

Miksi Fenno-Skanin tehon suunnanvaihtoja rajoitetaan?

QPRE-mekanismin tekninen tausta: tasasähkötekniikka, merikaapelin eriste ja sähkömarkkinan muutokset

Koottu julkisista lähteistä 17.10.2026. Lähdeluettelo on lopussa. Kirjoittajan omat päätelmät on merkitty erikseen.

Tiivistelmä

Fingrid ja Svenska kraftnät ottavat 17.11.2026 käyttöön QPRE-mekanismin (Quarterly Polarity Reversal Elimination). Sen jälkeen Suomen ja Ruotsin välisen Fenno-Skan-yhteyden siirtosuunta saa vaihtua vain tasatunnein, vaikka sähkökauppaa käydään vartin jaksoissa.

Syy on tekniikassa. Fenno-Skan on vanhaa verkkokommutoitua (LCC) tasasähkötekniikkaa, jossa tehon suunta käännetään vaihtamalla kaapelin jännitteen napaisuutta. Jokainen vaihto nostaa hetkellisesti öljypaperieristeisen merikaapelin sähkökenttää ja aiheuttaa eristeessä osittaispurkauksia, jotka kuluttavat sitä. Kaapeleille on siksi sovittu vuotuinen vaihtokiintiö. Kun kiintiö ylittyy, siirtokapasiteettia leikataan automaattisesti.

Flow-based-kapasiteetinlaskenta (10/2024) ja 15 minuutin vuorokausimarkkina (10/2025) moninkertaistivat vaihtojen tarpeen. QPRE rajaa vaihdot enintään 24:ään vuorokaudessa, kun ilman sitä niitä voisi teoriassa tulla lähes 96.

1. Fenno-Skan lyhyesti

Fenno-Skan on kahden tasasähköyhteyden kokonaisuus Rauman ja Ruotsin Uplannin välillä. Yhteydet toimivat yhdessä bipolina: navoilla on vastakkaiset jännitteet ja ne jakavat samat merielektrodit (Laitakari Suomessa, Rödhäll Ruotsissa).

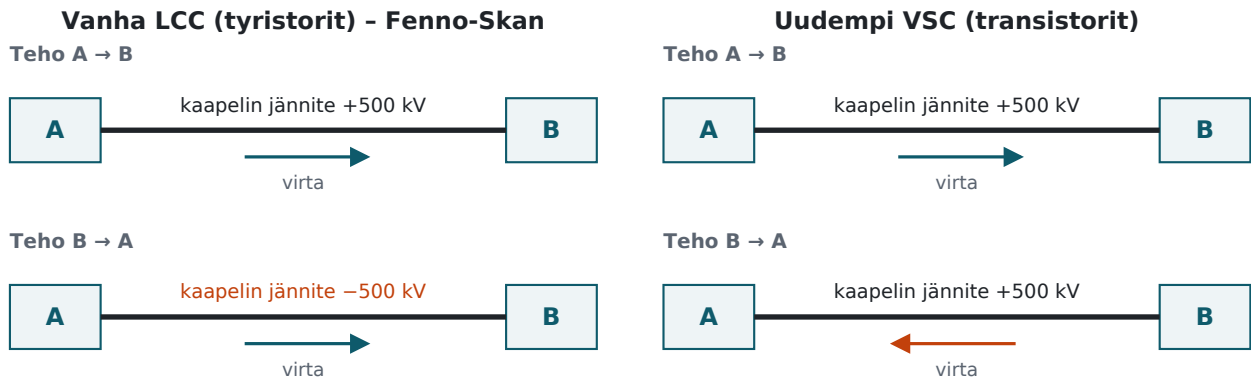
	Fenno-Skan 1	Fenno-Skan 2
Käyttöönotto	1989	2011
Ruotsin asema	Dannebo (Forsmark)	Finnböle (70 km DC-ilmajohdo)
Nimellisjännite / -teho	400 kV / 500 MW	500 kV / 800 MW
Nykyinen käyttö	320 kV / 400 MW , alennettu pysyvästi kaapelin kunnon vuoksi (vuodesta 2013)	500 kV / 800 MW
Suuntaajat	Tyristorit (LCC)	Tyristorit (LCC)
Merikaapeli	Massaimpregnoitu paperi (MIND), n. 200 km	Massaimpregnoitu paperi (MIND), n. 200 km, Nexans
Siirto 2024	2,2 TWh itään, 0,5 TWh länteen	2,3 TWh itään, 1,6 TWh länteen

Lähteet: Hitachi Energy, ENTSO-E SOA Annex FI-SE v3, Ristiniemi (2024), ENTSO-E HVDC-tilastot 2024.

2. Tekniikka: miksi suunnan vaihto tarkoittaa napaisuuden vaihtoa

Fenno-Skanin suuntaajat on rakennettu tyristorista. Tyristori johtaa virtaa vain yhteen suuntaan, joten kaapelin **virran suunta on kiinteä**. Teho on jännitteen ja virran tulo ($P = U \cdot I$), joten tehon suunnan voi kääntää vain kääntämällä **jännitteen merkin**: tasasuuntaajasta tulee vaihtosuuntaaja ja päinvastoin. Käytännössä kaapelin jännite vaihtuu esimerkiksi arvosta +500 kV arvoon -500 kV.

Uudemmissa jännitelähdesuuntaajissa (VSC, esim. Estlink 1) tilanne on päinvastainen: jännite pysyy samana ja virta kääntyy. Siksi VSC-yhteyksissä ei ole tätä ongelmaa.



Kuva 1. LCC-yhteydessä virran suunta pysyy, ja tehon suunta käännetään vaihtamalla kaapelin jännitteen napaisuutta. VSC-yhteydessä jännite pysyy ja virta kääntyy.

Todellisessa vaihdossa jännite lasketaan nolnaan, pidetään siellä noin kaksi minuuttia ja nostetaan sitten vastakkaiseen napaisuuteen. Jännitteen muutos itsessään kestää vain satoja millisekunteja. Tehon muutosnopeus on Fenno-Skanissa rajattu 60 MW:iin minuutissa.

2.1 Suuntaaja vai kaapeli?

Rajoituksen syyksi esitetään joskus suuntaajien tyristoriventtiilejä: vanha tekniikka ei muka pysyisi nopeiden suunnanmuutosten perässä. Tämä on puoliksi oikein. **Tyristoritekniikka on juurisyy**, koska vain se pakottaa kääntämään kaapelin jännitteen. **Vahinko syntyy kuitenkin kaapelissa**. Fingridin tiedote puhuu merikaapeleita rasittavista suunnanmuutoksista, ja käyttöohjeen vaihtokiintiö samoin kuin Fenno-Skan 1:n alennettu jännite on perusteltu kaapelin kunnolla.

- **Kommutointi ei ole pullonkaula.** Kommutointi tarkoittaa virran siirtymistä tyristorilta toiselle. Sitä tapahtuu satoja kertoja sekunnissa verkkotaajuuden tahdissa, eikä se rajoita suunnanvaihdon nopeutta. Kommutointivirheet johtuvat heikosta tai häiriintyneestä vaihtosähköverkosta.
- **Rajoitus koskee vaihtojen määrää, ei nopeutta.** QPRE ei hidasta yksittäistä vaihtoa, vaan estää vaihdot kesken tunnin.
- **Tekniikat kytkeytyvät toisiinsa.** LCC-yhteys vaatii eristeen, joka kestää napaisuuden käännöt. Käytännössä vain massaimpregnoitu paperi kestää niitä, ja juuri sen kestävyys on rajallinen. Ongelma syntyy tästä yhdistelmästä.

Viron-yhteydet havainnollistavat eroa. **Estlink 1** (2006, 350 MW) on VSC-yhteys muovieristeisillä kaapeleilla, joten siinä napaisuus ei käännä. **Estlink 2** (2014, 650 MW) on LCC-yhteys massaimpregnoidulla kaapelilla, eli samaa tekniikkaa kuin Fenno-Skan. Julkisista lähteistä ei löytynyt tietoa, sovelletaanko Estlink 2:een vastaavaa vaihtokiintiötä tai QPRE:tä.

3. Miksi napaisuuden vaihto rasittaa merikaapelia

3.1 Kaapelin rakenne

Fenno-Skanin kaapelit ovat **massaimpregnoituja** (MIND, mass-impregnated non-draining). Kuparijohtimen ympärille on kierretty noin 0,1 mm paksuja voimapaperinauhoja noin 20 mm:n paksuudelta, ja paperi on kyllästetty hyvin jäykällä mineraaliöljyllä. Nauhojen väliin jää noin 2 mm:n raot (butt gap), jotta kaapeli taipuu. Päällä ovat lyijyvaippa, muovivaippa, teräsnauhat ja kaksinkertainen panssarilanka.

Tämä kaapelityyppi on käytännössä ainoa, joka kestää LCC-yhteyden napaisuudenvaihdot lainkaan. Muovieristeisiin (XLPE) kaapeleihin kertyy niin paljon avaruusvarausta, että vaihto voi vaurioittaa niitä.

3.2 Sähkökenttä tasajännitteellä

Vaihtojännitteellä sähkökentän jakautuminen eristeessä riippuu vain geometriasta: kenttä on voimakkain johtimen pinnalla. Tasajännitteellä kentän määrää eristeen **sähkönjohtavuus**, joka riippuu voimakkaasti lämpötilasta. Kuormitetussa kaapelissa johtimen puoli on jopa 15 °C kuumempi kuin vaippa. Lämmin eriste johtaa paremmin, ja eristeeseen kertyy avaruusvarausta. Seurauksena kenttä "kääntyy": suurin kenttä siirtyy johtimelta vaipan puolelle. Uuden tasapainon syntyminen kestää minuuteista tunteihin.

3.3 Mitä vaihdon hetkellä tapahtuu

- Kun jännite käännetään nopeasti, eristeeseen kertynyt varaus ei ehdi liikkua. Uusi, vastakkainen kenttä summautuu vanhan varauksen kenttään.
- Johtimen viereen kertynyt saman merkinen varaus (homovaraus) muuttuu hetkessä vastakkaismerkkiseksi (heterovaraukseksi) suhteessa johtimeen. Kenttä johtimen pinnalla voimistuu.
- Simuloinnissa kenttä johtimen pinnalla nousi vaihdossa noin **47 kV/mm:iin**, kun vakaa käyttökenttä oli noin 18 kV/mm. Kirjallisuuden mukaan nousu voi olla yli kaksinkertainen normaaliin verrattuna.
- Kahden minuutin nollajännitejakso päästää nopeimman varausosuuden purkautumaan, mutta suurin osa varauksesta jää vielä paikalleen.

3.4 Ontelot ja osittaispurkaukset

Kyllästysmassan lämpölaajenemiskerroin on noin kymmenkertainen paperiin verrattuna. Kun kuorma putoaa ja kaapeli jäähtyy, massa supistuu ja johtimen lähelle syntyy onteloita erityisesti paperinauhojen rakoihin. Ontelon läpilyöntilujuus on pienempi kuin kyllästetyn paperin, ja raossa kenttä on lisäksi voimakkaampi, koska massan permittiivisyys on pienempi kuin paperin. Ontelossa syntyy **osittaispurkauksia**, pieniä sisäisiä kipinöitä.

Purkausten tiheys riippuu jännitteen muutosnopeudesta. Mittauksissa purkauksia oli vaihdon alussa yli **15 000 minuutissa**, kun tasajännitteellä niitä on vain murto-osa tästä.

Napaisuudenvaihto osuu usein juuri pahimpaan hetkeen: teho kulkee nollan kautta, kaapeli jäähtyy ja ontelot kasvavat samaan aikaan, kun jännite muuttuu nopeasti. Fenno-Skanissa on tätä varten myös CDVC-järjestelmä (cable dependent voltage control), joka laskee jännitteen 80 %:iin nopeissa kuorman pudotuksissa.

Paineen lasku jäähtyvässä eristeessä heikentää lisäksi onteloiden läpilyöntilujuutta (Paschenin laki), mikä lisää purkauksia entisestään. Lämpö ja sähkö eivät siis ole erillisiä rasituksia:

jäähtyminen synnyttää heikot kohdat, ja jännitteen muutos laukaisee niissä

purkaukset. Jäähtymisvaiheessa rikkoutuneiden kaapelien purkutarkastuksissa läpilyönti on

edennyt juuri paperinauhojen rakoja pitkin, tyypillisesti 1–2 metrin matkalla kaapelin suunnassa.

3.5 Mekaaniset tekijät

Kuorman vaihtelu muuttaa kaapelin sisäistä painetta: lämmitessään massa laajenee ja painaa lyijy- ja muovivaippaa ulospäin. Siksi vaipan päällä on teräsnauhat, jotka pitävät rakenteen koossa lähellä suurinta sallittua lämpötilaa. Toistuva paineen vaihtelu rasittaa vaippaa ja erityisesti jatkoksia ja päätteitä. Myös Fenno-Skan 1:n kaapelin uusiokäyttöä selvittäneissä kokeissa heikoimmiksi kohdiksi osoittautuivat juuri kaapelivarusteet, eivät kaapeli itse.

On hyvä huomata, että lämpö- ja painevaihtelu syntyy **kaikista kuorman muutoksista**, ei vain suunnanvaihtoista. QPRE ei rajoita tehon määrän vaihtelua päivänsisäisillä markkinoilla, vain suunnan vaihtumista. Tehon muutosnopeutta rajaa erikseen 600 MW / 15 min -ramppiraja.

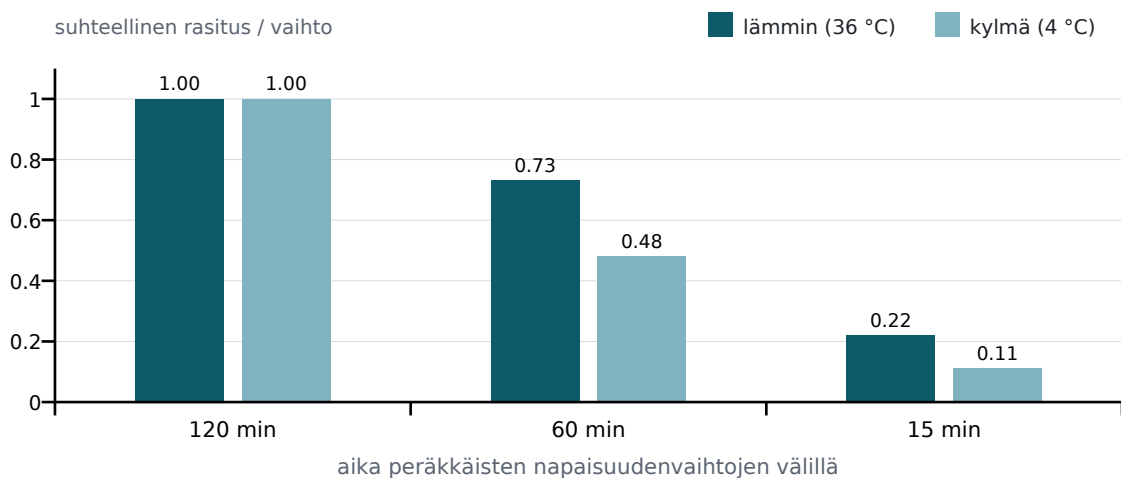
Yleinen väärinkäsitys: magneettiset voimat. Joskus esitetään, että virran suunnan vaihtuminen liikuttaisi kaapelia merenpohjassa Maan magneettikentän ja kaapelin virran välisen Lorentz-voiman vuoksi. Tämä ei pidä paikkaansa kahdesta syystä:

- LCC-yhteydessä **virran suunta ei muutu** suunnanvaihdossa, vain jännitteen napaisuus. Kaapelin magneettikenttä ei siis käänny.
- Voima on mitätön. Maan magneettikenttä on Suomessa noin $50 \mu\text{T}$, joten 1600 A:n virralla voima on enintään $F = I \cdot B \approx 1600 \text{ A} \times 50 \mu\text{T} \approx \mathbf{0,08 \text{ N metriä kohden}}$. Kaapelin vedenalainen paino on satoja newtoneita metriä kohden. Tasavirta ei myöskään saa kaapelia värähtelemään.

Merikaapelin mekaaninen kulumisen pohjassa johtuu merivirroista, ankkureista ja kalastuksesta, ei sähköön suunnasta.

4. Tihentääkö 15 minuutin markkina vaurioita? Ristiniemen simuloinnit

Fingridille tehdyssä diplomityössä (Ristiniemi, Tampereen yliopisto 2024) simuloitiin Fenno-Skan 2:n kaapelin sähkökenttää SINTEFin COMSOL-mallilla. Malli on kehitetty Statnettin, Nexansin, Fingridin ja Svenska kraftnätin rahoittamassa hankkeessa vuosina 2016–2021. Rasitusta arvioitiin käänteisellä potenssimallilla (eksponentti $n = 10$) neljässä kuormitustilanteessa ja kolmella vaihtovälillä.



Kuva 2. Sähköinen rasitus johtimen pinnalla yhtä napaisuudenvaihtoa kohden 24 tunnin kuormitussyklissä, suhteutettuna 120 minuutin väliin (Ristiniemi 2024, taulukot 15 ja 19).

Tulos on yllättävä: **lyhyempi väli vaihtojen välillä pienensi rasitusta** kaikissa neljässä skenaariossa. Kun vaihtoja tulee tiheään, varaus ei ehdi kertyä täyteen ennen seuraavaa vaihtoa,

joten kentän piikki jää pienemmäksi. Yhdessä skenaariossa (äkillinen kuorman pudotus kylmässä) suurin yksittäinen kentän huippu tosin kasvoi, vaikka kokonaisrasitus pieni.

Tärkeä varaus: Ristiniemi korostaa itse, että tuloksesta ei voi päätellä, että vartin välein voisi tehdä kymmenen kertaa enemmän vaihtoja. Malli laskee vain makroskooppisen kentän johtimen pinnalla. Se ei laske osittaispurkauksia, joita jokainen vaihto aiheuttaa jännitteen muuttuessa. Johtopäätös: **vaihtojen tiheys ei sinänsä ole ongelma, vaan vaihtojen lukumäärä on.** Juuri lukumäärää rajaavat sekä vuotuinen eqPR-kiintiö että QPRE.

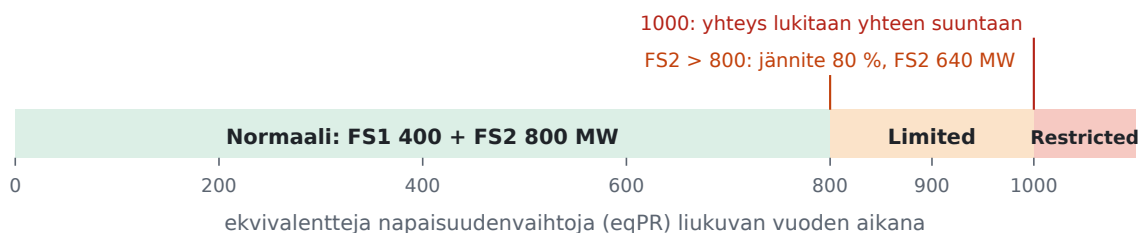
Työn mukaan kaapelivalmistajat asettavat MI-kaapeleille yleensä vuotuisen vaihtomäärän ylärajan ja vähimmäisvälin kahden vaihdon välille. Euroopan yhteisellä sähkömarkkinalla on 20 LCC-yhteyttä ja 23 MIND-kaapelia, joita sama kysymys koskee. Neljä niistä on yli 40 vuotta vanhoja. Tyypillinen suunnittelukäyttöikä on 40 vuotta.

5. Markkinamuutokset, jotka lisäsivät vaihtoja

- **Flow-based-kapasiteetinlaskenta (lokakuu 2024).** Pohjoismaissa siirtokapasiteetit lasketaan nyt koko verkon fysikaalisen mallin pohjalta. HVDC-yhteyksien siirrot optimoidaan osana kokonaisuutta ja seuraavat hintaeroja vapaammin. Rinnakkaisajoissa siirron muutokset jaksosta toiseen kasvoivat Fingridin mukaan teknisesti mahdottomiksi.
- **15 minuutin kaupankäyntijakso.** Päivänsisäinen kauppa siirtyi varttitasolle Ruotsin rajoilla maaliskuussa 2025 ja vuorokausimarkkina lokakuussa 2025. Vuorokaudessa on nyt 96 hintaa 24:n sijaan, ja siirtosuunta voi vaihtua jokaisen vartin välillä.
- **Tuuli- ja aurinkovoiman kasvu.** Suomessa oli vuoden 2023 lopussa noin 7 000 MW tuulivoimaa ja 467 negatiivisen hinnan tuntia. Suomen ja Ruotsin hintaero vaihtaa merkkiä yhä useammin.

6. Kaapelien käytösäännöt: eqPR-kiintiö

Fingridin ja Svenska kraftnätin yhteinen käyttöohje (ENTSO-E SOA Annex FI-SE, versio 3, voimassa 10.12.2025 alkaen) määrittelee, miten kaapelin rasitusta seurataan ja mitä rasituksen kertymisestä seuraa. Rasittavat tapahtumat lasketaan yhteisesti sovitulla **ekvivalentin napaisuudenvaihdon (eqPR)** mallilla, ja kapasiteetti määräytyy liukuvan vuoden kertymän mukaan:



Kuva 3. Fenno-Skanin käyttötilat eqPR-kertymän mukaan.

Tila	Raja (eqPR / liukuva vuosi)	Seuraus	Paluu
Normaali	FS2 alle 800	FS1 400 MW + FS2 800 MW	-
Limited mode	FS2 yli 800	FS2:n jännite 80 %:iin → 640 MW; SE3-FI yhteensä ±1040 MW	alle 750
Restricted mode	FS1 tai FS2 = 1000	Yhteys lukitaan yhteen suuntaan sen mukaan, kumpaan suuntaan energiaa on siirretty enemmän edellisten 3 kuukauden aikana. FS1: 0/400 MW, FS2: 0/800 MW, molemmat: SE3-FI 400/800 MW	alle 900

Muita käyttöohjeen rajoituksia:

- Fenno-Skan 1 toimii pysyvästi 80 %:n jännitteellä "mahdollisen kaapelivian välttämiseksi".
- Fingridin **DPS-algoritmi** (Dynamic Profile Selection) jakaa vuorokausimarkkinan kokonaistehon päivittäin FS1:n ja FS2:n kesken. Algoritmi perustuu Emma Reinikaisen diplomityöhön (Aalto 2024), jossa napaisuudenvaihdot vähenivät simuloinneissa 50–80 % vuodessa.
- Ramppi on enintään 60 MW/min ja 600 MW / 15 min.
- FS1 ei osallistu säätösähkömarkkinoille. FS2 osallistuu mFRR-säätöön, mutta säätö ei saa aiheuttaa napaisuudenvaihtoa.

Tämä selittää tiedotteen lauseen "ilman QPRE-mekanismin käyttöönottoa tehon suunnanmuutosten määrän kasvu voisi tulevaisuudessa edellyttää siirtokapasiteetin rajoittamista". Jos vaihtoja tulee enemmän kuin kiintiö sallii, Fenno-Skan 2 putoaa automaattisesti 640 MW:iin tai lukitaan yhteen suuntaan.

7. Toimenpideketju 2022–2026

Ajankohta	Toimenpide
2022	Häiriösovellus otettiin käyttöön. Myöhempi vaihtojen vähentäminen rakennettiin sen varaan.
1/2024	Reinikaisen diplomityö: dynaaminen tehonjako napojen kesken (myöhemmin DPS-algoritmi).
3/2024	Sovittiin 600 MW:n ramppirajasta flow-basedin käyttöönottoon. Simulointien mukaan se vähensi myös napaisuudenvaihtoja.
10/2024	Pohjoismainen flow-based-kapasiteetinlaskenta otettiin käyttöön.
11/2024	Ristiniemen diplomityö: vaihtovälin vaikutus kaapelin rasitukseen.
3/2025	Fingrid ja Svenska kraftnät alkoivat käydä vastakauppaa päivänsisäisillä markkinoilla vuorokausimarkkinatuloksen napaisuudenvaihtojen poistamiseksi.
10/2025	15 minuutin vuorokausimarkkina. Samalla QPRE otettiin käyttöön mm. Ruotsin ja Puolan välisellä SwePol-yhteydellä ja Ruotsin ja Tanskan välisillä yhteyksillä.
12/2025	Käyttöohjeeseen kirjattiin eqPR-kiintiöt ja käyttötilat.
17.11.2026	QPRE Fenno-Skanille.

8. Miten QPRE toimii

- **Vuorokausimarkkina:** Fenno-Skanin siirtoteho määritellään tunnin ajaksi kerrallaan, vaikka hinnat lasketaan varteittain.
- **Päivänsisäinen markkina:** Siirtotehoa voi edelleen muuttaa 15 minuutin jaksoissa, mutta siirtosuunta ei saa vaihtua kesken tunnin.

- Napaisuudenvaihtoja voi siis tulla enintään 24 vuorokaudessa (tasatunnein), kun ilman rajoitusta niitä voisi tulla jopa 95.
- Vertailu: Puolan PSE:n SwePol-toteutuksessa teho saa muuttua vain tunnin ensimmäisellä vartilla (ramppi 300 MW). Muiden varttien ramppi on nolla.
- Fingridin mallinnusten mukaan QPRE:n ei odoteta vaikuttavan merkittävästi markkinoiden toimintaan.

9. Fenno-Skan 1:n elinkaari ja Fenno-Skan 3

- Fenno-Skan 1 täyttää 40 vuotta vuonna 2029, mitä pidetään HVDC-yhteyden tyypillisenä elinikänä (Kvarken-selvitys 2019).
- Kvarken-selvityksen mukaan Fenno-Skan 1:n kaapelia ei voisi käyttää edes tilapäisesti Fenno-Skan 2:n varapääjohtimena, koska eristevaurion riski on nykyisen kunnon vuoksi erittäin suuri.
- Vuonna 2020 testattiin, voisiko Fenno-Skan 1:n kaapelin jättää käyttöön päätyttyä Fenno-Skan 2:n matalajännitteiseksi paluujohtimeksi. Kaapeli kesti ylivirtakokeet, mutta jatkokset ja päätteet eivät välttämättä kestä. Yksityiskohtaiset tulokset eivät ole julkisia (Rantanen 2021).
- Fingrid ja Svenska kraftnät allekirjoittivat 5/2025 aiesopimuksen Fenno-Skan 3:sta (800 MW, tavoite 2038), joka korvaisi Fenno-Skan 1:n. Svenska kraftnätin vuoden 2026 investointisuunnitelmassa hanketta ei kuitenkaan ole vielä päätetty.

Oma päätelmä: Vuoden 2024 tilastoissa Fenno-Skan 1 siirsi lähes kaiken itään (2,2 vs. 0,5 TWh), kun taas Fenno-Skan 2 kulki molempiin suuntiin (2,3 vs. 1,6 TWh). Todennäköisesti DPS pitää vanhan kaapelin pääosin yhdessä suunnassa ja ohjaa suunnanvaihdot uudempaan Fenno-Skan 2:een. Tämä selittäisi, miksi tiukempi 800 eqPR:n raja on asetettu juuri Fenno-Skan 2:lle. Lähteissä tätä ei sanota suoraan.

10. Mitä ei tiedetä julkisesti

- Miten eqPR-malli painottaa eri tapahtumia (esim. vaihdon kuormitustaso, lämpötila, jännitteen nopeat muutokset). Reinikaisen työssä tämä on kuvattu, mutta työ on luettavissa vain Aalto-yliopiston kirjastossa.
- Kuinka lähellä 800:n rajaa Fenno-Skan 2:n kertymä on ollut 15 minuutin markkinan aikana.
- Osittaispurkausten aiheuttaman vanhenemisen määrällinen arvio. Ristiniemi rajasi sen työnsä ulkopuolelle ja ehdotti täysikokoisen kaapelin laboratoriomittauksia.

Lähteet

- [1] Fingrid (2026): Fingrid varmistaa Fenno-Skan-yhteyksien siirtokapasiteettia uudella mekanismilla. fingrid.fi
- [2] Fingrid & Svenska kraftnät (2025): Joint operation between the Finnish and Swedish subsystems on the AC links and Fenno-Skan. Appendix 2 to SOA Annex OS (FI and SE), v3, 10.12.2025. ENTSO-E.
- [3] Ristiniemi, J. (2024): Polarity reversal stress simulation in high voltage direct current mass-impregnated submarine cables. Diplomityö, Tampereen yliopisto. trepo.tuni.fi/handle/10024/161746
- [4] Reinikainen, E. (2024): Dynamic optimization of the operation of mass-impregnated cables in a bipolar HVDC connection. Diplomityö, Aalto-yliopisto. urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202401282097 (tiivistelmä)
- [5] Fingrid & Svenska kraftnät (2019): HVDC capacity study between Finland and Sweden (Kvarken-selvitys), final version.
- [6] Rantanen, J. (2021): Fenno-Skan 1 kaapeli paluuvirtapiirinä. Fingridin T&K-muistio.;
- [7] ENTSO-E (2025): HVDC Utilisation and Availability Statistics 2024.
- [8] Fingrid (2024): Fingrid to trade on the intraday markets to reduce polarity reversals of interconnectors. 9.12.2024.

- [9] Fingrid (2024): Fingrid and Svenska kraftnät have agreed to implement 600 MW ramping limit on Fennoskan at the Nordic flow-based go-live. 22.3.2024.
- [10] PSE (2025): Komunikat OSP dotyczący wprowadzenia mechanizmu QPRE w procesie SDAC dla połączenia SwePol Link. 24.9.2025.
- [11] Fingrid (2025): Fingrid and Svenska kraftnät initiate planning for Fenno-Skan 3. 20.5.2025.
- [12] Svenska kraftnät (2026): Reviderad investeringsplan 2027–2029.
- [13] Brignone, M. ym. (2023): An Overview on Reversible Sea Return Electrodes for HVDC Links. *Energies* 16, 5349.
- [14] Kim, S.-J. ym. (2024): Experimental and Simulation Studies on Stable Polarity Reversal in Aged HVDC Mass-Impregnated Cables. *Energies* 17, 2352.
- [15] Hitachi Energy: Fenno-Skan – customer story.