



ELENIA

Loppuraportti

Kaapelipäätteiden sensorointikonsepti



ELENA

1 Projektin yhteenveto

1.1 Yleiskuvaus

Projektin tarkoituksena oli muodostaa IoT-sensorikonsepti puistomuuntamon keskijännitekaapelipääteiden kunnonseurantaan. Projektin aikana toteutettiin pilottiprojekti osittaispurkausten havainnointiin soveltuvasta IoT-sensorista. Sensorilla osittaispurkaukset voidaan havaita äänen perusteella ja kustannustehokkaalla jatkuva-aikaisella seurannalla voidaan aloittaa korjaavat toimenpiteet nopeammin, kuin nykyisillä menetelmillä.

1.2 Projektin tavoitteet

Projektin päätavoitteena oli luoda uudenlainen ja kustannustehokas menetelmä keskijännitekaapelipääteissä tapahtuvien osittaispurkausten seurantaan. Osittaispurkausten havainnointi mahdollisimman aikaisessa vaiheessa mahdollistaisi tarvittavien korjaustoimenpiteiden suorittamisen ja vähentäisi kunnossapitokustannuksia.

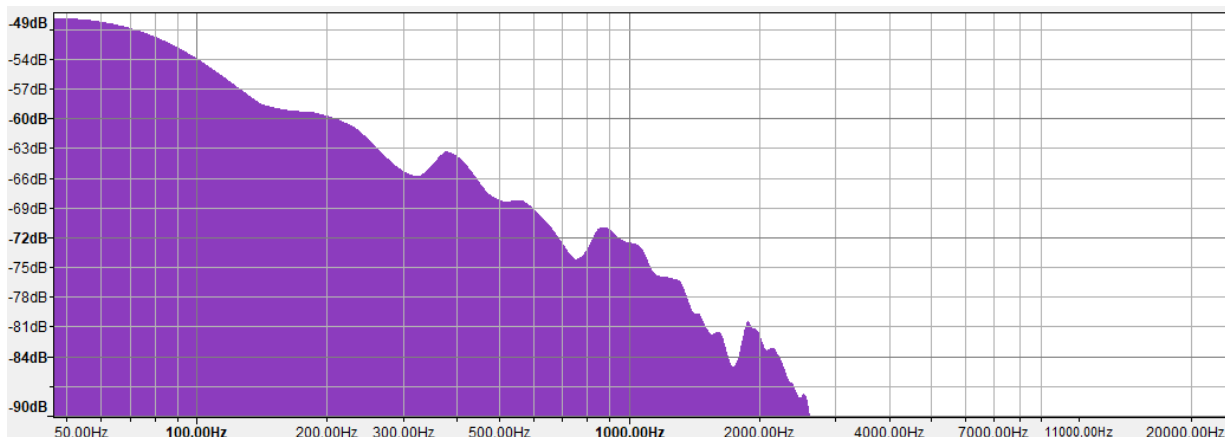
2 Projektin toteutus ja tuotokset

Projekti käynnistyi heinäkuussa 2019 ja päättyi tammikuussa 2020. Projektin tarkoituksena oli muodostaa laajennettavissa oleva ja kustannustehokas sensorointikonsepti puistomuuntamoiden keskijännitekaapelipääteiden kunnonseurantaan. Projektin alussa selviteltiin erilaisia mahdollisuuksia, joista selvästi parhaimpana ja soveltuvimpana pidettiin äänen seuranta. Teollisuudessa ääntä tai laitteen värähtelyä hyödynnetään koneiden kunnan jatkuva-aikaisessa seurannassa jo laajasti. Mekaaniset vikaantumiset tai muutokset on mahdollista havaita todella nopeasti seuraamalla koneen synnyttämää ääntä tai värähtelyä ja keskeyttää koneen käyttö ennen kuin vikaantuminen johtaa odottamattomaan keskeytykseen muun muassa nopeuttaen huoltoaikaa ja vähentäen kustannuksia. Äänen hyödyntäminen sähköverkko-omaisuuden kunnonseurannassa on kuitenkin täysin uudenlainen innovaatio.

Muita mahdollisia toteutustapoja olisi esimerkiksi on-line kaapelin kunnan seurantaan soveltuvat mittauslaitteistot, lämpötila-anturit tai lämpökamera. Osittaispurkaukset aiheuttavat äänen lisäksi lämpenemistä ja eristemateriaalin heikentyessä tarkoilla mittauslaitteistoilla voidaan havaita esimerkiksi osittaispurkaukset hyvin varhaisessa vaiheessa. Näiden kaikkien menetelmien ongelmana on erityisesti hinta, sillä tarkat mittauslaitteistot ja lämpökamerat maksavat paljon ja lämpötila-antureita tarvittaisiin jokaiselle kaapelille, jolloin sensoroinnin kustannukset kasvaisivat. Monissa tapauksissa lämpötila-anturien asentaminen jälkiasennuksena tulisi myös kalliiksi. Oletettavasti yhdellä ainoalla mikrofonilla taas olisi mahdollista havaita missä tahansa kaapelipääteessä tapahtuvat osittaispurkaukset.

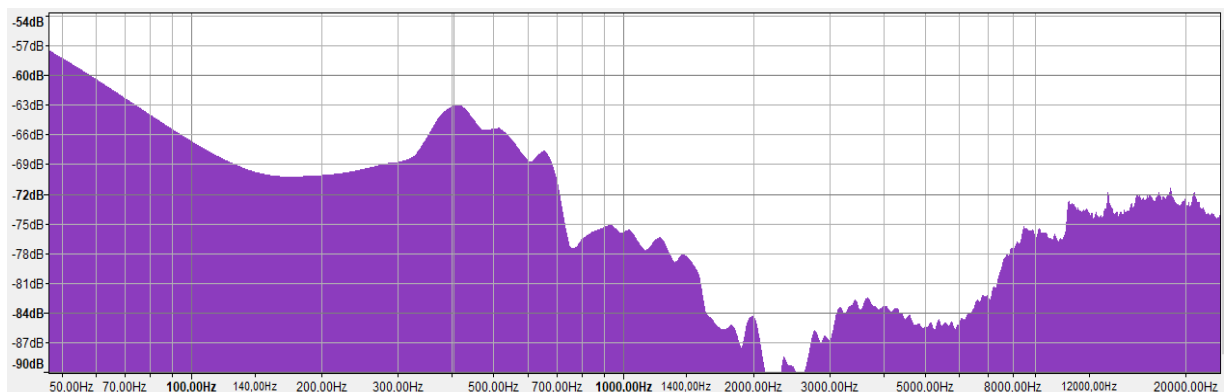
Aiempien tutkimusten perusteella osittaispurkauksista syntyvä ääni tuottaa ympäristöstä selvästi poikkeavaa korkeataajuisia ääntä. Alla olevissa kuvissa on esitetty taajuusspektrit ehjältä muuntamolta ja muuntamolta, jossa osittaispurkauksia tapahtui jatkuvasti.

Kuvassa 1 on esitetty äänispektrikuvaaja täysin kunnossa olevasta muuntamosta. Muuntamon muuntaja pitää erityisesti 50 Hz alueella selvästi kovinta ääntä, mikä ilmenee mittauksissa. Korkeataajuisia ääniä ei kuitenkaan voida havaita ollenkaan.



Kuva 1. Ehjän muuntamon äänispektri

Kuvassa 2 on kuvattu muuntamon äänispektri, kun keskijännitekaapeleiden päätteissä tapahtui jatkuva-aikaisesti korvin selvästi kuultavia osittaispurkauksia. Verrattuna aiempaan kuvaan havaitaan selvä ero korkeiden taajuuksien voimakkuuksissa.



Kuva 2. Muuntamon äänispektri, kun osittaispurkauksia tapahtuu keskijännitekaapelin päätteissä

Projektin alkuvaiheessa pyrittiin löytämään sensoritoimittajia, joilla olisi aikaisempaa kokemusta äänisensoroinnista. Äänisensorin toteutuksessa on käytännössä kaksi erilaista vaihtoehtoa: digitaalinen ja analoginen. Digitaalisessa versiossa mikrofonin ääni muunnetaan digitaaliseksi signaaliksi, joka olisi mahdollista siirtää sensorilta sensorijärjestelmään jatkoanalysoitavaksi. Sensori itsessään voi myös tehdä tarvittavat analysoinnit ja lähettää ainoastaan analyysin tulokset sensorijärjestelmälle. Analogisessa versiossa ääntä ei muunneta ollenkaan digitaaliseksi, vaan sopivilla taajuussuodattimilla voitaisiin tunnistaa korkeilla taajuuksilla ilmenevät osittaispurkausäänet ja lähettää ainoastaan hälytysignaali sensorijärjestelmään.

Digitaalisia versioita tarjoavia toimittajia löydettiin muutama. Yhdelläkään toimittajalla ei kuitenkaan ollut täysin tähän käyttötapaukseen soveltuvaa sensoria valmiina, mutta muutamilla oli jo käynnissä kehitystyötä paremmin soveltuville sensoreille. Ääniseuranta tehdään teollisuusympäristössä paljon, mutta puistomuuntamoympäristöön perinteisemmät ratkaisut eivät voi toimia muun muassa ulkoisen virransyötön ja sääolosuhteiden vaatimusten takia.

Digitaalinen versio äänisignaalista mahdollistaisi huomattavasti tarkemman analyysin, mutta digitaalisen version heikkouksina ovat kasvavat kustannukset esimerkiksi suuremman virrankulutuksen ja komponenttien takia. Äänisignaalin prosessointi tai lähettäminen verkon yli kuluttaa paljon virtaa, mikä tarkoittaa, että sensori vaatisi ulkoisen virranlähteen pitkän toiminta-ajan takaamiseksi. Elenian puistomuuntamoissa ei usein ole valmiina pistorasiaa keskijännitekojeiston puolella, jolloin ulkoinen virtalähde pitäisi toteuttaa kalliina jälkiasennuksena. Lisäksi salakuuntelulainsäädännön tulkinta muuntamoiden kuuntelussa oli kovin epävarmaa, joten näistä syistä digitaaliset ratkaisut jätettiin huomioimatta tämän projektin osalta. Digitaalisia ratkaisuja ei kuitenkaan tule kokonaan unohtaa myöhemmissä jatkokehitysprojekteissa, koska niiden heikkouksiin on odotettavissa parannuksia tulevaisuudessa.

Analogisia ratkaisuita tarjoavia sensoritoimittajia löydettiin ainoastaan yksi. Suomalaisella Melutalla oli jo kaupallisesti valmis ilmiötunnistin, jota käytetään teollisuusympäristössä. Melutan kanssa tehtiin sopimus kehitysyhteistyöstä, jotta tunnistimesta saataisiin osittaispurkausilmiöitä havainnoiva IoT-sensori. Pienillä muutoksilla ja LoRaWAN-verkossa toimivaan IoT-tietoliikennemuoduliin integroimisella saatiin ensimmäinen prototyyppi sensorista toteutettua. Laitteen toiminta perustui tavalliseen mikrofoniiin, jonka luoma analoginen signaali vietiin analogiakomponenteilla muodostetun yläpäästösuodattimen läpi, mikä suodatti alhaiset taajuudet signaalista. Sensorin herkkyyttä säätämällä tarpeeksi sensori voisi tunnistaa voimakkaat korkeataajuiset osittaispurkausäänet ja lähettää siitä ilmoituksen muuntamoiden kunnossapitovastaavalle. Ensimmäisen version sensorissa oli kuitenkin vielä haasteita sensorin herkkyyden säädössä, sillä osittaispurkausäänien voimakkuudet ja ympäristön aiheuttama taustamelu vaihtelevat melko paljon eri kohteissa. Tämän takia sensoria jatkokehitettiin muuttamalla suodattimen voimakkuutta ja lisäämällä sensorin mittaustarkkuutta.

Ympäristön melu aiheutti kuitenkin edelleen haasteita mittausten luotettavuudessa, sillä sensori havaitsi edelleen osittaispurkauksia myös muuntamoilla, joissa osittaispurkauksia ei todellisuudessa tapahtunut. Tämä osoittaa osittaispurkausäänien havaitsemisen haasteelliseksi analogisilla komponenteilla. Digitaalisella äänisignaalin analysointialgoritmeilla, kuten nopealla Fourier'n muutoksella (FFT), äänisignaalista saataisiin helposti eroteltua korkeataajuiset komponentit. Digitaalisessa versiossa on kuitenkin haasteina erityisesti aiemmin mainittu virrankulutus, koska sensorin käyttöänsä tavoitteeksi on asetettu 6 vuotta muuntamoiden yleisen tarkastusvälin mukaisesti.

2.1 Tuotosten hyödyntäminen ja mahdolliset jatkotutkimustarpeet

Melutan kanssa kehitettyä sensoria pitää vielä jatkokehittää, jotta siitä voitaisiin saada tarpeeksi luotettava ja toimiva laite. Melutan kanssa käytyjen keskustelujen perusteella sensorin tuotantoversion kappalehinta osuu sille asetettuihin tavoitteisiin. Kun mittaustarkkuus saadaan riittävän hyvälle tasolle, sensoreita voidaan asentaa ensimmäisiin kohteisiin, joissa osittaispurkauksia voi aiempien kokemusten mukaan esiintyä normaalia herkemmin. Näiden asennusten jälkeen on mahdollista paremmin todeta, kuinka hyvin tämä ratkaisu toimisi ja kannattaako sitä laajentaa mahdollisesti laajemminkin.