 0 tai 1 tarjousta, voi kysyä tarjousta SF₆-kojeistoista. Toisaalta jos tilaaja saa 2 tai useampia tarjouksia GWP alle 1 tai GWP alle 1000 kojeistoista, niin tilaajan on valittava näitä pienemmän GWP-arvon omaavia kojeistoja asetuksessa kuvatun kaskadimenettelyn mukaisesti. // III, 13, 11a ja // III, 13, 11b.

Siirtymäaikojen jälkeen tilaajan on valittava GWP alle 1 kojeisto, jos tilaaja saa näistä yhdenkin tarjouksen. Siirtymäaika antaa markkinoille mahdollisuuden kehittyä ja varmistaa kojeistojen saatavuus.

4.1.3 Ekologisen suunnittelu

Artiklan 13, kohta 13 käsittelee poikkeusta, joka koskee ekologista suunnittelua koskevien vaatimusten mukaista elinkaaren aikaisten hiilidioksidipäästöjen arviointia. Sitä ei voida soveltaa ennen kuin sähköisille kytkinlaitteistoille on asetettu ekosuunnitteluvaatimukset. Tällä hetkellä viranomaisilla ei ole tietoa mahdollisen valmistelun aikataulusta, ja valmistelu on useamman vuoden kestävä prosessi. Muita elinkaarilaskelmia ei huomioida F-kaasuasetuksessa. Tietoa ekosuunnittelusta löytyy ekosuunnittelusäädösten viralliselta tiedotuskanavalta. //III, 13, 13 ja // <https://ekosuunnittelu.info/>

4.1.4 Poikkeamat

Siirtymäajan poikkeuksista on säädetty Luvun III, Artikla 13 kohdissa 10, 11, 12, 13, 14 tai 15. Jos siirtymäaikojen poikkeuksia sovelletaan hankintoihin, tulee käytetyt hankintamenettelyt pystyä myös todistamaan viranomaisille. Haltijan on säilytettävä poikkeusta koskevana todisteina käytettävät asiakirjat vähintään viiden vuoden ajan ja asetettava ne pyynnöstä asianomaisen jäsenvaltion toimivaltaisen viranomaisen tai komission saataville. // Luku III, Artikla 13, kohta 16.

Edelleen soveltaessaan Luvun III, Artikla 13 kohtia 11, 12, 14 tai 15 kohdassa säädettyä poikkeusta haltijan on ilmoitettava tästä sen jäsenvaltion toimivaltaiselle viranomaiselle, missä sähköinen kytkinlaitteisto otetaan käyttöön. // Luku III, Artikla 13, kohta 17.

4.1.5 Asetuksen täytäntöönpano ja valvonta

F-kaasuasetuksen täytäntöönpanosta huolehtii Suomessa valvovana viranomaisena Suomen Ympäristökeskus eli SYKE. Lisää tietoa asetuksen soveltamisesta on saatavilla SYKE

<https://www.syke.fi/fi/tietoa-meista/uutiset/siirtyma-kohti-sf6-vapaita-sahkoisia-kytkinlaitteistoja-alkaa-vuonna-2026>

SYKE on julkaissut myös asetuksen tulkintaa selkeyttävän kaaviokuvan kaskadihankintamenettelystä ja sen soveltamisesta.

https://www.syke.fi/sites/default/files/documents/Liite_kaavio%20s%C3%A4hk%C3%B6isi%C3%A4%20kytkinlaitteistoja%20koskevasta%20rajoituksista_FI_0_0_0.pdf

14.4.2025

4.2 Raportointi

Suomi raportoi myös vuosittain kasvihuonekaasupäästönsä EU:n komissiolle. SF₆-kaasupäästöt kuuluvat näihin raportoitaviin kaasupäästöihin. EU-asetuksen lisäksi ilmastopäästöjen osalta kansallisella tasolla Suomen kasvihuonepäästöjä varten on säädetty ilmastolaki, joka astui voimaan vuonna 2015. Laissa on määriteltä suuntaviivat kasvihuonepäästöjen pienentämiseen sekä ilmastomuutoksen sopeutumiseen. Laissa veloitetaan Suomen valtion viranomaisia raportoidaan ja seuraamaan kasvihuonepäästöjen kehitystä. //Ilmastolaki 609/2015.

Verkkoyhtiöt raportoivat vuosittain ns. SF₆-kaasutaseen mukaisen laskennan Energiategollisuus ry:lle, joka kokoaa tiedot yhteen koko maan osalta. SF₆-kaasutaselaskenta sisältää mm. SF₆-kaasun kokonaismäärän ja vuosittaiset vuodot.

5 SF₆-kaasun käsittely, kunnossapito ja kunnonvalvonta

5.1 SF₆-kaasun käsittelyyn liittyvät pätevyysvaatimukset

F-kaasuasetus määrittää pätevyysvaatimukset henkilöille, jotka toimivat laitteiden asennuksen, huollon, korjaamisen, kunnossapidon, käytöstä poiston, vuototarkastuksen ja aineiden talteenoton parissa asetuksen kattaessa otsonikerrosta heikentävät fluoratut kasvihuonekaasut.

Asetuksessa määritetään, kuinka vuototarkastukset tulee tehdä ja minkälaisia vuotojenhavaitsemisjärjestelmien olla. Asetuksella pyritään ehkäisemään päästöjä ilmakehään mm. säännöllisillä tarkastuksilla, huolloilla ja kaasun talteenotolla ja kierrätyksellä laitteita uusittaessa.

F-kaasuasetus edellyttää SF₆-kaasua käsitteleviä henkilöitä pätevöitymään koulutuksella. Lisäksi valtioneuvoston asetuksen 25.8.2016/766 perusteella henkilöiden, jotka toimivat sähköisten kytkinlaitteiden parissa kylmäaineita talteen ottaessa, käytöstä poistettaessa, 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 kokeen hyväksytysti suorittaneille henkilöille. TUKES ylläpitää julkista rekisteriä henkilöistä, joilla on pätevyys. Toiminnanharjoittajilta vaaditaan, että kaasunkäsittelyyn on aina nimetty pätevyyden omaava henkilö, joka toimii päätoimisena vastuuhenkilönä. //TUKES 2016.

5.2 SF₆-kytkinlaitosten kunnossapito ja kaasuvuotojen valvonta

SF₆-kaasueroisteisille kytkinlaitoksille tehdään elinkaarisuunnitelman mukaista säännöllistä kunnossapitoa. Kunnossapitotoimenpiteet ovat SF₆-kaasun osalta erilaisia tarkistuksia sekä kaasun laadun mittauksia. SF₆-kaasu on suljettuna kytkinlaitosten sisällä ja kytkinlaitosten huoltotoissa on käytössä menetelmät, joiden avulla kaasun kierto on lähes suljettua ja kaasun päästäminen ympäristöön on minimoitu.

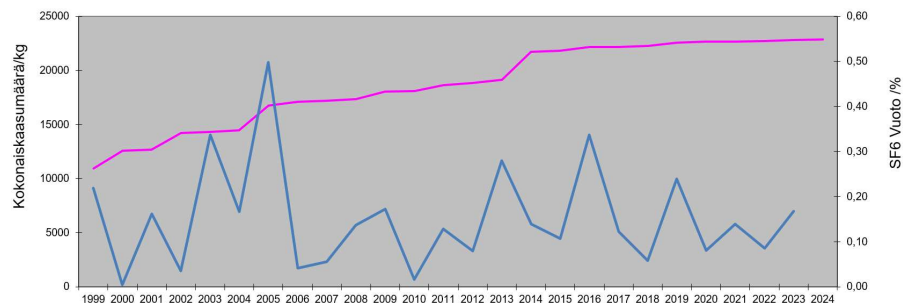
Kaasun kunnonvalvontaa tehdään jatkuvatoimisesti valvontalaitteiden avulla sekä lisäksi tarkastuksiin perustuvana mittauksina huoltojen yhteydessä. 110 kV kojeistoissa on eniten kaasua, niiden kaikki kaasutilat ovat valvottuja ja

14.4.2025

vuodoista saadaan myös hälytys käyttökeskukseen. Jos vuotoja havaitaan, ne korjataan viivyttelämättä mahdollisimman nopeasti.

5.3 SF₆-kaasutase ja vuodot

Helen Sähköverkko Oy on seurannut kaasuvuotojen kehittymistä jo vuodesta 1999 alkaen. SF₆-kaasun kokonaismäärä oli 2024 vuoden lopussa n. 23.000 kg. Kaasusta suurin osa, n.77 % on 110 kV kojeistoissa, loput K_j 10/20 kV kojeistoissa. Jatkuvasti työmenetelmiä kehittämällä vuotojen määrä ei ole lisääntynyt, vaikka SF₆-kokonaismäärä on vuosien myötä kasvanut. Vuotojen määrä on vuositasolla vain muutamia kymmeniä kiloja eli keskimäärin n. 0,1-0,2% kokonaiskaasumäärästä //SF₆-kaasutase, Helen Sähköverkko Oy.



Kuva 3. SF₆-vuodot ja kaasumäärän kehittyminen //SF₆ kaasutase, Helen Sähköverkko Oy

5.4 Rajoituksia SF₆-kaasun käyttöön

F-kaasuasetuksessa tulee myös rajoituksia SF₆-kaasun käytölle. Vuodesta 2035 on asetuksen mukaan uuden SF₆-kaasun lisääminen kojeistoihin kiellettyä. Asetus määrittelee, että tällöin pitää siirtyä viimeistään kierrätetyn kaasun käyttöön. Kuitenkin hätätapauksissa saa edelleen käyttää myös SF₆-kaasua.// III, 13, 7

6 Teknologiakehitys SF₆-kaasun korvaamiseksi

SF₆-kaasu on sähkötekniisesti erinomainen ja sen korvaaminen on erittäin haastavaa. Kojetovalmistajat ovat kehittäneet jo vuosia uusia teknologioita. Kaksi pääkehityssuuntaa on selvästi nähtävillä. Toisessa teknologiahaarassa SF₆-kaasu on korvattu ympäristön kannalta vähemmän haitallisilla kaasuilla. Toinen kehityshaara on keskittynyt korvaamaan SF₆-kaasun puhtaalla teknisellä ilmalla. Kummassakin teknologiassa on omat hyvät ja huonot puolensa. Helen Sähköverkko Oy on seurannut teknologista kehitystä ja tietoa eri teknologioista on jo laajasti saatavilla kojeistovalmistajilta.

6.1 Vaihtoehtoinen eristekaasu C4-FN

Osa valmistajista kehittää korvaavaan C4-FN-eristekaasuun perustuvaa teknologiaa. C4-FN (C4-fluoronitrile, C4FN) on perfluorattu yhdiste, joka on kehitetty korkeadielektriseksi kaasuksi suurjännitekojeistoissa. Sen rakenne on (CF₃)₂CFN, jota voidaan kuvata perfluori-isobutyronitriiliksi, joka kuuluu PFAS-luokkaan, tai per- ja polyfluorialkyyliaineiksi. C4-FN-kaasun GWP on huomattavasti pienempi kuin SF₆-kaasulla.

14.4.2025

Valmistajan ilmoituksen mukaan GWP-vähennys on 98,8% verrattuna SF₆-kaasuun. C4-FN-kaasun pysyvyys ilmakehässä on myös huomattavasti lyhyempi eli n. 30 vuotta, kun SF₆-kaasu pysyy ilmakehässä yli 3.200 vuotta. C4-FN-kaasu on ilmaston kannalta huomattavasti parempi vaihtoehto kuin SF₆-kaasu. // Recent Trends in Development of High Voltage Circuit Breakers with SF6 Alternative Gases. Plasma Physics and Technology. 2017.

C4-FN-kaasuun perustuvan teknologian etuna on, että kojeistojen fyysinen koko ei kasva verrattuna SF₆-kojeistoihin. Tämä johtuu siitä, että kaasun dielektrinen läpilyöntijännite on valmistajan ilmoituksen mukaan erinomainen, kaasu on myös muilta ominaisuuksiltaan hyvä, se on syttymätön ja yhteensopiva myös kojeistojen muiden komponenttien ja materiaalien kanssa.

C4-FN sisältää myös PFAS-yhdisteitä, joiden käyttöä pyritään rajoittamaan EU:ssa. PFAS- eli Per- ja polyfluoratut alkyylidisteet ovat suuri, tuhansien synteettisten kemikaalien joukko. PFAS-yhdisteet sisältävät hiili-fluorisidoksen, joka on kestävimpiä kemiallisia sidoksia orgaanisessa kemiassa. Sen vuoksi ne hajoavat erittäin hitaasti niin käytössä kuin ympäristössä. Vielä ei ole varmuutta koskeeko PFAS-käytön rajoittaminen myös C4-FN-kaasua. // <https://echa.europa.eu/fi/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas>

C4-FN-kaasulla on vain yksi kaasuvalmistaja ja kaasu on lisensioitu tuote. Kaasuvalmistaja on ilmoittanut luopuvansa PFAS-tuotteita sisältävien kaasujen valmistuksesta 2025 loppuun mennessä ja vapauttavansa lisenssin. Kojetovalmistajat etsivät vaihtoehtoisia kaasun valmistajia lisenssin vapautuessa ja nykyisen kaasuvalmistajan luopuessa kaasun valmistuksesta. // https://pfas.3m.com/pfas_uses

C4-FN-kojeistoilla on merkittävästi parempi elinkaariperusteinen päästövaikutus verrattuna SF₆-kojeistoihin. Kaasun GWP on luokkaa 400-500 ja kojeiston fyysinen koko on samaa luokkaa kuin SF₆-kojeistolla. Tällöin myös valmistukseen tarvittavan raaka-aineen määrä on pienempi, jolloin valmistuksesta johtuvat aiheutuvat päästöt ovat pienempiä.

6.2 Kaasueristeisten F-kaasuttomat teknologiat

Toinen teknologiakehityksen haara, jolla voidaan korvata SF₆-kaasu kojeistoissa, perustuu teknologiaan, jossa F-kaasun korvaa kokonaan ”tekninen ilma”. Koska eriste-kaasuna on puhdas ilma, sen GWP = 0 eli kaasulla tai tässä tapauksessa ilmalla ei ole ilmastoa lämmittävää vaikutusta ollenkaan.

Tekniseen ilmaan perustuvien ratkaisujen huono puoli on niiden SF₆-kojeistoja suurempi koko erityisesti 110 kV kojeistojen osalta. Myös jakeluverkon RMU -kojeistojen osalta joko kojeistojen koko on suurempi tai sitten ne ovat painavampia, jolloin niiden valmistaminen on hieman kalliimpaa ja valmistuksesta aiheutuu lähtökohtaisesti myös enemmän valmistuksesta johtuvia päästöjä. RMU -kojeistojen osalta kokoero ei ole kuitenkaan käytännössä merkittävä vaan SF₆-kojeistot voidaan korvata SF₆-vapaille kojeistoilla.

Tekniseen ilmaan perustuvissa teknologioissa on kojeistovalmistajien pitänyt kehittää myös uutta katkaisijateknologiaa. 110 kV osalta SF₆-kaasueristeisten kojeistojen katkaisijoissa tapahtuva valokaarensammutus on perinteisesti perustunut SF₆-kaasuun. SF₆-kaasu on puhallettu valokaareen, joka on aiheuttanut

14.4.2025

tehokkaan sammutusvaikutuksen. Tekninen ilma ei sovellu tähän, vaan valmistajat ovat kehittäneet tyhjökatkaisijateknologiaa.

Aiemmin tätä tyhjökatkaisijateknologiaa on ollut käytössä alemmilla jännitetasoilla, mutta nyt näitä löytyy 110 kV jännitetasoon soveltuvana. Vastaavasti taas jakeluverkon 20 kV RMU-kojeistoissa käytössä ollut SF₆-kaasutilassa olevan erottimen tilalle on pitänyt kehittää myös tyhjökatkaisijateknologiaa.

6.3 SF₆-kaasu ja digitaaliset sähköasemat

Digitaalista sähköasemaa voidaan tarkastella myös erikseen SF₆-kaasun suhteen. Digitaaliseen sähköasemiin liittyvien sensoreiden käyttöönottamisella perinteisten mittamuuntajien sijaan voidaan tarvittavan eristekaasun määrää vähentää. 110 kV kojeiston koko olisi tällöin pienempi perinteisten virta- ja jännitemuuntajien jäädessä pois. Ero sensoreilla olisi huomattava erityisesti GWP alle 1 kojeistoissa, jotka ovat nyt isokokoisempia kuin SF₆-kojeistot. Sensoreita käyttämällä kojeiston koko lähestyisi SF₆-kojeistoja. // <https://www.helensahko-verkko.fi/globalassets/hsv/dokumentit/2023-02-digitaalisen-s%C3%A4hk%C3%B6aseman-selvityksen-yhteenveto.pdf>

7 Johtopäätökset ja yhteenveto

Helen on sitoutunut ilmasto- ja kestävän kehityksen tavoitteisiin. Ympäristönäkökulman osalta pitää SF₆-kaasuun suhtaudutaan vastuullisesti, koska se on voimakas kasvihuonekaasu. Vuodot ovat hyvin pieniä ja kaasun käsittelyssä noudatetaan huolellisuutta, myös romutettavista kojeistoista kaasut otetaan huolellisesti talteen eikä päästetä niitä ilmakehään.

SF₆-kaasu on pitkällä aikavälillä poistuva teknologia. Kiellot astuvat voimaan F-kaasuasetuksen määrittelemien aikarajojen mukaisesti uusien kojeistojen hankinnassa. Kojestojen tekniset elinkaaret ovat hyvin pitkiä, jopa 50 vuotta, joten kojeistojen uusiutuminen SF₆-vapaiksi kestää kymmeniä vuosia.

F-kaasuasetus ohjaa ensisijaisesti valitsemaan alhaisen GWP:n mukaisia kojeistoja. Koska GWP alle 1 kojeistojen saatavuus ja valmistus on vielä rajoitettua, asetus mahdollistaa hankinnoissa kaskadimenettelyn käytön. Hankinnoissa on syytä käyttää harkintaa ja varmistaa tarvittaessa valinnat viranomaiselta. On hyvä huomioida myös kaikki hankintamenettelyt. Dokumentaatio on asetuksen mukaisesti esitettävä viranomaiselle.

Valmistajat ovat kehittäneet eri teknologioita korvatakseen SF₆-käytön kaasueristeisissä kojeistoissa. SF₆-kaasulle löytyy vaihtoehtoja kaikilta Suomeen tarjoavilta päälaitetoimittajilta. Lisäksi lähivuosina on markkinoille tulossa useita uusia kojeistotyypppejä ja nykyisten kojeistojen tuoteperheet myös kehittyvät koko ajan.

Suurin osa kojeistovalmistajista kehittää kojeistoja, joiden teknologia perustuu tekniseen ilmaan, jolloin eristekaasun GWP on 0. Kun näistä saadaan jatkossa useita tarjouksia, on asetuksen mukaan tilaajien ensisijaisesti valittava niitä. Alemmilla jännitetasoilla 24 kV saakka kaikki Suomessa tarjottavat kaasueristeiset kojeistot ovat näitä GWP 0 -kojeistoja.

14.4.2025

Ylemmillä jännitesoilla eli 110 kV on kaksi teknologiaa, CN-FN4-teknologia, jossa eristekaasun GWP on alle 1000 ja tekniseen ilmaan perustuva teknologia jossa eristekaasun GWP on 0. Lähivuosina on tulossa useita valmistajia tarjoamaan omia GWP alle 1 tekniseen ilmaan perustuvia ratkaisujaan. Koska F-kaasuasetus ohjaa alhaisen GWP mukaisiin kojeistohankintoihin, on oletettavaa, että tekniseen ilmaan perustuva teknologia tulee korvaamaan SF₆-kaasun käytön. Helen Sähköverkko Oy kysyy hankinnoissa ensin GWP alle 1 kojeistoja jännitetasosta riippumatta. Tämä on kestävä ratkaisu myös kojeistojen pitkät elinkaaret huomioiden.

Helen Sähköverkko Oy seuraa aktiivisesti teknologiakehitystä sekä asetusten ja määräysten kehittymistä. SF₆-kaasun määrä sähköverkkoon asennettujen kojeistojen osalta vähenee tulevaisuudessa, kun vanhoja kojeistoja uusitaan. Uusia SF₆-kojeistoja ei enää hankinta, vaan kaikki uudet kojeistot ovat ympäristön kannalta ystävällisempiä SF₆-vapaita kojeistoja.

Lähteet, lisätietoa

Ekosuunnittelusäädösten virallinen kanava <https://ekosuunnittelu.info/>

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. <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/8/1216/htm>

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. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2503/dokumente/final-report-sf6_en.pdf

Burges, K., Warncke, K., Gschrey, B. 2020. Briefing paper: SF₆ and alternatives in electrical switchgear and related equipment. Öko-Recherche GmbH. https://www.oekorecherche.de/sites/default/files/publikationen/briefing_paper_sf6_and_alternatives_en.pdf

ECHA. 2024 European Chemical Agency. Per- and polyfluoroalkyl substances. <https://echa.europa.eu/fi/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas>

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

EPA. 2018. Overview of SF₆ Emissions Sources and Reduction Options in Electric Power Systems. https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-08/documents/12183_sf6_partnership_over-view_v20_release_508.pdf

EU. Regulation 2024/573 of the European parliament and of the council. Regulation 2024/573 on fluorinated greenhouse gases, amending Directive (EU) 2019/1937 and repealing Regulation (EU) No 517/2014. https://eurlex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202400573#d1e2476-1-1

14.4.2025

EU. 2022. Explore the impact of F-gases on our climate and the EU's role in reducing them. Total emissions of F-gas groups in the EU 2022.

https://climate.ec.europa.eu/eu-action/fluorinated-greenhouse-gases/about-f-gases_en

Helen Sähköverkko Oy. 2023. Digitaalisen sähköaseman teknologiaselvitys. <https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hsv/dokumentit/2023-02-digitaalisen-s%C3%A4hk%C3%B6aseman-selvityksen-yhteenveto.pdf>

Plasma Physics and Technology. Seeger, M.; Smeets, R.; Yan, J.; Ito, H.; Claessens, M.; Dullni, E.; Falkingham, L.; Franck, C. M.; Gentils, F.; Hartmann, W.; Kieffel, Y.; Jia, S.; Jones, G.; Mantilla, J.; Pawar, S. (2017). "Recent Trends in Development of High Voltage Circuit Breakers with SF₆ Alternative Gases".

SYKE. 2025 Uutinen <https://www.syke.fi/fi/tietoa-meista/uutiset/siirtyma-kohti-sf6-vapaita-sahkoisia-kytkinlaitteistoja-alkaa-vuonna-2026>

SYKE. Suomen Ympäristökeskus. 2025. Kaaviokuva F-kaasusetuksen mukaisista hankintamenettelyistä uusien kojeistojen hankinnoissa. https://www.syke.fi/sites/default/files/documents/Liite_kaavio%20s%C3%A4hk%C3%B6isi%C3%A4%20kytkinlaitteistoja%20koskevistä%20rajoituksista_FI_0_0_0.pdf

TAKK eli Tampereen aikuiskoulutus keskus. // <https://www.takk.fi/fi/koulutus/id/tukes-sf6-kaasupatevyyskoulutus#514>

Valtioneuvosto. 2016. Asetus koskien fluorattuja kasvihuonekaasuja tai otsonikerrosta heikentäviä aineita 766/2016 sisältävien laitteiden käsittelijän pätevyysvaatimuksista. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20160766>