



Aalto-yliopisto
Perustieteiden
korkeakoulu

Sähkönjakelujärjestelmän toimintavarmuuden parantaminen

Mat-2.4177 Operaatiotutkimuksen projektityöseminaari

Antti Aikala

Teemu Käsäkangas

Ilmari Pärnänen

Outi Pönni

Anton von Schantz



Projekti-
suunnitelma

2.3.2012

Tausta ja lähtökohdat

Projektityö sähköjakelujärjestelmän toimintavarmuuden parantamisesta tehdään Puolustusvoimien Teknilliselle Tutkimuslaitokselle. Projektin tarkoituksena on selvittää haja-asutusalueiden sähköverkon varmentamisesta aiheutuvia kustannuksia, joiden avulla voidaan sitten arvioida uusien investointien kannattavuutta. Tarkastelu rajoittuu kahteen eri varmentamisvaihtoehtoon: maakaapelointiin sekä dieselgeneraattoreihin.

Sähköjakelujärjestelmien toimintavarmuuden varmentaminen on tullut ajankohtaiseksi sähkökatkosten aiheuttamien haittojen johdosta. Suurin osa vioista aiheutuu luonnonilmiöistä, kuten myrskyistä sekä lumikuormasta, ja ne kohdistuvat enimmäkseen ilmajohtoverkkoihin [1]. Maakaapeloinnin avulla voitaisiin siis vähentää sähkökatkoja, ja näin parantaa koko järjestelmän toimintavarmuutta. Dieselgeneraattoreita voitaisiin puolestaan käyttää tuottamaan sähköä, kunnes vaurio on saatu korjattua.

Työ- ja elinkeinoministeriön mukaan Suomen sähkön pien- ja keskijänniteverkon maakaapelointi maksaisi 10–20 miljardia euroa [2]. Tarkastelussa otetaankin huomioon, voitaisiinko kustannustehokkaampaan ratkaisuun päästä hankkimalla haja-asutusalueiden kotitalouksille varavoimakone eli dieselgeneraattori.

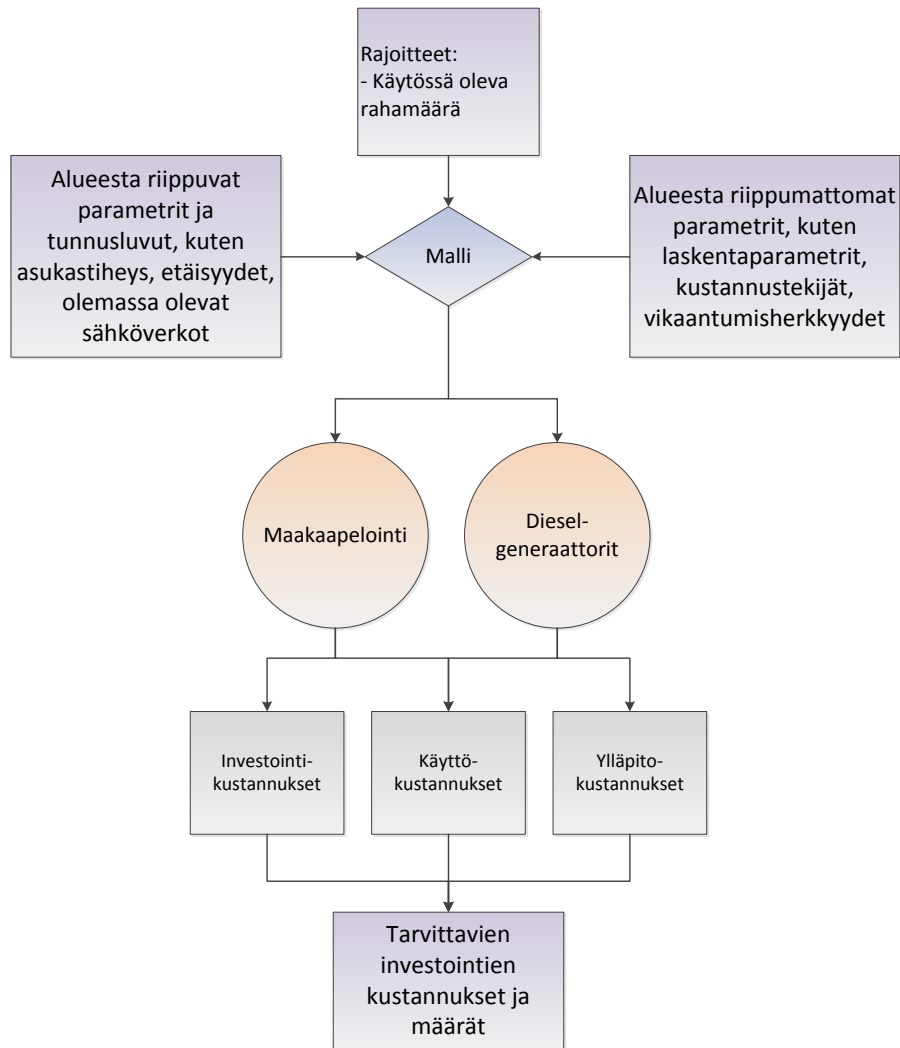
Tavoitteet

Projektin tavoitteena on selvittää tarkastelluista vaihtoehdoista kustannustehokkaita ratkaisuja päätöksenteon tueksi. Tehtävänä on myös luoda yleiseen käyttöön sopiva laskennallinen malli, jolla kustannustehokas vaihtoehto voidaan ratkaista sähköjakelujärjestelmän toimintavarmuuden parantamiseksi. Pyrkimyksenä on rakentaa työkalu, jonka avulla voidaan selvittää tarvittavien varmentamisjärjestelmien määrät ja sijainnit, kun rajoittavana tekijänä on käytössä oleva budjetti. Mallin tulee ottaa huomioon sekä investointi-, käyttö- että ylläpitokustannukset.

Mallia varten luodaan erilaisia tarkoitukseen sopivia hyvyysmittoja sekä päätetään parametrit eli tunnusluvut, jotka malliin syötetään. Koska kyseessä on yleinen malli, tarvitaan joka tilanteeseen erikseen tiettyjä tunnuslukuja, kuten asukastiheys ja suurimmat etäisyydet. Jo olemassa olevat verkot sekä niiden jäljellä oleva käyttöikä huomioidaan uusien investointien kustannuksia laskettaessa.

Mallin avulla suoritetaan esimerkkিতarkastelu, jolla pystytään demonstroimaan mallin toimivuus. Esimerkkিতarkastelua varten suunnitellaan alue, ja sille sopivat tunnusluvut. Mallin parametrien sekä kokonaisuuden hahmottamista varten mallin keskeinen sisältö on esitelty kuvassa 1.

Jos aikaa riittää, niin lopuksi tehdään vielä lisätarkastelu, joka ei suoraan liity malliin. Lisätarkastelussa käsitellään vaihtoehtoa, jossa kiinteiden varavoimakoneiden lisäksi käytössä on kriittisiä kohtia varten liikkuva voimakonereservi. Lisätarkasteluun voidaan lisätä myös selvitys matkapuhelin- ja viranomaisverkon tukiasemat sekä taajama-alueiden vesihuolto. Tätä varten tulee tietää verkon käytettävyyttä, eli montaako tukiasemaa voidaan ajaa yhdellä voimakoneella. Myös ennaltaehkäisevien toimenpiteiden vaikutusta sähköjakeluverkon toimintavarmuuteen voidaan käsitellä.



Kuva 1: Malli ottaa huomioon ainakin seuraavat tarkasteltavat asiat sekä ratkaisee niiden avulla kokonaiskustannukset.

Aineistot

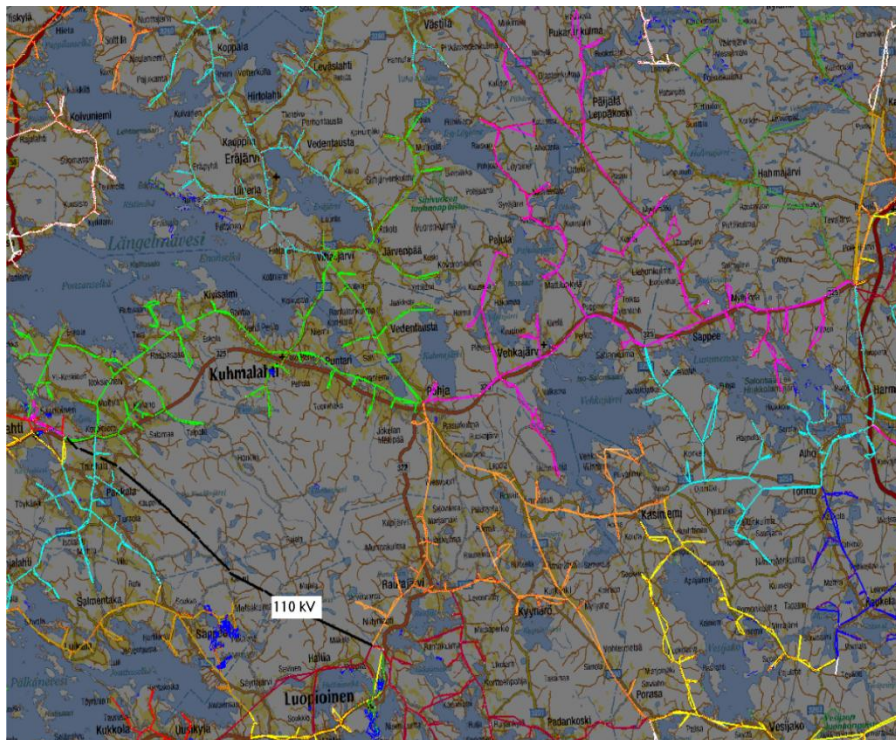
Mallia varten tarvitaan erityisesti eri vaihtoehtojen kustannusinformaatiota ja tietoa häiriöfrekvensseistä. Kaapeloinnin ja ilmajohtojen rakentamis- ja käyttökustannuksista löytyy melko hyvin tietoa. Lisäksi on löytynyt jo tietoa siitä, miten erityyppisten kotitalouksien sähkökatkoja voidaan arvottaa ja miten pikaisesti korjattavien sähkökatkojen lukumäärä vaikuttaa keskimääräiseen katkoaikaan [1].

Dieselgeneraattorien kustannuksista tullaan hakemaan lisätietoa verkkoyhtiöiltä, koska tähän liittyy oleellisesti myös generaattoreiden liittäminen kiinteäksi osaksi kodin sähköjärjestelmää. Eli generaattorit voivat korvata varmistustoimenpiteenä kaapeloinnin täysin vain jos ne käynnistyvät sähkökatkojen johdosta automaattisesti ja jos niiden avulla pystytään käyttämään normaalia talon sisäistä sähköverkkoa. Tällaisista asennuksista on verkkoyhtiöillä PVTT:n mukaan kokemusta.

Joissain kohteissa dieselgeneraattorit voivat olla osittain integroitavissa mahdolliseen öljylämmitysjärjestelmään erityisesti öljysäiliön ja piipun osalta, toisaalta taas tietyissä kohteissa generaattorien sijoitus voi olla hyvin haasteellista. Tässä työssä ei paneuduta syvällisesti tällaisiin seikkoihin, kuitenkin ajan salliessa voidaan varioida generaattorien hintaa tai käyttää mallissa vakiohinnan sijaan generaattoreille esimerkiksi hintajakaumaa, mikäli aiheesta löytyy riittävästi tietoa.

Häiriötietoja haetaan lisää esimerkiksi vuositilastoista. Jonkin verran lisätietoa tarvittaneen myös ilmaverkon uusimistarpeesta ja ilmaverkon ominaisuuksien vaikutuksesta häiriötiheyksiin.

Tarkastelua varten tarvitaan lisäksi tietoja tarkasteltavasta alueesta. Mallin kehitystä varten on oleellista selvittää, minkälaista tietoa on saatavilla helposti ja miten tästä tiedosta voidaan generoida kannattavuustarkastelun kannalta oleellista tietoa. Esimerkiksi sähkökäyttäjien tiheyden ja aluetyypin avulla voidaan ehkä generoida arvioita yhden verkon osan laajuudesta ja tämän kautta myös verkon vikaantumisherkyydestä. Olettamana on, että erittäin harvaan sijoittuneet käyttökohteet ovat kannattavampia varmistaa varavoimalähtein kuin verkon kaapeloinnilla. Tältä osin aineistotarve tarkentuu työn kuluessa, kun tutustutaan tarkemmin erilaisiin kuvauksiin sähköverkoista.



Kuva 2: Erään haja-asutusalueen sähköverkko.

Esimerkiksi oheinen kuva 2 [3] esittää tyypillistä haja-asutusalueen sähköverkkoa. Kuvan informaation lisäksi kaivattaisiin lisäksi tietoa mm. käyttökohteiden liityntätehoista, johtojen kunnoista yms. Toisaalta työn suppeuden takia verkko pitäisi mieluiten olla valmiiksi kuvattu tekstimuotoisena, jottei jouduta tekemään kuvasta työlästä analyysiä aineiston saamiseksi numeromuotoon.

Työmenetelmät

Projektissa kokoonnutaan säännöllisesti, jolloin katsotaan miten hyvin ollaan aikataulussa ja jaetaan jäsenille omat tehtävät seuraavaan tapaamiseen asti. Kriittiset päätökset, kuten luotavan mallin määrittely, tehdään yhdessä. Alussa työn tarve kohdistuu erityisesti saatavilla olevan tiedon hakuun. Seuraavassa vaiheessa tehdään mallin määrittely ja erilaiset laskennat toimivan mallin luomiseksi. Säännölliset tapaamiset PVTT:n kanssa varmistavat, että työssä saadaan aikaan toimeksiantajaa hyödyttävä malli.

Tehtävät ja toimenpiteet

Ensimmäisenä tehtävänä projektityössä on tutustua kirjallisuuskatsauksen kautta Suomen sähköjakelujärjestelmän rakenteisiin haja-asutusalueilla. Aineiston löytämisessä tukena on sekä PVTT että professori Ahti Salo. Lisäksi Salon kanssa pohditaan muun muassa sitä mikä aineistossa on olennaista ja mikä ei. Tämä vaihe on varsin vähän työtä vaativa, joten sitä tehdessä voi jo alkaa pohtimaan projektin toista vaihetta.

Projektin toisessa vaiheessa syvennyttään tarkemmin verkkojen toimintavarmuutta tarkastelemaan kirjallisuuteen sekä kurseilla läpikäytyyn teoriaan ja kartoitetaan sopivia menetelmiä tehtävän ratkaisemiseksi. Oikeanlaisten menetelmien löytäminen riippuu vahvasti siitä, mitä tehtävän rajauksessa katsotaan olennaiseksi ja mitä ei. Tämä vaihe vie projektityöhön käytettävästä ajasta arviolta kymmenesosan.

Kolmantena vaiheena on vuorossa optimointitehtävän muodostaminen. Tämä vaihe on PVTT:n näkökulmasta kaikista kiinnostavin. Ensiksi määritellään tehtävän kohdefunktio, rajaukset ja parametrit. Sitten selvitetään kyseessä olevan optimointitehtävän tyyppi ja etsitään sille ratkaisumenetelmä. Apuna käytetään opintojen aikana tutuksi tulleita ohjelmistoja, kuten Xpressiä, Exceliä ja Matlabia/Simulinkia. Optimoinnin tekemiseen menee arviolta viidesosa käytettävästä ajasta.

Kun optimointitehtävä on muodostettu, voidaan sen perusteella aloittaa mallin luominen. Mallista pyritään tekemään mahdollisimman yksinkertainen. Tarkoituksena on, että mallin parametreja voi asettaa annetussa tilanteessa helposti. Mallin luominen on luultavasti projektin hankalin osa-alue, joten siihen mennee käytettävästä ajasta noin neljäsosa.

Mallin tuloksille tehdään virheanalyysi. Tämän jälkeen tutkitaan parametrien arvojen herkkyyttä, ja vaikuttavatko ne merkittävästi kohdefunktion arvoon. Virhe-estimoinnin ja herkkyyksianalyysin viemä aika on suhteellisen pieni: vain kymmenesosa koko projektityöstä.

Saaduista tuloksista kirjoitetaan kolme kirjallista raporttia: projektisuunnitelma, väliraportti sekä loppuraportti, joista viimeisin on lopullinen, PVTT:n näkökulmasta kiinnostavin dokumentti. Lisäksi projektisuunnitelman ja loppuraportin pohjalta tehdään esitykset, jotka esitellään muille kurssilaisille. Julkaisujen kirjoitus ei ole kovin hankalaa, mutta silti työlästä, joten siihen täytyy varata ainakin kolmasosa projektiin käytettävästä ajasta.

Tärkeitä päivämääriä

- 10.2. Tapaaminen PVTT:n kanssa, kirjallisuuskatsauksen esittely
- 2.3. Projektisuunnitelman valmis
- 16.3. Tapaaminen PVTT:n kanssa, mallin toimintaperiaatteen esittely
- 13.4. Väliraportti valmis, työkalusta ensimmäinen toimiva versio
- 26.4. Paranneltu malli implementoitu työkaluun
- 11.5. Loppuraportti valmis, projekti päättyy

Projektin riskit

Alla olevaan taulukkoon on lueteltu projektin riskitekijät, niiden todennäköisyydet, vaikutukset sekä miten ajattelimme ennaltaehkäistä niitä. Projektiin liittyy tietysti samat riskit kun kaikkiin projekteihin, eli

ensinnäkin, että projekti viivästyy. Riskitekijän vaikutukset ovat melko vakavat, mutta toisaalta niitä on helppo ennaltaehkäistä. Projektin aikataulu suunnitellaan tarpeeksi hyvin sekä asetetaan tarpeeksi usein välitavoitteita. Mikäli emme ymmärrä toimeksiantajan tarvetta tarpeeksi hyvin, voi olla ettei saatu lopputulos palvele ollenkaan toimeksiantajan tarvetta. Tätä riskiä pystymme välttämään ottamalla toimeksiantajaan tarpeeksi usein yhteyttä sekä esittelemällä välituloksia tarpeeksi usein.

Projektiryhmän jäseniinkin liittyy suoranaisia riskejä, kuten ryhmäsisäiset ristiriidat, väärinkäsitykset sekä jäsenien poissaolot. Nämä riskit ovat kohtalaisen alhaisia, mutta ne voivat hidastaa projektin etenemistä. Ryhmäsisäisistä ristiriidoista päästään eroon jakamalla työtehtävät mahdollisimman tasaisesti ryhmänjäsenien kesken, sekä asettamalla henkilöt heille sopiviin tehtäviin. Väärinkäsityksistä ja poissaoloista aiheutuvia riskejä voidaan ehkäistä ensinnäkin tiiviillä keskinäisellä viestinnällä. Toiseksi, säilyttämällä kerättyä ja tuotettua aineistoa Dropbox-sovelluksessa, jotta muut jäsenet voivat sitten jatkaa poissaolevan jäsenen tehtäviä.

Riskit siitä, että tietolähteet eivät ole tarpeeksi tarkkoja ja malli ei kuvaa tarpeeksi hyvin todellisuutta, kulkevat jokseenkin käsi kädessä. Mikäli tietolähteemme eivät ole tarpeeksi tarkkoja, emme välttämättä saa rakennettua tarpeeksi todenmukaista mallia. Taas mikäli malli ei ole tarpeeksi todenmukainen, niin tuloksemme voivat olla triviaaleja tai niille ei välttämättä ole käyttöä. Edellä mainitut kaksi riskiä saadaan eliminoitua tutustumalla terveen skeptisesti tarpeeksi moneen tietolähteeseen.

Suurimman riskin projektissa aiheuttaa datan löytämisen vaikeus. Tämän riskin saamme ennaltaehkäistyä kohdentamalla tarpeeksi resursseja datan etsimiseen, sekä etsimällä dataa sekä kirjallisuudesta, verkosta että sähkönjakeluun liittyvistä firmoista. Kunnollisen datan puuttuminen aiheuttaa sen, ettemme saa määriteltyä mallimme parametreja tarpeeksi hyvin.

Riskitekijä	Todennäköisyys	Vaikutus	Ennaltaehkäisy
Projekti viivästyy	alhainen	Projektia ei saada ajoissa valmiiksi	Projektin aikataulu suunnitellaan tarpeeksi tarkkaan ja asetetaan välitavoitteita.
Tietolähteet eivät ole tarkkoja	alhainen-kohtalainen	Lisätyötä, aiheuttaa paljon muita riskejä	Käytetään tietoa hyväksemme, joka on samaa kaikissa lähteissä.
Datan löytämisen vaikeus	kohtalainen	Mallille ei saada määriteltyä parametreja	Panostamme tarpeeksi resursseja datan keräämiseen.
Ei ymmärretä tarpeeksi hyvin toimeksiantajan tarvetta	alhainen	Toimeksiantajalla ei ole käyttöä mallille sekä mallin antamille tuloksille	Pidetään tarpeeksi usein yhteyttä toimeksiantajan kanssa ja esitellään välituloksia.
Malli ei kuvaa todellisuutta	alhainen-kohtalainen	Tulokset ovat triviaalisia tai niille ei ole käyttöä	Tutustutaan tietolähteisiin tarpeeksi hyvin, sekä tehtävän määrittämiseen.
Ryhmäsisäiset ristiriidat	alhainen	Työn hidastunut eteneminen	Työtehtävät jaetaan mahdollisimman tasaisesti ryhmänjäsenien kesken.
Ryhmien jäsenten poissaolot	alhainen-kohtalainen	Työn hidastunut eteneminen	Tiivis keskinäinen viestintä ja kaiken kerätyn ja tuotetun aineiston säilytys Dropbox-sovelluksessa.

Lähteet

[1] Haja-asutusalueiden sähköjakelujärjestelmien kehittäminen – erityisesti 1000 V jakelujännitteen käyttömahdollisuudet, Väitöskirja, J. Lohjala, 2006

[2] Sähköjakelujärjestelmän toimintavarmuuden parantaminen (Työohje), B. Åkesson, 2012

[3] Kuhmalahden alueen sähköjakelun toimitusvarmuuden parantaminen, Opinnäytetyö, O. Kettunen, 2007