

# **110 kV kaapelien kuormitettavuuden selvitys**

**Julkinen raportti**

31.3.2025

Atte Pihkala ja tutkimusryhmä

31.3.2025

Raportti "110 kV kaapelien kuormitettavuuden selvitys" käsittelee Helen Sähköverkon 110 kV maakaapelien kuormitettavuuden tarkempaa selvittämistä. Ennen vuotta 2021 kuormitettavuuslaskelmat perustuivat karkeisiin oletuksiin, joiden arvioitiin olevan mahdollisesti pessimistisiä. Tutkimushankkeessa tehtiin kuormitettavuuskokeita kahden sähköaseman välisillä 1600 mm<sup>2</sup> kuparikaapeleilla, joissa hyödynnettiin lämpötilavalvontalaitteistoja. Ensimmäinen testi maaliskuussa 2021 ei tuottanut luotettavia tuloksia, mutta kesäkuussa 2021 tehdyssä kokeessa kaapelin lämpötila nousi vain hieman yli 30 asteeseen, kun kuormitusaste oli 50-60 % arvioidusta jatkuvasta maksimista.

Konsulttiyhtiön tekemissä laskennallisissa selvityksissä tutkittiin kuormitettavuutta erilaisilla asennustavoilla ja lämpötilaolosuhteilla. Selvityksissä havaittiin, että maaperän lämpötilan pienentäminen ja kuorman syklistyksen huomioiminen parantavat kuormitettavuutta merkittävästi. Kesällä 2022 tehdyissä jatkoselvityksissä tarkennettiin laskelmia ja huomioitiin talvikuormitettavuudet sekä lyhytaikaiset hätätilakuormitettavuudet. Jatkoselvityksissä havaittiin, että kaapeliojan lämpötilaresistiivisyyden pienentäminen kasvatti merkittävästi jatkuvia kuormitettavuuksia. Talvella kuormitettavuudet voivat olla luokkaa 10 % suurempia kuin kesällä. Havaittiin, että lyhytaikaiset 2-36 h kuormitettavuudet ovat paljon suurempia kuin jatkuvat kuormitettavuudet.

Maaliskuussa 2024 saadussa selvityksessä 2000 mm<sup>2</sup> kuparikaapelin kuormitettavuudesta tulokset olivat odotettua huonommat, mikä johtui siitä, että johdinlämpötilaa rajoitettiin merkittävästi maaperän kuivumisen välttämiseksi. Heinäkuussa 2024 tehdyissä jatkoselvityksissä sallittiin suurempi johdinlämpötila, mikä kasvatti kuormitettavuutta. Viimeisessä vaiheessa tehty tarkempi FEM-analyysi osoitti, että ympäröivän maaperän epähomogeenisuuden realistinen huomioiminen parantaa kuormitettavuutta.

31.3.2025

## Sisällys

|                                                                                                            |   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 110 kV kaapelien kuormitettavuus.....                                                                      | 3 |
| Johdanto .....                                                                                             | 3 |
| 1600 mm <sup>2</sup> kuparikaapelien kuormitettavuuskokeet .....                                           | 3 |
| Konsulttiyhtiön tekemät kuormitettavuusselvitykset.....                                                    | 3 |
| Ensimmäinen selvitys toukokuulta 2022 .....                                                                | 4 |
| Toinen selvitys heinäkuussa 2022 ja elokuussa 2022 .....                                                   | 5 |
| Kolmas selvitys tammikuussa 2023 .....                                                                     | 5 |
| Maaliskuussa 2024 saatu ensimmäinen selvitys 2000 mm <sup>2</sup> kuparikaapelin kuormitettavuudesta ..... | 6 |
| Heinäkuussa 2024 saatu jatkoselvitys 2000 mm <sup>2</sup> kuparikaapelin kuormitettavuudesta .....         | 6 |
| Kaapelien kuormitettavuusselvityksen tulosten hyödyntäminen Helen Sähköverkossa .....                      | 7 |
| Havaintoja ja johtopäätöksiä .....                                                                         | 7 |

31.3.2025

# 110 kV kaapelien kuormitettavuus

## Johdanto

Helen Sähköverkon (HSV) suurjännitteisessä 110 kV jakeluverkossa on runsaasti maakaapelia. Sähköasemia yhdistävillä asemilla tyypillisin kaapelityyppi on 800 mm<sup>2</sup> alumiini. Lisäksi johtoväleillä, joilla tarvitaan suurempaa kuormitettavuutta, on käytetty 1600 mm<sup>2</sup> kuparikaapelia ja 2000 mm<sup>2</sup> kuparikaapelia. Muuntajakaapelit ovat 300 mm<sup>2</sup> alumiinia.

Ennen vuotta 2021 110 kV kaapelien kuormitettavuutta ei oltu selvitetty kovin tarkkaan. Joillekin kaapeliyhteyksille oli valmistajan teettämää kuormitettavuuslaskelmia. Oli kuitenkin epäily, että jotkut laskelmissa käytetyt oletukset liittyen muun muassa maaperän lämpötilaan ja lämpöresistanssiin sekä kuormitusprofiiliin ovat todellisuuteen nähden liian pessimistisiä. Useimmille kaapeliyhteyksille käytettiin aiemmin hyvin karkean tason arvioita kuormitettavuudesta.

Tutkimushankkeessa pyrittiin selvittämään tarkemmin kaapelien kuormitettavuutta. Ensimmäisessä vaiheessa tehtiin kuormitettavuuskokeita kahden sähköaseman välisillä 110 kV 1600 mm<sup>2</sup> kuparikaapeleilla. Näissä hyödynnettiin näille kaapeleille asennettuja lämpötilavalvontalaitteistoja. Myöhemmin tilattiin useita 110 kV kaapelien kuormitettavuuteen liittyviä laskennallisia selvityksiä eräältä konsulttiyhtiöltä. Näissä tutkittiin kuormitettavuutta HSV:n ympäristössä tyypillisillä asennustavoilla.

## 1600 mm<sup>2</sup> kuparikaapelien kuormitettavuuskokeet

Kuormitettavuuskokeissa pyrittiin saamaan kahden sähköaseman välisille 1600 mm<sup>2</sup> kuparikaapeleille korkea kuorma tekemällä verkkoon poikkeuskytkentätilanne. Tarkastelluilla kaapeleilla on lämpötilavalvonta, jonka perusteella lasketaan arviot 5 tunnin ja 12 tunnin kuormitettavuudesta. Kaapelirakenteeseen on asennettu valokuituja, joiden avulla kerätään lämpötilatietoa noin metrin tarkkuudella. Tämä kootaan yhteen ja siitä muodostetaan lämpötilatieto DTS-järjestelmällä (Distributed Thermal Sensing). RTTR-sovellus muuttaa laskennallisesti valokuidun lämpötilan kaapelin lämpötilaksi. Siinä on myös laskentatyökalu, jolla voidaan skenarioida eri tilanteita eli esim. ennustaa millä kuormituksella tulisi mikäkin lämpötila tai toisin päin, että jos kaapeli ajetaan johonkin lämpötilaan, mikä olisi kuormitus.

Ensimmäinen testi tehtiin maaliskuussa 2021. Tuohon aikaan Helsingin kantakaupungissa oli vielä CHP-voimalaitoksia, jotka tuottivat lämmityskaudella sähköä. Sitten verkkoon tulleita suuria kulutuskohteita, kuten sähkökattiloita, ei ollut tuolloin vielä olemassa. Tästä johtuen ensimmäisessä talvitestissä kaapelien kuormitusaste oli niin pieni, ettei sen perusteella pystynyt tekemään luotettavia arvioita kuormitettavuudesta.

Seuraava kuormituskoe tehtiin kesäkuussa 2021. Silloin kaapelin kuormitusaste oli enimmillään noin 50-60 % arvioidusta jatkuvasta maksimista. Koetta jatkettiin noin viikon. Kaapelin lämpötila nousi vain hieman yli 30 asteeseen, kun mitoituslämpötila on 65 astetta. Havaittiin siis, että tällaisella kuormitusasteella kaapeli ei vielä lämpene kovin paljon ympäristön lämpötilaan nähden. Myöhemmin tehdyt laskennat vahvistivat tämän.

## Konsulttiyhtiön tekemät kuormitettavuusselvitykset

Helen Sähköverkko tilasi vuosina 2022-2024 useita kaapelien kuormitettavuutta koskevia selvityksiä konsulttiyhtiöltä. Selvityksissä hyödynnettiin Cableizer-sovellusta ja laskettiin kuormitettavuuksia standardin IEC 60853 mukaisesti. Viimeisessä selvityksessä tehtiin myös tarkempia FEM-pohjaisia kuormitettavuuslaskelmia.

31.3.2025

## Ensimmäinen selvitys toukokuulta 2022

Ensimmäinen konsulttiyhtiöltä tilattu selvitys saatiin keväällä 2022. Siinä oli tutkittu kuormitettavuutta neljällä Helsingissä tyypillisellä asennustavalla, joita on kuvailtu tässä sanallisesti.

- Asennustapa 1: 800 mm<sup>2</sup> alumiinikaapeli katurakenteessa kolmioasennuksessa. Kaivannossa on kaksi virtapiiriä, joiden välinen etäisyys toisistaan on kolmion keskipisteestä mitattuna noin 1,0 m. Asennussyvyys on kolmion keskipisteestä mitattuna noin 1,3 m maan pinnasta.
- Asennustapa 2: 800 mm<sup>2</sup> alumiinikaapeli tunnelin pohjalla kolmioasennuksessa. Tunnelin pohjalla on kaksi virtapiiriä, joiden välinen etäisyys toisistaan on kolmion keskipisteestä mitattuna noin 0,5 m.
- Asennustapa 3: 1600 mm<sup>2</sup> kuparikaapeli katurakenteessa kolmioasennuksessa. Kaivannossa on kaksi virtapiiriä, joiden välinen etäisyys toisistaan on kolmion keskipisteestä mitattuna noin 1,2 m. Asennussyvyys on kolmion keskipisteestä mitattuna noin 1,0 m maan pinnasta.
- Asennustapa 4: 1600 mm<sup>2</sup> kuparikaapeli katurakenteessa tasoasennuksessa. Kaivannossa on kaksi virtapiiriä, joiden välinen etäisyys toisistaan on tasoasennuksen keskipisteestä mitattuna noin 1,3 m. Asennussyvyys on tasoasennuksen keskipisteestä mitattuna noin 1,9 m maan pinnasta.

Kaikissa asennustavoissa kaapelit ovat muoviputkissa ja kutakin virtapiiriä (joka koostuu kolmesta kaapelista, eli yksi kaapeli vaihetta kohden) ympäröi joko betonielementti tai asennustavassa 4 paikalla valettu betonisuojaus. Asennustavassa 4 kaapelit on asennettu huomattavasti syvemmälle kuin asennustavassa 3. Asennustavoissa 1 ja 2 maadoitus on tehty molemmissa päissä. Asennustavoissa 3 ja 4 on käytetty cross-bondingia.

Toukokuussa 2022 saadussa selvityksessä oli laskettu jatkuva kuormitettavuus erilaisilla oletuksilla neljässä edellä kuvatussa asennustavassa. Lisäksi oli laskettu syklistä kuormitettavuutta, jossa huomioidaan kuorman vaihtelu vuorokauden aikana. Kullekin asennustavalle laskettiin kuormitettavuus seuraavalla viidellä eri tavalla:

1. Jatkuva kuormitettavuus olettaen maaperän lämpötilaksi 20 astetta ja johtimen lämpötilaksi 65 astetta.
2. Jatkuva kuormitettavuus olettaen maaperän lämpötilaksi 15 astetta ja johtimen lämpötilaksi suurin lämpötila, jolla ympäröivä maaperä ei kuivu kaapeliojan ulkopuolella.
3. Syklinen kuormitettavuus olettaen maaperän lämpötilaksi 15 astetta ja johtimen lämpötilaksi suurin lämpötila, jolla ympäröivä maaperä ei kuivu kaapeliojan ulkopuolella.
4. Jatkuva kuormitettavuus olettaen maaperän lämpötilaksi 15 astetta ja johtimen lämpötilaksi 90 astetta. Ympäröivän maaperän mahdollinen kuivuminen jätetään huomioimatta.
5. Syklinen kuormitettavuus olettaen maaperän lämpötilaksi 15 astetta ja johtimen lämpötilaksi 90 astetta. Ympäröivän maaperän mahdollinen kuivuminen jätetään huomioimatta.

Tapauksissa 2 ja 3 oletuksena oli, että ympäröivä maaperä voi alkaa kuivua, jos sen lämpötila ylittää 50 astetta. Konsulttiyhtiö selvitti lämpökäyriä laskemalla, mikä on suurin johdinlämpötila, jolla maaperän lämpötila kaapeliojan ulkopuolella ei ylitä 50 astetta.

Toukokuussa 2022 saadun selvityksen perusteella tehtiin muun maussa seuraavia havaintoja:

- Asennustavoissa 1 ja 2 kuormitettavuus 2 on noin 20 % suurempi kuin kuormitettavuus 1.,
  - Näin paljon siis kuormitettavuus kasvaa näissä asennustavoissa, jos maaperän lämpötila pienennetään 20 asteesta 15 asteeseen ja johtimen lämpötila kasvatetaan 65 asteesta suurimpaan lämpötilaan, jolla ympäröivä maaperä ei kuivu kaapeliojan ulkopuolella. Tällainen johdinlämpötila oli asennustavoissa 1 ja 2 noin 80 astetta.
- Asennustavassa 3 suurin sallittu lämpötila, jolla ympäröivä maaperä ei kuivu, on 68 astetta, minkä vuoksi prosentuaalinen ero kuormitettavuuden 2 ja 1 välillä on pienempi kuin asennustavoilla 1 ja 2.

31.3.2025

- Asennustavassa 4 kuormitettavuutta 2 ja 3 ei laskettu ollenkaan, koska jo 65 asteen johdinlämpötilalla maaperä saattaa kuivua.
- Asennustavoilla 1, 2 ja 3 kuormitettavuus 3 oli 13 – 24 % suurempi kuin kuormitettavuus 2. Näin paljon siis kuormitettavuus nousee, kun huomioidaan kuorman syklistyys eli vuorokausivaihtelu.
- Asennustavassa 4 kuormitettavuutta rajoittaa asennussyvyys sekä se, että vaiheet ovat lähellä toisiaan. Tämän vuoksi tasoasennuksen hyödyt kolmioasennukseen verrattuna jäävät käytännössä saamatta kuormitettavuuden osalta.

### **Toinen selvitys heinäkuussa 2022 ja elokuussa 2022**

Toukokuussa 2022 saadun raportin pohjalta tilattiin jatkoselvitys, jossa tutkittiin samoja neljää asennustapaa kuin toukokuun 2022 raportissa. Tässä tehtiin joitakin muutoksia keväällä 2022 saadun raportin oletuksiin. Maaperän lämpöresistiivisyyttä kaapeliojassa pienennettiin 2,5 °C.m/W -> 1,2 °C.m/W. Jatkoselvityksenä laskettiin talvikuormitettavuuksia, joissa maaperän lämpötilaksi oletettiin +5 astetta. Lisäksi laskettiin lyhytaikaisia hätätilakuormitettavuuksia. Tämän jatkoselvityksen viimeisin versio saatiin elokuussa 2022.

Kaapeliojan lämpötilaresistiivisyyden pienentäminen kasvatti merkittävästi jatkuvia kuormitettavuuksia, mutta sykliset kuormitettavuudet eivät juuri muuttuneet. Tämä pienentää eroa kuormitettavuuksien 2 ja 3 välillä. Kuitenkin esimerkiksi asennustavassa 1 kuormitettavuus 3, joka huomioi syklistyksen, on noin 7 % suurempi kuin kuormitettavuus 2. Asennustavalla 3 vastaava ero on noin 11 %. Myös päivitetyillä oletuksilla syklistyksen huomioiminen siis parantaa kuormitettavuutta jatkuvaan arvoon verrattuna.

Talvitarkasteluissa maaperän lämpötilaksi oletettiin +5 astetta +15 asteen sijaan. Tämän havaittiin nostavan sekä jatkuvia että syklisiä kuormitettavuuksia noin 13 %.

Kesällä 2022 saadussa raportissa oli laskettu myös lyhytaikaisia hätätilakuormitettavuuksia. Laskelmissa oletuksina oli, että alussa kuormitusvirta on noin puolet jatkuvasta maksimista, ja alkulämpötila määräytyy tämän perusteella. Laskettiin, millaisilla virroilla kaapelia voi kuormittaa 2, 12 tai 36 tunnin ajan ilman, että lämpötila ylittää 90 astetta. Näistä tehtiin muun muassa seuraavia havaintoja:

- Asennustavoilla 1, 3 ja 4 36 h kuormitettavuus on vähintään 1,33-kertainen jatkuvaan kuormitettavuuteen verrattuna.
- Asennustavoilla 1, 3 ja 4 12 h kuormitettavuus on vähintään 1,48-kertainen jatkuvaan kuormitettavuuteen verrattuna.
- Asennustavoilla 1, 3 ja 4 2 h kuormitettavuus on vähintään 2,25-kertainen jatkuvaan kuormitettavuuteen verrattuna.

### **Kolmas selvitys tammikuussa 2023**

Kesällä 2022 saadun selvityksen pohjalta päätettiin tilata vielä jatkoselvitys, jossa laskettiin uudestaan lyhytaikaisia hätätilakuormitettavuuksia. Aiemmasta laskelmasta poiketen oletettiin, että kuormitusaste ennen vikaa on noin 70 - 80 % jatkuvasta maksimista aiemman 50 % sijaan. Tällainen jatkoselvitys tilattiin siitä syystä, että verkostolaskentojen perusteella havaittiin, että käytännössä HSV:n verkkoalueella ei voi olla sellaisia yksittäisiä vikoja, joissa kaapelin kuormitus ennen vikaa on 50 % jatkuvasta maksimista tai alle, mutta nousisi vian jälkeen yli 100 %:iin jatkuvasta maksimista. Jotta kuormitus voisi vian seurauksena nousta yli 100 %:iin jatkuvasta maksimista, pitää vikaa edeltävän kuormitustason olla selvästi enemmän kuin 50 % jatkuvasta maksimista. Korkeamman lähtökuorman vuoksi kaapelin lämpötila ennen vikaa on suurempi, mikä johtaa

31.3.2025

pienempiin hätätilakuormitettavuuksiin. Kun kuormitusaste ennen vikaa on noin 70 - 80 % jatkuvasta maksimista, havaittiin seuraavaa:

- Asennustavoilla 1, 3 ja 4 36 h kuormitettavuus on vähintään 1,20-kertainen jatkuvaan kuormitettavuuteen verrattuna.
- Asennustavoilla 1, 3 ja 4 12 h kuormitettavuus on vähintään 1,29-kertainen jatkuvaan kuormitettavuuteen verrattuna.
- Asennustavoilla 1, 3 ja 4 2 h kuormitettavuus on vähintään 1,87-kertainen jatkuvaan kuormitettavuuteen verrattuna.

### **Maaliskuussa 2024 saatu ensimmäinen selvitys 2000 mm<sup>2</sup> kuparikaapelin kuormitettavuudesta**

Helen Sähköverkolla on verkossaan jonkin verran myös 2000 mm<sup>2</sup> kuparikaapelia. Käytännössä kyseessä on kahden sähköaseman välillä oleva 110 kV kaksoisavojohtoyhteys, josta alle kilometrin mittainen osio on kaapeloitu. Verkostolaskentojen perusteella vaikutti siltä, että on mahdollista, että jossain tilanteessa nämä kaapelit ovat kuormitettavuuden pullonkaulana. Siksi päätettiin teettää selvitys myös näiden kaapeliyhteyksien kuormitettavuudesta. Myös nämä selvitykset teetettiin samalla konsulttiyhtiöllä. Ensimmäinen selvitys saatiin maaliskuussa 2024.

Näiden kaapeliyhteyksien kuormitettavuutta selvitettiin varsin tarkasti. Laskelmissa huomioitiin erilaiset asennusolosuhteet koko kaapelireitillä ja muiden 110 kV kaapelien lämmittävä vaikutus. Osoittautui kuitenkin, että niin sanottu perusasennustapa oli kuormitettavuuden puolesta kaikkein rajoittavin. Tämä johtui siitä, että tässä perusasennustavassa virtapiirit, joiden kuormitettavuutta tarkasteltiin, ovat lähempänä toisiaan kuin niissä kohdissa, joissa lähistöllä on muita 110 kV kaapeleita. Tässä perusasennustavassa on kaksi virtapiiriä kolmioasennuksessa maassa. Kaivannossa on kaksi virtapiiriä, joiden välinen etäisyys toisistaan on kolmion keskipisteestä mitattuna noin 1,0 m. Asennussyvyys on kolmion keskipisteestä mitattuna noin 1,1 m maan pinnasta. Kaapelit ovat muoviputkissa ja kutakin virtapiiriä (joka koostuu kolmesta kaapelista, eli yksi kaapeli vaihetta kohden) ympäröi betonielementti. Maadoitus on yhdessä päässä.

Lasketut kuormitettavuudet olivat huomattavasti alhaisempia kuin odotettiin. Yksi syy tähän oli se, että johdinlämpötila rajoitettiin sellaiseen arvoon, että lämpötila betonielementin ulkopuolella ei saa ylittää 50 astetta. Tämä rajoitti johdinlämpötilan 60 asteeseen, minkä seurauksena laskettu kuormitettavuus oli huono.

### **Heinäkuussa 2024 saatu jatkoselvitys 2000 mm<sup>2</sup> kuparikaapelin kuormitettavuudesta**

Jatkoselvityksissä muutettiin oletuksia 2000 mm<sup>2</sup> kuparikaapelien kuormitettavuuslaskennassa. Lisäksi teetettiin tarkempi FEM-analyysi. Jatkoselvityksissä keskityttiin niin sanottuun perusasennustapaan, jota kuvailtiin sanallisesti edellä, koska maaliskuun 2024 analyysin perusteella se on koko kaapeliyhteyden kuormitettavuuden rajoittavin osio.

Ensimmäisessä vaiheessa tehtiin sellainen muutos, että oletus alueesta, jolla 50 asteen lämpötila ei saa ylittyä, on kaapeliojan ulkopuolella. Aiemmassa analyysissä siis 50 astetta ei saanut ylittyä betonielementin ulkopuolella. Kun kaapeliojan sisällä sallitaan 50 asteen ylitys, mahdollistaa tämä suuremman johdinlämpötilan. Sallittu johdinlämpötila nousi tämän ansiosta 60 asteesta 75 asteeseen. Tämä muutos kasvatti laskennallista jatkuvaa ja syklistä kuormitettavuutta noin 12 %.

Kaapeli kestää jatkuvasti 90 asteen johdinlämpötilaa. Usein kuitenkin sallittu lämpötila rajoitetaan alempaan arvoon. Syynä johdinlämpötilan rajoittamiseen on se, että korkeat johdinlämpötilat voivat johtaa maaperän kuivumiseen. Maaperän kuivuessa lämpöresistiivisyys kasvaa, mikä taas voi johtaa kuormitettavuuden

31.3.2025

heikentymiseen. Laskelmissa oletuksena on ollut, että maaperä alkaa kuivua, kun lämpötila ylittää 50 astetta. Arvio oli, että kostean maan lämpöresistiivisyys olisi 1,0 °C.m/W ja kuivan 2,7 °C.m/W.

Tutkittiin, millainen arvo saadaan kuormitettavuudelle, jos johdinlämpötilan sallitaan nousevan 90 asteeseen, mutta käytetään koko ympäröivälle maaperälle kuivuneen maan oletettua lämpöresistiivisyyttä 2,7 °C.m/W. Tällä laskentatavalla saatiin erittäin huono arvio kuormitettavuudelle. Se oli yli 20 % pienempi kuin silloin, jos sallitaan johdinlämpötilaksi vain 60 astetta, mutta käytetään ympäröivälle maalle kostean maan lämpöresistiivisyyttä 1,0 °C.m/W. On kuitenkin erittäin pessimististä olettaa koko ympäröivälle maaperälle lämpöresistiivisyydeksi 2,7 °C.m/W. Käytännössä mahdollinen lämpenemisestä johtuva maaperän kuivuminen koskee vain pientä aluetta kaapelin läheisyydessä. Yksinkertaiset laskentamallit, kuten IEC 60853, olettavat ympäröivän maaperän homogeeniseksi.

Viimeisessä vaiheessa tehtiin tarkempi FEM-analyysi, jossa maaperä oletettiin epähomogeeniseksi. Laskelmassa johdinlämpötilaksi oletettiin 90 astetta. Laskelmassa selvitettiin, millä alueella ympäröivän maaperän lämpötila ylittää 50 astetta. Tällä alueella käytettiin ympäröivälle maaperälle kuivuneen maan oletettua lämpöresistiivisyyttä 2,7 °C.m/W ja muualla kostean maan oletettua lämpöresistiivisyyttä 1,0 °C.m/W. Tällä laskentatavalla saatiin huomattavasti suurempi kuormitettavuus kuin silloin, jos johdinlämpötilaa rajoitetaan maaperän kuivumisen välttämiseksi.

### **Kaapelien kuormitettavuusselvityksen tulosten hyödyntäminen Helen Sähköverkossa**

Vuosina 2022 ja 2023 saatujen selvitysten tulosten perusteella päivitettiin verkon käytössä ja verkon suunnittelussa sovellettavia kuormitettavuusarvoja 800 mm<sup>2</sup> alumiinikaapeleille ja 1600 mm<sup>2</sup> kuparikaapeleille. Käytönvalvontajärjestelmässä on tehtyjen päivitysten jälkeen kaksi eri kuormitusrajaa, joista molemmille on erikseen kesä- ja talviarvot. Ensimmäisen kuormitusrajan pohjana on kesätilanteessa tavalla 3 laskettu kuormitettavuus, eli syklinen kuormitettavuus olettaen maaperän lämpötilaksi 15 astetta ja johtimen lämpötilaksi suurin lämpötila, jolla ympäröivä maaperä ei kuivu kaapeloijan ulkopuolella. Toisen kuormitusrajan pohjana on laskettu 36 tunnin hätätilakuormitettavuus. Näihin molempiin sovellettiin pientä marginaalia laskettuihin arvoihin verrattuna, koska laskemat eivät välttämättä huomioi kaikkien kaapeliyhteyksien osalta kuormitettavuutta eniten rajoittavaa osioita. Lisäksi voi olla ulkoisia lämpölähteitä. Myös maaperän lämpötilaan ja muihin laskentaparametreihin liittyy jonkin verran epävarmuutta. Talvikaudella sovelletaan korkeampia kuormitusrajoja. 2000 mm<sup>2</sup> kuparikaapelien osalta tarkasteltiin koko johtoväli niin tarkasti, että päädyttiin soveltamaan suoraan FEM-menetelmällä laskettuja kuormitettavuusarvoja ilman marginaalia.

Ennen kaapelien kuormitettavuusselvitystä käytönvalvontajärjestelmässä oli kaapeleille sama kuormitusraja ympäri vuoden. Päivitysten jälkeen kesäajan ensimmäinen kuormitusraja pysyi käytännössä samana kuin ennen selvityksiä sovellettu raja, mutta talvikauden ensimmäinen kuormitusraja on noin 10 % suurempi. Lisäksi toinen kuormitusraja, joka perustuu 36 tunnin hätätilakuormitettavuuteen, on merkittävästi ensimmäistä rajaa suurempi. Selvityksen tulosten pohjalta tehtyjen päivitysten ansiosta verkkoa voidaan käyttää ja suunnitella aiempaa tehokkaammin.

### **Havaintoja ja johtopäätöksiä**

Seuraavassa on lueteltu joitakin kaapelien kuormitettavuusselvityksessä tehtyjä havaintoja:

- Jos kaapelin kuormitusaste on noin 50 % jatkuvasta maksimista, johtimen lämpötila nousee vain noin 15 astetta ympäristön lämpötilaa korkeammaksi.
  - Tämä havaittiin sekä mittauksissa että laskelmissa.



31.3.2025

- Kaapeliojan oletetulla lämpöresistiivisyydellä on suurehko vaikutus kaapeliyhteyden kuormitettavuuteen.
- Kuorman syklistyksen huomioiminen voi parantaa laskennallista kuormitettavuutta merkittävästi. Verkkoyhtiöillä vain harvoin kaapelit ovat koko vuorokauden samassa kuormassa.
- Talvella kaapelien kuormitettavuus voi olla kylmemmästä maaperän lämpötilasta johtuen luokkaa 10 % suurempi kuin kesällä.
- Kaapelien lyhytaikaiset hätätilakuormitettavuudet ovat yleensä paljon suurempia kuin jatkuvat kuormitettavuudet.
- Joitakin esimerkkejä lyhytaikaisista hätätilakuormitettavuuksista:
  - Jos lähtötilanteessa kaapelin kuormitusaste on 50 % jatkuvasta maksimista, 36 tunnin kuormitettavuus on katuasennuksessa tarkastelluilla asennustavoilla ainakin 1,3-kertainen jatkuvaan kuormitettavuuteen verrattuna.
  - Jos lähtötilanteessa kaapelin kuormitusaste on 80 % jatkuvasta maksimista, 36 tunnin kuormitettavuus on katuasennuksessa tarkastelluilla asennustavoilla ainakin 1,2-kertainen jatkuvaan kuormitettavuuteen verrattuna.
  - 2 tunnin kuormitettavuus voi lähtötilanteen kuormitusasteesta riippuen olla noin kaksinkertainen tai jopa yli kaksinkertainen jatkuvaan kuormitettavuuteen verrattuna.
- Johdinlämpötilan merkittävä rajoittaminen ympäröivän maaperän kuivumisen välttämiseksi saattaa johtaa pessimistiseen arvioon kaapelin kuormitettavuudesta.
- Vielä pessimistisempi arvio saadaan, jos nostetaan johtimen lämpötila 90 asteeseen, mutta samalla oletetaan, että ympäröivän maaperän lämpöresistiivisyys vastaa kaikkialla kuivuneen maan arvoa.
- Huomattavasti korkeampi ja todennäköisesti realistisempi arvio kuormitettavuudelle saadaan FEM-analyysillä, jossa sallitaan johdinlämpötila 90 astetta, oletetaan ympäröivä maaperä epähomogeeniseksi ja sovelletaan kuivuneen maan lämpöresistiivisyyttä vain niissä osissa, joissa maaperän lämpötila on yli 50 astetta.