

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Sähkötekniikan koulutusohjelma

DIPLOMITYÖ

KÄYTÖNTUKIJÄRJESTELMÄN TOIMINNOISTA SAATAVAT HYÖDYT JA NIIDEN ANALYSOINTI

Työn ohjaajana ja ensimmäisenä tarkastajana on toiminut professori Jarmo Partanen.

Toisena ohjaajana ja tarkastajana on toiminut diplomi- insinööri Anna Tanskanen

Lappeenrannassa 11.5.2009

Tommi Raussi

Orioninkatu 10 B27

53850 Lappeenranta

Puh +358 40 5608043

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Tommi Raussi

Käytäntukijärjestelmän toiminnoista saatavat hyödyt ja niiden analysointi

Diplomityö

2009

123 sivua, 21 kuvaa, 11 taulukkoa ja 4 liitettä

Tarkastajat: Professori Jarmo Partanen ja diplomi-insinööri Anna Tanskanen

Hakusanat: automaatioaste, käytöntukijärjestelmä, verkostoautomaatio, verkkoliiketoiminta

Käytäntukijärjestelmä on ohjelmistokokonaisuus, jota käytetään käyttötoiminnan päätöksenteon tukena useissa verkkoyhtiöissä. Järjestelmä sisältää useita erilaisia sovelluksia, joiden käytön perustana on käytöntukijärjestelmään integroituneiden tietojärjestelmien tietojen hyödyntäminen.

Tässä diplomityössä tutkitaan käytöntukijärjestelmän eri toimintoja ja analysoidaan niistä saatavia hyötyjä. Hyötyjen suuruuteen vaikuttaa merkittävästi verkon laajuus, automaatioaste sekä käyttöhenkilökunnan koulutustaso. Lopputuloksena verrataan käytöntukijärjestelmästä saatavaa maksimaalista hyötyä keskeytyskustannuksissa, järjestelmän käyttöönotosta aiheutuviin kustannuksiin. Lisäksi työssä arvioidaan verkkoyhtiön laajuudesta riippuen, onko sen järkevää hankkia käytöntukijärjestelmää ostamalla se itse, palveluntarjoajan kautta tai ei ollenkaan.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology
Degree Programme in Electrical Engineering
Tommi Raussi

Analyzing the benefits of distribution management system

Master's thesis
2009

123 pages, 21 figures, 11 tables and 4 appendices
Examiners: Professor Jarmo Partanen and M.Sc. Anna Tanskanen

Keywords: automation intensity level, distribution management system, network automation, electricity distribution business

Distribution management system is computing unity used in many distribution companies with operational activities. System includes various applications which capitalize the information of other data systems integrated in distribution management system.

Benefits of the functions of distribution management system are examined and analyzed in this master's thesis. Largeness of the benefits is predicated on scale of the network, automation intensity level and educational level of the operation personnel. As a final result the maximum benefit of the distribution management system is compared to the cost of implementation of the system. In addition there is also analyze whether or not it is rational to a network company to invest in distribution management system or is it reasonable to use service provider.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Lappeenrannan teknillisen yliopiston LUT energian sähkötekniikan osastolle syksyn 2008 ja kevään 2009 aikana. Haluan kiittää työni ensimmäisenä tarkastajana toiminutta professori Jarmo Partasta työni ohjauksesta ja mielenkiintoisesta sekä haastavasta aiheesta. Suuri kiitos kuuluu myös työni toiselle ohjaajalle diplomi- insinööri Anna Tanskaselle, joka on antanut tärkeitä neuvoja ja kommentteja.

Suur- Savon Sähkö Oy:n työntekijöitä haluan kiittää antoisasta haastattelusta sekä mielenkiinnosta työni aihetta kohtaan.

Suuret kiitokset vanhemmilleni, jotka ovat jaksaneet kannustaa ja tukea opintojen aikana. Haluan kiittää myös ystäviäni, joita ilman opiskelutaival olisi monia kokemuksia ja hetkiä köyhempi. Nyt on aika kääntää uusi sivu elämässä.

Lappeenrannassa 11.5.2009

Tommi Raussi

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET	4
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn lähtökohdat.....	8
1.2 Työn tavoitteet ja rajausta.....	9
1.3 Työn toteutus.....	9
2 SÄHKÖLIIKETOIMINNAN LIIKETOIMINTAYMPÄRISTÖ	11
2.1 Verkkoliiketoiminta.....	11
2.1.1 <i>Sidosryhmien liiketoimintaan kohdistamat odotukset</i>	13
2.2 Liiketoimintamallit ja niiden muodostaminen	13
2.2.1 <i>Verkkoyhtiön toimintojen strateginen kehittäminen</i>	16
2.2.2 <i>Ulkoistamisen hyödyt ja riskit</i>	18
2.3 Verkkoliiketoiminnan sääntely	20
2.4 Regulaation vaikutus käytön liiketoimintamalleihin.....	22
2.4.1 <i>Tehokkuuden arviointi valvonnan näkökulmasta</i>	24
2.4.2 <i>Käyttövarmuus valvonnan näkökulmasta</i>	25
3 VERKOSTOAUTOMAATIO JA SEN TUOMIEN HYÖTYJEN JA KUSTANNUSTEN ARVIOINTI.....	29
3.1 Sähkönjakeluverkon automaatio	29
3.1.1 <i>Automatisoinnin peruseriaatteen</i>	30
3.2 Verkostoautomaatio toiminnot.....	32
3.2.1 <i>Verkoston häiriötilanteiden selvittely</i>	34
3.2.2 <i>Keskijännitejakeluverkon käyttö</i>	35
3.2.3 <i>Sähköaseman kaukokäyttö ja paikallisautomaatio</i>	36
3.2.4 <i>Verkostontilan seuranta</i>	36

3.3	Automaatioaste.....	38
3.3.1	<i>Osaamistason vaikutus automaatioasteeseen</i>	38
3.4	Hyötylaskelmakaavojen esittely.....	39
3.5	Verkkoinvestointeihin liittyvät säästöt	40
3.6	Käyttöön ja kunnossapitoon liittyvät säästöt	42
3.7	Energiaan liittyvät säästöt.....	45
3.7.1	<i>Nopean sähkönjakelun palauttamisen tuomat hyödyt</i>	46
3.8	Muut automaation tuomat hyödyt	49
3.9	Kustannusten taloudellinen arvostus	50
3.9.1	<i>Yritykselle aiheutuvat kustannukset</i>	50
3.9.2	<i>Asiakkaalle aiheutuvat kustannukset</i>	52
3.9.3	<i>Kustannusten elinkaarikustannukset</i>	56
3.10	Hyötylaskelmakaavojen soveltuvuus Suomen olosuhteisiin	57
4	VALVONTAJÄRJESTELMÄT, ERITYISESTI KÄYTTÖTUKIJÄRJESTELMÄ, KÄYTTÖTOIMINNAN KEHITYKSEN LÄHTÖKOHTANA.....	60
4.1	Käyttötukijärjestelmän kehitys.....	60
4.2	Tietojärjestelmät käyttötukijärjestelmän tukena	61
4.3	Käyttötukijärjestelmän ominaisuudet ja modulaarisuus	63
4.4	Käyttötukijärjestelmän integroituminen muihin järjestelmiin	65
5	AUTOMAATIOSTA JA KÄYTTÖTUKIJÄRJESTELMÄN TOIMINNOISTA SAATAVAT HYÖDYT	67
5.1	Esimerkkilaskelmat saavutettavissa olevista hyödyistä	67
5.1.1	<i>Erottimet ja katkaisijat</i>	69
5.1.2	<i>Vian paikannus</i>	71
5.1.3	<i>Kytkenätilan optimointi</i>	72
5.1.4	<i>Sähkötekniikan hallinta</i>	73
5.1.5	<i>Työryhmien hallinta</i>	73
5.1.6	<i>Vikaraportointi</i>	74
6	CASE: SUUR- SAVON SÄHKÖ Oy:n NYKYTILANTEEN KUVAUS JA KTJ- STRATEGIAN ANALYSOINTI	78

6.1	Suur- Savon Sähkö Oy	78
6.2	Verkon tunnusluvut	80
6.3	Case verkkoyhtiön käytöntukijärjestelmän käytön lähtökohdat	83
6.3.1	<i>Käytöntukijärjestelmän käytön todellisuus</i>	83
6.3.2	<i>Koulutuksen merkitys saatavien hyötyjen suuruuteen</i>	85
6.4	Käytöntukijärjestelmän tuomat hyödyt case verkkoyhtiössä.....	86
6.4.1	<i>Vian paikannus</i>	86
6.4.2	<i>Työryhmien hallinta</i>	87
6.4.3	<i>Vikaraportointi</i>	88
6.5	Asiakaspalvelun kautta saatavat hyödyt	89
7	TULOKSET JA NIIDEN ARVIOINTI.....	91
7.1	Tutkimuksen keskeisimmät tulokset	91
7.1.1	<i>Palveluntarjoajan käytön analysointi</i>	94
7.1.2	<i>Osaamistaso vs. automaatioaste</i>	96
7.1.3	<i>Skenaarioiden analysointi</i>	96
7.2	Tulosten arviointi	99
8	YHTEENVETO	104
	LÄHTEET.....	107
LIITTEET	Liite I	Hyöty mahdollisuus matriisi
	Liite II	Vertailulaskenta
	Liite III	Laskennassa käytetyt parametrit
	Liite IV	Hyötylaskelmat

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

Lyhenteet

AENS	annual Energy Not Supplied
AJK	aikajälleenkytkentä
AIL	automation Intensity Level
Al	alumiini
AMIC	the Annual Cost of Momentary Interruptions
AMR	automatic Meter Reading
ARL	annual Revenue Lost
ASIC	the Annual Cost of Sustained Interruptions
ATJ	asiakastietojärjestelmä
CAIDI	customer Average Interruption Duration Index
CAIFI	customer Average Interruption Frequency Index
CAPEX	capital Expenditure
CIS	customer Information System
CTS	crew Time Savings
DA	distribution Automation
DEA	data Envelopment Analysis
DMS	distribution Management System
DSM	demand Side Management
EMV	energiamarkkinavirasto
ENS	energy Not Supplied
EPRI	electric Power Research Institute, California
GIS	geographical Information System
GPS	global Positioning System
IED	intelligent Electricity Device
KAH	keskeytyksestä aiheutunut haitta
KTJ	käytöntukijärjestelmä
KVJ	käytönvalvontajärjestelmä

LAN	local Area Network
LMS	load Management System
MAIFI	momentary Average Interruption Frequency Index
NCF	network Complexity Factor
NCS	network Control System
NIS	network Information System
NOP	normally Open Point, Jakoraja
OPEX	operational Expenditure
PJK	pikajälleenkytkentä
SA	substation Automation
SAIDI	system Average Interruption Duration Index
SAIFI	system Average Interruption Frequency Index
SCADA	supervisory Control and Data Acquisition
SFA	stochastic Frontier Analysis
SIC	single Interruption Cost
SSSOY	Suur- Savon Sähkö Oy
TCP/IP	transmission Control Protocol/ Internet Protocol
TUT	Tampere University of Technology
VTJ	verkkotietojärjestelmä

Muuttujat

λ	johtolähdön vuotuinen sähkökatkojen määrä
δ	kuormituskerroin
$\cos \varphi$	tehokerroin
AN	annuiteetti
C	vikojen arvostus
CR	crew Hourly Rate
E	energia
f	vikataajuus
$FAST$	feeder Automation Switching Time

<i>I</i>	investointikustannus
<i>J</i>	järjestelmä
<i>JHA</i>	jälleenhankinta- arvo
<i>KAH</i>	keskeytyskustannukset
<i>l</i>	pituus
<i>MHR</i>	hours per Shift before/after automation
<i>MNST</i>	manual Switching Time
<i>m</i>	keskeytysten määrä
<i>M</i>	vikojen määrä
<i>n</i>	tarkasteluajanhetki tulevaisuudessa
<i>N</i>	kokonaisasiakasmäärä
<i>NA</i>	nykyarvo
<i>NS</i>	number of Staff per rate classification
<i>NSH</i>	number of Shifts before/after automation
<i>O</i>	prosentuaalinen kehitys
<i>OR</i>	operator Hourly Rate
<i>p</i>	laskentakorko
\bar{P}	keskiteho
<i>PVF</i>	present Value Factor
<i>PVRR</i>	present Value of Revenue Requirement, Tuottotarpeen nykyarvo
<i>S</i>	Näennäisteho
<i>t</i>	aika

Alaindeksit

ajk	aikajälleenkytkentä
autom	automaatio-
autom O & M	automaatiojärjestelmän käyttö- ja kunnossapitokustannukset
huippu, MVA	huippukuorma
i	komponentti, keskeytyksen aiheuttaja
ilman	ilman automaatiota

kanssa	automaation käyttöönoton jälkeen
j	asiakas, asiakasryhmä
kulutus	asiakkaan vuotuinen energian kulutus
k	kustannus/hinta
marg	myynnin marginaali
osto	hankintahinta
perus O & M	perusjärjestelmän käyttö- ja kunnossapitokustannukset
pjk	pikajälleenkytkentä
total	kokonais-
tulo	tulot
vika	vika-

1 JOHDANTO

1.1 Työn lähtökohdat

Sähkönjakeluverkko toiminta on vahvasti säädeltyä liiketoimintaa, mikä sisältää niin taloudellista kuin teknistäkin valvontaa. Taloudellisen valvonnan kohteena on Suomessa ennen kaikkea verkkoliiketoiminnasta syntyvä voitto sekä verkkoyhtiöiden toiminnan tehostaminen. Regulaatiolla on nykyään yhä suurempi vaikutus verkkoyhtiöiden liiketoimintamallien muodostamiseen. Uuden valvontamallin myötä käyttövarmuus sekä sähkön laatu näyttelevät yhä merkittävämpää roolia tämän päivän verkkoliiketoimintaympäristössä. Automaation määrä verkkoratkaisuissa onkin lisääntynyt viime vuosina merkittävästi. Verkkoyhtiöiden automaatioastetta määritettäessä on verkossa olevan automaation lisäksi tärkeää ymmärtää käyttökäyttökunnan tietojärjestelmien osaamistason vaikutus automaatioasteeseen.

Verkkoyhtiöiden omistuspohja vaihtelee paljon, mikä näkyy myös yhtiöiden liiketoiminnallisten strategioiden sisällössä. Liiketoiminnallisena tavoitteena voi olla tulouttaa omistajille mahdollisimman hyvä tulos verkkotoiminnan valvonnan sallimissa puitteissa tai joissakin tapauksissa tarjota oman alueen sähkönkäyttäjille mahdollisimman edullinen siirtohintaa. Jälkimmäinen tavoite näyttäisi kuitenkin olevan jossain määrin väistetty periaate. Tämän päivän toimintaympäristössä kustannusten pienentäminen kustannustehokkaasti sekä mahdollisimman hyvän tuloksen saaminen ovat avainasemassa.

Kehitystrendinä verkkoliiketoiminnassa on ollut ja tulee myös tulevaisuudessa olemaan kasvava palveluiden tuottaminen palveluntarjoajilla. Tyypillisiä palveluna ostettavia toimintoja ovat mm. maastosuunnittelu, verkkojen rakentaminen ja taseselvitykset. Nykyään myös valvomotason käyttötoimintojen ostaminen palveluntuottajilta on saanut jalansijaa toimintojen uudelleen organisoinnissa. Palveluja tuottavat yritykset pystyvät kehittämään erikoisosaamistaan ja kalustoaan

keskitetysti vahvoihin resursseihin, kun taas verkkoyhtiöillä ei tähän ole välttämättä mahdollisuutta. Tällainen toimintamalli on myös regulaation kannalta suotavaa, koska tällöin merkittävä osa monopolin piirissä olevasta liiketoiminnasta voidaan toteuttaa kilpailuilla markkinoilla.

1.2 Työn tavoitteet ja rajaus

Tämän diplomityön keskeisimpänä tavoitteena on määritellä, minkälaisia hyötyjä verkkoyhtiön olisi mahdollista saavuttaa vuositasolla eri käyttötukijärjestelmän toiminnoista sekä automaation käyttöönotosta. Saavutettavissa olevia hyötyjä verrataan järjestelmästä aiheutuvaan kustannukseen. Työssä tutustutaan case verkkoyhtiön liiketoimintastrategiaan ja analysoidaan tietojärjestelmien nykyistä käyttötasoa, erityisesti käyttötukijärjestelmän osalta, sekä verkon automaatioastetta. Työn tarkoituksena ei ole luoda uusia liiketoimintamalleja, vaan keskittyä nimenomaan siihen, minkälaisia hyötyjä käyttötukijärjestelmän toiminnot tarjoavat verkkoyhtiöille ja miten hyötyjen suuruuteen vaikuttaa verkkoyhtiön suuruus, verkon automaatioaste, käyttöhenkilökunnan osaamisen ja koulutuksen taso sekä itse järjestelmän toimivuus.

1.3 Työn toteutus

Projekti toteutetaan yhteistyössä Suur-Savon Sähkö Oy:n (SSSOY) kanssa. Projektin aikana ohjausryhmä kokoontuu ennalta sovittuina ajankohtina, jolloin käydään läpi siihen asti saatuja tuloksia, sekä tarkkaillaan työn etenemistä suunnitelman mukaan. Informaation kerääminen case verkkoyhtiöstä suoritetaan haastattelukierrosten avulla. Vastaavanlaista tutkimusta kyseisestä aiheesta ei ole aikaisemmin tehty, joten tämän työn uutuusarvoa on syytä korostaa.

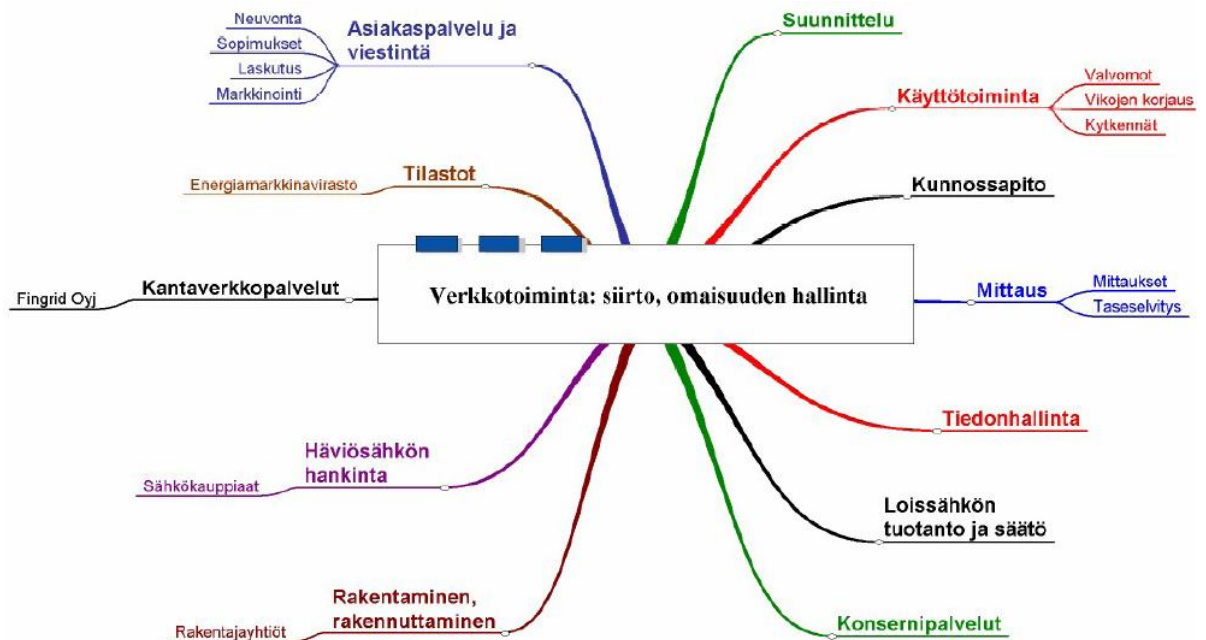
Diplomityö liittyy diplomi-insinööri Anna Tanskasen tekeillä olevaan väitöskirjaan, joka käsittelee sähkön jakeluverkkojen käyttötoiminnan uusia liiketoimintamalleja. Tämä diplomityö tulee olemaan yksi osakokonaisuus kyseisestä väitöskirjasta.

2 SÄHKÖLIIKETOIMINNAN LIIKETOIMINTAYMPÄRISTÖ

Tässä kappaleessa perehdytään siihen liiketoimintaympäristöön, jossa verkkoyhtiöiden on sähköliiketoimintaa tänä päivänä harjoitettava ja jonka vaatimuksiin sekä muutoksiin verkkoyhtiöiden on kyettävä vastaamaan. Lisäksi tässä kappaleessa käsitellään sitä, minkälaisia mahdollisuuksia verkkoyhtiöillä on liiketoimintaansa harjoittaa ja mitkä ovat tulevaisuuden näkymät tässä liiketoimintaympäristössä.

2.1 Verkkoliiketoiminta

Verkkoliiketoiminta on laaja liiketoiminta-alue ja siihen sisältyy useita osa-alueita, kuten verkon suunnittelu, kunnossapito, käyttö ja mittaukset. Nykyään liiketoimintojen segmentointi on avainsana monessa verkkoyhtiössä. Verkkoliiketoiminnan toimintoja on kuvattu kuvassa 2.1.



Kuva 2.1 Verkkoliiketoiminnan toiminnot (Partanen 2008a)

Sähkömarkkinoiden avaaminen kilpailulle sähkön tuotannossa ja myynissä on tehnyt sähkönjakeluverkoista markkinapaikan. Sähköverkkotoiminta on ns. luvanvaraista monopolitoimintaa, joka on eriytettävä samassa yhtiössä mahdollisesti harjoitettavasta sähkön myynnistä ja/tai tuotannosta vähintään kirjanpidollisesti. Energiamarkkinavirasto (EMV) toimii viranomaisena, joka valvoo liiketoimintaa ja myöntää toimiluvat sähköverkkotoimintaan. (Partanen 2008b)

Verkonhaltijalle on asetettu velvoitteita sähkömarkkinalaissa, joiden mukaan sen tulee kehittää ja ylläpitää hallinnassaan olevaa sähkönjakeluverkkoa asiakkaiden tarpeiden mukaisesti. Lisäksi verkkonhaltijan on turvattava asiakkaille kohtuuhintaista ja laadukasta sähköä. Hinnoittelussa verkkonhaltijan on otettava huomioon sähköjärjestelmän toimintavarmuuden ja tehokkuuden aiheuttamat vaatimukset. Asianmukaisesti ja kohtuullisesti hinnoiteltujen verkkopalveluiden sekä asiakkaiden tasapuolisen kohtelun varmistamiseksi verkkoliiketoimintaa säännellään siis energiainviroviraston toimesta. Valvonnan kohteena on sähkön siirron hinnoittelun kohtuullisuus ja valvonta on luonteeltaan jälkikäteen tapahtuvaa. (Partanen 2008b)

Sähköverkot muodostavat ns. luonnollisen monopolin, jolloin hintojen kurissa pitämiseen ja palveluiden laadun kehittämiseen ei kohdistu verkkoliiketoiminnassa luontaista kilpailun aiheuttamaa painetta. Monopoliasema antaa periaatteessa mahdollisuuden voiton maksimointiin verkkoyhtiöissä, mutta asiakkaiden asema kuitenkin riippuu ensisijaisesti siitä, millaista strategiaa verkkoyhtiöiden omistajat toteuttavat. (Partanen 2008b)

Aikaisemmin verkkoyhtiöt olivat tyypillisesti toimialueensa kuntien omistamia yhtiöitä, joiden keskeinen tehtävä oli palveluiden tarjoaminen kuntien asukkaille, ei voiton tuottaminen. Verkkoyhtiöiden tavoitteena saattoikin olla vuodesta toiseen nollatuloksen tekeminen, johtuen verotuksellisista syistä. Liiketoimintaympäristö on kuitenkin muuttunut huomattavasti ja nykyään myös kuntien omistamat yhtiöt pyrkivät pääsääntöisesti toimimaan mahdollisimman kustannustehokkaasti. Lisäksi monen verkkoyhtiön omistajapohja on muuttunut ja omistajiksi on tullut toimijoita, joiden

toimintaa ohjaa maksimaalisen tuoton tavoittelu. Tosin monet verkkoyhtiöt eivät edelleenkään ota toiminnastaan sääntelyviranomaisen sallimaa maksimituottoa. (Partanen 2008b)

2.1.1 Sidosryhmien liiketoimintaan kohdistamat odotukset

Asiakkaat ja omistajat kohdistavat verkkoliiketoimintaan jatkuvasti omia vaatimuksiaan. Asiakkaat odottavat verkkoyhtiöiden tarjoavan hyvää sähkön laatua ja sen luotettavaa toimitusta, sekä edullisia hintoja. Yhteiskunta on tullut vuosien saatossa yhä riippuvaisemmaksi häiriöttömästä sähkön toimituksesta ja verkkoyhtiöiden toiminnan arviointi perustuu nykyään yhä enemmän käyttövarmuuden tarkasteluun. (Partanen 2008b; Partanen 2005)

Verkkoyhtiön ja henkilöstön näkökulmasta liiketoimintaedellytysten tulisi olla riittävän vakaat ja vapaat, toiminnan tulisi olla yleisesti hyväksyttyä sekä henkilöstölle tulisi kyetä tarjoamaan haasteellisia tehtäviä ja turvattu työpaikka. Verkkoyhtiön tavoitteena omistajien kannalta ovat kilpailukyvyn parantuminen, tuotto- odotusten toteutuminen sekä yhtiön arvon kasvattaminen ja sitä kautta omistajien hyvinvoinnin lisääminen. (Partanen 2008b; Partanen 2005)

Omistajien odotukset verkkoyhtiöitä kohtaan ovat pääosin tuotto-odotuksia omille sijoituksilleen. Omistajien toiveissa on liiketoiminnasta saatavan tuoton maksimointi, mille antaa omat reunaehdonsa uuden valvontamallin verkkoyhtiöille määrittämät sallitun tuoton rajat. (Partanen 2008b; Partanen 2005)

2.2 Liiketoimintamallit ja niiden muodostaminen

Liiketoimintamallille ei ole olemassa minkäänlaista yhtenäistä määritelmää ja voidaankin sanoa, että liiketoimintamalli on aina yrityskohtainen. Erilaisia määritelmiä

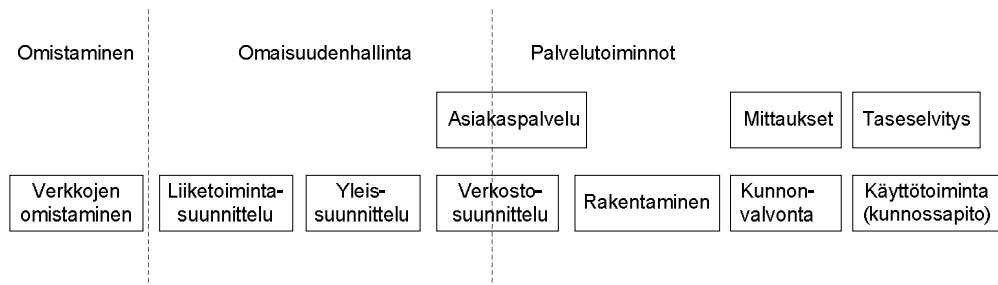
liiketoimintamallille ovat mm. toimialan, -muutostarpeen, -strategian, -johtamisen, -mallintamisen, -arvoverkoston ja liiketoiminnan komponentteihin perustuvat näkökulmat. Jokaiselle yritykselle, niin myös verkkoyhtiöille, liiketoimintamalli on olennainen, sillä se on työkalu, joka auttaa kiinnittämään huomion siihen, miten liiketoiminnan eri osatekijät sopivat yhteen. (GIGA 2007)

Sähköverkkotoiminnan pääfunktioita ovat liiketoimintasuunnittelu ja sen toteutus, verkostojen suunnittelun eri muodot, hallinnon tukipalvelut, verkoston rakentaminen/rakennuttaminen, verkkojen käyttö, kunnonvalvonta ja energiamittaukset, sekä taseselvitykset että asiakaspalvelu. Edellä luetellut toiminnot voidaan jakaa monella eri tapaa näkökulmasta riippuen. Kuvassa 2.2 on esitetty tapa, missä funktiot on esitetty kolmessa eri pääluokassa; verkkojen omistaminen, verkkojen käyttäminen ja erilaiset palveluntuottajilta saatavat palvelutoiminnot. (Lakervi 2008)



Kuva 2.2 Sähköverkkoliiketoiminnan päätoiminnot. (Partanen 2008a)

Verkkoliiketoiminnan toimintojen organisointi on nykyään verkkoyhtiöissä keskeisessä roolissa. Toimintojen organisoinnilla pyritään tehostamaan verkkoliiketoimintaa ja samalla kehittämään siitä kustannustehokkaampaa. Kuvassa 2.3 on kuvattu verkkoliiketoimintojen organisoinnin kehitystrendiä.



Kuva 2.3 Verkkoliiketoimintojen organisoinnin kehityssuunta. (Partanen 2008a)

Verkkoliiketoiminnan kehityssuuntana on ollut ja tulee myös jatkossa olemaan yhä kasvavammassa määrin palveluiden ostaminen/tuottaminen palveluntuottajilta. Verkkoliiketoiminnassa on verkkoyhtiöiden lisäksi mukana siis useita muita yrityksiä, jotka tuottavat kilpailuilla markkinoilla palveluita monopoliasemassa oleville verkkoyhtiöille. Palveluntuottajat ovat verkkoyhtiöiden kannalta avainasemassa, koska he pystyvät vahvasti keskittämään resurssit omaan erikoisosaamiseensa, kun taas verkkoyhtiöillä on rajoitetummat resurssit kehittää samoja asioita. Verkkotoiminnan monopolia ei tulla purkamaan, vaan tehostaminen haetaan välillisesti verkkotoiminnan toimintoja kilpailun kautta tehostamalla.

Viime vuosina on pohdittu myös sitä, mikä osuus sähköverkkoliiketoiminnasta olisi luonnollista monopolia ja missä funktioissa kilpailu voisi olla potentiaalista. Kuvasta 2.3 voidaan havaita, että selkeitä palvelutoimintoja ovat verkstorakentaminen, mittaustoiminnot ja kunnossapito sekä ennakoiva kunnonvalvonta ja taseselvitykset. Kilpailujen markkinoiden kehittymiseen liittyy useita haasteita. Alalle pitäisi saada riittävä määrä toimijoita ja markkinoiden toimivuus tulisi myös pystyä turvaamaan. Tällä hetkellä toimijoita löytyy markkinoilta useita kymmeniä, mutta niiden toimialueet ovat usein melko pieniä, jolloin kilpailu ei toimi kunnolla. Palveluntuottajien riittävän määrän saamiseksi markkinoille on niiden tuloa/pääsyä markkinoille edistettävä. (Partanen 2008a; Lakervi 2008; Partanen 2005)

2.2.1 *Verkkoyhtiön toimintojen strateginen kehittäminen*

Regulaattorin pyrkimyksen tuloksena hajottaa pitkään sähkönjakeluliiketoiminnassa ollut monopoli, voi johtaa siihen, että monet verkoston käyttötoiminnoista tuotetaan kilpailuilla markkinoilla. Muutokset markkinatilanteessa pakottavat sähköverkkoyhtiöt kehittämään strategisia mahdollisuuksia, resursseja ja tietoa, mikä tarvitaan tunnistettujen mahdollisuuksien hyödyntämiseen. Keskeisin kysymys yrityksille on, mistä resurssit saadaan ammennettua ja miten niitä pystytään jatkossa kehittämään. Nykyään liiketoimintaympäristö asettaa verkkoyhtiöille yhä haastavampia tavoitteita, joista osa voi olla ristiriidassa toistensa kanssa. Muutokset toimintaympäristössä vaativat verkkoyhtiöitä pohtimaan toimintojensa kehittämistä: Millä toimintamalleilla vastataan tulevaisuuden haasteisiin? Jatketaanko toimintaa samalla tavalla kuin aikaisemminkin? Kannattaako toimintoja ulkoistaa? Mitä toimintoja? Nämä ovat niitä kysymyksiä joihin verkkoyhtiöt joutuvat tänä päivänä etsimään vastauksia pohtiessaan omaa liiketoimintastrategiaansa. (Tanskanen 2007; Partanen 2005)

Yksi mahdollinen toimintamalli verkkoyhtiölle on tehdä kaikki toiminnot itse, mikä ei kuitenkaan takaa välttämättä parasta mahdollista tulosta tai ole tehokkain toimintatapa. Tällaisen toimintamallin käyttö on nykyään harvinaisempaa ja yleensä ainakin osa verkkoyhtiön toiminnoista on ulkoistettu. Toinen mahdollinen malli, ja samalla myös toinen ääripää, verkkoyhtiöille on keskittyä ydinliiketoimintaan ja ulkoistaa kaikki muut toiminnot palveluntarjoajille, mukaan lukien valvomotoiminnot. Ydinliiketoimintana verkkoyhtiöissä on yleensä pidetty käyttötoimintaa, jolla tarkoitetaan olemassa olevan verkon käyttöä ja ylläpitoa. Käyttötoiminta voidaan jakaa pää- ja alaprosesseihin. Pääprosesseja ovat verkon häiriötilanteiden- ja normaalitilan hallinta ja alaprosesseja mm. käytön suunnittelu, verkon valvonta ja asiakaspalvelu. (Partanen 2005)

Monissa pienissä verkkoyhtiöissä valvomotyöskentelyssä saattaa muodostua ongelmaksi rutiinin puute. Tämä on seurausta siitä, että työntekijöitä on suhteellisen paljon verrattuna vikojen määrään, minkä vuoksi vikatilanne sattuu hyvin harvoin

yksittäisen työntekijän kohdalle. Vikatilanteiden hallintaan ei siten pääse muodostumaan rutiinia. Rutiinin puuttumisen myötä, valvomon käyttöjärjestelmien tarjoamista resursseista jää mitä suurimmalla todennäköisyydellä hyödyntämättä osa. Mikäli usean verkkoyhtiön valvomotoiminnot on keskitetty samaan paikkaan, joutuu valvomotyöntekijä kohtaamaan vikatilanteen huomattavasti useammin. (Partanen 2005)

Käytönvalvonnan ulkoistaminen voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan; usean verkkoyhtiön yhteinen varallaolo, yhteisvalvomot ja kokonaisvastuullinen verkkonkäyttöpalvelu. Verkon valvonta voidaan ulkoistaa osittain hankkimalla varallaolo ulkopuoliselta palveluntarjoajalta tai yhdistämällä usean verkkoyhtiön varallaolo. Verkon valvonta suoritetaan tämän tyyppisessä mallissa virka-ajalla normaalisti verkkoyhtiön toimesta, mutta virka- ajan ulkopuolella valvonnan hoitaa varallaolija. Verkkoyhtiöiden kannalta tällaiseen toimintamalliin on helppo lähteä mukaan, koska he saavat edelleen pitää omat valvomot käytössään. Tämä mahdollistaa myös verkon valvonnan omasta valvomosta ja palvelusopimus on helppo lopettaa, mikäli kokemukset osoittautuvat negatiivisiksi. (Partanen 2005)

Valvomotoiminta on mahdollista keskittää myös kokonaan yhteen pisteeseen. Tällöin verkkoyhtiön omaa valvomoa ei tarvita edes virka-aikana, vaan se jää päävalvomon ala-asemaksi. Verkkoyhtiön aluevalvomoita voitaisiin käyttää itsenäisesti esim. suurhäiriötilanteissa. Verkkoyhtiön kannalta tämän tyyppinen toimintamalli tarkoittaa valvomohenkilökunnan sekä tietojärjestelmien nykyistä vähäisempää tarvetta. Saatavat kustannussäästöt tällaisessa toimintamallissa ovat merkittäviä, mutta samalla myös riskit kasvavat palveluntuottajan ja ostajan näkökulmasta. Yhteisen verkon valvonnan haasteet/ongelmat muodostuvat lähinnä tietojärjestelmien integroinnissa ja sopimuskykyisyyksissä. Mikäli verkkoyhtiöiden omat aluevalvomot poistetaan, muodostuu tietojärjestelmien integrointitarpeesta kytkentätilanteen hallinnan osalta merkittävä, koska tiedot verkosta on tällöin kerättävä suoraan keskitettyyn valvomoon. Tämän lisäksi verkkoyhtiön käyttämät muut tietojärjestelmät on integroitava sujuvasti keskitetyn valvomon tietojärjestelmiin. (Partanen 2005)

Verkon omistajan on myös mahdollista tilata verkon operointi kokonaisuudessaan palveluntuottajalta, jolloin puhutaan ns. kokonaisvastuullisesta verkkokäytöstä. Palveluntuottajan on mahdollista käyttää apunaan alihankkijoita, joilta voi hankkia tiettyjä toimintoja. Verkon omistaja voi olla käytännössä pääomasijoittaja, jolla ei ole palveluksessaan laisinkaan verkkotoimintaan liittyvää henkilökuntaa. Toimintojen kokonaisvaltainen ulkoistaminen aiheuttaa monia ongelmallisia kysymyksiä. Yksi ongelmallinen kysymys muodostuu tietojärjestelmien integraatiosta, koska useat käyttötoiminnan prosessit vaativat lähtötietona reaaliaikaisen verkon kytkentätilan. Palveluntarjoajalta tällainen kokonaisvaltainen palveluiden tarjoaminen vaatii suuria investointeja, korkeaa osaamista sekä laajaa partneriverkostoa. (Partanen 2005)

2.2.2 Ulkoistamisen hyödyt ja riskit

Toimintojen ulkoistamisen merkittävin haaste verkkoyhtiöiden näkökulmasta on varmistaa se, ettei omasta organisaatiosta häviä kokonaan eriytettäviin toimintoihin liittyvä tieto- taito. Järjesteltäessä toimintoja uudelleen on kiinnitettävä huomiota siihen, miten säilytetään organisaatiossa oleva ns. ”hiljainen tieto”. Verkoston suunnittelu on esimerkiksi luonteeltaan sellainen prosessi, jossa monet suunnitteluprosessien tarvitsemista tiedoista siirtyvät sekä organisaation sisäisten, että organisaation ja sen sidosryhmien välisten epämuodollisten verkostojen kautta. Ulkoistamisen myötä onkin vaarana, että tällaiset kriittiset tietovirrat katkeavat. Vastaavasti palveluntarjoajan näkökulmasta haasteeksi muodostuu asiakkaiden prosessien syvällinen ymmärtäminen sekä verkkoliiketoiminnan erityispiirteet, kuten regulaatio ja julkisen palvelun velvoite. (Viljainen 2005)

Ulkoistamisella halutaan tavoitella monenlaisia hyötyjä. Hyötyjen tavoittelu perustuu yleensä käsitykseen, että joku muu tekee tietyn toiminnon tehokkaammin, paremmin tai edullisemmin, kuin organisaatio itse. Verkkoyhtiöiden kannalta ostettujen palveluiden tulisi muodostaa pienemmät kustannukset kuin omana työnä tehtynä ja siten parantaa organisaation kustannustehokkuutta. Ulkoistamista suunniteltaessa

onkin tärkeää miettiä, mitä kustannuksia toiminnot nykyisellään aiheuttavat. Tällä vältytään tilanteesta, jossa palveluntuottajalta ostettu palvelu tulee kalliimmaksi kuin se tulisi itse tuotettuna. (Partanen 2005)

Hyötyjen lisäksi toimintojen ulkoistamiseen liittyy myös riskejä. Varsinkin ulkoistamisen alkuvaiheessa voi organisaation sisällä ilmetä motivaatio-ongelmia, jotka voivat vaikuttaa negatiivisesti työyhteisön oppimiskykyyn. Motivaatio-ongelmat voivat johtua henkilöstön muutosvastarinnasta ulkoistavassa organisaatiossa, mikä on hyvin luonnollinen reaktio, koska arvioidaan oman työn olevan ulkoistamisen kohteena. Organisaatioon häiriönsietokyky voi myös huonontua esimerkiksi tilanteessa, jossa informaatio mahdollisista markkinahäiriöistä ei enää kulje työyhteisön sisällä. Tämä voi taas johtaa tilanteeseen, jossa organisaation kyky vastata haasteisiin pitkällä aikavälillä heikkenee. (Partanen 2005)

Valvomotason toiminnot kohtaavat jonkin verran erilaisen markkinatilanteen kuin käyttötoiminnan palvelut. Tietyistä erityisehdoista johtuen valvomopalveluita on hankittu vähemmän ja rajallisempi määrä. Kuitenkin suurin ero käyttöpalveluiden ja valvomotason palveluiden hankkimisen välillä liittyy omistajuuteen ja kalliin omaisuuden, kuten verkoston tietojärjestelmien, kunnossapitoon. Sopimusten tekeminen ja tietojärjestelmien toimittajan vaihtaminen on myös haastavaa sekä hankalaa. Staattiset liiketoimintakustannukset ovat tässä tapauksessa korkeammat pienille yrityksille kuin isoille, johtuen isojen yritysten yleisesti paremmasta riski toleranssista. (Tanskanen 2007)

Dynaamiset liiketoimintakustannukset olisivat matalat tai maltilliset, mikäli valvomotason toiminnoille olisi olemassa markkinat. Tällöin kehityskustannukset yrityksille olisivat matalat, johtuen palveluntarjoajan tarjoamista asiantuntevista kyvyistä tietojärjestelmien laajan käytön suhteen. Verkoston tietojärjestelmätoiminnot ovat melko yleisiä, vaikkakin eri toimittajien järjestelmien välillä on eroja. Dynaamiset liiketoimintakustannukset pystyttäisiin teoreettisesti minimoimaan, jos kaikki markkinatekijät käyttäisivät enemmän samoja järjestelmiä. Toisaalta dynaamiset

hallintokustannukset olisivat korkeat, koska uusien mahdollisuuksien sisäinen kehitys valvomotoiminnoissa käsittäisi tietojärjestelmien sekä verkostoautomaation käytön kattavan opiskelun. Lisäksi molemmat vaativat merkittäviä investointeja. (Tanskanen 2007)

Ulkoistamispäätöksiä tulee pohtia tarkkaan. Ennen kaikkea, yrityksessä tulisi miettiä sitä, onko ulkoistaminen yrityksen strategian mukaista. Ulkoistamisen ei tulisi perustua pelkästään lyhyen aikavälin kustannussäästöjen tavoitteluun, eikä sen myöskään tulisi olla keino päästä eroon ongelmallisiksi koetuista funktioista. Tärkeintä on pohtia sitä, pystytäänkö ulkoistamisella kytkemään alan parhaat käytännöt yrityksen omaan prosessiin ja antaako kyseinen ratkaisu mahdollisesti lisäarvoa omalle organisaatiolle. Ulkoistaminen on pitkä prosessi ja hyvin toteutettuna se voi johtaa alentuneisiin kustannuksiin ja toimintojen parempaan laatuun. Hätiköiden toteutettu ulkoistamisprosessi ei mitä suurimmalla todennäköisyydellä johda haluttuun lopputulokseen. (Partanen 2005)

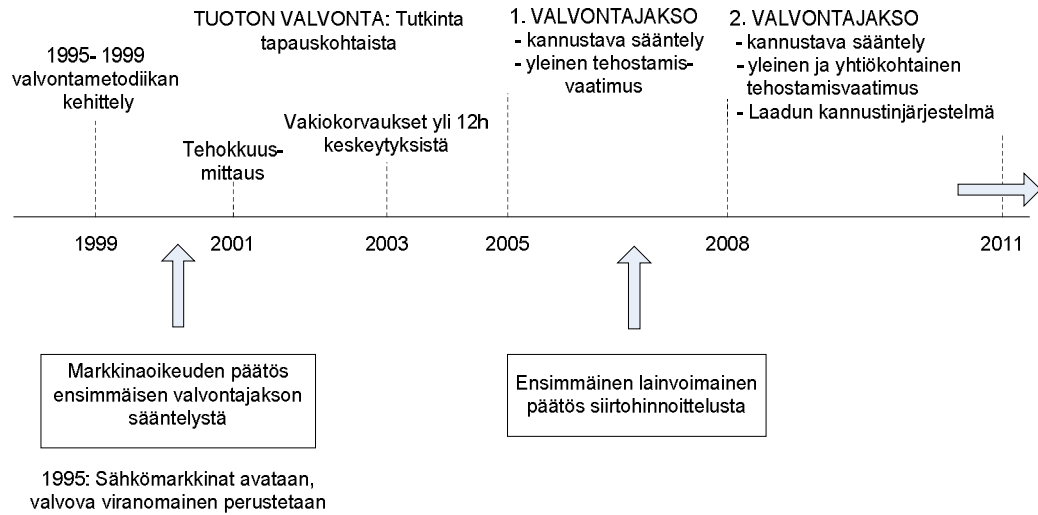
Ulkoistamisprosessin toteutusta varten ei ole kehitetty yksiselitteistä toimintakehystä, vaan jokainen tapahtumaketju on tapauskohtainen. Ulkoistamisessa, kuten missä tahansa muussakin liiketoiminnassa, on kyse riskien hallinnasta. Ensisijaisen tärkeää ulkoistamisprosessia suunniteltaessa onkin, että ulkoistamista suunnitteleva toimiva johto tuntee yrityksen kustannusrakenteen, sekä pystyy tunnistamaan ulkoistettavissa olevat toiminnot ja pystyy perustelevaan niiden tarpeen yrityksen strategian näkökulmasta. Lisäksi on pidettävä huolta siitä, että ulkoistamista valmisteleva henkilöstö on oman organisaation eliittiä, jotka tuntevat ulkoistettavat toiminnot erityisen hyvin. (Partanen 2005)

2.3 Verkkoliiketoiminnan sääntely

Sähkömarkkinalain (386/1995) nojalla sähköverkkotoiminta on ollut taloudellisen sääntelyn kohteena vuodesta 1995 lähtien. Vuoden 2004 loppuun saakka sääntely oli

luonteeltaan jälkikäteen tehtävää tapauskohtaista valvontaa. Tutkinat käynnistyivät pääasiassa asiakkaiden tutkintapyyntöjen perusteella, joten suureen osaan yhtiöistä kohdistui pelkästään valvonnan uhka. Valvonnan kohteena olivat siirtohinnoittelun kohtuullisuus ja monopolitoiminnan kustannustehokkuus. Nämä oli esitetty sähkömarkkinalain yhteydessä, mutta varsinainen valvontametodiikka kehitettiin ensimmäisen tutkintapyyntö yhteydessä vuonna 1999. Päätös tuli lainvoimaiseksi vuotta myöhemmin. Valvontametodiikan kehittämistä jatkettiin myöhempien tapauskohtaisten tarkastelujen yhteydessä. Verkkoliiketoiminnan valvonnassa siirtohinnoittelun kohtuullisuutta arvioitiin vertaamalla verkkoliiketoiminnan toteutunutta laskennallista tulosta verkkoliiketoimintaan sitoutuneelle pääomalle laskettuun kohtuulliseen tuottoon. Ylituotot ja alituotot laskettiin vuosittaisten tietojen perusteella, mutta tarkastelu kokonaisuudessaan tehtiin mahdollisimman monen käytettävissä olevan vuoden pohjalta. Mikäli hinnoittelu todettiin kohtuuttomaksi, viranomainen velvoitti yhtiötä kohtuullistamaan hinnoittelunsa. Valvontapäätöksiin ei sisältynyt kuitenkaan veloitetta palauttaa tarkastelujakson aikana mahdollisesti kertyneitä ylituottoja asiakkaille. (Partanen 2008b)

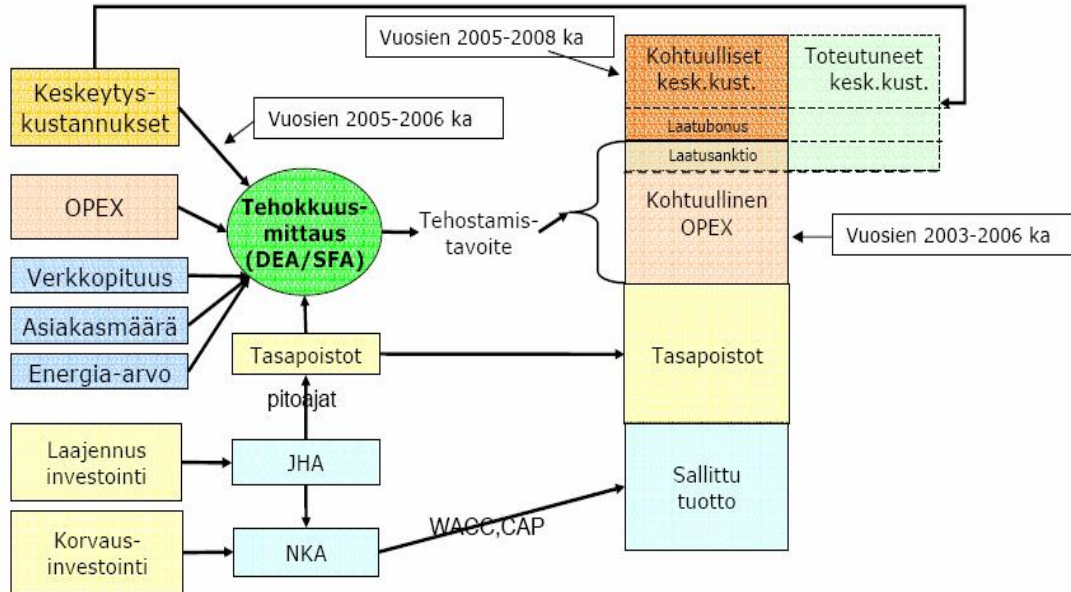
Vuonna 2001 verkkoliiketoiminnan valvonnassa otettiin käyttöön tehokkuusmittaus, jonka tavoitteena oli kannustaa yrityksiä kustannustehokkaaseen toimintaan. Tulosten soveltaminen jälkikäteisessä valvonnassa todettiin kuitenkin ongelmalliseksi, koska tehokkuusmittauksessa huonosti pärjänneillä yhtiöillä oli vasta valvontajakson päätyttyä tiedossa, minkälaiseen kustannustasoon niiden olisi pitänyt pystyä. Tehokkuusmittauksen tuloksia käytettiin kuitenkin tehokkaiden yhtiöiden palkitsemiseen. Sääntelyn kehittymistä Suomessa on havainnollistettu kuvassa 2.4. (Partanen 2008b)



Kuva 2.4 Verkkoliiketoiminnan valvonnan kehittyminen Suomessa. (Partanen 2008b)

2.4 Regulaation vaikutus käytön liiketoimintamalleihin

Ensimmäinen valvontajakso käsitti vuodet 2005- 2007 ja nykyinen regulaatiomalli astui voimaan vuonna 2008 ja kestää aina vuoteen 2011 asti. Verkkoliiketoiminnan valvontamalli 2008- 2011 on esitetty kuvassa 2.5. (Partanen 2008a)



Kuva 2.5 Verkkoliiketoiminnan valvontamalli 2008- 2011. (Partanen 2008a)

Toisella valvontajaksolla sääntely ei ratkaisevasti muuttunut ensimmäisellä valvontajaksolla esitetystä, vaan pääsuuntaviivat sääntelystä säilyvät. Suurimmat muutokset ovat verkkoyhtiöille tehokkuusmittauksen perusteella asetettavat yhtiökohtainen tehostamistavoite sekä laatukannustimet laatukehityksestä. Toisella valvontajaksolla verkkoyhtiön asiakkailleen maksamat vakiokorvaukset sisällytetään kontrolloituihin operatiivisiin kustannuksiin (Operational Expenditure, OPEX) ja ne ovat näin ollen tehostamisvaatimuksen alaisia. (Partanen 2008b)

Jokaiselle verkkoyhtiölle määritetään vuosittain suurin sallittu tuotto. Todellinen oikaistu tuotto koko valvontajakson ajalta ei saa olla sallittua tuottoa suurempi. Mahdollinen ylituotto on oikaistava seuraavalla valvontajaksolla hinnoittelun kautta. Yksittäisen vuoden yli-/alituotto voidaan siis käytännössä tasata valvontajakson aikana. Vastaavasti koko valvontajakson yli-/alituotto voidaan tasata seuraavan valvontajakson aikana. (Partanen 2008b)

Regulaatio, sisältäen taloudellisen valvontamallin ja erilaiset yksityiskohtaiset reunaehdot, on väline, jolla yhteiskunta ja kulloinkin harjoitettava politiikka voi

vaikuttaa perusinfrastruktuuriin kuuluvaan sähkönjakelun toimintaperiaatteisiin. Valvontamallin kehittyminen muodostaa yhden keskeisen riskitekijän verkkoyhtiön liiketoiminnan suunnittelussa. (VTT 2006)

2.4.1 *Tehokkuuden arviointi valvonnan näkökulmasta*

Sähköverkkoliiketoiminnassa ei ole avoimen kilpailun tuomia kannusteita toiminnan tehostamiseen, kuten liiketoiminnassa normaalisti, mikä on seurausta verkkoliiketoiminnan monopoliasemasta. Verkkoliiketoiminnan valvonnan onkin tarjottava kannustimet tehokkaaseen toimintaan. Tehostamistavoitteiden tulee ohjata yhtiöitä toiminnan tehostamiseen vaarantamatta kuitenkaan sähkönjakeluverkoston ja toimialan kehittymistä. Sähkönjakeluverkon kehittämissuunnitelmissa kustannukset pyritään optimoimaan pitkällä aikavälillä, minkä vuoksi on tärkeää, etteivät lyhyen aikavälin tehostamistavoitteet vaaranna pitkän aikavälin kehitystä. Kansantalouden kannalta on myös tärkeää, etteivät tehokkuusmittauksista saatavat ohjaussignaalit johda vääränlaiseen jakeluverkon kehittämiseen. (Partanen 2008b)

Valvontamallin ollessa sellainen, jossa yhtiö ei saa merkittävää hyötyä toiminnan tehostamisesta, tulee kannustin tehokkuuteen luoda erillisen tehokkuusmittauksen kautta. Tällöin tehokkuusmittaus kytkeytyy kiinteäksi osaksi hintavalvontaa ja sen perusteella voidaan yhtiöille määritellä tehostamistavoite, joka niiden tulee saavuttaa tietyn ajan kuluessa. Toiminnan tehostamisesta saatava hyöty tulee ohjata valvonnan keinoin siten, että siitä hyötyy verkkoyhtiön lisäksi myös asiakas. (Partanen 2008b)

Kun tehokkuusmittausta käytetään osana sallitun tuoton valvontaa, vaikuttavat siitä saatavat tulokset suoraan yksittäisen yhtiön sallittuun tuottoon ja sitä kautta mm. verkkoyhtiön arvoon. Tämän lisäksi tehokkuusmittauksen tulokset vaikuttavat merkittävästi verkkoyhtiöiden julkikuvaan ja toimintailmapiiriin. Näiden seikkojen vuoksi on tärkeää, että tehokkuusmittaus on luotettava ja kohtelee yhtiöitä tasapuolisesti. Tehokkuusmittauksen tuloksissa ei saa olla satunnaista vaihtelua ja

tuloksiin vaikuttavat seikat on oltava riittävällä tarkkuudella ennakoitavissa. (Partanen 2008b)

Yhtiökohtaisen tehostamistavoitteen lisäksi yhtiöille asetetaan yleinen tehostamistavoite, 2,06 % vuodessa, joka kuvaa yleisen tuottavuuden kasvua toimialalla. Molemmat tehostamistavoitteet kohdistuvat kontrolloitavissa oleviin operatiivisiin kustannuksiin ja ne huomioidaan yhtiön toteutuneen tuloksen määrittämisessä. Suomen valvontamallissa yhtiökohtainen tehokkuusmittaus tehdään kahdella eri menetelmällä, DEA- mallilla (Data Envelopment Analysis) ja SFA- mallilla (Stochastic Frontier Analysis). (Partanen 2008b)

Molempien mallien panostekijöinä on yhtiön kontrolloitavissa olevien operatiivisten kustannusten, tasapoistojen sekä keskeytyskustannusten summa. Tuotostekijänä on yhtiön kulutukseen siirretty energia, eri jännitetasojen yhteenlaskettu verkkopituus ja asiakasmäärä. Molemmat mallit ovat panosorientoituneita, eli tehokkuusluvusta saatava tehostamistavoite kertoo, miten paljon yhtiön on pienennettävä panoksia ollakseen tehokas. (Partanen 2008b)

Tehokkuusmittauksen tuloksena saatava tehokkuusluku (0-1) kertoo teoreettisesti sen, kuinka paljon kullakin yhtiöllä on tehostamistarvetta, jotta se olisi toiminnoissaan samalla tehokkuustasolla ns. tehokkaiden yhtiöiden (tehokkuusluku =1) kanssa. (Partanen 2008a; Partanen 2008b)

2.4.2 *Käyttövarmuus valvonnan näkökulmasta*

Uudessa valvontamallissa käyttövarmuudella on merkittävä rooli. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että keskeytysten rooli korostuu verkkoyhtiöiden liiketoiminnassa. Valvontamallin mukaan tämä tarkoittaa, että jokaiselle verkkoyhtiölle lasketaan vuotuiset keskeytyskustannukset, johon vaikuttavat jälleenkytkentöjen määrä, työkeskeytysten sekä keskeytysten määrä ja kesto. Kunkin vian aiheuttama

keskeytyskustannus lasketaan vikojen kohteeksi joutuneiden asiakkaiden energiankäytön ja keskeytysten yksikköhintojen perusteella. Vuotuisia keskeytyskustannuksia verrataan referenssitason (kohtuulliset keskeytyskustannukset). Referenssitasona käytetään vuosien 2005- 2008 keskeytyskustannusten keskiarvoa. (Partanen 2008b)

Keskeytykset voidaan jakaa suunniteltuihin keskeytyksiin ja häiriökeskeytyksiin, joista ensin mainitut johtuvat yleensä verkossa tehtävistä töistä ja niistä ilmoitetaan asiakkaille etukäteen. Häiriökeskeytykset taas aiheutuvat pysyvistä tai ohimenevistä vioista, joista pitkät keskeytykset kestävät yli kolme minuuttia ja lyhyet keskeytykset enintään kolme minuuttia. (Partanen 2008b) Käyttövarmuuden arvioinnissa käytettävät keskeytysindeksit ovat: (Northcote- Green, Wilson; Lakervi 2007)

- SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) eli keskeytysten keskimääräinen lukumäärä (kpl/asiakas) tietyllä aikavälillä
- SAIDI (System Average Interruption Duration Index) eli keskeytysten keskimääräinen yhteenlaskettu kesto aika (h/asiakas) tietyllä aikavälillä
- CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index) eli keskeytysten keskipituus (h/keskeytys) tietyllä aikavälillä
- CAIFI (Customer Average Interruption Frequency Index) eli keskimääräinen keskeytysmäärä keskeytyksen kokenutta asiakasta kohden tietyllä aikavälillä
- MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index) eli jälleenkytkentöjen keskimääräinen määrä/asiakas, a

Edellä esitetyt tunnusluvut kuvaavat tilannetta koko jakeluverkon alueella, mukaan lukien myös pienjänniteverkko. Tunnuslukujen laskennassa ei yleensä huomioida pikajälleenkytkennöillä ohi meneviä lyhyitä häiriökeskeytyksiä. Mikäli verkkoyhtiöllä ei ole käytössä verkkotietojärjestelmää, josta saadaan suoraan keskeytysten piirissä olevien asiakkaiden lukumäärä, tunnusluvut voidaan laskea myös muuntopiiritason tietojen perusteella.

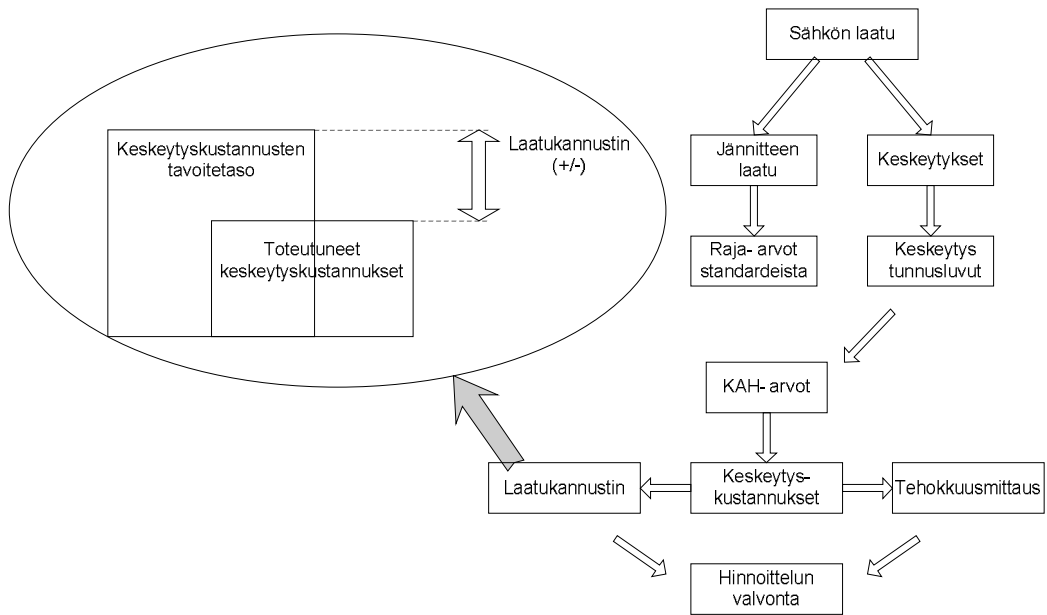
Vuonna 2003 sähkömarkkinalaissa määritellyt ja voimaan astuneet vakiokorvaukset huomioivat ainoastaan yli 12 tuntia kestävät keskeytykset. Tätä lyhyemmistä keskeytyksistä ei käytännössä aiheutunut yhtiölle siis muuta haittaa kuin korjauskustannukset sekä toimittamatta jääneen energian arvo, joka on pieni verrattuna keskeytyksestä asiakkaalle aiheutuvaan haittaan. Asiakkaan saama korvaus riippuu keskeytysajasta ja verkkopalvelumaksusta. Vakiokorvaukset jaetaan neljään luokkaan, joissa hyvityksen suuruus verkkopalvelumaksusta määritellään taulukon 2.1 mukaan:

Taulukko 2.1 Vakiokorvausten määrittely

Keskeytysaika	Hyvitys verkkopalvelumaksusta
Vähintään 12h	10 %
Vähintään 24h	25 %
Vähintään 72h	50 %
Vähintään 120h	100 %

Enimmillään vakiokorvauksia maksetaan kuitenkin 700 € sähkökäyttäjää kohden. (Lakervi 2008; Sähkömarkkinalaki)

Jotta verkkoyhtiöllä olisi taloudellinen kannustin pitää jakeluverkon käyttövarmuus hyvänä, tulee sähkön laadulla olla taloudellinen vaikutus yhtiön sallittuun tulokseen. Käytännössä tämä toteutetaan joko sisällyttämällä sähkön laatua kuvaava tunnusluku tehokkuusmittaukseen tai luomalla taloudelliseen valvontaan erillinen laatukannustin. Näistä kahdesta toteutustavasta energiamarkkinavirasto soveltaa molempia toisella valvontajaksolla. Laatukannustimella verrataan yhtiön toteutuneita keskeytyskustannuksia verkkoyhtiölle ominaiseen keskeytyskustannusten tasoon ja yhtiön sallittua liikevaihtoa korjataan näiden erotuksella. Tällöin yhtiö saa kasvattaa liikevaihtoaan, mikäli se pystyy pienentämään keskeytyskustannuksiaan ja vastaavasti liikevaihtoa tulee pienentää keskeytyskustannusten kasvaessa. Kuvassa 2.6 on esitetty sähkön laadun kytkeytyminen verkkoliiketoiminnan regulointiin. (Partanen 2008b)



Kuva 2.6 Sähkön laadun kytkeytyminen verkkoliiketoiminnan valvontaan. (Partanen 2008b)

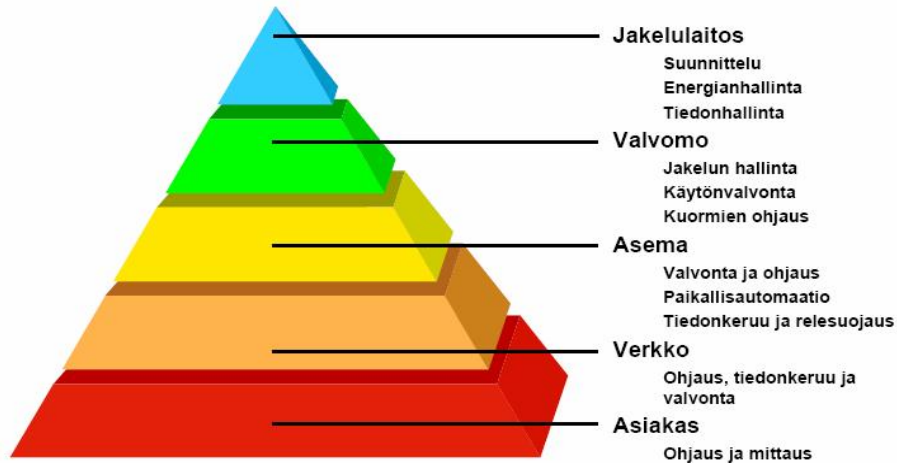
3 VERKOSTOAUTOMAATIO JA SEN TUOMIEN HYÖTYJEN JA KUSTANNUSTEN ARVIOINTI

Tässä kappaleessa perehdytään siihen, mitä jakeluautomaatiolla tarkoitetaan ja mitä toimintoja se käytännössä sisältää. Lisäksi tässä kappaleessa määritetään automaatiosta saatavien hyötyjen laskemiseen tarvittavat yhtälöt.

3.1 Sähkönjakeluverkon automaatio

Sähkönjakeluverkon automaatiolla eli jakeluautomaatiolla (DA, Distribution Automation) tarkoitetaan yleisesti erilaisten jakeluverkostojen hallintaa, käyttöä ja valvontaa. Sovellusalueet vaihtelevat sähkö- ja lämpöverkoista aina vesi- ja kaasuverkkoihin. Automaation perustoiminnot ja vaatimukset ovat kaikilla verkoilla samat. Automaation avulla on tarkoitus siis toteuttaa erilaisia ohjauksia ja mittauksia, välittää tilatietoja ja hälytyksiä jne. (ABB00)

Energianjakelun sovellusalueella jakeluautomaatio toteutetaan käytönvalvonta- ja johtolähtöautomaatio- osajärjestelmillä, joiden toimintoja tuetaan jakeluverkon hallintajärjestelmän käytöntukitoiminnoilla. Keskijänniteverkon kokonaisvaltaista automatisointia kutsutaan nimellä DA- konsepti. DA- mukautettu verkko rakentuu samaan automaatiojärjestelmään integroiduista tuotteista ja järjestelmistä, joiden avulla verkkoa voidaan ohjata ja hallita, sekä toimittaa kustannustehokkaasti energiaa vastaamaan kulutustarvetta. Täydellinen DA- konsepti vastaa kaikkiin käyttötarpeisiin jakelulaitokselta asiakkaalle. Tämän ns. jakeluautomaatiokonseptin rakenne on esitetty kuvassa 3.1. (ABB00)



Kuva 3.1 Jakeluautomaatio- konseptin järjestelmähierarkia. (ABB00)

3.1.1 Automatisoinnin perusperiaatteet

Keskijänniteverkon automatisointiin on löydettävissä kaksi perussyitä;

- verkon automatisointi säästää kustannuksia sekä
- parantaa verkon käytettävyyttä

Käytettävyyden parantaminen näkyy erityisesti käyttöasteen lisääntymisenä sekä luotettavuuden kohentumisena, mikä on nykypäivän sähkönjakelussa ja yhteiskunnassa ensi arvoisen tärkeässä asemassa.

Automaatiolla voidaan säästää jo laitoksen rakennusvaiheessa huomattavia summia, koska kuormien hallintajärjestelmän (LMS, Load Management System) ja käytönvalvontajärjestelmän integroinnin ansiosta vältetään ylimääräisen valvomolaitteiston hankinnalta. Lisäsäästöjä syntyy saman käyttöliittymän käytöstä, koska tällöin henkilöstön koulutustarve ja järjestelmän ylläpitotarve vähenevät. Sähköaseman toteutuksessa voidaan uudella teknologialla saavuttaa rakennus-, johdotus-, työ- ja käyttöönottosäästöjä ja samalla parantaa merkittävästi koko sähköverkon käytettävyyttä laajemman informaation ansiosta. (ABB00)

Sähkölaitosten on sopeutettava oma toimintansa ympäristön muutoksiin, joita tapahtuu jatkuvasti (kantaverkkoa muutetaan, kuormitusilanne muuttuu, laitos itse tekee muutoksia sähköasemillaan ja jakeluverkossaan jne.). Näissä muutostilanteissa on syytä analysoida verkon nykyistä tilaa, jonka jälkeen voidaan päättää tarvittavista toimenpiteistä. Periaatteessa mahdollisuuksia muutostilanteeseen sopeutumiseen on kaksi; johdinverkon vaihtaminen tai vahvistaminen tai nykyisen verkon sopeuttaminen uusiin tarpeisiin paremmalla ohjauksella ja suojauksella. Kustannukset uuden vahvemman avojohdon vaihtamisesta n. 1 km:n matkalle vastaavat relesuojauksen vaihtamista yhdessä lähdössä, joten useissa tapauksissa halvempi ja yksinkertaisempi ratkaisu on nostaa verkon automaatioastetta (AIL, Automation Intensity Level). (ABB00)

Korjaus- ja ylläpitokustannuksissa säästöjä tuo tehokas, käytännössä mikroprosessoriohjauksella toteutettu relesuojaus, joka nopeutensa, tarkkuutensa ja ohjelmoitavuutensa ansiosta mahdollistaa lyhyet laukaisuajat ja entistä pienemmät laukaisuportaiden välit. Tämä puolestaan vähentää johdinverkon termistä kuormitusta, oikosulkukestoisuus paranee ilman, että selektiivisyys kärsii ja vähentää verkostovaurioita, mm. alumiinijohtimien säieaurioita oikosulun sattuessa. Lisäksi mikroprosessoriohjauksella toteutettu relesuojaus auttaa minimoimaan johdinverkkojen häviöitä sallimalla sähköisiltä ominaisuuksiltaan parempien johtimien käytön, esim. Al 132- johtimet teräsvahvisteisten Al- johtimien sijasta ja vähentää johdinpoikkipintojen vahvistamistarvetta oikosulkutehon noustessa muuntajavaihdon seurauksena sekä alentaa muuntajien vikatiheyttä. (ABB00)

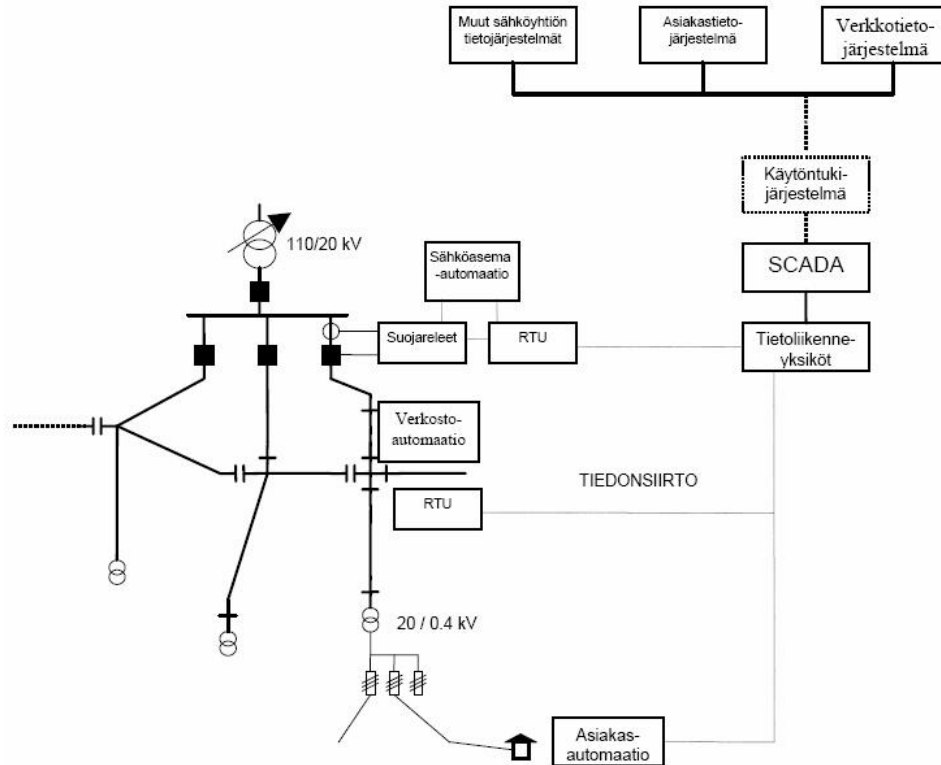
Vianselvityksessä voidaan käyttää myös vianerotusautomaatiikkaa, joka perustuu kokeilukytkennän ja jälleenkytkennän käyttöön. Verkon vianselvitys tapahtuu tällöinkin kauko- ohjattavilla erotinasemilla. Vianselvitysautomaatiikka voi perustua valvomo- tai sähköasematasolta keskitetysti suoritettavaan kytkimien ohjaukseen tai erotinasemien paikallisautomaatiikkaan. Yhdessä vianilmaisimien kanssa automaatiikka pystyy itsenäisesti erottamaan viallisen johtohaaran verkosta. Vika saadaan tällöin erotettua muutamassa minuutissa. Kauko- ohjattavat erotinasemat auttavat myös

verkon korjaus- ja ylläpitotöissä, sillä ne mahdollistavat esim. rengasverkon luomisen ja jakelurajojen muuttamisen keskitetysti valvomosta käsin. (ABB00)

Sähkökaupan vapautumisen myötä on tullut yhä tärkeämmäksi saada keskitetty valvonta kaikille energiaan liittyville asioille (erilaiset käyttödokumentit, mm. päto- ja loistehon kirjaukset, kuormitusmalleihin pohjautuvien ennusteiden hyväksikäyttö ja ennusteiden tuottaminen, ostotehon valvonta ja siihen liittyvät ohjaukset, automatisoinnit ja hälytykset jne.). DA- konseptissa nämä voidaan toteuttaa käytönvalvonnan (NCS, Network Control System) avulla. (ABB00)

3.2 Verkostoautomaatio toiminnot

Käytännössä verkostoautomaatio toteutetaan monen eri tason (mm. yhtiö, valvomo, verkko, ala- asema, asiakas) toiminnoilla, jotka on mahdollista toteuttaa myös asteittain. Näiden toimintojen toteuttamiseksi vaaditaan laajaa tiedonsiirtotekniikoiden ja järjestelmien käyttöä. Kuvassa 3.3 on esitetty periaatekuva siitä, mitä apuvälineitä kuuluu sähkönjakeluautomaatioon.



Kuva 3.3 Käyttötoiminnan apuvälineet. (Lakervi 2007)

Verkstoautomaatiolla, joka on kokonaisuudessaan voimakkaan kehityksen alla, hallitaan lähinnä 20 kV verkkoa, mutta nykyään myös yhä enemmän pienjänniteverkkoa. Verkostonhallinnan viisi päätehtävää ovat;

- verkoston häiriötilanteiden selvittely,
- keskijännitejakeluverkon käyttö,
- sähköaseman kaukokäyttö ja paikallisautomaatio,
- verkoston tilan seuranta ja
- verkostonhallinnan tukitoiminnot.

Lisäksi automaatiotoiminnoilla on mahdollista vaikuttaa kuluttajien toimintaan. Tärkein näistä toiminnoista on kysynnänhallinta (DSM, Demand Side Management), jolla tarkoitetaan kaikkia niitä toimenpiteitä, joilla pyritään vaikuttamaan kuluttajien tehon - ja energiantarpeeseen (esim. kuormituksenohjaus ja dynaamisten tariffien

käyttö). Muita kuluttajan automaatiotoimintoja ovat mm. laskutusmittareiden kaukoluku, kuormien ohjaustoiminnot (esim. lämminvesivaraajat, patterit, kiukaat) sekä erilaiset kauko- ohjaukset (mm. lukot) ja hälytykset (palo, murto). (ABB00; Lakervi 2007)

Mittareiden kaukoluku (AMR, Automatic Meter Reading) sai alkusysäyksen sähkömarkkinoiden avautumisen myötä. Kaukoluku oli aikaisemmin perusteltua lähinnä suurten kuluttajien osalta, mutta nykyään verkkoyhtiöt lisäävät vauhdilla myös kotitalousasiakkaille kaukoluettavia mittareita. Sähköyhtiöille kaukoluenta tuo kustannussäästöjä, esim. tarkistuslaskentojen vähenemisen myötä. Samalla myös kapasiteetin optimointi helpottuu, kun eri paikkojen todellinen sähkönkulutus on tiedossa. Sähkönkuluttajien mittareiden kaukoluennan avulla saadaan asiakkaiden tuntitehojen lisäksi tietoa myös jännitteen laadusta ja käyttökeskeytyksistä. Tavoitteena on, että nämä tiedot saataisiin kaikkien markkinaosapuolten kuten verkkoyhtiöiden, asiakkaiden ja palveluntuottajien käyttöön. Tariffien monipuolistuminen ja kysynnän hallintaan liittyvät toimenpiteet lisäävät tätä kaukoluennan tarvetta. Samoin vaikuttaa sähkömarkkinoiden vapautuminen, sillä kuluttajien pääsy vapaan kilpailun piiriin edellyttää energiamittausten kaukoluenta. Näin ollen sähkökaupan vaatima mittarointi ja tasehallinta tulee yleismaailmallisesti olemaan lähinnä verkkoyhtiön vastuualuetta, mutta poikkeaviakin toimintamalleja on. (ABB00; T&T 2007; Lakervi 2007)

3.2.1 *Verkoston häiriötilanteiden selvittely*

Verkostoautomaatio nopeuttaa häiriön tunnistamista ja rajaamista sekä kuluttajien sähkönjakelun palauttamista. Toiminnallisesti korkeimmalla tasolla ovat erilaiset häiriönselvityksen tietojärjestelmät, joiden tarkoituksena on kerätä verkon mittauksista ja alemman tason automaatiotoiminnoista saatavaa tietoa ja yhdistää sitä pysyvissä tietokannoissa oleviin tietoihin. Näin saadaan tieto esim. verkostossa olevan vian todennäköisestä sijainnista ja laajuudesta, sekä ohjeita kytkentöjen muuttamiseen.

Nämä järjestelmät toimivat lähinnä operaattoreiden päätöksenteon tukena, mutta voivat joissain tapauksissa suorittaa kytkentöjä itsenäisesti. Verkostoautomaation toimintoja kutsutaan myös yleisesti käytöntueksi. (ABB00)

3.2.2 Keskijännitejakoalueen käyttö

Automaatiolla voidaan helpottaa ja järjellä verkko käyttötoimintoja. Samalla pyritään myös optimoimaan verkon hetkellistä tilaa. Verkon erottimien kaukokäyttö nopeuttaa kytkentämuutosten tekoa, jolla on suurin merkitys vikatilanteiden yhteydessä, mutta merkittävää on myös työn nopeutuminen normaalien huolto- ja korjaustöiden yhteydessä. Kaukokäytön hyöty konkretisoituu kustannusten vähenemisenä.

Sähkönjakeluverkon jänniteensäädöllä pyritään pitämään jännitetaso mahdollisimman hyvin sallituissa rajoissa jakeluverkon loppupäässä eli käytännössä kuluttajalla. Jänniteensäädöllä vaikutetaan lisäksi verkoston häviöihin ja tietyissä tapauksissa sitä voidaan käyttää huipunleikkaukseen.

Loistehon kompensointi on automaation ansiosta helpommin ohjattavissa. Tämän takia on aikaisempaa helpompi sijoittaa kondensaattoreita keskijännitejakoalueeseen, esim. erotinasemien yhteyteen. Verkon käyttötilanteen optimointi sisältää jännitteen, loistehon ja kytkentätilanteen optimoinnin. Pyrkimyksenä on, että kokonaishäviöt olisivat minimissään. Lisäksi mahdollisen vikatilanteen aiheuttamat haitat pyritään saamaan vähäisiksi.

Verkon kytkentöjen suunnittelu voidaan toteuttaa tietokoneavusteisesti. Ajan tasalla olevalla jakeluverkkomallilla voidaan aiotut kytkentämuutokset tarkistaa välittömästi, mikä taas nopeuttaa suunnitelmien tekemistä ja pienentää virhetoimintojen riskiä. Samalla tavoin voidaan suunnitella myös määräaikaisten huoltotyö. Verkon suojaus voidaan tarkistaa ja sopeuttaa kytkentätilanteisiin kaukoasetteluja hyväksi käyttäen.

Esimerkiksi varasyöttönä toimivan johtolähdön releasettelut voidaan muuttaa käyttötilanteen mukaan. (ABB00)

3.2.3 *Sähköaseman kaukokäyttö ja paikallisautomaatio*

Sähköasemien kaukokäyttö (SCADA, Supervisory Control and Data Acquisition) on vakiintunutta tekniikkaa, joka sisältää tavallisesti katkaisijoiden ja erottimien kauko-ohjauksen, muuntajien käämikytkimien kauko-ohjauksen sekä erilaisia mittauksia sähköaseman kiskostosta ja johtolähdöistä. Kaukokäyttöjärjestelmät muodostavat mahdollisimman reaaliaikaisen liittynän jakeluprosessin tärkeimpiin osiin. Kaukokäyttöjärjestelmille ominaisimpia kehityspiirteitä ovat integraatio ja laajeneminen. Kaukokäyttö liittyy yhä kiinteämmin muihin järjestelmiin, kuten relesuojauksen paikalliseen ohjauskeskukseen sekä verkstoerottimien ja kuormituksen ohjausjärjestelmään. Laajeneminen tarkoittaa käytännössä sitä, että kaukokäytön piiriin tulee yhä enemmän uusia tietoja, esim. paikallisia sääasemia.

Sähköaseman paikallisautomaatio (SA, Substation Automation) mahdollistaa sähköaseman paikallisohjauksen. Se ylläpitää ja liittää sähköaseman tarkan kellonajan osaksi kokonaisjärjestelmän aikajärjestelmää. Paikallisautomaatiolla toteutetuilla sekvenssi-ohjauksilla minimoidaan sekä taloudellisia että turvallisuusriskejä. Sillä toteutetaan myös paikalliset ylläpitotoiminnot, kuten jännitteensäätö ja tapahtuma- ja hälytyskäsitely. (ABB00)

3.2.4 *Verkostontilan seuranta*

Verkostontilan seuranta käsittää lähinnä verkon normaalitilan seurantaan liittyvät toiminnot ja verkoston ylläpidon sekä suunnittelun tarpeisiin tuotettavat toiminnot. Verkkokartan ylläpito tietokoneella säästää merkittävästi työtä, jolloin verkon uusien osien suunnittelu voidaan toteuttaa käyttämällä vanhaa tietokantaa pohjana.

Kytkeätilanteen ylläpito voidaan myös toteuttaa tietokoneen graafisella näytöllä siten, että kytkentämuutosten vaikutus verkon jakorajoihin saadaan välittömästi näkyviin. Käytännössä tämä tapahtuu esim. värityksellä sähköaseman vierekkäiset lähdöt eri väreillä, jolloin tilannekuvasta saadaan mahdollisimman havainnollinen. (ABB00)

Verkkotietojärjestelmällä (VTJ, NIS, Network Information System), joka liitetään sähkölaitosautomaatioon, voidaan toteuttaa myös verkoston suunnittelu- ja seurantalaskenta. Seurantalaskentaan kuuluu mm. vikavirtojen laskenta sekä vastaava oikosulku- ja maasulkureleistyksen asettelujen tarkistus.

Jakeluverkon kuorman estimoinnin tarkoituksena on tuottaa saatavilla olevia taustatietoja hyväksi käyttäen mahdollisimman hyvä arvio verkon eri osien tehovirtaamista. Kuorman estimointi on perustoiminto, jonka tuloksia monet muut automaatiotoiminnot käyttävät hyväkseen. Sähköverkon kuormien ennustaminen on tarpeen verkon käytön optimoimiseksi lyhyellä tähtämellä ja verkostoinvestointien kohdistamiseksi pitkällä tähtämellä. Ennustaminen perustuu kuorman estimoinnin tuloksiin ja kuluttajien taustatietoihin. Automaatio helpottaa myös kuormitustutkimusta, joka on tarpeen säännöllisesti käyttäytyvien kuluttajatyypien mallikuormituskäyrien ylläpitämiseksi.

Verkon komponenttien kaukovalvonta voidaan toteuttaa joko suoraan mittauksin tai tilaestimoinnilla. Eräs valvottava kohde on jakelumuuntaja, jonka kuormitukselle saadaan tilaestimoinnilla hyvä arvio, mikäli sen kuorma on säännöllisesti käyttäytyvää tyyppiä. Muutoin seurannan on perustuttava paikan päällä tapahtuviin mittauksiin, jotka ovat joko kiinteitä tai siirrettäviä mittauksia. Sähkön laatutekijöiden valvonta on tarpeellista laatustandardien ja tuotevastuulainsäädännön kehittyessä. Sähkön laatua on mahdollista seurata laskentamalleilla ja siirrettävillä mittauksilla. (ABB00)

3.3 Automaatioaste

Automaatioaste on termi, mitä käytetään kuvaamaan automaation määrää johtolähdön varrella muuntoaseman ulkopuolella. Automaatioastetta kuvataan yleisesti kahdella tapaa: (Northcote- Green, Wilson 2006)

- Prosentuaalisena manuaalisten erottimien määränä, jotka on muutettu kauko-ohjauksen piiriin. Tyypillisesti tämä luku on n. 5- 10 %.
- Kauko- ohjattujen erottimien määränä per johtolähtö.

Jälkimmäinen tapaus on tyypillisesti suunniteltu seuraavasti: 1.0, 1.5, 2.0, 2.5... jne., missä puolikas katkaisija edustaa kahden johtolähdön jakamaa jakorajaa (NOP, Normally Open Point). Vastaavasti 1.5, 2,5 jne. katkaisijat johtolähtöä kohden ilmaisevat automatisoitua jakorajaa ja johtolähdön keskellä olevaa katkaisijaa. (Northcote- Green, Wilson 2006)

NorthCote- Green ja Wilson esittelevät kirjassaan oman näkemyksensä eri automaatiotasolle. Heidän määritelmässään automaatiotasoa on neljä, joista ensimmäisessä automaatiotasoa on 0 %, mikä tarkoittaa sitä, että verkossa ei ole kuin manuaalista ohjausta. Toisessa automaatiotasossa johtolähdön alkuun on sijoitettu automaatiota, jolla virtapiiri saadaan suljettua valvomosta käsin ja kolmannella tasolla valvomosta ohjattavaa automaatiota on lisätty lähtökatkaisijoiden lisäksi jakorajoille. Neljännellä automaatiotasolla laajennettua ohjausta on lisätty kaikkiin verkossa oleviin kytkimiin, jolloin automaatiointensiteetti taso on 100 %.

3.3.1 Osaamistason vaikutus automaatioasteeseen

Automaation intensiteettitasoa määritettäessä on ensisijaisen tärkeää selvittää myös käyttöhenkilökunnan tietojärjestelmienosaamistaso. Käytöntukijärjestelmän korkealla osaamistasolla voidaan vaikuttaa merkittävästi verkkoyhtiön automaatioasteeseen ja sillä on suuri merkitys ulosmitattaessa käytöntukijärjestelmän toiminnoista saatavia

hyötyjä. Automaation määrä verkossa ei ole siis yksinään riittävä määritelmä automaatioasteelle, vaan jotta siitä saadaan maksimaalinen hyöty irti, on käyttöhenkilökunnan oltava ammattitaitoista ja koulutuksen sen mukaista.

Monissa verkkoyhtiöissä, erityisesti pienemmissä, käytöntukijärjestelmän käyttäminen ja hyödyntäminen sen mahdollistamalla tavalla ei ole mahdollista, mikä on usein seurausta pienten verkkoyhtiöiden rajallisista resursseista. Tällöin verkkoon sijoitetun automaation tarjoama informaatio jää hyödyntämättä monelta osin. Pienet verkkoyhtiöt joutuvatkin pohtimaan sitä, miten osaamistaso saataisiin paremmalle tasolle. Isoissa verkkoyhtiöissä vastaavasti resursseja löytyy ja heillä myös osaamistaso on sen mukaista ja sitä pystytään kontrolloimaan paremmin. Isojen verkkoyhtiöiden on helppo tarvittaessa palkata lisää henkilökuntaa, mikäli tarve vaatii. Vastaavasti pienissä verkkoyhtiöissä tämä ei välttämättä kustannus syistä ole mahdollista.

3.4 Hyötylaskelmakaavojen esittely

Jakeluautomaation käyttöönotolla saavutetaan erityyppisiä hyötyjä jakeluverkossa. Hyödyt voidaan jakaa suoriksi, epäsuoriksi, kiinteiksi tai välillisiksi hyödyiksi. Kiinteät hyödyt voidaan määritellä taloudellisesti, kun taas välillisten hyötyjen määrittely on taloudellisesti hankalaa. Kiinteät hyödyt voidaan jakaa investointisäästöihin (CAPEX, Capital Expenditure) ja operatiivisiin kustannuksiin (OPEX, Operational Expenditure). Välillisiä hyötyjä ei tule unohtaa, koska ne vaikuttavat yrityksen toimintoihin epäsuorasti ja voivat olla täten merkittävässäkin roolissa määritettäessä yrityksen suorituskykyä. (Northcote – Green, Wilson 2006)

EPRI (Electric Power Research Institute, California) projektissa EL- 3728 tehdyn tutkimuksen tuloksena on määritelty jakeluautomaatiotoiminnoista saatavia yleisiä hyötyjä. Sen mukaan hyödyt voidaan luokitella investointeihin, - käyttöön ja kunnossapitoon sekä energiaan liittyviin säästöihin. Liitteessä I on esitelty suorat

odotettavissa olevat hyödyt ryhmiteltynä käyttöönotetun automaatioiminnon ja jakeluautomaatioalueen mukaan, mistä hyödyt saadaan. Tämä ryhmittely perustuu pelkästään Northcote – Green ja Wilsonin teoksessaan esittämiin näkemyksiin. Jakeluautomaatioalueella tarkoitetaan tässä yhteydessä joko sähköasema-, tai johtolähtöautomaatiota, mutta tämän työn pääasiallinen tarkoitus ei ole tutkia hyötyjen vaikutuksia tällä tasolla. Hyötyjen tarkastelu keskittyy erityisesti käytöntukijärjestelmän eri toiminnoista saataviin hyötyihin. Esimerkiksi vian paikannustoiminnosta saataviin hyötyihin vaikuttaa merkittävästi johtolähdöllä oleva automaatio. Odotettavat vian paikannuksesta saatavat hyödyt voidaan luokitella keskeytyksiin, - operatiivisiin säästöihin, - ja kehittyneeseen operointiin liittyviin hyötyihin.

3.5 Verkkoinvestointeihin liittyvät säästöt

Investointeihin liittyvät hyödyt voidaan luokitella suoriksi hyödyiksi ja ne voidaan jaotella seuraavasti:

Investointien siirto tulevaisuuteen

- Sähkönjakelujärjestelmän kapasiteetin lisääminen
- Muuntoasemien lisäys
- Olemassa olevan johdon uusiminen
- Jakelumuuntajien lisäys/korvaus
- Tietojärjestelmien, esim. käytöntukijärjestelmän tehokas hyödyntäminen
- Uuden sähköaseman rakentaminen

Investointien korvaaminen tai vähentäminen

- Perinteinen SCADA ja ala- asemat
- Perinteiset muuntoasemien mittarit ja piirturit
- Perinteiset ohjaukset (kondensaattorit, säätimet)

- Perinteinen suojaus
- Muuntoasema valvonta

Verkko- investointeihin perustuvat hyödyt voidaan käsitellä kahdessa kategoriassa. Ensimmäisessä kategoriassa pääoman käyttöä lykätään tulevaisuuteen, vuosia eteenpäin. Tämän on mahdollistanut automaation käyttöönotto ja pääoman käytön lykkäämisestä tulevaisuuteen saatava hyöty voidaan määritellä yhtälön (3.1) mukaisesti.

$$Hyöty = (PVRR_{ilman} - PVRR_{kanssa}), \quad (3.1)$$

missä $PVRR_{ilman}$ (Present Value of Revenue Requirement) = laitteistolta vaaditun tuottotarpeen nykyarvo ilman automaatiota suunnittelujaksolla ja $PVRR_{kanssa}$ = laitteistolta vaaditun tuottotarpeen nykyarvo automaation kanssa jakson aikana, alkaen siitä kun tietty automaatiolaitteisto otettiin käyttöön.

Pääoman käytön siirtämisellä tulevaisuuteen tarkoitetaan sitä, että tarvitaan edelleen sama laitteisto, mutta lykätään sen asennusaikaa. Tämän tyyppinen pääoman lykkäys saavutetaan kyvyllä siirtää vierekkäisten muuntoasemien kuormia, jolloin viivästytetään lisämuuntajien asentamista siihen asti kunnes kuorma kasvaa tarpeeksi ja vierekkäisten asemien kapasiteetti ei enää riitä. Tämä on käytännössä seurausta verkon hyvästä sähkötekniisestilän hallinnasta, millä pystytään parantamaan verkon siirtokapasiteetin täysmääräistä käyttöä.

Toisessa kategoriassa siirretään pääoman käyttöä samana vuonna. Tästä saatava yleinen hyöty reflektoi siirtoa perinteisestä laitteistosta automaatiossa käytettävään älykkääseen laitteistoon. Hyvä esimerkki on tilanne, missä määritellään johtokatkaisijan tarvetta ja havaitaan, että automatisoidun katkaisijan kustannukset

ovat suuremmat kuin manuaalisen laitteen. Kuitenkin on tiedostettava, että muita automaatiosta saatavia hyötyjä ei saavuteta ilman automaatio- ohjattujen laitteiden aiheuttamaa kustannusta. Tästä saatava hyöty voidaan määrittellä yhtälön (3.2) mukaisesti.

$$Hyöty = PVRR(J_{perus}(H_{osto} + I_{kust}) - J_{autom.}(H_{osto} - I_{kust})), \quad (3.2)$$

missä J_{perus} = lähtökohtajärjestelmän laitteisto, H_{osto} = laitteiston ostohinta, I_{kust} = laitteiston asennuskustannus ja $J_{autom.}$ = automaatiojärjestelmän laitteisto. Lähtökohtajärjestelmällä tarkoitetaan, sitä järjestelmää, mikä verkkoyhtiössä on ollut käytössä ennen automaation käyttöönottoa. Tarkasteluajanjaksona periodi alkaen siitä, kun tietty jakeluautomaatio laitteisto otettiin käyttöön. (Northcote – Green, Wilson 2006)

3.6 Käyttöön ja kunnossapitoon liittyvät säästöt

Käytöstä ja kunnossapidosta saatavat hyödyt voidaan myös luokitella suoriksi hyödyiksi ja ne voidaan jaotella seuraavasti:

Keskeytyksiin perustuvat

- Kasvanut liikevaihto johtuen nopeammasta palvelun palauttamisesta
- Vähentynyt miehistön työaika vian paikantamisessa ja korjaamisessa
- Asiakkaisiin perustuva
- Vähentyneet asiakkaiden valitukset
- Kehittyneen luotettavuuden arvo asiakkaille

Operatiiviset säästöt ja kehitykset

- Vähentyneet matkat muuntoasemille ja johtolähtökytkimille
- Kehittynyt jännitesäätely
- Vähentyneet muuntoasema ja johtolähtö häviöt
- Korjaus ja kunnossapito säästöt
- Vähentynyt työvoima muuntoaseman mittareiden lukemiseen
- Nopeampi kytkentäsuunnitelmien tuottaminen
- Kehittynyt laitehäiriöiden havaitseminen
- Nopeampi sähkönjakelun palauttaminen häiriöiden jälkeen

Käyttö- ja kunnossapito toiminnoista saatavat hyödyt voidaan myös jakaa kahteen kategoriaan. Ensimmäisessä käyttö ja kunnossapito ovat riippuvaisia laitteistosta. Tämä hyöty perustuu siihen oletukseen, että käyttöönotetut digitaaliset laitteet ovat luotettavampia ja halvempia huoltaa. Tyypillinen esimerkki sähköasema-automaatiosta on asemalle integroidut elektroniset laitteet (IED, Intelligent Electronic Device) ja niiden tarjoamat etäkysely mahdollisuudet, jotka sallivat asetusten muuttamisen ja vianetsinnän etänä. Näillä toiminnoilla pystytään vähentämään työtunteja ja sähköasemille tehtäviä tarkastuskäyntejä. Tästä kategoriasta saatavaa hyötyä voidaan kuvata yhtälön (3.3) mukaisesti.

$$Hyöty = PVRR(J_{perus} - J_{autom}), \quad (3.3)$$

missä J_{perus} = lähtökohtajärjestelmän laitteiston käyttö- ja kunnossapitokustannukset ja J_{autom} = automaatiojärjestelmän laitteiston käyttö- ja kunnossapitokustannukset. Tarkasteluajanjaksona periodi alkaen siitä, kun tietty jakeluautomaatio laitteisto on otettu käyttöön. (Northcote – Green, Wilson 2006)

Toisessa kategoriassa käyttö- ja kunnossapitotoiminta ei ole laitteisto riippuvaisia, johtuen prosessin kehityksestä automaation käyttöönoton seurauksena. Tyypillisesti vaivannäkö datan keräämisestä sähköasemilta ja johtolähtöasemilta on suuresti vähentynyt automaation keräysfunktion käyttöönoton myötä. Tästä kategoriasta saatavaa hyötyä voidaan kuvata yhtälön (3.4) avulla.

$$Hyöty = PVRR(J_{perus,O\&M} - J_{autom,O\&M}), \quad (3.4)$$

missä $J_{perus,O\&M}$ = lähtökohtajärjestelmän käyttö- ja kunnossapitovaatimukset jakeluautomaatiofunktion vaikutuksen alla ja $J_{autom,O\&M}$ = jakeluautomaatiojärjestelmän käyttö- ja kunnossapitovaatimukset. Tarkasteluajanjaksona periodi alkaen siitä, kun tietty jakeluautomaatio laitteisto on otettu käyttöön.

Jakeluverkossa, missä ei ole juurikaan automaatiota, tapahtuvassa viassa on verkkoyhtiön lähetettävä korjausmiehistö paikantamaan vika, kytkemään vioittunut verkon osa pois, huolehtimaan kunnossa olevien verkon osien sähkön palauttamisesta ja korjaamaan vika. On selvää, että miehistöltä kuluu suuri määrä työtunteja näiden toimintojen suorittamiseen, mikä taas aiheuttaa kustannuksia verkkoyhtiölle. Mikäli kytkimiä pystytään ohjaamaan kauko- ohjatusti, voidaan saavuttaa merkittäviä taloudellisia hyötyjä. (Northcote – Green, Wilson 2006)

Kyky estimoida saatavia säästöjä miehistön työajasta (CTS, Crew Time Savings) on elintärkeää useille kustannus - hyöty laskemille, koska loogisesti hyödyt saadaan siirtymällä manuaalisesti operoidusta toimintaympäristöstä kauko – ohjattuun valvontaan/automaatioon. Säästöt matkustusajassa riippuvat sekä keskeytyksiin että investointeihin liittyvistä hyödyistä. Perus relaatio vuotuisen CTS:n laskemiseen keskeytyksiin liittyvissä hyödyissä on esitetty yhtälössä (3.5).

$$Hyöty = \lambda(l)[(MNST / vika)(CR) \times (FAST / vika)(OR)]PVF_n, \quad (3.5)$$

missä, λ = johtolähdön vuotuinen sähkökatkojen määrä/ verkoston pituus, km, l = virtapiirin pituus, $MNST$ (Manual Switching Time) = manuaalinen katkaisuaika, mikä sisältää matkustusajan katkaisijan sijainti paikalle, CR (Crew Hourly Rate) = miehistön tuntipalkka, sisältäen ajoneuvokustannukset, $FAST$ (Feeder Automation Switching Time) = johtolähtöautomaation katkaisuaika ja OR (Operator Hourly Rate) = operaattorin tuntipalkka, sisältäen valvomon juoksevat kulut ja PVF_n (Present Value Factor) = nykyarvotekijä vuonna n . (Northcote – Green, Wilson 2006)

3.7 Energiaan liittyvät säästöt

Lähes jokaisessa sähkön loppukäyttäjän kokemassa sähkökatkossa sähkönjakelun keskeytyksen syynä on jakeluverkossa esiintyvä häiriö. Sähkökäyttäjän kokemista keskeytyshaitoista yli 90 % aiheutuukin jakeluverkoista. Vikoja esiintyy myös alue- ja siirtoverkoissa, mutta suurin osa näistä vioista pystytään rajaamaan silmukoidussa verkossa siten, ettei niistä aiheudu haittaa loppukäyttäjälle. (Lakervi 2008)

Jakeluverkoissa keskijänniteverkkojen osuus keskeytyshaittojen aiheuttajana on merkittävä. Keskijänniteverkossa oleva vika aiheuttaa yleensä useita satoja asiakkaita koskevan sähkökatkon, kunnes vika- alue saadaan rajatuksi ja varayhteydet hyödynnettyä. Pienjänniteverkossa esiintyvien vikojen vaikutukset ovat huomattavasti pienempiä, kuin keskijänniteverkon, koskien yleensä vain muutamia sähkökäyttäjiä. Kuitenkin pienjänniteverkon vikojen kokonaislukumäärä on huomattava ja ne aiheuttavat verkkoyhtiölle paljon suoria korjaustöistä johtuvia kustannuksia. (Lakervi 2008)

Keskijänniteverkoissa käytetään paljon kauko- ohjattavia kytkinlaitteita, joiden avulla voidaan lyhentää asiakkaan kokeman keskeytyksen pituutta. Esimerkiksi käsin

ohjattavan erottimen ohjaamiseen kuuluu tyypillisesti useita kymmeniä minuutteja, riippuen erottimen sijainnista ja korjausmiehistön valmiusasteesta. Kauko- ohjatulla erottimella saadaan vastaavat ohjaustoimenpiteet suoritettua muutamassa minuutissa. Asiakkaiden kokemien keskeytysten määrään niillä ei kuitenkaan ole vaikutusta. (Lakervi 2008)

Energiasta saatavat tulot vähenevät keskeytyksistä ja häviöistä (teknisiä tai ei - teknisiä) johtuen. Sähkökatkon pituuden lyheneminen vähentää toimittamatta jääneen energian (ENS, Energy Not Supplied) määrää ja optimaalinen verkostokomponenttien kuormitus vähentää teknisiä häviöitä. (Northcote – Green, Wilson 2006)

3.7.1 Nopean sähkönjakelun palauttamisen tuomat hyödyt

Mikäli verkossa ei ole jatkuvaa vaihtoehtoista sähkönjakelu mahdollisuutta, niin mikä tahansa vika järjestelmässä aiheuttaa jakeluhäiriön yhdelle tai useammalle asiakkaalle. Nämä häiriöt voidaan karakterisoida luotettavuusindeksien SAIFI, SAIDI, CAIDI ja MAIFI avulla. Vikojen keskimääräistä määrää asiakasta kohden tarkastelujaksolla (System Average Interruption Frequency Index) kuvataan yhtälön (3.6) avulla.

$$SAIFI = \frac{\text{Asiakkaiden kokemien keskeytysten kokonaismäärä}}{\text{Kokonaisasiakasmäärä}} = \frac{\sum_j m_j}{N}, (3.6)$$

missä m_j = asiakkaan j kokemien keskeytysten määrä tarkasteluajanjaksolla ja N = kokonaisasiakasmäärä. (Northcote – Green, Wilson 2006)

SAIFI:a vastaava lyhyiden keskeytysten, eli pika- ja aikajälleenkytkentöjen (PJK ja AJK) raportointiin soveltuva indeksi on MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index). Kyseistä indeksiä kuvataan yhtälön (3.7) avulla.

$$MAIFI = \frac{\text{Asiakkaiden kokemien lyhyiden kesk.summa}}{\text{Kokonaisasiakasmäärä}} = \frac{\sum_j m_{js}}{N}, \quad (3.7)$$

missä m_{js} = asiakkaan j kokemien lyhyiden keskeytysten lukumäärä tarkasteluajanjaksolla. (Northcote – Green, Wilson 2006)

Vikojen keskimääräistä kokonaiskestoaikaa asiakasta kohden tarkasteluajanjaksolla (System Average Interruption Duration Index) kuvataan yhtälön (3.8) avulla.

$$SAIDI = \frac{\text{Asiakkaiden kokonaiskeskeytysaika}}{\text{Kokonaisasiakasmäärä}} = \frac{\sum_i \sum_j t_{ij}}{N}, \quad (3.8)$$

missä t_{ij} = asiakkaalle j keskeytyksestä i aiheutunut sähkötön aika, i on keskeytysten lukumäärä tarkasteluajavälillä, j keskeytyksen vaikutusalueella olleiden asiakkaiden määrä sekä N = kokonaisasiakasmäärä. SAIDI viittaa yleisesti asiakkaan kokemiin keskeytysminuutteihin tai – tunteihin tarkasteluajanjakson aikana. (Northcote – Green, Wilson 2006)

Tarkasteluajanjaksolla koettujen vikojen keskimääräistä kestoaikaa asiakasta kohden (Customer Average Interruption Duration Index) kuvataan yhtälön (3.9) avulla.

$$CAIDI = \frac{\text{Asiakkaiden kokonaiskeytysaika}}{\text{Asiakkaiden kokonaiskeskeytysmäärä}} = \frac{\sum_i \sum_j t_{ij}}{\sum_j m_j} = \frac{SAIDI}{SAIFI}, (3.9)$$

CAIDI:n avulla kuvataan siis keskimääräistä aikaa, joka tarvitaan järjestelmän palauttamiseen lähtötilanteeseen. (Northcote – Green, Wilson 2006)

Keskeytyksiä kokeneiden asiakkaiden keskimääräistä keskeytystaajuutta tarkasteluajanjaksolla (Customer Average Interruption Frequency Index) kuvataan yhtälön (3.10) avulla.

$$CAIFI = \frac{\text{Asiakkaiden kokemien keskeytysten kokonaismäärä}}{\text{Keskeytyksen kokeneiden asiakkaiden määrä}} = \frac{\sum_j m_j}{N_{kk}}, (3.10)$$

missä m_j = asiakkaan j kokemien keskeytysten määrä tarkasteluajanjaksolla ja N_{kk} = keskeytyksen kokeneiden asiakkaiden määrä. CAIFI indikoi keskeytysten määrää niiden asiakkaiden keskuudessa, jotka ovat kokeneet keskeytyksen. (EMV 2005) Näin ollen se ei ota huomioon asiakkaita, jotka eivät ole kokeneet keskeytyksiä lainkaan, kuten SAIFI:ssa. Tunnusluku lasketaan siten, että keskeytyksen kokenut asiakas lasketaan mukaan vain kertaalleen.

Aikaisemmin esitettyjä luotettavuusindeksejä hyväksikäyttäen, saadaan laskettua vuotuinen toimittamatta jäänyt energia (AENS, Annual Energy Not Supplied) yhtälön (3.11) avulla.

$$AENS = SAIFI \times CAIDI \times \delta \times S_{\text{huippu,MVA}} \times \cos \varphi, (3.11)$$

missä δ = kuormituskerroin, mikä kuvaa keskimääräistä keskeytystehoa, $S_{huippu,MVA}$ = huippukuorma [MVA] ja $\cos\varphi$ = tehokerroin. SAIFI ja CAIDI saadaan määritettyä yhtälöiden (3.6) ja (3.9) avulla.

Vuotuinen toimittamatta jäänyt energia saadaan muutettua vuotuisiksi liikevaihto häviöiksi (ARL, Annual Revenue Lost) määrittelemällä sopiva rahallinen arvo kyseiselle energialle. ARL voidaan määrittää yhtälön (3.12) avulla. (Northcote – Green, Wilson 2006)

$$ARL = AENS \times E_k, \quad (3.12)$$

missä E_k = energian hinta [€/kWh]

3.8 Muut automaation tuomat hyödyt

Jakeluautomaation käyttöönotosta saadaan edellä mainittujen hyötyjen lisäksi myös muita hyötyjä, jotka ovat seurausta automaation käyttöönotosta. Nämä hyödyt voidaan jakaa joko suoriksi tai epäsuoriksi hyödyiksi ja ne voidaan luokitella seuraavien otsikoiden alle: (Northcote – Green, Wilson 2006)

- Kehittynyt verkosta saatava informaatio
- Kehittynyt asiakassuhteiden hoito

Kehittyneiden päätöksentekotyökalujen käyttöönoton myötä erehdyksen ja terveen verkon ylikuormittamisen todennäköisyys laskee. Tämä hyöty on kuitenkin subjektiivinen ja kuuluu välillisiin hyötyihin, koska se vaatisi arvostuksen huonolle päätöksenteolle, mikä olisi voitu välttää. (Northcote – Green, Wilson 2006)

Useat jakeluautomaatiotoiminnot tarjoavat parempaa palvelua ja tietoa asiakkaille, parantaen asiakkaiden tyytyväisyyttä. Tällaisia hyötyjä on kuitenkin vaikea määrittellä, koska osa edistysaskeleista on vain havaittuja. Esimerkiksi yrityksen mikä palauttaa sähkönjakelun tunnissa, mutta on kykenemätön tarjoamaan asiakkaille tietoa sähkökatkosta, on havaittu olevan vähemmän kyvykäs, kuin yritys mikä vastaa asiakkaiden puheluihin kertoen sähkönjakelun palautuvan tunnissa. (Northcote – Green, Wilson 2006) Tämäkin hyöty voidaan luokitella välilliseksi hyödyksi, koska käytännössä automaatiosta saatavat hyödyt parantavat asiakkaiden tyytyväisyyttä ja sitä kautta verkkoyhtiön imagoa.

3.9 Kustannusten taloudellinen arvostus

Mikä tahansa sähkökatkon aiheuttama haitta onkin liiketoiminnalle, niin sille on tapauksesta riippumatta löydettävissä rahallinen arvo. Kaikki funktionaaliset hyödyt pitää muuttaa rahanarvoiseksi. Tiedetyt kustannukset ovat yksinkertaisia määrittää rahallisesti, mutta toimittamatta jääneestä energiasta aiheutuvan kustannuksen määrittäminen on avoin erilaisille tulkinnoille. (Northcote – Green, Wilson 2006)

Yritys määrittää huonon laadun erilailla kuin asiakas. Mitä suurempi erilaisuus asiakkaan ja verkkoyhtiön mielipiteiden välillä on, sitä suurempi on riski, että asiakkaat vaativat parannustoimia. Yrityksen täytyy olla tietoinen asiakasrajapinnasta päättäessään parannusohjelman arvosta ja muuntaessaan toiminnallisia hyötyjä rahanarvoiseksi. (Northcote – Green, Wilson 2006)

3.9.1 Yritykselle aiheutuvat kustannukset

Arvioidessa hyöty- kustannussuhdetta mille tahansa automaatioinvestoinnille, yritys laskee erotuksen perustuen vuotuisiin operaatiokustannuksiin (kunnossapitokustannukset, energiakustannukset jne.) ja pääomakustannuksiin.

Häviökustannukset ovat suoria kustannuksia, jotka riippuvat energian hinnasta ja tarpeellisista laitteistoinvestoinneista, millä pystytään peittämään kapasiteettitarve häviöiden huomioimiseksi. (Northcote – Green, Wilson 2006)

Sähkökatkon takia tietyistä asiakkaista verkkoyhtiölle saamatta jääneen katteen määrä voidaan määrittää yhtälön (3.13) avulla.

$$Kustannus = E_{kutus} \times SAIDI \times E_k \times t_{kuorm} \times E_{marg}, \quad (3.13)$$

missä E_{kutus} = asiakkaan vuotuinen energiankulutus [kWh, a], t_{kuorm} = kuormituksen huipunkäyttöaika [h, a] ja E_{marg} = energian myynnin marginaali, esim. 10 %. SAIDI saadaan määritettyä yhtälön (3.8) avulla.

Asiakkaan vuotuinen energiankulutus saadaan laskettua yhtälön (3.14) avulla.

$$E_{kutus, kWh / asiakas} = S_{huippu, MVA} \times \delta \times \cos \varphi \times t_{kuorm} \quad (3.14)$$

Vuosittaiset energian myyntitulot tietyltä asiakkaalta saadaan yhtälön (3.15) avulla. (Northcote – Green, Wilson 2006)

$$E_{tulo} = E_{kutus} \times E_k \times t_{kuorm} \quad (3.15)$$

3.9.2 Asiakkaalle aiheutuvat kustannukset

Sähkökatkon aiheuttama kustannus asiakkaiden silmissä kantaa hyvin erilaista arvoa, kuin verkkoyhtiön silmissä, koska se vaikuttaa suoraan heidän elämiin ja ennen kaikkea tuotantoon. Jakeluhäiriöistä johtuva kustannus minkä asiakas näkee, riippuu suuresti asiakastyypistä (julkinen palvelu, teollisuus jne.). Isot asiakkaat ovat määrittäneet usein tietyn arvon prosesseille, mitkä ovat riippuvaisia tuotannon puuttumisesta. Osalle asiakkaista haitta on huomattavasti hankalammin mitattavissa. Esim. kotitalousasiakkaille aiheutuva haitta konkretisoituu lähinnä välillisesti (kotitöiden ajoituksen muuttuminen, yms.), kun taas teollisuusasiakkaille sähkökatko tarkoittaa tuotannon keskeytymistä, mikä voi aiheuttaa merkittäviäkin taloudellisia tappioita. (Northcote – Green, Wilson 2006; Lakervi 2007)

Taloudellinen arvo, minkä sähkönjakeluyritys määrittää keskeytykselle on ratkaisevassa asemassa liiketoiminnassa, koska investointi millä parannetaan asiakkaan jännitteen laatua, täytyy punnita myös hyötyjä vastaan. (Northcote – Green, Wilson 2006)

Asiakkaalle yksittäisestä viasta aiheutuva kustannus (SIC, Single Interruption Cost) voidaan määrittää yhtälön (3.16) avulla.

$$SIC = Y \times E_{kulutus}, \quad (3.16)$$

missä Y = tietyn pituiselle keskimääräiselle keskeytysajalle (CAIDI) määritetty kustannus. Northcote- Green ja Wilson esittävät kirjassaan taulukon 3.2 mukaiset keskeytyskustannukset eripituisille sähkönjakelun keskeytyksille.

Taulukko 3.2 Keskeytyksestä aiheutuva kustannus [€/MWh] eri keskeytyspituuksille (Northcote – Green, Wilson 2006)

Kuluttajaryhmä	Keskeytyspituus							
	0	0,0167	0,333	1	4	8	24	[h]
	0	1	20	60	240	480	1440	[min]
Julkinen	0,46	0,4800	1,640	4,910	18,13	37,06	47,58	[€]
Teollisuus	3,02	3,1300	6,320	11,94	32,59	53,36	67,10	
Kotitalous	0,00	0,0000	0,060	0,210	1,440	1,44	1,44	
Iso käyttäjä	1,07	1,0700	1,090	1,360	1,520	1,71	2,39	

Northcote- Greenin ja Wilsonin kirjassa on tarkasteltu esimerkkiä, missä tarkasteltavana kohteena on teollisuusasiakas kehitysmaasta. Asiakkaan vuotuinen energiankulutus on 11353 MWh, CAIDI 3,63, MAIFI 9,28 ja SAIFI 2,52. Käyttämällä lineaarista interpolaatiota, saadaan tämän pituiselle keskeytykselle kustannukseksi 18,10 € (19,91€ kun euron kurssi puntaan nähden 1,1). Kustannus on normalisoitu oikaisukertoimella, koska kyseinen asiakas on kehitysmaasta, jolloin keskeytyskustannukseksi 3,63 tunnin pituiselle keskeytykselle on saatu 3,39 €/MWh.

Käyttämällä edellä esitettyjä parametreja ja yhtälöitä (3.16- 3.19) saadaan kyseisen asiakkaan vuotuisiksi keskeytyskustannuksiksi n. 160k€. Suoritettaessa vastaava tarkastelu käyttämällä Suomen olosuhteisiin tarkoitettuja keskeytyskustannusparametreja ja keskeytyskustannusyhtälöitä (3.20- 3.22), ovat vastaavan asiakkaan keskeytyskustannukset 188k€. Liitteessä II on esitetty edellä esitettyihin tuloksiin tehty laskenta. Taulukossa 3.2 keskeytyspituus nolla edustaa hetkellisten keskeytysten (MAIFI) kustannusta. (Northcote – Green, Wilson 2006; RatesFX)

Tämän päivän yhteiskunnassa keskeytymättömän sähkönjakelun merkitys korostuu yhä enemmän. Taulukossa 3.3 on esitetty tyypillisiä Suomessa käytettäviä keskeytyskustannusparametreja eri kuluttaja ryhmille. Verrattuna taulukkoon 3.3 havaitaan, että Northcote- Greenin ja Wilsonin kirjassaan esittämässä taulukossa. 3.2

ei ole määritelty erikseen pika- ja aikajälleenkytkennöille keskeytyskustannusparametreja.

Taulukko 3.3 KAH- parametrit. (Partanen 2008b)

Kuluttajaryhmä	Vika [€kW]	Vika [€kWh]	Työ [€kW]	Työ [€kWh]	PJK [€kW]	AJK [€kW]
Kotitalous	0,36	4,29	0,19	2,21	0,11	0,48
Maatalous	0,45	9,38	0,23	4,80	0,20	0,62
Teollisuus	3,52	24,45	1,38	11,47	2,19	2,87
Julkinen	1,89	15,08	1,33	7,35	1,49	2,34
Palvelu	2,65	29,89	0,22	22,82	1,31	2,44

Jatkuvista keskeytyksistä johtuva vuotuinen kustannus (ASIC, The Annual Cost of Sustained Interruptions) voidaan määrittää yhtälön (3.17) avulla.

$$ASIC = SIC \times SAIFI. \quad (3.17)$$

Hetkellisistä keskeytyksistä eli jälleenkytkennöistä aiheutuva kustannus (AMIC, The Annual Cost of Momentary Interruptions) voidaan määrittää yhtälön (3.18) avulla.

$$AMIC = MAIFI \times E_{kulutus}. \quad (3.18)$$

Edellä esitettyjen yhtälöiden (3.17- 3.18) avulla saadaan määritettyä asiakkaan kokemat vuotuiset keskeytyskustannukset. Asiakkaan kokemat vuotuiset keskeytyskustannukset ovat yhtälön (3.19) mukaiset. (Northcote – Green, Wilson 2006)

$$K_{total} = ASIC + AMIC. \quad (3.19)$$

Edellä olevat yhtälöt perustuvat Northcote – Greenin ja Wilsonin kirjassaan Control and Automation of Electric Power Distribution Systems esitettyihin yhtälöihin. Suomen olosuhteissa keskeytyskustannusten laskemiseen käytetään hieman erilaisia laskentamalleja. Perusajatukseltaan sekä Northcote – Greenin, Wilsonin esittämät yhtälöt, että suomessa käytettävät laskentametodit ovat kuitenkin yhteneviä. Yksi merkittävimmistä eroista näiden laskentamethodien välillä on se, että Suomen olosuhteissa otetaan huomioon jälleenkytkennöistä aiheutuvat keskeytyskustannukset ja niille on määritetty omat laskentayhtälöt. Yhtälö (3.18) käsittelee toki lyhyistä keskeytyksistä aiheutuvia kustannuksia, mutta siinä ei erotella pika- ja aikajälleenkytkennöistä aiheutuvia kustannuksia.

Pysyville vioille laskettavat keskeytyskustannukset määritellään Suomen olosuhteissa yhtälön (3.20) avulla.

$$K_{vika} = asiakasryhmä \times \bar{P} \times f_{vika} \times l(t_{kesk} \times KAH_{kWh} + KAH_{kW}), \quad (3.20)$$

missä \bar{P} = johtolähdön keskiteho [kW], t_{kesk} = on keskeytysaika [h, a], f_{vika} = on asiakasryhmän painotettu vikataajuus [vikaa/km, a], KAH_{kWh} = keskeytyskustannus keskeytysajan suhteen [€/kWh] ja KAH_{kW} = keskeytyskustannus vikamäärän suhteen [€/kW].

Vastaavasti keskeytyskustannukset pika- ja aikajälleenkytkennöille saadaan laskettua yhtälöiden (3.21) ja (3.22) avulla.

$$K_{PJK} = \bar{P} \times f_{PJK} \times l \times KAH_{PJK}, \quad (3.21)$$

missä f_{PJK} = tarkasteltavan johto- osuuden pikajälleenkytkentätaajuus [vikaa/km, a]
ja KAH_{PJK} = keskeytyskustannus pikajälleenkytkennälle [€/kW]

$$K_{AJK} = \bar{P} \times f_{AJK} \times l \times KAH_{AJK}, \quad (3.22)$$

missä f_{AJK} = tarkasteltavan johto-osuuden aikajälleenkytkentätaajuus [vikaa/km, a] ja
 KAH_{AJK} = keskeytyskustannus aikajälleenkytkennälle [€/kW].

3.9.3 Kustannusten elinkaarikustannukset

Keskeytyskustannukset on mahdollista muuttaa nykypäivään diskonttaamalla tulevaisuudessa sijaitsevat kustannukset. Diskonttaaminen tapahtuu yhtälön (3.23) mukaisesti, jolloin saadaan yksittäiseen vuoteen liittyvän kustannuksen nykyarvo.

$$NA = \frac{1}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^n}, \quad (3.23)$$

missä p = laskentakorko [%] ja n = tarkasteluajanhetki tulevaisuudessa [a]. (Lakervi 2008)

Kertaluontoisia, pitkällä ajanjaksolla vaikuttavia kustannuksia, kuten investointikustannuksia on helppo käsitellä annuiteettimenetelmällä. Esimerkiksi investointikustannus I voidaan muuttaa vuosikustannuksiksi laskemalla annuiteetti AN yhtälön (3.24) avulla.

$$AN = \frac{\frac{P}{100}}{1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{P}{100}\right)^n}} \times I \quad (3.24)$$

Käytännössä annuiteetilla tarkoitetaan tasasuuruista vuotuista kustannuserää, mikä tarvitaan pääoman kuolettamiseen ja vuotuisten korkokulujen maksamiseen pitoaikana. Annuiteettimenetelmä soveltuu käytettäväksi suunnittelun apuna esimerkiksi pohdittaessa maastokatkaisijan tai erotinaseman kannattavuutta. (Lakervi 008)

3.10 Hyötylaskelmakaavojen soveltuvuus Suomen olosuhteisiin

Northcote- Green ja Wilson esittävät kirjassaan Control and Automation of Electrical Power Distribution Systems moninaisen kirjon erilaisia hyötylaskelmakaavoja. Näistä suurin osa on teoreettisia ja niiden laskennallinen toteuttaminen reaalilla ja tarkoilla arvoilla tuntuisi olevan melko hankalaa.

Kirjassa on keskitytty melko paljon erilaisten subjektiivisten hyötyjen, kuten paremmasta informaatiosta ja kehittyneestä asiakassuhteiden hoidosta saatavien hyötyjen määrittämiseen taikka automaation käyttöönoton seurauksena sähköasemien tarkastuskäyntien vähenemisestä saatavien hyötyjen määrittämiseen. Esimerkiksi, johtuen automaation käyttöönotosta, verkosta saadaan paremmin informaatiota ja täten

käyttötoiminnan päätöksentekoa saadaan kehitettyä. Kehittyneestä käyttötoiminnan päätöksenteosta saatavia hyötyjä on kuvattu Northcote- Green ja Wilson kirjassa yhtälön (3.25) avulla.

$$Hyöty = (M) \times (C) \times (O), \quad (3.25)$$

missä M = huonosta käyttötoiminnasta johtuvien vikojen määrä, C = huonosta käyttötoiminnasta johtuvien vikojen arvo ja O = odotettu prosentuaalinen kehitys paremmasta tiedosta johtuen. tällaisten hyötyjen laskeminen ei verkkoyhtiöiden kannalta ole päällimmäisenä prioriteettina, ainakaan Suomen olosuhteissa.

Kirjassa on kehitetty mm. matkustuspituuden vähenemiselle empiirinen ratkaisumalli, missä verrataan verkon kompleksisuutta (NCF, Network Complexity Factor) työryhmän etenemään matkaan. Käytännössä kompleksisuudella tarkoitetaan sitä, että mitä kompleksisempi verkko, sitä lyhyemmän matkan työryhmä joutuu etenemään. Matkustuspituuden lyhenemisen myötä toki saadaan pienennettyä vian korjaamiseen kuluvaa aikaa ja täten keskeytyskustannuksia, mutta tällaisten tarkkojen yhtälöiden määrittäminen ei mielestäni ole tarkoituksenmukaista. Suomen olosuhteissa käytöntukijärjestelmä sisältää työryhmien hallinta funktion, millä saadaan ohjattua työryhmiä nopeammin vikapaikalle ja täten pienennettyä keskeytysaikaa.

Hyötyjen, joiden määrittäminen on jo lähtökohtaisesti hankalaa ja joista saatavien taloudellisten etujen suuruus on marginaalista, tarkastelu ei välttämättä houkuttele verkkoyhtiöitä. Suomen olosuhteissa suurimmat hyödyt saavutetaan kuitenkin keskeytyskustannuksissa, joiden laskemista varten on kehitetty varsin toimivat yhtälöt. Lisäksi luotettavuusindeksit kuten SAIDI ja CAIDI antavat riittävät tiedot asiakkaiden kokemista keskeytysajoista ja -määristä. Erikseen voidaan määritellä myös minkälaisia, hyötyjä eri käytöntukijärjestelmän toiminnoilla on saavutettavissa.

Välillisten hyötyjen tarkastelu on kuitenkin tietyllä tasolla tärkeää, vaikka niistä ei tarkkoja laskelmia olisikaan järkevää tehdä. Esimerkiksi asiakassuhteiden hoidon kehittyminen vaikuttaa verkkoyhtiön imagoon ja siten myös omalta osaltaan verkkoyhtiön tulokseen, mutta tarkkaa taloudellista hyötyä tästä on mahdotonta määrittää.

Monet Northcote- Greenin ja Wilsonin esittelemät hyötykaavat sopivat Suomenkin olosuhteisiin, mutta niiden todellista käyttöarvoa on vaikea arvioida tai sitä pitää ainakin kyseenalaistaa. Verkkoyhtiöillä ei ole resursseja pyörittää tarkkaa laskentaa hyödyistä, joiden antamista tuloksista ei ole varmuutta ja joista saatavat edut ovat monessa tapauksessa marginaalisia verrattuna keskeytyskustannuksista saataviin hyötyihin. Kirjassa esitettyjen yhtälöiden käyttö Suomen olosuhteissa vaatisi pidempi aikaisempaa laskentaa verkkoyhtiöistä saadulla datalla, jotta pystyttäisiin varmasti sanomaan, minkälaisista hyödyistä voisi olla kyse.

4 VALVONTAJÄRJESTELMÄT, ERITYISESTI KÄYTÖNTUKIJÄRJESTELMÄ, KÄYTTÖTOIMINNAN KEHITYKSEN LÄHTÖKOHTANA

Tässä kappaleessa tarkastellaan valvomohenkilökunnan apunaan käyttämiä tietojärjestelmiä. Erityisesti keskitytään käytöntukijärjestelmään, sen kehitykseen ja tarjoamiin ominaisuuksiin sekä käytöntukijärjestelmän integraatioon muiden järjestelmien kanssa.

4.1 Käytöntukijärjestelmän kehitys

Tietokoneavusteisilla sähköjakeluverkko analyysillä on pitkät perinteet Suomessa ja ensimmäiset laskelmat on toteutettu jo 1960- luvun puolivälissä. Tietokone tuettuja laskelmia ja suunnittelumetodeja on kehitetty sittemmin Tampereen teknillisessä yliopistossa (TUT, Tampere University of Technology) vuodesta 1978 lähtien. (Partanen 91)

1970- luvulla Suomessa yleistyi kaukokäyttöjärjestelmä, jossa verkon tärkeimmissä kohdissa on kauko- ohjattuja erottimia, jotka kytkevät vikapaikan irti verkosta. Mahdollisia varayhteyksiä käytettäessä, laitetaan ne päälle automaattisesti tai kauko- ohjauksella. (Tahvanainen 2003)

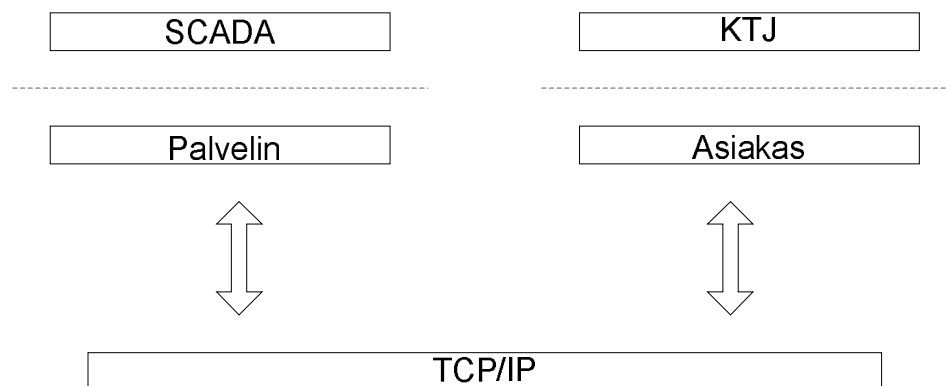
Vuonna 1985 Tampereen teknillisen yliopiston kehitys- ja tutkimustyöryhmä ryhtyi yhteistyöhön Versoft- osakeyhtiön kanssa, tavoitteena kehittää kaupallinen sähköjakeluverkko informaatio- ja suunnittelujärjestelmä suomalaisille yrityksille. Järjestelmän oli tarkoitus sisältää toimintoja joilla yritykset pystyisivät käsittelemään verkon sähköistä luotettavuutta ja taloudellista tilaa sekä suunnittelemaan verkostoa mahdollisimman taloudellisella tavalla. Käytännössä tämä vaati funktiot verkon dokumentoinnille, laskennalle ja suunnittelulle. (Partanen 91)

Mikroprosessori- ja tietojenkäsittelytekniikan kehityksen myötä kaukokäyttöjärjestelmästä muodostui 1980-luvun aikana käytönvalvontajärjestelmä, jolla on yhteydet verkostoautomaatiokojeisiin kuten releisiin ja vianilmaisimiin. Näiltä automaatiokojeilta käytönvalvontajärjestelmä saa tietoa sähköverkon tapahtumista, mittaustuloksista ja kytkimien asennoista.

Olemassa olevaa jakeluverkkoa on nykyisin käytettävä mahdollisimman tehokkaasti huolehtien samalla sähkön laatuvaatimuksista. Sähköyhtiöiden käyttötoiminnoista vastaavan henkilöstön apuvälineeksi onkin vuosien varrella kehittynyt käytöntukijärjestelmä. (Tahvanainen 2003)

4.2 Tietojärjestelmät käytöntukijärjestelmän tukena

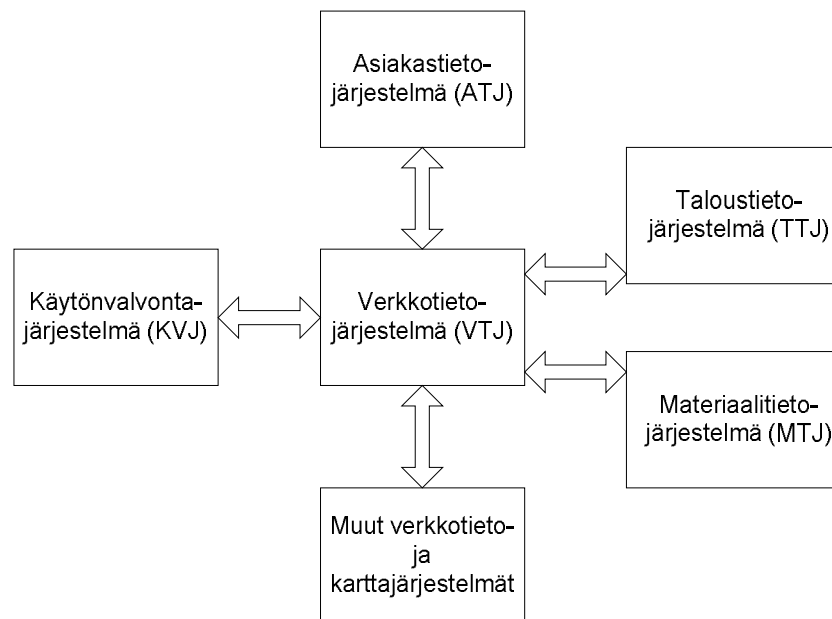
Järjestelmä, joka hankkii tietoja prosessista, käsittelee niitä ja välittää valvojan ohjauksia prosessiin, kutsutaan käytönvalvontajärjestelmäksi. Keskeisin ero käytönvalvontajärjestelmän ja käytöntukijärjestelmän välillä löytyy niiden älykkyydestä. KTJ pitää sisällään monipuolisia analysointi- ja päättelytoimintoja, kun taas SCADA toimii pääasiassa järjestelmänä, joka kerää ja välittää tietoja sekä ohjauksia. Kuvassa 4.1 on kuvattu käytönvalvonta- ja käytöntukijärjestelmien integraatiota. (Lakervi 2007)



Kuva 4.1 Käytönvalvonta- ja käytöntukijärjestelmän integraatio. (Partanen)

SCADA:n ja käyttötukijärjestelmän tietokoneet on siis yhdistetty lähiverkkoon, jonka avulla laitteet pystyvät kommunikoimaan keskenään sekä muiden lähiverkkoon liitettyjen laitteiden kanssa. Liikennöintiin käytetään TCP/IP – protokollaa (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). (Verho 97)

Verkkoyhtiön omaisuuden hallinnan perustana on verkkotietojärjestelmä. Verkkotietojärjestelmät ovat laajoja ja monipuolisia järjestelmiä. Hallinnon järjestelmiin verrattuna verkkotietojärjestelmät eroavat siten, että ne ovat paitsi tietopankkeja ja verkkotietojen dokumentointiympäristöjä, mutta myös laajoja suunnittelujärjestelmiä. Verkkotietojärjestelmän tehtävänä on muodostaa toimiva ja havainnollinen verkon ja laitetietojen käyttöliittymä erilaisille yleissuunnittelun, verkostosuunnittelun sekä rakentamisen, käytön ja kunnossapidon suunnittelu- ja dokumentointisovelluksille. Verkkotietojärjestelmä perustuu usein maantieteelliseen paikkatiedon hallintaan eli ns. GIS:n (Geographical Information System) toiminnallisuuteen. Kuvassa 4.2 on esitetty verkkotietojärjestelmän linkit muihin tietojärjestelmiin. (Lakervi 2007; ABB00)



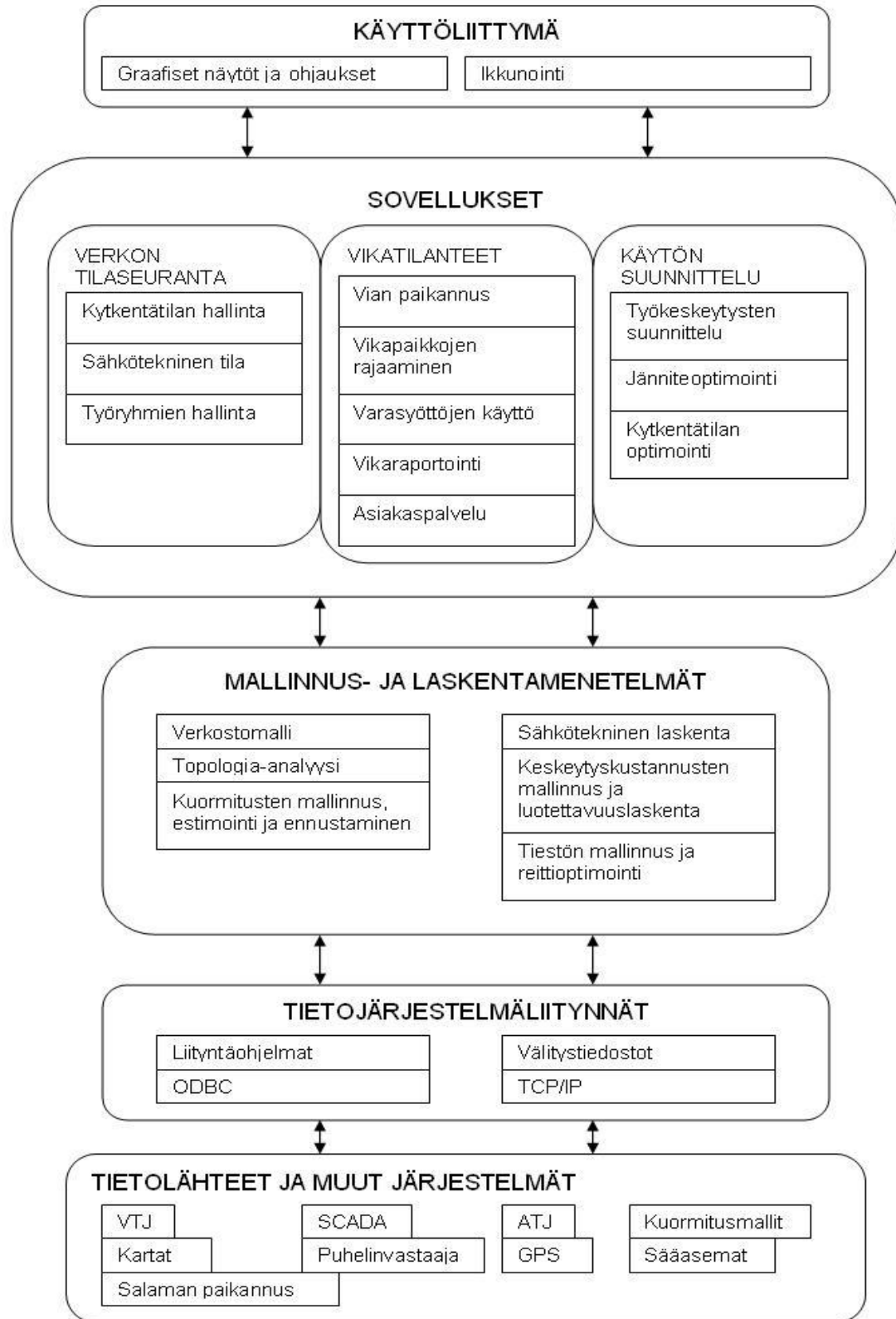
Kuva 4.2

Verkkotietojärjestelmän linkit muihin tietojärjestelmiin. (Lakervi 2007)

Asiakastietojärjestelmä sisältää sähkölaitoksen asiakkaiden perustiedot. Perustiedot käsittävät tiedot sopimuksista, sähkökäyttöpaikoista, mittarilukemista, kulutushistoriasta ja näiden kautta vuosienergioista. Näiden tietojen pohjalta pystytään myös arvioimaan verkon kuormitusta ja suorittamaan verkostolaskentaa. Tätä järjestelmää voidaan pitää jopa sähkölaitoksen tärkeimpänä, koska laitoksen taloudenpito ja laskutus perustuvat tähän järjestelmään talletettuihin tietoihin. (ABB00)

4.3 Käytöntukijärjestelmän ominaisuudet ja modulaarisuus

Käytöntukijärjestelmä (KTJ, DMS, Distribution Management System) on ohjelmistokokonaisuus, joka sisältää monipuolisia sovelluksia käyttötoiminnan päätöksenteon tueksi. Käytöntukijärjestelmä auttaa sähköyhtiön tai teollisuuden sähköverkoista vastaavan käyttöhenkilöstön suorittamaa verkon hallintaa ja käyttötoimenpiteitä. Käyttöliittymä on tyypillisesti graafinen ja ikkunoitu. Järjestelmä sisältää mallinnus- ja laskentamenetelmiä ja toimintoja, jotka tukevat verkon tilaseurantaa, vianselvitystä sekä käytön suunnittelua ja optimointia. Se hakee tietoja useasta lähteestä, yhdistelee niitä, analysoi, laskee, päättelee ja optimoi. KTJ kertoo verkon käyttäjälle selkokiehisiä toimintaohjeita ja ohjaa tarvittaessa verkon kytkinlaitteita automaattisesti SCADA:n kautta. Käytöntukijärjestelmän rakenne on esitetty kuvassa 4.3. (Lakervi 2008)



Kuva 4.3

Käyttöliittymän eri tasot ja pääsovellukset. (Lakervi 2008)

Käytöntukijärjestelmä sisältää suuren joukon eri sovelluksia, joista tärkeimpinä voidaan mainita kytkentätilan hallinta, sähköteknisestilän reaaliaikainen laskenta ja analyysi, vian paikannus, vikaraportointi sekä työryhmien hallinta. Edellä mainitut sovellukset tarvitsevat toiminnoissaan mallinnus- ja laskentamenetelmiä, joita ovat esimerkiksi topologia-analyysi, sähkötekninen laskenta sekä kuormitusten mallinnus, estimointi ja ennustaminen. Tietojärjestelmäliityntätaso sisältää liityntöihin vaadittavat ohjelmat, välitystiedostot ja rajapinnat. Tietolähteitä ja muita järjestelmiä ovat esim. verkkotietojärjestelmä, käytönvalvontajärjestelmä (KVJ), asiakastietojärjestelmä (ATJ, CIS, Customer Information System) kartat, kuormitusmallit ja sääasemat. (Lakervi 2008)

SCADA välittää yhteydet jakeluautomaatioon (esim. releet) tarjoten reaali- aikaista informaatiota tapahtumista, mittauksista ja kytkimien toimitiloista. Verkkotietokanta sisältää suuren määrän yksityiskohtaista ja monikäyttöistä tietoa olemassa olevista verkoista. Tiedot maaston olosuhteista linjaosuuksilla ja teillä, sekä maantieteelliset taustakartat on tallennettu maantieteelliseen tietokantaan. Asiakastietokannasta löytyvää tietoa käytetään kuormien mallintamiseen ja sähkökatkojen aiheuttamien kustannusten määrittämiseen. Lisäksi puhelinvastaaja palvelu palvelee asiakkaista vikatilanteiden aikana. (Järventausta 95)

4.4 Käytöntukijärjestelmän integroituminen muihin järjestelmiin

Perus ajatus käytöntukijärjestelmän hyödyllisyydestä perustuu sen integroitavuuteen ja useiden eri ulkoisten tietojärjestelmien käyttöön, mitkä ovat perinteisesti toimineet erillään. Yksi haastavimmista asioista käytöntukijärjestelmässä on erilaisten tietorakenteiden hahmottaminen, jotka voivat esiintyä erilaisten sovelluskohteiden välillä. KTJ on liitetty lähiverkkoon (LAN, Local Area Network), mikä tarjoaa pääsyn muihin tietojärjestelmiin, kuten SCADA:aan tai asiakastietojärjestelmään. Perus idea integroitaessa itsenäinen käytöntukijärjestelmä muihin järjestelmiin, on saada hyvin määritellyt datarajapinnat ja osittain erilliset ohjelmat parantaakseen järjestelmän

joustavuutta. Kuvassa 4.4 on esitetty käytöntukijärjestelmän yhteydet eri tietolähteisiin ja järjestelmiin. (Verho 97)



Kuva 4.4 Käytöntukijärjestelmän yhteydet eri tietojärjestelmiin. (Lakervi 2007)

Käytöntukijärjestelmän toimintojen toteutuksen perustana on siis verkko-yhtiön eri tietojärjestelmien tietojen hyödyntäminen. Näistä tietojärjestelmistä tärkeimpiä ovat käytönvalvonta-, verkkotieto-, asiakastieto- ja karttatietojärjestelmät.

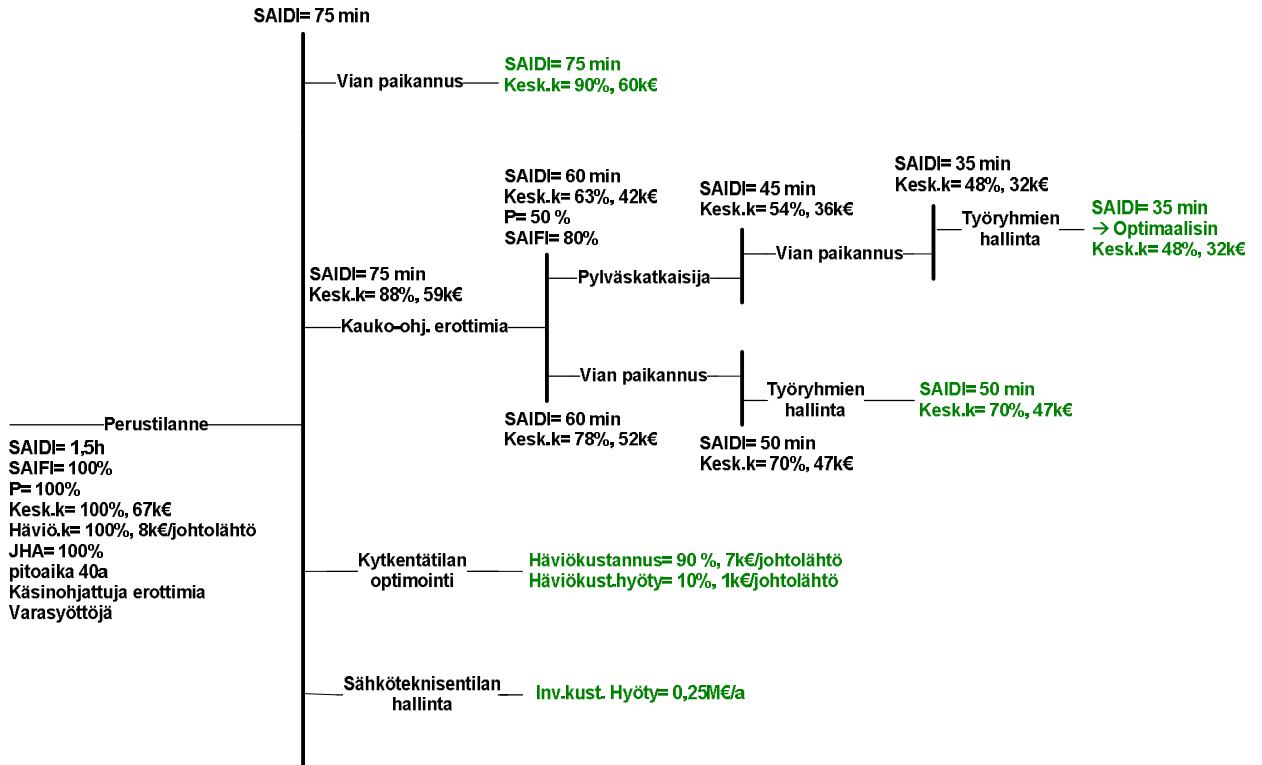
5 AUTOMAATIOSTA JA KÄYTÖNTUKIJÄRJESTELMÄN TOIMINNOISTA SAATAVAT HYÖDYT

Tässä kappaleessa analysoidaan oletusarvoihin perustuvien esimerkkilaskelmien avulla sitä, minkälaisia hyötyjä käytöntukijärjestelmän toiminnoista olisi mahdollista saavuttaa. Analyysissä on tehty paljon oletuksia ja tilannetta on lähdetty rakentamaan ns. perustilanteen kautta, missä tarkastellaan 5 johtolähtöä sisältävää esimerkki sähköasemaa.

5.1 Esimerkkilaskelmat saavutettavissa olevista hyödyistä

Käytöntukijärjestelmän toimintojen avulla pystytään saavuttamaan useita erilaisia hyötyjä. Näitä hyötyjä ovat mm. pienentyneet keskeytys, - häviö- ja investointikustannukset. Näiden hyötyjen suuruuteen vaikuttaa verkossa olevan automaation määrä, käytöntukijärjestelmän käyttöaste sekä käyttökäyttökunnan koulutustaso, millä on vastaavasti merkittävä vaikutus automaatioasteeseen.

Kuvassa 5.1 on esitetty esimerkkilaskelmien perusteella laskettuja käytöntukijärjestelmän eri toimintojen sekä automaation vaikutuksia mm. keskeytysaikoihin, häviökustannuksiin ja keskeytyskustannuksiin. Nämä laskelmat eivät siis perustu case verkkoyhtiöstä saatuihin verkon tunnuslukuihin, vaan alla esitetyt tulokset perustuvat olettamuksiin ja yleistykseen, kuitenkin siten, että esimerkkijohtolähtö edustaa tyypillistä maaseutujohtolähtöä. Tarkat laskennassa käytetyt oletusarvot on esitetty liitteessä II.



Kuva 5.1 Esimerkkilaskelmien perusteella saadut käytöntukijärjestelmän funktioiden sekä automaation vaikutukset keskeytysaikoihin, keskeytys- ja häviökustannuksiin sekä investointikustannuksiin.

Kuvan 5.1 kaaviota on lähdetty rakentamaan ns. perustilanteen avulla, missä tarkastellaan sähköasemaa ja siltä yhtä johtolähtöä. Perustilanteessa olettamuksena on, että johtolähdöltä ei löydy automaatiota, eikä käytöntukijärjestelmä ole käytössä, mutta verkossa on käsin ohjattuja erottimia sekä varasyöttöjä. Lähtötilanteessa vuotuiseksi keskeytysajaksi (SAIDI) on oletettu 1,5h, jonka jälkeen on tarkasteltu eri toimintojen lisäämisen vaikutusta keskeytysaikaan ja lopulta sitä kautta keskeytyskustannuksiin. Kuten kuvasta 5.1 havaitaan, optimaalisimmassa tilanteessa keskeytyskustannukset on saatu oletusarvoilla laskettuna n. puoleen alkuperäisestä.

Seuraavaksi tarkastellaan hieman tarkemmin sitä, minkälaisia hyötyjä automaatio ja käytöntukijärjestelmän eri toiminnot mahdollistavat. Taulukossa 5.1 on pyritty

tuomaan esille eri automaatio- ja käytöntukijärjestelmän toimintojen vaikutusta eri verkon tunnuslukuihin sekä kustannustekijöihin.

Taulukko 5.1 Automaation ja käytöntukijärjestelmän toimintojen vaikutus verkon eri tunnuslukuihin ja kustannustekijöihin. (positiivinen vaikutus = +, ei vaikutusta = -, K.kust= keskeytyskustannus, H.kust= häviökustannus ja I.kust= investointikustannus)

Toiminto	Vaikutus					
	SAIFI	SAIDI	PJK & AJK	K.kust	H.kust	I.kust
Automaatio						
Kauko-ohjattu erotin	-	+	-	+	-	-
Pylväskatkaisija	+	+	+	+	-	-
KTJ:n funktiot						
Vian paikannus	-	+	-	+	-	-
Työryhmien hallinta	-	+	-	+	-	-
Kytchentätilan optimointi	-	-	-	+	+	-
Sähköteknisentilan hallinta	-	-	-	-	-	+
Vikaraportointi	-	-	-	+	-	-

5.1.1 Erottimet ja katkaisijat

Käytöntukijärjestelmästä ja sen toiminnoista saatavat hyödyt riippuvat osaltaan myös verkosta löytyvästä automaatiosta. Kauko- ohjatuilla erottimilla pystytään vaikuttamaan ensisijaisesti keskeytysaikaan, keskeytysten määrään (SAIFI) niillä ei ole vaikutusta. Kauko- ohjausta käyttämällä pystytään ohjaukset toteuttamaan muutamassa minuutissa, kun taas käsin ohjattavan erottimen ohjaukseen menee tyypillisesti useita kymmeniä minuutteja. Tämä onkin suurin eroavaisuus kauko-ohjattavien ja käsin ohjattavien erottimien välillä. Erottimien kytkentäajat on esitetty taulukossa 5.2.

Taulukko 5.2 Erottimien kytkentäajat

	KytKentäaika
Käsin	60 min
Kauko- ohjaus	10 min

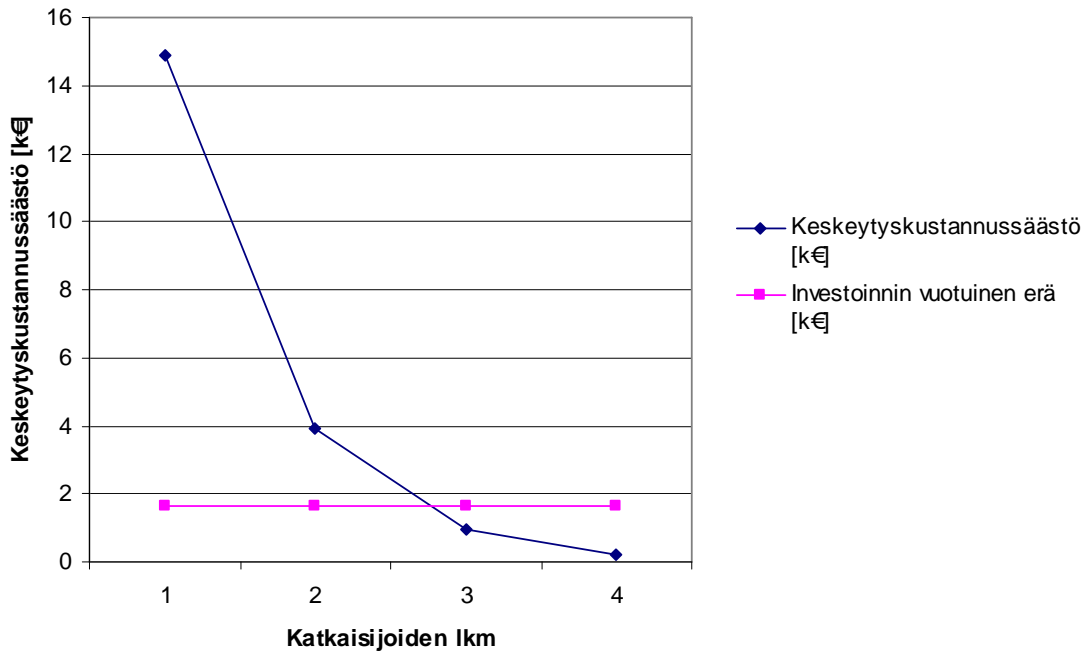
Käytännössä kauko- ohjauksen avulla pystytään nopeuttamaan vikapaikan erottamista sekä varayhteyksien käyttöä ja se on näin ollen huomattavasti asiakasystävällisempää. Vikapaikan nopealla erottamisella saadaan vähennettyä sähköttä olevien asiakkaiden määrä murto- osaan alkutilanteesta, missä kaikki vikaantuneen johtolähdön asiakkaat olivat ilman sähköä. (Lakervi 2008)

Keskijännitelähdöllä voidaan käyttää pylväisiin sijoitettavia suojarleillä varustettuja kauko- ohjattuja pylväskatkaisijoita. Katkaisijasta saavutettava hyöty riippuu erityisesti seuraavista tekijöistä:

- Katkaisijaa edeltävien asiakkaiden keskiteho
- Asiakasryhmien jakauma
- Keskeytyksestä aiheutuvan haitan arvostus
- Keskeytystaajuudet
- Katkaisijasta aiheutuvat kustannukset

Sijoitettaessa verkkoon katkaisija, asiakkaan näkökulmasta vikojen määrä ja kokonaiskesto pienentyvät, kun taas verkkoyhtiön näkökulmasta hyöty konkretisoituu keskeytyskustannusten pienemisenä. Saavutettava hyöty riippuu katkaisijan perässä olevan verkon pituudesta (vikojen määrästä) ja katkaisijaa ennen olevien asiakkaiden määrästä (kuormituksesta, P) ja tyypistä. Ennen katkaisijaa oleville asiakkaille ei aiheudu keskeytystä katkaisijan takana tapahtuvissa vioissa. Hyvä sijoituspaikka katkaisijalle voi esimerkiksi olla pitkän haarajohdon alkupää. Myös yksittäisten asiakkaiden, esim. teollisuusasiakkaiden vaikutus keskeytyskustannuksiin voi olla niin merkittävä, että katkaisijan käyttöönotto voi olla tästäkin syystä kannattavaa. (Haakana 2008)

Pylväskatkaisijasta saatavaa hyötyä on tarkasteltu kuvassa 5.2, missä hyötyä on verrattu katkaisija investoinnin vuotuisen erään.



Kuva 5.2 Katkaisijasta saatava vuotuinen hyöty vs. katkaisija investoinnin vuotuinen erä

Esimerkkilaskelmien perusteella määritetty katkaisijan hyöty- kustannuskäyrä osoittaa sen, että ensimmäisestä asennettavasta katkaisijasta saadaan suurin hyöty, kun taas kolmannen katkaisijan sijoittaminen verkkoon on jo vähintäänkin kyseenalaista. Siihen kuinka monta katkaisijaa verkkoon on kannattavaa sijoittaa, ei ole mitään ohjetta, vaan jokainen katkaisija mitä verkkoon suunnitellaan sijoitettavan, on tarkasteltava erikseen ja määriteltävä sen kannattavuus kyseissä tilanteissa.

5.1.2 Vian paikannus

Vian paikannuksen avulla pystytään ensisijaisesti pienentämään keskeytysaikaa ja sitä kautta keskeytyskustannuksia. Tehokas vikojen paikantaminen edellyttää kuitenkin, että sähköasemilla on ainakin pääsytössä käytössä moderni prosessoripohjainen

suojarele, jonka avulla saadaan mitattua ja taltioitua vikavirtojen suuruudet sekä lähettämään informaatio käyttökijärjestelmän käytettäväksi.

Kuten kuvasta 5.1 havaitaan, käyttökijärjestelmän toiminnoista vian paikannus esiintyy kaaviossa kolmessa eri kohtaa. Onkin tärkeää ymmärtää, että siitä saatava hyöty on erilainen eri kohdissa. Hyödyn suuruuteen vaikuttaa verkon automaatioaste ja vian paikannuksesta saatava hyöty on suhteellisesti sitä pienempi mitä suurempi verkon automaatioaste on. Käytännössä, mitä enemmän verkkoon on investoitu rahaa, sitä pienempi hyöty suhteellisesti saadaan vian paikannuksesta. Esimerkkilaskelmissa on oletettu, että vian paikannuksella pystytään pienentämään keskeytysaikaa keskimäärin 15 minuuttia ja täten keskeytyskustannuksia 10- 15 %.

5.1.3 *KytKentätilan optimointi*

KytKentätilan optimoinnilla pystytään saavuttamaan säästöjä häviö- ja keskeytyskustannuksissa. Näiden säästöjen suuruuteen vaikuttaa lähtöjen välisten jakorajojen valinta, joiden avulla on tarkoitus löytää kytKentätila, jossa edellä mainitut kustannukset olisivat mahdollisimman pienet, samalla verkon käyttöön liittyvien reunaehtojen ollessa kunnossa. Käytännössä jakorajoja ei kannata muuttaa jatkuvasti, vaikka näennäisiä laskennallisia säästöjä olisikin saavutettavissa. (Lakervi 2008)

Esimerkkilaskelmien perusteella laaditussa kuvassa 5.1 on esitetty, että kytKentätilan optimoinnilla olisi mahdollista saavuttaa ensimmäisellä optimointi kerralla n.10 % pienemmät häviökustannukset verrattuna tilanteeseen, missä verkkoa ei ole vielä optimoitu kertaakaan. Verkko on hyvä optimoida esim. kerran vuodessa, vaikka optimoinnista ei enää ensimmäisen optimointi kerran suuruista hyötyä saadakaan. Mikäli verkkoa ei optimoida ensimmäisen optimointi kerran jälkeen, on mahdollista että häviökustannukset kasvavat takaisin alkuperäiseen tilanteeseen ellei jopa suuremmiksi.

5.1.4 Sähkötekni­sentilan hallinta

Käytöntukijärjestelmän funktioita hyödyntämällä voidaan parantaa monin tavoin verkon käyttövarmuutta ja siirtokapasiteetin täys­määräistä käyttöä. KTJ:n tarjoamien laskentatoimintojen avulla pystytään vaikeidenkin häiriötilanteiden aikana selvittämään varayhteyksien käyttömahdollisuudet siten, että verkon suojaukselle ja jännitteen laadulle asetetut vaatimukset täyttyvät. Tämä ns. sähkötekni­sen tilan hallinta yhdessä kauko- ohjattavien erottimien kanssa parantaa verkon siirtokapasiteetin käyttöä ja pienentää pitkällä aikavälillä verkon investointeja. (Lakervi 2008) Sähkötekni­sentilan hallinta tulee kuitenkin toteuttaa siten, että työturvallisuusasiat täyttyvät.

Kuvan 5.1 kaaviossa on esimerk­kilaskelmissa oletettu, että esimerkki verkon JHA (jälleenhankinta- arvo) on lähtötilanteessa 100M€ (100 %). Verkkoon tehdään investointeja 40M€lla seuraavan 40 vuoden aikana, jolloin verkon jälleenhankinta- arvo nousee 140M€n. Oletetaan, että hyvällä sähkötekni­sentilan hallinnalla pystytään parantamaan verkon siirtokapasiteetin käyttöä ja pienentämään pitkällä aikavälillä verkon investointeja siten, että niitä ei tarvitse tehdä kuin 30M€lla seuraavan 40 vuoden aikana. Tällöin investointien määrä vuositasolla laskisi n. 0,25M€/a

5.1.5 Työryhmien hallinta

Työryhmien hallinta -funktion avulla saadaan valvomoon tieto ryhmien sijainnista ja kokoonpanosta, sekä voidaan ohjata niiden liikkumista. Työryhmien hallinnasta saatava hyöty riippuu suuresti siitä miltä osin käytöntukijärjestelmä on käytössä, sekä automaation määrästä verkossa. (Lakervi 2008)

Mikäli verkossa ei ole automaatiota ja vian paikannus funktio ei ole käytössä, niin työryhmien hallinta toiminnosta ei saada juurikaan mitään hyötyä. Tällöin vian paikantamiseen menee huomattavasti enemmän aikaa, kuin tilanteessa missä vika pystytään paikantamaan jo valvomosta ja työryhmä saadaan ohjattua heti oikeaan

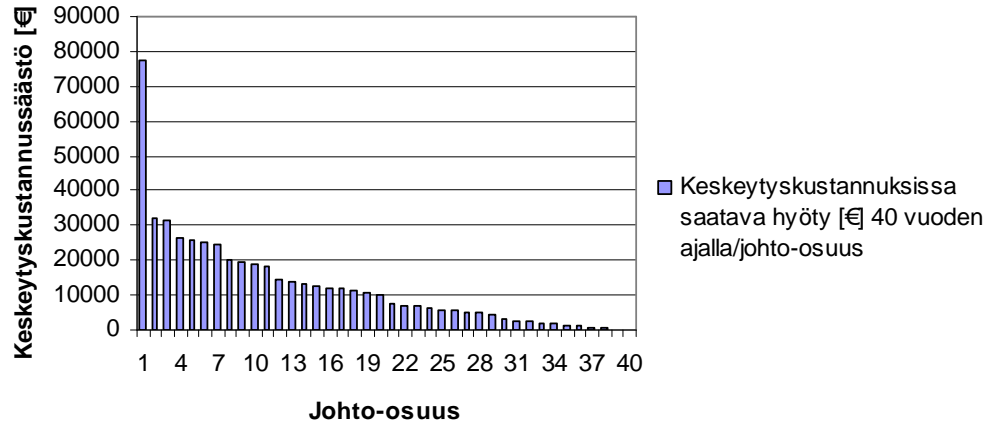
paikkaan. Parhaimmassa tapauksessa hyvällä työryhmien hallinnalla pystytään pienentämään keskeytysaikaa ja täten siis myös keskeytyskustannuksia. Kaikkia hyötyjä ei voida kuitenkaan mitata rahassa, vaan työryhmien hallinta on erittäin tärkeää myös työturvallisuuden kannalta.

Kuvan 5.1 kaaviossa työryhmien hyvällä hallinnalla on oletettu olevan keskimäärin 10 minuutin suuruinen pienentävä vaikutus keskeytysaikaan/asiakas. Vaikutus keskeytysaikaan yksittäisen vian kohdalla voi olla tosin erilainen tapauksesta riippuen. Keskeytyskustannuksia oletusarvoilla laskettuna saadaan pienennettyä n. 10 %, mikäli työryhmien hallinta on optimaalista.

5.1.6 Vikaraportointi

Käytöntukijärjestelmä pystyy laatimaan hyvinkin yksityiskohtaisen ja tarkan raportin vian asiakkaille aiheuttamista keskeytyksistä ja niiden aiheuttamista keskeytyskustannuksista. Näiden tietojen lisäksi raporttiin on mahdollista liittää tietoja vikojen aiheuttajista, vikapaikoista ja vikaantuneista komponenteista. (Lakervi 2008) Käytännössä hyvällä vikaraportoinnilla pystytään kehittämään verkon suunnittelua ja kohdistamaan investoinnit vikaherkimmille alueille. Lisäksi automaattinen vikaraportointi helpottaa viranomaistahojen vaatimien raporttien laatimista.

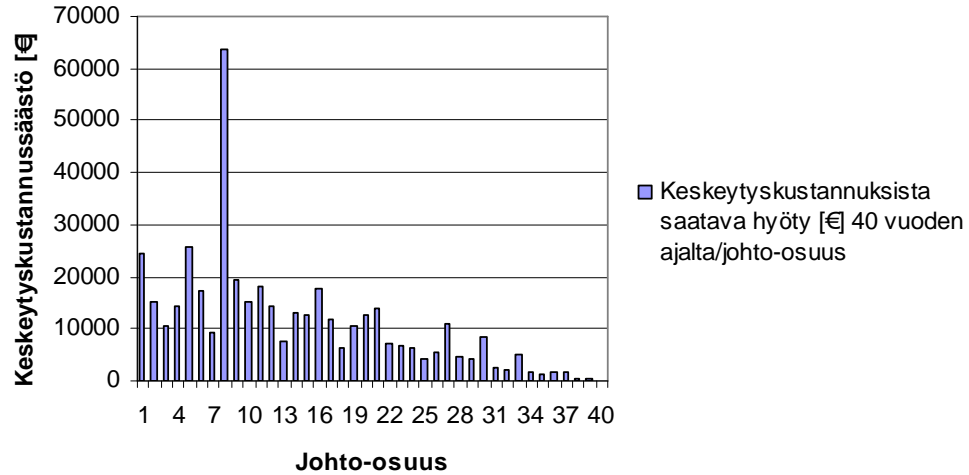
Esimerkkilaskelmissa tarkastellaan vikaraportoinnista saatavia hyötyjä kolmen eri skenaarion pohjalta. Skenaarioissa joko hyödynnetään vikaraportointia verkoston saneerauksessa tai sitten se ei ole käytössä ja siitä saatava hyöty jää tältä osin saavuttamatta. Saneerauksella tarkoitetaan tässä yhteydessä johtojen siirtämistä metsästä tienvarteen. Tarkemmat laskelmat on esitetty liitteessä III. Kuvassa 5.3 on esitetty skenaario, missä vikaraportointia on hyödynnetty saneerausten suunnittelussa.



Kuva 5.3 Keskeytyskustannuksissa (ei diskontattu) saatava hyöty, kun vikaraportoinnin käyttö on optimaalisinta. Tarkastelussa on verrattu keskeytyskustannuksia ennen ja jälkeen saneerauksen.

Kuvan 5.3 tapauksessa ensimmäisenä on saneerattu vikataajuudeltaan suurin johto-osuus ja vastaavasti viimeisenä pienimmän vikataajuuden omaava johto-osuus. Vikataajuudeltaan suurimman johto-osuuden saneeraus ensimmäisenä pienentää huomattavasti keskeytyskustannuksia, verrattuna esim. tilanteeseen, missä ko. johto-osuus saneerattaisiin vasta 10. vuoden kohdalla.

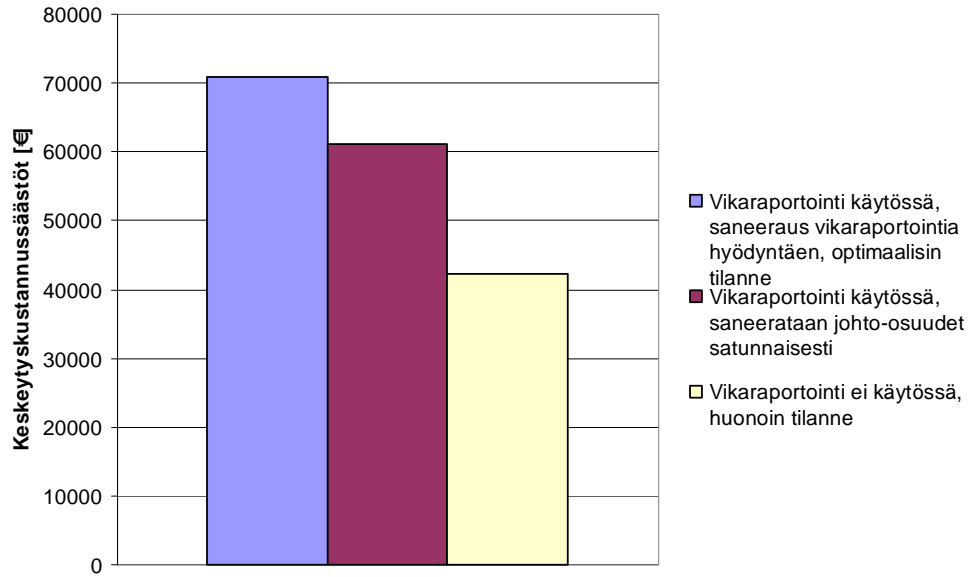
Kuvan 5.4 tapauksessa vikaraportointi on edelleen käytössä, mutta sitä ei hyödynnetä optimaalisimmalla tavalla, vaan johto-osuudet saneerataan satunnaisessa järjestyksessä.



Kuva 5.4 Keskeytyskustannuksissa (ei diskontattu) saavutettava hyöty/johto- osuus 40 vuoden ajalta, kun vikaraportointia ei hyödynnetä saneerauksessa.

Kuvia 5.3 ja 5.4 vertailtaessa voidaan havaita se, miten saneerausajankohta vaikuttaa keskeytyskustannuksiin. Esimerkiksi suurimman vikataajuuden omaavan johto-osuuden (korkein pylväs) saneeraus ensimmäisenä vuonna merkitsee n. 80k€ säästöjä, kun taas vastaavan johto- osuuden saneeraus 8. vuonna merkitsee n. 65k€ säästöjä.

Kuvassa 5.5 on vertailtu näistä kolmesta eri skenaarioista saatavia keskeytyskustannussäästöjä/johtolähtö 40 vuoden ajalta



Kuva 5.5 Keskeytyskustannuksissa saavutettavat hyödyt [€] diskontattuna 40 vuoden ajalta koko johtolähdöllä.

Vertailemalla tilannetta missä vikaraportointi on käytössä (sininen pylväs), tilanteeseen missä se ei ole käytössä ja johto- osuudet saneerataan satunnaisesti (liila pylväs), havaitaan että säästöjä saadaan 40 vuoden ajalta diskontattuna n. 10k€ enemmän. Vastaavasti vertaamalla optimaalisinta tilannetta (sininen pylväs) teoreettisesti huonoimpaan (keltainen pylväs), säästöjä tulisi 40 vuoden ajalta diskontattuna n. 30k€ enemmän. Jakamalla tämä säästö yhdelle vuodelle saadaan hyödyksi n. 1k€/johtolähtö, a. Vastaava laskenta on esitetty liitteessä III. Kuvan 5.5 perusteella voidaan todeta, että vikaraportoinnin hyödyntämisellä verkoston suunnittelussa on mahdollista saavuttaa merkittäviäkin säästöjä.

6 CASE: SUUR- SAVON SÄHKÖ Oy:n NYKYTILANTEEN KUVAUS JA KTJ- STRATEGIAN ANALYSOINTI

Tässä kappaleessa esitellään case verkkoyhtiö, sen verkon tunnusluvut sekä tehdään tilannekuvaus verkkoyhtiön käyttämistä valvomon tietojärjestelmistä ja niiden nykykäytettävyydestä. Käytön tietojärjestelmistä paneudutaan erityisesti käytöntukijärjestelmän toimintoihin ja niistä saavutettaviin hyötyihin.

6.1 Suur- Savon Sähkö Oy

Case verkkoyhtiönä työssä toimii Suur- Savon Sähkö Oy, joka on perinteinen maaseutuyhtiö itä- Suomessa. Suur- Savon Sähkö Oy:n (SSSOY) konsernin, josta käytetään nimitystä Suur- Savon Sähkö- yhtiöt, muodostavat emoyhtiö Suur- Savon Sähkö Oy:n lisäksi sen täysin omistamat tytäryhtiöt. SSSOY on perustettu vuonna 1946 ja se toimii viiden maakunnan alueella omistaen pääosan konsernin omaisuudesta; muun muassa sähkö- ja lämpöverkon sekä konsernin toimitilat ja muut kiinteistöt. Yhtiö huolehtii Päijänteen itäpuolisen alueen energian hankinnasta, tuotannosta ja jakelusta. Suur- Savon Sähkö on pääasiassa kuntien omistuksessa (57 %). Muita omistajaryhmiä ovat yhteisöt ja yritykset (31 %), seurakunnat (5 %) ja yksityiset (7 %). Kuvassa 6.1 on esitetty Suur- Savon Sähkö Oy:n toimialue.



Kuva 6.1 Suur- Savon Sähkö Oy:n toimialue (SSSOY)

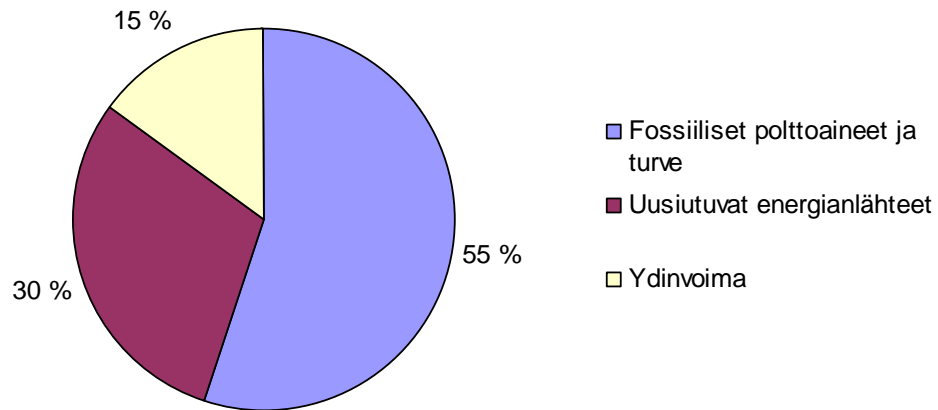
Suur- Savon Sähkö Oy:n tytäryhtiöitä, joilla on ollut varsinaista liiketoimintaa, ovat Järvi- Suomen Energia Oy, Suur- Savon Sähkötyö Oy, Punkavoima Oy ja Kerienergia Oy. Sähköverkko on vuokrattu sähkönsiirtotoimintaa harjoittavalle tytäryhtiö Järvi- Suomen Energia Oy:lle. Emoyhtiön toimintayksikköjä ovat Sähköpalvelu (sähkön hankinta ja myynti), Lämpöpalvelu (lämmön tuotanto ja myynti) sekä Konsernipalvelu (henkilöstö-, laskenta- ja toimistopalvelu) ja yrityssuunnittelu. (SSSOY)

Konsernin avainluvut vuonna 2008 olivat: (SSSOY)

- Henkilöstön määrä 258
- Liikevaihto 109 miljoonaa euroa
- Sähköasiakkaita 97 406
- Lämpöasiakkaita 1 318
- Sähkön toimitus 1 127 GWh
- Lämmön toimitus 428 GWh
- Sähköverkon pituus 26 000 km

- Kaukolämpöverkon pituus 126 km

Kuvassa 6.2 on esitetty Suur- Savon Sähkö Oy:n sähkönhankinta energialähteittäin.



Kuva 6.2 Suur- Savon Sähkö Oy:n sähkönhankinta energialähteittäin vuonna 2007. (SSSOY)

6.2 Verkon tunnusluvut

Suur- Savon Sähkö Oy edustaa tyypillistä maaseutu verkkoyhtiötä. Seuraavissa taulukoissa on esitelty yhtiön verkolle tyypillisiä tunnuslukuja koko verkon sekä kahden erillisen johtolähdön osalta. Taulukossa 6.1 on esitelty koko verkon tunnusluvut.

Taulukko 6.1 Suur- Savon Sähkö Oy:n verkon tunnusluvut

	Tunnusluvut
Sähköasemia [kpl]	39
Johtolähtöjä [kpl]	235
Keskijännitejohtopituus [km]	8581
Pienjännitejohtopituus [km]	16504
Kauko-ohjattuja erottimia [kpl]	600
Maastokatkaisijoita [kpl]	6
Vikataajuus [vikaa/100km, a]	8,54
PJK- taajuus [vikaa/100km, a]	34
AJK- taajuus [vikaa/100km, a]	29
Keskimääräinen keskeytysaika/asiakas [h/a]	3,34

Johtolähtöpituudeltaan Suur-Savon Sähkö Oy:n jakeluverkko on Suomen pisimpiä, mikä johtuu osaltaan siitä, että sähkökäyttäjien asiakastiheys on pieni maantieteellisesti suurella jakelualueella. Taulukossa 6.2 on esitetty asiakasjakauma Suur- Savon Sähkö Oy:n toimialueella asiakasryhmittäin sekä asiakasryhmien vuosienergiat.

Taulukko 6.2 Asiakasryhmien vuosienergiat asiakasryhmittäin Suur- Savon Sähkön Oy:n toimialueella

Kuluttajaryhmä	Asiakkaat [kpl]	Asiakkaat [%]	Siirto [MWh]	Siirto [%]
Yksityinen (Kotitalous)	81350	83,5	476737	42,4
Maatalous	9597	9,9	122187	10,9
Teollisuus (Jalostus)	577	0,6	238603	21,2
Hallinto (Julkinen)	1818	1,9	121026	10,8
Palvelu	4046	4,2	164644	14,7
Yhteensä	97406	100,0	1123197	100,0

Taulukosta 6.2 havaitaan, että suurin osa verkkoyhtiön asiakkaista on yksityiseltä sektorilta (näistä vapaa- ajan asuntoja 35000 kpl), energian siirron ollessa yli 42 %. Toiseksi eniten energiaa, eli 21 %, siirretään teollisuuden (jalostus) käyttöön.

Taulukossa 6.3 on esitelty vastaavat tunnusluvut kuin taulukossa 6.1, mutta kahden esimerkkijohtolähdön osalta.

Taulukko 6.3 Kahden esimerkkijohtolähdön tunnusluvut.

Tunnusluvut	Sähköasema/johtolähtö	
	OTA/Vanhamäki	KNG/Mikkeli
Johtolähdön pituus [km]	123	147
Johtolähdön tyyppi	Maaseutu	Maaseutu
Keskiteho [kW]	959	1300
Vikataajuus [kpl/a]	6	9
PJK- taajuus [kpl/a]	87	76
AJK- taajuus [kpl/a]	40	63
Oikosulkujen osuus vioista [%]	66	34
Maasulkujen osuus vioista [%]	33	67
Kaukokäyttö erottimia [kpl]	11	13

Suur- Savon Sähkö Oy:n keskijännitejakoalueverkosta merkittävä osa sijaitsee metsäisissä olosuhteissa. Suuri osa keskeytyksiin johtavista pysyvistä vioista johtuu metsäolosuhteista ja metsän vaikutus sähkönjakelun toimitusvarmuuteen on huomattava. Taulukossa 6.4 on esitelty Suur- Savon Sähkö Oy:n toimialueen sähkönjakelun keskeytysten aiheuttajat.

Taulukko 6.4 Suur- Savon Sähkö Oy:n keskijänniteverkon vikojen jakautuminen vianaiheuttajien mukaisesti

Vian aiheuttaja	%- osuus
Ukkonen	2,2
Lumi- ja jääkuormat	20,2
Muut sääolosuhteet	2,6
Ulkopuolisten varomattomuus	6,3
Eläinten tuottamus	2,6
Ilkivalta	0,0
Rakenne-, työ- ja hoitoviat	4,9
Tuuli ja myrsky	56,3
Tuntematon	4,9
	100,0 %

Kuten taulukosta 6.4 havaitaan, suurin osa vioista on aiheutunut jonkin sääolosuhteen seurauksena. Sääolosuhteet ovatkin aiheuttaneet n. 75 % Suur- Savon Sähkö Oy:n alueella tapahtuneista keskijänniteverkon vioista.

6.3 Case verkkoyhtiön käytöntukijärjestelmän käytön lähtökohdat

Suur- Savon Sähkö Oy:n ensimmäinen ja nykyinen käytössä oleva käytöntukijärjestelmä otettiin käyttöön kaukokäyttöjärjestelmän uusinnan yhteydessä vuoden 1999 lopussa. Kaupanteko vaiheessa järjestelmän toimittaja oli Versoft ja järjestelmä oli nimeltään Opera. Toimitusvaiheessa ABB kuitenkin osti ao. yrityksen ja nyt järjestelmä on nimeltään ABB DMS600.

Open++ Opera, nykyiseltä nimeltään siis ABB DMS600, on ABB:n graafinen sähkönjakeluverkkojen käytöntukijärjestelmä, joka laajentaa MicroSCADA -käytönvalvontajärjestelmän toimintoja tarjoamalla maantieteellisiin karttoihin pohjautuvan verkkonäkymän ja pitkälle kehitettyjä käytöntukitoimintoja. Verkkokuvan taustalla voidaan käyttää sekä rasteri- että vektoripohjaista taustakarttamateriaalia. Maantieteellisiin taustakarttoihin pohjautuvan verkon esitystavan sijaan voidaan käyttää myös kaaviomuotoista verkkojen esitystapaa.

Käytöntukijärjestelmän käyttöönotolla on haluttu parantaa verkon hallittavuutta, mikä tietysti vaatii myös verkostoautomaatiota. Verkostoautomaatiota on lisätty verkkoon tietyn verkkoyhtiölle määritetyn strategian mukaisesti. Myös verkon muu kehittäminen, kuten johtojen siirtäminen teiden varsiin, noudattaa tiettyä strategiaa, minkä tarkoituksena on parantaa verkon käyttövarmuutta ja hallittavuutta. Järjestelmän pitoaika on 5- 10 vuotta, mikä tarkoittaa sitä, että uuden järjestelmän hankkiminen tai vanhan päivittäminen Suur- Savon Sähkö Oy:ssä on ajankohtaista tulevina vuosina.

6.3.1 Käytöntukijärjestelmän käytön todellisuus

Todellisuus käytöntukijärjestelmän toimintojen, kuten vian paikannuksen käytöstä on melko karua. Tiettyjä toimintoja ei välttämättä käytetä ollenkaan tai ne otetaan pois käytöstä tietyissä tilanteissa (suurhäiriö), koska järjestelmä alkaa muuten hidastua. Järjestelmän hidastuessa esimerkiksi erottimien aukaisemisessa saattaa mennä useita jopa kymmeniä minuutteja. Toimintojen ottaminen pois käytöstä voi kuitenkin

vaikuttaa esim. keskeytysaikojen kasvamiseen, mikä taas vastaavasti kasvattaa keskeytyskustannuksia. Käytännössä tiettyjen toimintojen keskeyttämisellä saavutettava hyöty järjestelmän käytön nopeutumisessa, tarkoittaa vastaavasti joidenkin muiden hyötyjen, kuten keskeytyskustannuksissa saavutettavien hyötyjen pienenemistä. Näiden muiden hyötyjen häviäminen voi olla huomattavasti merkittävämpää verrattuna siihen, että järjestelmästä saadaan toiminnaltaan nopeampi. Tällaista ei välttämättä osata ottaa huomioon käyttöhenkilökunnan osalta, vaan heille tärkeintä on ensisijaisesti järjestelmän toimivuus. Toisaalta järjestelmän ei myöskään tulisi hidastua toimintojen lisääntyessä, vaan sen pitäisi edelleen pystyä olemaan päätöksenteon tukena kuten tavanomaisissakin tilanteissa.

Suur- Savon Sähkö Oy:n mukaan käytöntukijärjestelmää pitäisi kehittää enemmän vastaamaan verkkoyhtiöiden toiveita, sillä järjestelmä sisältää valtavan potentiaalin, minkä hyödyntäminen monessa tapauksessa on tällä hetkellä todella hankalaa, ellei jopa mahdotonta. Verkkoyhtiössä on mietitty parannusehdotuksia nykyisen järjestelmän kehittämiseksi järjestelmävaihdon/päivityksen yhteydessä. Kehitysehdotuksista paistaa läpi erityisesti se, että järjestelmästä halutaan luotettavampi sekä käytettävyydeltä parempi ja yksinkertaisempi.

Käytöntukijärjestelmän luotettavuus nousi esille monesti haastattelun aikana. Verkkoyhtiön näkökulmasta käyttöhenkilökunnan tulisi pystyä luottamaan täysin tällaiseen järjestelmään. Tällä hetkellä Suur-Savon Sähkö Oy:ssä luottamus käytöntukijärjestelmään tai ainakin osaan sen toiminnoista puuttuu. Tilanteenhan ei pitäisi olla tällainen, koska järjestelmän tulisi toimia käyttöhenkilökunnalle käyttötoiminnan päätöksenteon tukena, erityisesti ääriolosuhteissa. Käytöntukijärjestelmän eri toiminnoille on määritetty tarkat vasteajat, mutta nämä määrittymiset pätevät ainoastaan ns. normaalitilan toiminnoille. Suurhäiriötilanteita varten ei ole määritetty omia vasteaikoja, minkä takia järjestelmätoimittaja ei ole vastuussa suurhäiriötilanteiden aiheuttamista ongelmista.

Käytöntukijärjestelmän kannalta kaikki verkkoon tehtävät muutokset merkitsevät sitä, että myös itse järjestelmää täytyy muuttaa. Mitä enemmän verkkoon tehdään muutoksia, sitä enemmän vaaditaan työtä myös käytöntukijärjestelmän päivittämisessä. Suur- Savon Sähkö Oy:n toiveissa on, että järjestelmään tehtävät muutokset pystyisi tekemään helposti, eikä niiden tulisi aiheuttaa suurta työmäärää verkkoyhtiölle.

6.3.2 Koulutuksen merkitys saatavien hyötyjen suuruuteen

Tärkeimmiksi käytöntukijärjestelmän toiminnoiksi haastattelussa nousivat sähkötekniisentalan hallinta, vian paikannus, vikaraportointi ja työryhmien hallinta. Käytöntukijärjestelmän toiminnoilla voidaan saavuttaa merkittäviä hyötyjä, joiden suuruuteen vaikuttaa verkossa olevan automaation määrä, itse järjestelmän toimivuus ja käytettävyys sekä käyttöhenkilökunnan koulutus, minkä tulee olla tiukkaa läpi koko organisaation. Tiettyjen hyötyjen saavuttaminen vaatii panostusta oikeisiin asioihin, kuten koulutukseen. Suur- Savon Sähkö Oy:stä käydäänkin säännöllisesti järjestelmän toimittajan järjestämässä koulutuksissa.

Koulutuksella on merkittävä vaikutus siihen, miten käyttöhenkilökunta osaa järjestelmää käyttää ja täten myös hyötyjen saavutettavuuteen. Koulutuksella ei tarkoiteta tässä tapauksessa vain itse järjestelmän käytön osaamista, vaan myös sitä, että ymmärretään miten ja mihin eri käytöntukijärjestelmän toiminnot vaikuttavat. Järjestelmän käyttäjille on tärkeätä kuvata eri toimintojen, kuten vian paikannuksen käytöllä saavutettavat erilaiset hyödyt ja niiden merkitys yhtiön liiketoimintaan. Käyttöhenkilökunnan tulee myös pitää itsensä ajan tasalla järjestelmän muutoksista, vaikkakin kehitys on melko pientä, ellei versiota päivitetä ns. isolla rahalla.

6.4 Käytäntukijärjestelmän tuomat hyödyt case verkkoyhtiössä

Suur- Savon Sähkö Oy:stä ei ollut saatavilla vastaavanlaisia käytöntukijärjestelmän toimintojen vaikutuksia keskeytysaikoihin, kuin mitä esimerkkilaskelmissa on esitetty. Kuitenkin esimerkkilaskelmissa käytetyt eri toiminnoista saatavat hyödyt keskeytysajoissa tuntuivat suuruusluokaltaan olevan oikeanlaisia. Verkkoyhtiöstä saadut verkon tunnusluvut ovat kuitenkin samaa suuruusluokkaa esimerkkilaskelmissa käytettyjen kanssa, minkä vuoksi kappaleen 5. mukaista laskentaa ei ole katsottu tarpeelliseksi suorittaa uudestaan. Analysoidaan seuraavaksi verkkoyhtiöstä saatujen tietojen perusteella käytöntukijärjestelmän toiminnoista saatavia hyötyjä ja niiden merkitystä verkkoyhtiön liiketoimintaan.

6.4.1 *Vian paikannus*

Suur- Savon Sähkö Oy:n käyttämä käytöntukijärjestelmä sisältää vian paikannus toiminnon ja sitä käytetään, mutta vian automaattista erotusta ei juurikaan käytetä, koska verkoston rakenne on melko hankala. Lisäksi suurhäiriötilanteissa vian automaattista erotusta ei pystytä käyttämään eikä vian paikannuksesta ole hyötyä, koska vikojen määrä on silloin niin suuri ja automaattisen vian erotuksen käyttö usean samanaikaisen vian yhteydessä hidastaa järjestelmän toimintaa liikaa. Yksittäiset viat saadaan paikannettua riittävällä tarkkuudella, heiton ollessa vain muutamia kymmeniä metrejä. Vian paikannuksen tarkkuus on suoraan johdannainen releiltä luettaviin tietoihin ja sekä toiminnon luotettavuuteen. Vian paikannus on toiminut pääosin luotettavasti, mutta joskus paikannuksen kanssa on ollut epävarmuutta, mikä on usein johtunut maasulkuvioista.

Suur- Savon Sähkö Oy:llä on säteittäisverkko, jolloin mahdollisia vikapaikkoja voi olla useita. Vian paikannuksen näyttäessä useampaa vikapaikkaa, todennäköisin vikapaikka määritetään kokemuspohjaisesti esim. jos tiedetään, että jollain alueella on ollut hakkuita, niin vikaa lähdetään etsimään ensiksi sieltä.

Vian paikannusta pidetään verkkoyhtiössä ensiarvoisen tärkeänä ja sillä saadaan pienennettyä asiakkaiden keskeytysaikaa sekä parannettua työturvallisuutta. Vioista merkittävä osa verkkoyhtiössä on maasulkuja tai ainakin suuri osa vioista alkaa maasulkuina laajentuen oikosuluiksi. Maasulut koetaan ongelmallisiksi verkkoyhtiössä, koska niitä ei saada paikannettua niiden pienestä vikavirrasta johtuen. Verkkoyhtiössä on tehty kenttäkokeita maasulkuvirran paikantamiseksi, mutta huonolla menestyksellä. Käytännössä maasulkujen kohdalla toimitaan siten, että valvomosta kokeillaan kaukokäytöllä mihin sähköt saadaan ja rajataan tällä tavoin vika- alue.

6.4.2 *Työryhmien hallinta*

Suur- Savon Sähkö Oy:n käytöntukijärjestelmässä ei ole käytössä työryhmien hallinta toimintoa, mikä mahdollistaisi työryhmien sijainnin näkemisen koko ajan kartalla. Verkkoyhtiössä ollaan kuitenkin sitä mieltä, että työryhmien hallinta on erittäin tärkeää ja hyvällä hallinnalla pystytään pienentämään viankorjaukseen kuluva aikaa. Varsinkin suurhäiriötilanteissa tieto siitä, missä kukin työryhmä on töissä, on ensiarvoisen tärkeää etenkin työturvallisuuden kannalta. Mikäli työryhmälle sattuisi tapahtumaan jokin onnettomuus, olisi myös hyvä jos aluehälytyskeskukselle pystyttäisiin antamaan suoraan ryhmän paikkakoordinaatit. Tilanne menee usein kuitenkin melko hankalaksi, kun kentällä on omien työryhmien lisäksi myös ulkopuolisia työryhmiä.

Suur- Savon Sähkö Oy:n omalla urakoitsijalla on 10 autossa satelliittipaikannusjärjestelmät (GPS, Global Positioning System). Autoista löytyvä paikannin on kytketty verkkoyhtiön radiopuhelinjärjestelmään. Järjestelmän käytössä on kuitenkin esiintynyt ongelmia, kun autoissa olevia radioita ei aina muisteta pitää päällä tai käytettävää tukiasemaa ei muisteta vaihtaa siirryttäessä toisen tukiaseman alaisuuteen. Omien työryhmien ohjaaminen radiopuhelimen avulla onnistuu vielä melko helposti, koska omat työryhmät tietävät maaston jo entuudestaan, mutta

ulkopuolisten ohjaaminen pimeässä syysyössä ei ole enää niin helppoa. Työryhmien hallinta moduulilla pystytään siis parantamaan työryhmien hallittavuutta, mikä on tärkeää etenkin ääriolosuhteissa.

6.4.3 Vikaraportointi

Vikaraportointia pidetään erittäin tärkeänä toimintona Suur- Savon Sähkö Oy:ssä. Vikaraportointi on käytössä keskijännitevikojen osalta, mutta verkkoyhtiön toiveissa on, että pienjänniteverkon viat saataisiin myös raportoitua. Sen avulla on mahdollista suunnitella verkoston saneerausta sekä helpottaa vikojen raportointia viranomaisille. Lisäksi vikaraportoinnin tallentamista tiedoista saadaan suoraan tiedot siitä, kuinka pitkiä keskeytyksiä asiakkaille on tullut ja kenelle tällöin tulee mahdollisesti maksaa vakiokorvauksia.

Verkkoyhtiössä vikaraportoinnin toimivuuteen ei tällä hetkellä täysin tyytyväisiä, vaan sen käytössä on esiintynyt paljon epävarmuutta ja sen luotettavuuden kanssa on ongelmia. Epävarmuutta esiintyy etenkin silloin, kun kyseessä on suurihäiriötilanne ja vikojen määrä voi olla useita kymmeniä. Vuonna 2008 Suur- Savon Sähkö Oy:ssä n. puolet vioista aiheutui suurihäiriötilanteiden seurauksena, jolloin vikaraportointi tukkeutuu ja raportit jäävät kesken. Vikaraportteissa ilmenee tukkeutumisen seurauksena suuria virheitä asiakkaiden kokemien keskeytystietojen osalta. Esimerkiksi asiakkaille aiheutuneet sähkönjakelun keskeytyspituudet on tärkeä saada tietää, jotta vakiokorvaukset pystytään maksamaan oikeille asiakkaille. Yksittäisten vikojen raportointi onnistuu vastaavasti moitteettomasti. Vikaraportointia osataan siis käyttää ja epävarmuus vikaraportoinnissa johtuu siis erityisesti järjestelmän kapasiteetin riittämättömydestä ääriolosuhteissa.

Vikaraporttien jäädessä kesken tarkoittaa se sitä, että raportointi täytyy suorittaa manuaalisesti. Vuonna 2008 Suur- Savon Sähkö Oy:ssä tapahtuneista vioista siis n. puolet jouduttiin raportoimaan käsin eli käytännössä kaikki suurihäiriötilanteiden

aikana syntyneet viat, mikä tarkoittaa n. kuukauden työpanosta yhdeltä työntekijältä. Tämä perustuu siihen, että manuaalisesti raportointiaessa yhden raportin tekemiseen menee n. yksi tunti. Vastaavasti vikaraportoinnin toimiessa sama työ pystytään suorittamaan n. kymmenen kertaa nopeammin eli tietokone pystyy tekemään kymmenen vikaraporttia siinä ajassa kun työntekijä tekee yhden. Verkkoyhtiön toiveissa on, että vikaraportoinnin kautta tulisi saada automaattisesti luotettavat ja helposti muokattavat raportit. Tilanne on tällä hetkellä suorastaan hälyttävä, koska raportointia joudutaan tekemään pääosin manuaalisesti.

Vikaraportoinnista saatavia hyötyjä voidaan tarkastella edellä mainittujen seikkojen perusteella myös työkustannuksissa saatavina hyötyinä. Oletuksena on siis, että verkkoyhtiössä tapahtuvista vioista puolet aiheutuu suurhäiriötilanteista, jolloin nämä kaikki viat joudutaan raportoimaan manuaalisesti. Oletetaan, että työntekijän kuukausipalkka on 3000€kk, mikä vastaa kustannusta raporttien tekemiselle manuaalisesti. Vikaraportointi toiminnon toimiessa kustannukset tippuvat n. kymmenesosaan eli 300€n, jolloin saatava hyöty on 2700€ vuodessa. Lisäksi työntekijän panos pystytään käyttämään johonkin muuhun työtehtävään vikaraportoinnin sijasta, mistä saavutetaan myös tietty hyöty. Voidaankin sanoa, että vikaraportoinnin toimiessa, työkustannuksissa saavutettava hyöty on merkittävä.

6.5 Asiakaspalvelun kautta saatavat hyödyt

Asiakassuhteiden hoitaminen ja ylläpitäminen on erittäin tärkeää verkkoyhtiön näkökulmasta katsottuna. Suur- Savon Sähkö Oy:ssä asiakaspalvelun kehittämistä pidetään yhtenä tärkeimmistä asioista verkkoyhtiön toiminnan tehostamisessa. Asiakaspalvelusta saatavat hyödyt ovat välillisiä ja niitä on hankala mitata rahassa, mutta niitä ei kuitenkaan tule unohtaa analysoitaessa verkkoyhtiön toimintaa. Hyvällä asiakaspalvelulla pystytään vaikuttamaan asiakkaiden tyytyväisyyteen ja samalla parantamaan verkkoyhtiön asiakkaille itsestään antamaa kuvaa.

Keskeytykset jaetaan häiriö- ja työkeskeytyksiin, joista molemmissa tapauksissa asiakasta tulee informoida tilanteen kehittymisestä. Asiakkaille tulee ilmoittaa mahdollisista työkeskeytyksistä etukäteen, jolloin he osaavat varautua sähköjakelun katkeamiseen tiettyä ajankohtana. Vastaavasti häiriötilanteissa asiakasta tulisi pystyä informoimaan mahdollisimman hyvin tilanteen kehittymisestä.

Suur- Savon Sähkö Oy:n toiveissa on, että järjestelmän kautta pystyttäisiin tuottamaan asiakkaille sellaista tietoa, mikä on helppo välittää asiakkaille. Tietoa tulisi pystyä välittämään häiriötilanteissa internetin kautta ja informaation tulisi olla riittävän yksinkertaisia, jotta asiakas kykenee ymmärtämään sen. Hyvällä asiakaspalvelulla saadaan poistettua turhaa asiakaskontaktointia, mikä helpottaa verkkoyhtiön toimintaa häiriötilanteissa, kun asiakkaat eivät soitele ns. turhia soittoja. Suur- Savon Sähkö on toteuttanut internetsivuillaan karttapalvelun, mistä asiakas pystyy näkemään sähköjakelun keskeytykset reaaliaikaisesti. Tämän lisäksi mm. Vattenfall tarjoaa maksutonta tekstiviestipalvelua, millä asiakas pystyy saamaan tiedon sähkökatkon arvioidusta kestosta ja syystä. (Vattenfall) Tällaiset palvelut helpottavat verkkoyhtiön toimintaa ja parantavat asiakkaiden tyytyväisyyttä.

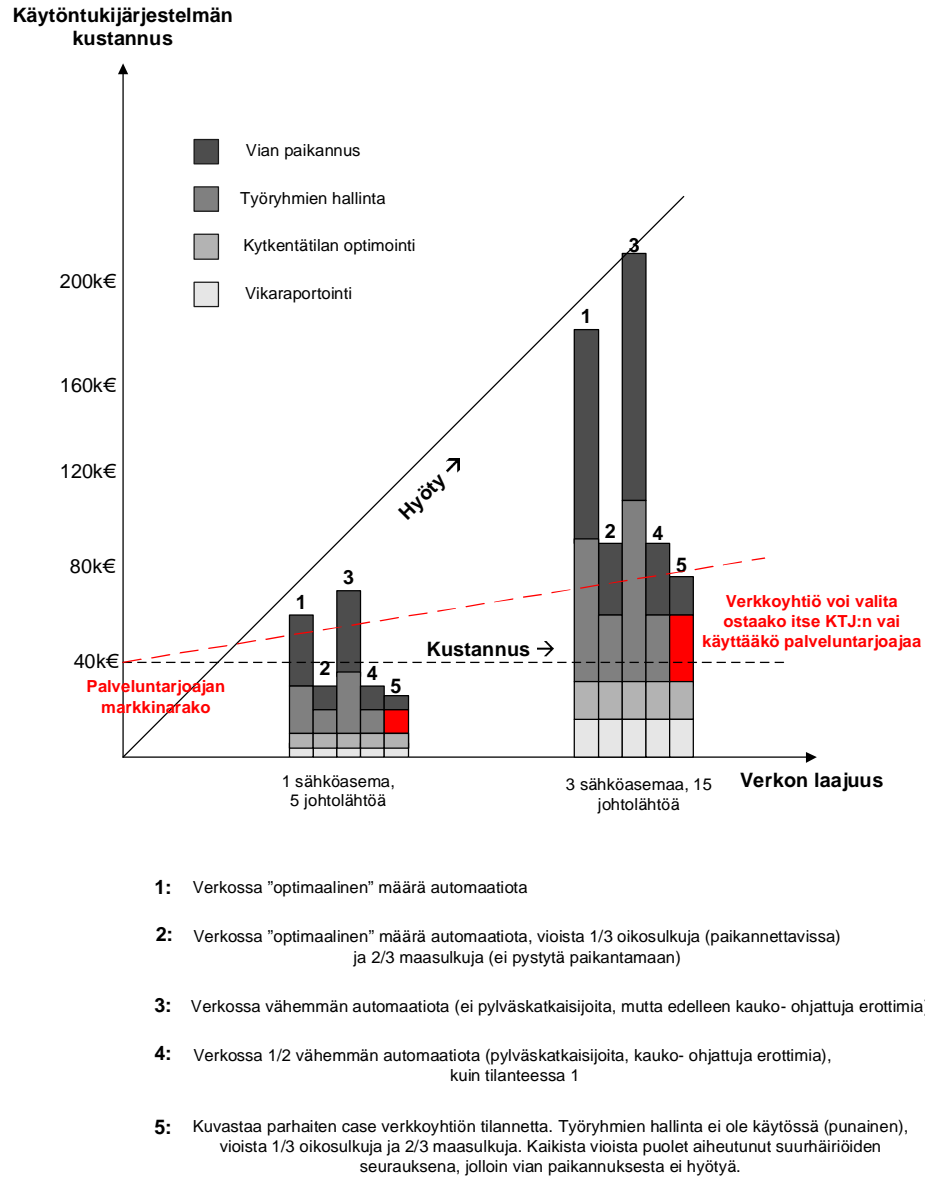
Lisäksi järjestelmän hajauttamisen tulisi olla mahdollista esim. kotiin tai tärkeimmille asiakkaille. Hajauttamisella tarkoitetaan sitä, että asiakas saisi esim. verkkokuvan näytölle mistä pystyisi seuraamaan verkotilaa ja näkisi jotain tietoja verkon häiriötilanteiden kehittymisestä.. Tämä parantaisi osaltaan asiakkaiden tyytyväisyyttä verkkoyhtiön palveluihin ja loisi perustaa entistäkin paremmille asiakassuhteille.

7 TULOKSET JA NIIDEN ARVIOINTI

Tässä kappaleessa esitellään työssä saatuja tuloksia ja tarkastellaan sekä analysoidaan niiden merkitystä ja käytettävyyttä. Tulosten arviointi perustuu osaltaan case verkkoyhtiössä tehtyyn haastatteluun ja osaltaan esimerkkilaskelmien pohjalta saatuihin tuloksiin.

7.1 Tutkimuksen keskeisimmät tulokset

Tämän diplomityön keskeisin tarkoitus on ollut määrittää käytöntukijärjestelmän toiminnoista saatavia hyötyjä. Kuvassa 7.1 on kuvattu tilannetta, missä verrataan käytöntukijärjestelmän kustannusta siitä saatavaan hyötyyn. Järjestelmästä saatava hyöty on riippuvainen useista eri tekijöistä, kuten verkkoyhtiön verkon laajuudesta, verkosta löytyvästä automaation määrästä, järjestelmän parissa työskentelevien henkilöiden koulutustasosta sekä itse järjestelmän käyttöasteesta. Kuvassa 7.1 oletuksena on, että järjestelmän kaikki toiminnot ovat käytössä.



Kuva 7.1 Käytöntukijärjestelmän vuosikustannus verrattuna siitä saatavaan vuotuisen hyötyyn

Kuvassa 7.1 on käytetty alkuoletuksena käytöntukijärjestelmän hinnalle 50 % energiamarkkinaviraston käytönvalvontajärjestelmälle määrittämästä hinnasta, mikä on 320k€ (EMV 2007). Puolittamalla käytönvalvontajärjestelmälle annettu kustannus saadaan käytöntukijärjestelmän hinnaksi 160 k€ Tarkkaa kustannusta käytöntukijärjestelmälle ei verkkoyhtiöistä saa, koska tämäntyyppisten investointien kustannukset ovat liiketoimintasalaisuuksia. Kuitenkin verkkoyhtiöistä saatujen tietojen pohjalta edellä esitetty kustannusarvio on oikeaa suuruusluokkaa.

Käytöntukijärjestelmän kustannuksessa tulee ottaa huomioon myös siitä aiheutuvat ylläpitokustannukset, jotka ovat 10- 15 % hankintahinnasta vuodessa. Lisäksi järjestelmän käyttöönotto vaatii muutaman työntekijän työpanoksen n. vuoden ajalta. Järjestelmän vuosikustannukseksi (annuiteetiksi) saadaan viiden vuoden pitoajalla ja viiden prosentin korolla n. 40k€ a (15 % ylläpitokustannukset huomioitu).

Kuvan 7.1 perusajatuksena on, että x- akselilla on verkon laajuus, käytännössä puhutaan siis verkkoyhtiön suuruudesta ja y- akselilla käytöntukijärjestelmän kustannus. Todellisuudessa järjestelmän kustannuksen kulmakerroin (punainen katkoviiva) kasvaa hieman verkon laajuuden kasvaessa, mutta esimerkkitapauksen oletusten mukaan on myös käytöntukijärjestelmän kustannuksen oletettu pysyvän samana verkon laajuuden kasvaessa. Myöskään järjestelmästä saatava hyöty ei todellisuudessa kasva kuvan mukaisesti lineaarisesti verkon laajuuden kasvaessa, vaan hyöty on verkkokohtainen.

Kuvan 7.1 tarkoitus on havainnollistaa sitä, kuinka kannattavaa käytöntukijärjestelmän hankkiminen verkkoyhtiöön on, verrattuna siihen, minkä kokoisesta verkkoyhtiöstä on kysymys. Käytännössä verrataan siis käytöntukijärjestelmästä saatavaa tuotosta, siihen laitettavaan panokseen. Tässä tapauksessa panoksena on järjestelmän investointikustannus (sis. ylläpito- ja käyttöönottokustannukset) ja tuotoksena käytöntukijärjestelmästä saatava hyöty keskeytyskustannuksissa. Saatava maksimaalinen hyöty määritetään siten, että oletetaan kaikkien käytöntukijärjestelmän moduulien olevan käytössä. Yksinkertaistettuna käytöntukijärjestelmän hankkiminen kuvan 7.1 perusteella olisi kannattavaa hyöty- ja kustannuskäyrien leikkauspisteen jälkeen. Suur- Savon Sähkö Oy tapauksessa voidaan sanoa, että järjestelmän hankkiminen on ollut kannattavaa, vaikka tarkkoja lukuja saavutettavista hyödyistä ei tässä työssä pystytty määrittämään.

7.1.1 *Palveluntarjoajan käytön analysointi*

Tällä hetkellä käytöntukijärjestelmä löytyy useimmista verkkoyhtiöistä ja sitä käytetään hyväksi monissa käyttötoiminnan tehtävissä. Järjestelmän käyttöaste verkkoyhtiöiden välillä voi kuitenkin vaihdella suurestikin, mikä taas vaikuttaa siitä saatavien hyötyjen määrään. Käyttöasteella tarkoitetaan sitä, kuinka suuri osa käytöntukijärjestelmän toiminnoista on aktiivisessa käytössä ja kuinka monta toimintoa on pois käytöstä. Toisaalta osa toiminnoista voi olla käytössä, mutta niitä ei hyödynnetä niiden mahdollistamalla tavalla, mikä voi johtua koulutuksen riittämättömyydestä, mikä vastaavasti on usein seurausta resurssien puuttumisesta.

Kuvassa 7.1 on käsitelty kahta eri laajuista verkkoa. Molemmille tapauksille on laskettu erilaisia skenaarioita, joissa tarkastellaan käytöntukijärjestelmän toiminnoista saatavia hyötyjä keskeytyskustannuksissa. Pienelle verkkoyhtiölle käytöntukijärjestelmän hankkiminen ei luultavasti ole kannattavaa, koska järjestelmästä saatavat hyödyt jäävät investoinnin aiheuttamia kustannuksia pienemmiksi. Vastaavasti iso verkkoyhtiö hyötyy käytöntukijärjestelmän hankkimisesta, vaikkakin verkon laajuuden ja automaatioasteen kasvamisen myötä myös käytöntukijärjestelmän aiheuttamat kustannukset kasvavat. Isoilla verkkoyhtiöillä on siis käytännössä verkossa enemmän infrastruktuuria, minkä seurauksena käytöntukijärjestelmän toiminnoista saatavat hyödyt ovat suhteellisesti pienempiä, verrattuna yhtiöihin joiden verkot ovat pieniä.

Pienelle verkkoyhtiölle käytöntukijärjestelmän hankkiminen ei välttämättä ole järkevää, koska siitä saatavat tuotokset eivät reflektoi siihen sijoitettavan panoksen kanssa. Tässä kohtaa ei kuitenkaan tule tyrmätä sitä, etteikö myös pieni verkkoyhtiö voisi investoida käytöntukijärjestelmään. Kuvassa 7.1 puhutaan ns. palveluntarjoajan markkinaraosta ja sen tarjoamista palveluista, jotka mahdollistaisivat käytöntuen hankkimisen myös pienempiin yhtiöihin. Palveluntarjoajalla on tässä tilanteessa markkinarako varsinkin siinä mielessä, että heidän mahdollisesti pystyessä laskemaan käytöntukijärjestelmästä aiheutuvaa kustannusta verkkoyhtiölle, kustannuksen ja hyödyn välinen erotus pienenee. Tällöin myös pienemmät verkkoyhtiöt pystyvät

ainakin harkitsemaan järjestelmän hankkimista. Palveluntarjoajan käyttäminen on pienelle verkkoyhtiölle eräs liiketoimintamalli ja usein järkevä vaihtoehto, kun yhtiön toimintoja halutaan tehostaa. Toki verkkoyhtiön ollessa todella pieni, jonka verkosta ei löydy kuin hieman automaatiota, ei käytöntukijärjestelmän hankkiminen luultavasti ole järkevää edes palveluntarjoajan kautta.

Isoissa verkkoyhtiöissä tilanne on pieniin verkkoyhtiöihin nähden päinvastainen. Isoissa yhtiöissä käytöntukijärjestelmästä saatava hyöty voi olla selvästikin suurempi kuin kustannustekijä, kuten kuvasta 7.1 voidaan myös havaita. Tähän vaikuttaa usein ensinnäkin se, että verkko on merkittävästi suurempi kuin pienemmissä verkkoyhtiöissä ja toiseksi se, että isojen verkkoyhtiöiden osaamistaso on usein resursseista johtuen parempaa. Suurilla verkkoyhtiöillä on käytännössä mahdollisuus ostaa käytöntukijärjestelmä itse tai käyttää palveluntarjoajan palveluita. Mikäli verkkoyhtiössä päädytään käyttämään palveluntarjoajaa, on selvää, että palveluntarjoajalta saatavien palveluiden on oltava vähintäänkin yhtä laadukkaita kuin ne olisivat itse tehtyinä. Palveluntarjoajan käyttäminen mielletään siis yleisesti palveluksi, joka tekee yhtiön toiminnasta tehokkaampaa ja pienentää kustannuksia. Toisaalta laadulliset tekijät voivat olla perustelu sille, että palveluntuottajan hinta muodostuu samaksi kuin verkkoyhtiössä.

Toimintojen hankkiminen palveluntarjoajalta on tietyllä tapaa riski verkkoyhtiölle, mutta ei niin suuri riski kuin itse palveluntarjoajalle. Palveluntarjoajan näkökulmasta ajatellen, on heidän pystyttävä tarjoamaan verkkoyhtiölle riittävän korkealaatuista palvelua ja mikäli he eivät tähän pysty, ei verkkoyhtiöllä ole muuta vaihtoehtoa kuin hankkia palvelut toiselta palveluntarjoajalta tai toteuttaa palvelut itse. Palveluiden huono laatu ja osaamistason heikkous voivat siis muodostua ongelmaksi ja täten suureksi riskiksi palveluntarjoajalle. Palveludentuottajien onkin ymmärrettävä oma asemansa ja heille asetetut vaatimukset, ennen kuin tarjoavat palveluitaan. Toisaalta palveluntarjoajia tulisi olla riittävästi, jotta heidän välilleen syntyisi kilpailua, joka vastaavasti nostaisi palveluiden laatua.

7.1.2 *Osaamistaso vs. automaatioaste*

Koulutus ja osaaminen ovat sidoksissa toisiinsa. Ilman hyvää koulutusta ei saavuteta hyvää osaamistasoa ja päinvastoin. Osaamistasolla on merkittävä vaikutus verkkoyhtiöiden automaatioasteeseen ja siihen minkälainen hyöty verkosta saadaan irti. Automaatioasteella ei siis tarkoiteta vain verkkoyhtiön verkossa ja valvomossa sijaitsevien laitteiden ja järjestelmien määrää, vaan myös sitä miten niitä osataan hyödyntää. Käyttäjän tulee hallita järjestelmän ominaisuudet, jotta sitä voidaan hyödyntää mahdollisimman hyvin. Järjestelmän hyvä tuntemus ja hallitseminen antavat myös mahdollisuuden vaikuttaa järjestelmän kehittämiseen. Automaatioaste ymmärretään verkkoyhtiössä myös osaltaan siten, kuinka paljon järjestelmän annetaan itse tehdä päätöksiä ja toimenpiteitä niiden johdosta turvallisuuskysymysten puitteissa.

Osaamistason ja automaatioasteen välistä suhdetta on hankala määrittää, koska nämä kaksi asiaa ovat kovin moniulotteisia ja ne linkittyvät monilta osin keskenään. Esimerkiksi automaation sijoittaminen verkkoon vaatii suunnitteluosaamista ja sähkötekniikan hallinta sähkötekniistä osaamista. Suurhäiriötilanteissa voidaan ajatella vastaavasti tarvittavan kokemusperäistä osaamista sekä nopeaa päätöksentekoa vaativaa osaamista. Toisaalta on myös hankalaa määrittää tiettyjä osaamistasoja ja sitä kautta tiettyä maksimaalista automaation määrää, mikä soveltuu juuri kyseiselle osaamistasolle. Osaamistason ja automaatioasteen keskinäistä suhdetta voidaan kyllä analysoida, mutta siitä ei saa tulokseksi mitään yleispätevää ja analysointi jää pääasiassa verbaaliselle tasolle. Tärkeää on kuitenkin ymmärtää se, että automaatioaste ja osaaminen ovat sidoksissa toisiinsa.

7.1.3 *Skenaarioiden analysointi*

Kuvassa 7.1 on esitetty viisi erilaista tilannetta, joissa kuvataan käytöntukijärjestelmän toiminnoista saatavia hyötyjä kahdelle eri laajuiselle verkolle. Pienemmässä verkossa on yksi sähköasema ja isomassa verkossa kolme sähköasemaa. Jokaisessa skenaariossa on oletuksena, että käytöntukijärjestelmän kaikki moduulit ovat käytössä, koska

tarkoituksena on määrittää järjestelmästä saatavaa maksimaalista hyötyä eri tilanteissa. Tarkasteltavia toimintoja ovat vian paikannus, työryhmien hallinta, kytkentätilan optimointi sekä vikaraportointi. Kytchentätilan optimoinnista ja vikaraportoinnista saatavat hyödyt ovat jokaisessa tilanteessa vakioita. Mitä tummemmasta väristä pylväissä on kysymys, sitä merkittävämpi on kyseisestä toiminnosta saatava hyöty ja vastaavasti päinvastoin. Esimerkiksi työryhmien hallinnasta tai vikaraportoinnista saatavat hyödyt ovat subjektiivisempia kuin esimerkiksi vian paikannuksesta saatavat hyödyt. Hyötyjen laskemiseen on käytetty kaavoja (3.20- 3.22) ja kuvassa 7.1 kuvatut hyödyt käytöntukijärjestelmän toimintojen osalta eri tilanteissa on esitetty laskelmina liitteessä IV.

Käytöntukijärjestelmän toiminnoista saataviin hyötyihin vaikuttaa erityisesti verkossa olevan automaation määrä ja verkon laajuus, mutta toisaalta myös käyttöhenkilökunnan koulutuksen taso. Pelkkä järjestelmän hankkiminen ei siis automaattisesti tarkoita sitä, että hyötyihin päästään käsiksi, vaan hyötyjen saavuttaminen on monen osatekijän summa. Pienemmässä verkossa on vähemmän automaatiota, minkä vuoksi käytöntukijärjestelmän toiminnoista saavutettavat hyödyt ovat suhteellisesti suurempia kuin laajemmassa verkossa, johon on investoitu enemmän automaatiota.

Tilanne yksi kuvastaa optimaalisinta tilannetta niin käytöntukijärjestelmän toimintojen käytön osalta, kuin verkossa olevan automaation määrän osalta. Oletuksena on, että kaikki viat saadaan paikannettua, vaikkakin todellisuudessa suurin osa vioista on maasulkuja, jolloin vian paikannuksesta ei ole hyötyä. Käytöntukijärjestelmän toiminnoista saatavat hyödyt tässä tilanteessa yhden sähköaseman osalta ovat n. 60k€. Vastaavat hyödyt on esitetty jokaisen skenaarion osalta taulukossa 7.1.

Tilanteessa kaksi on vastaavasti tarkasteltu tilannetta, missä verkossa on edelleen optimaalinen määrä automaatiota eli pylväskatkaisijoita ja kauko- ohjattuja erottimia, mutta vioista 1/3 on oikosulkuja ja 2/3 maasulkuja. Tämä esimerkkilaskelmissa käytetty suhde maa- ja oikosulkujen välillä on Suur- Savon Sähkö Oy:n mukaan

lähellä todellisia lukuja. Vioista saadaan tässä tapauksessa paikannettua siis n. 33 prosenttia. Verrattuna skenaarioon yksi, tippuvat järjestelmästä saatavat hyödyt vian paikannuksen ja työryhmien hallinnan osalta 50 %. Tämä skenaario kuvaa kuitenkin paremmin todellista tilannetta vikojen määrän suhteen ja täten myös saavutettavissa olevien hyötyjen suhteen, kuin tilanne yksi.

Kolmannessa skenaariossa on tarkasteltu tilannetta, jossa verkossa ei ole pylväskatkaisijoita, mutta edelleen kauko- ohjattuja erottimia. Automaation määrä verkossa siis vähenee, mutta käytöntukijärjestelmän toiminnot ovat edelleen normaalissa käytössä. Yhden sähköaseman osalta oletusarvoilla laskettuna, maksimaalinen saavutettavissa oleva hyöty on n. 70k€ a. Tässä skenaariossa on oletuksena, että vioista saadaan paikannettua 100 prosenttia.

Neljännessä tilanteessa oletetaan, että verkossa on n. puolet siitä automaatio määrästä, mitä verkosta löytyy optimi tilanteessa. Automaation puolittumisen oletetaan vaikuttavan keskeytysaikoihin siten, että ne puolittuvat jokaisen toiminnon kohdalla. Esimerkiksi vian paikannuksesta saatava hyöty keskeytysajassa oletetaan pienenevän alkuperäisestä 15 minuutista 7,5 minuuttiin. Tässä tilanteessa käytöntukijärjestelmän toiminnoilla keskeytyskustannuksissa saavutettava hyöty pienenee n. puoleen tilanteesta yksi, mutta toisaalta myös automaatiosta aiheutuvat kustannukset laskevat puoleen verrattuna skenaarioon yksi. Käytöntukijärjestelmä vaatii verkkoon riittävästi automaatiota, jotta sen toiminnoilla voidaan saavuttaa tietyt hyödyt.

Viides pylväs on lähimpänä case verkkoyhtiön tilannetta. Vioista on oletettu oikosulkujen osuuden olevan 1/3 ja maasulkujen 2/3. Suur- Savon Sähkö Oy:ssä puolet vioista aiheutuu suurhäiriöiden seurauksena, jolloin mm. vian paikannuksesta ei ole laisinkaan hyötyä. Tällöin vian paikannuksesta on hyötyä vain 1/6 vika tapauksista, koska vain puolet oikosuluista saadaan paikannettua. Tässäkin tilanteessa on esitetty jokaisesta järjestelmän toiminnosta saatavat maksimaaliset hyödyt, mutta todellisuudessa case verkkoyhtiön käytöntukijärjestelmässä ei ole käytössä työryhmien hallintaa (punainen osuus) ja muidenkaan toimintojen, kuten vian paikannuksen,

mahdollistamat hyödyt eivät toteudu halutulla tavalla. Verrattuna tilanteeseen kaksi, tippuvat keskeytyskustannuksissa saatavat hyödyt vian paikannuksesta saatavien hyötyjen osalta n. 50 %.

Taulukossa 7.2 on esitetty jokaisesta skenaariosta saatavat hyödyt käytöntukijärjestelmän toimintojen osalta.

Taulukko 7.2 Käytöntukijärjestelmän toiminnoista saatavat hyödyt eri skenaarioissa (sa = sähköasema, skenaario 1: verkossa optimaalinen määrä automaatiota, skenaario 2: verkossa optimaalinen määrä automaatiota, vioista 1/3 oikosulkuja ja 2/3 maasulkuja, skenaario 3: verkossa vähemmän automaatiota (ei pylväskatkaisijoita), skenaario 4: verkossa 1/2 vähemmän automaatiota kuin tilanteessa 1 ja skenaario 5: kuvastaa parhaiten case verkkoyhtiötä, vioista 1/3 oikosulkuja ja 2/3 maasulkuja, jonka lisäksi puolet vioista aiheutuu suurhäiriöiden seurauksena, jolloin vian paikannuksesta ei ole hyötyä)

Toiminnosta saatava hyöty [k€ a]										
Skenaario	Vian paikannus		Työryhmien hallinta		KytKentätilan optimointi		Vikaraportointi		Yhteensä	
	1sa	3sa	1sa	3sa	1sa	3sa	1sa	3sa	1sa	3sa
1	30	90	20	60	5	15	5	15	60	180
2	10	30	10	30	5	15	5	15	30	90
3	35	105	25	75	5	15	5	15	70	210
4	10	30	10	30	5	15	5	15	30	90
5	5	15	10	30	5	15	5	15	25	75

7.2 Tulosten arviointi

Tämän työn ehdottomasti yhtenä tärkeimpänä tuloksena voidaan sanoa, että käytöntukijärjestelmän eri toimintojen hyödyntämisellä on mahdollista saavuttaa merkittäviäkin taloudellisia hyötyjä mm. keskeytyskustannuksissa, mutta myös esim. työturvallisuuden ja asiakaspalvelun saralla. Hyötyjen saavutettavuus korostuu ennen kaikkea tavanomaisissa tilanteissa, kuten yksittäisten vikojen paikantamisessa ja raportoinnissa. Vastaavasti ääriolosuhteissa, kuten suurhäiriötilanteissa siitä

saavutettava hyöty on marginaalista. Taulukossa 7.3 on esitetty yhteenvedona tässä työssä tehtyihin laskelmiin perustuen eri käytöntukijärjestelmän toiminnoista saatavissa olevat hyödyt.

Taulukko 7.3 Käytöntukijärjestelmän toimintojen vaikutus eri komponentteihin

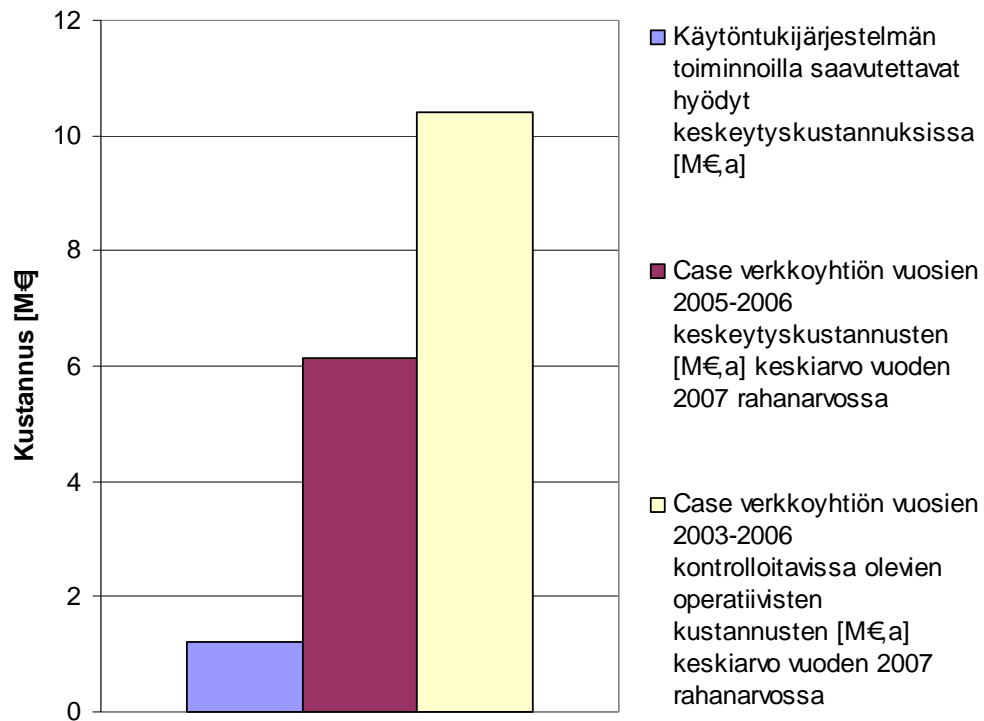
Toiminto	Toiminnon vaikutus/saatava hyöty					
	SAIDI	Kesk.kust	Häviö.kust	Työ.kust	Inv.kust	Muu
Sähköteknisen-tilan hallinta	-	-	-	-	+	+
Vian paikannus	+	10- 15 %	-	-	-	-
Vikaraportointi		10- 15 %	-	90 %	-	-
Työryhmien hallinta	+	10 %		+	-	+
Kytkenätilan optimointi	-	+	10 %	-	-	-
Asiakaspalvelu	-	-	-	-	-	+

Taulukossa 7.3 esiintyvä komponentti ”muu” sisältää toimintojen vaikutukset työturvallisuuteen, asiakkaiden tyytyväisyyteen ja verkkoyhtiön imagoon. Esimerkiksi työryhmien hallinnalla pystytään parantamaan kentällä olevien työntekijöiden työturvallisuutta. Vastaavasti tietyllä prosenttiluvulla tarkoitetaan kustannuskomponentin, kuten työkustannusten pienenemistä ja + - merkillä halutaan ilmaista toiminnon positiivista vaikutusta tiettyyn komponenttiin.

Taulukossa 7.3 olevat luvut eivät kerro absoluuttista totuutta saavutettavissa olevista hyödyistä, vaan niiden tarkoitus on olla lähinnä suuntaa antavia ja osoittaa se, että järjestelmän toimintojen hyödyntämisellä voidaan päästä käsiksi merkittäviinkin hyötyihin. Esimerkkilaskelmien ja haastattelun perusteella suurimmat hyödyt on saavutettavissa vian paikannuksella, vikaraportoinnilla sekä työryhmien hallinnalla, mutta toisaalta myös asiakaspalvelun vaikutusta pidetään tärkeänä, sillä asiakkaiden tyytyväisyys on ensiarvoisen tärkeää verkkoyhtiön imagon kannalta. Vian paikannuksen käyttö mahdollistaa työryhmien lähettämisen nopeammin oikealle vikapaikalle, täten lyhentäen asiakkaan kokemaa keskeytysaikaa. Myös työryhmien hallinta nopeuttaa vian korjausta, mutta parantaa sen lisäksi myös työturvallisuutta.

Vikaraportoinnin toimivuus ja luotettavuus mahdollistaa hyötyjen saavuttamisen niin keskeytyskustannuksissa kuin työkustannuksissakin sekä helpottaa viranomaisten vaatimien raporttien laatimisessa. Raportoinnin hyödyntäminen saneerausten suunnittelussa mahdollistaa vikataajuudeltaan ongelmallisimpien johto- osuuksien saneerauksen mahdollisimman nopeasti.

Suur- Savon Sähkö Oy:stä ei ollut mahdollisuutta saada tarvittavaa informaatiota, jotta järjestelmän heille tuomia tarkkoja hyötyjä olisi pystynyt laskemaan ja täten vertaamaan järjestelmän investointikustannuksiin. Kuvassa 7.1 esitetyistä tilanteista numero viisi kuvaa parhaiten case verkkoyhtiön tilannetta, joten kyseisessä skenaariossa lasketut hyödyt on asemoitu Suur- Savon Sähkö Oy:n kokoiseen (39 sähköasemaa, 235 johtolähtöä) verkkoyhtiöön. Keskimääräinen johtolähdön pituus case verkkoyhtiössä on n. 40 km, mikä vastaa tässä työssä käytettyä esimerkkijohtolähtöä. Suur- Savon sähkö Oy:n kokoisen verkkoyhtiön maksimaaliset käytöntukijärjestelmästä saavutettavat hyödyt ovat tiettyihin oletuksiin perustuen n. 1.2 M€ a. Saatua hyötyä (maksimaaliset hyödyt) keskeytyskustannuksissa on verrattu kuvassa 7.2 case verkkoyhtiön kontrolloitavissa oleviin operatiivisiin kustannuksiin sekä keskeytyskustannuksiin. (EMV 2007a)



Kuva 7.2 KTJ:n toiminnoista saavutettavat hyödyt vs. kontrolloitavat operatiiviset kustannukset ja keskeytyskustannukset

Kuten kuvasta 7.2 havaitaan, on saavutettavissa olevien hyötyjen osuus toteutuneisiin keskeytyskustannuksiin verrattuna n. 25 % ja operatiivisiin kustannuksiin verrattuna n. 10 %. Käytöntukijärjestelmän toiminnoilla saavutettavat hyödyt ovat siis tässä valossa erittäin merkittäviä.

Verkkoyhtiöiden näkökulmasta katsottuna käytöntukijärjestelmän täysimääräinen käyttäminen on ehdottomasti kannattavaa, mutta päästäkseen käsiksi tiettyihin hyötyihin vaaditaan kuitenkin panostusta oikeisiin asioihin. Erityisesti verkkoyhtiöiden kannalta on tärkeää, että järjestelmän koulutukseen panostetaan läpi organisaation. Käyttöhenkilökunnan kannalta on tärkeää, että ymmärretään järjestelmän toimintojen vaikutukset eri komponentteihin, kuten keskeytyskustannuksiin ja keskeytysaikoihin. Vastaavasti ylemmälläkin tasolla tulee tiedostaa, minkälaisia hyötyjä järjestelmä tarjoaa ja miten hyödyt ovat tällä hetkellä toteutuneet tai miten ne ovat saavutettavissa omassa yhtiössä.

Käytäntukijärjestelmä ei ole nykyisellä kapasiteetillaan riittävä, varsinkaan isoimmille verkkoyhtiöille. Tässä on varmasti verkkoyhtiökohtaisia eroja, mutta on kuitenkin selvää, että järjestelmän käytettävyyden eteen tarvitsee tehdä paljon kehitystyötä. Tähän kehitystyöhön tarvitaan verkkoyhtiöiden panostusta, sillä heillä on ajan tasalla olevia ajatuksia siitä, miten ja mitä toimintoja järjestelmässä tulisi kehittää tai lisätä. Toisaalta myös järjestelmän toimittajalta vaaditaan paljon, jotta järjestelmä saadaan toimimaan halutulla tavalla. Yhteistyö eri tahojen kesken järjestelmän kehittämiseksi on tärkeää. Erityisen suurta huomiota kehitystyössä tulee tehdä käytöntukijärjestelmän toimivuuden ja luotettavuuden parantamiseksi suurhäiriötilanteissa. Käyttöhenkilökunnan kannalta olisi tärkeää, jotta järjestelmä pystyisi tarjoamaan päätöksentekotukea myös silloin, kun sitä erityisesti tarvitaan eli ääriolosuhteissa. Järjestelmän toimivuuden parantamista ääriolosuhteissa ei voi korostaa liikaa, vaan päinvastoin.

Tässä työssä analysoitiin myös Northcote- Greenin ja Wilsonin esittämiä hyötylaskelmakaavoja ja verrattiin niitä Suomen olosuhteissa käytettäviin. Osa heidän esittämistään kaavoista keskittyy marginaalisten hyötyjen laskemiseen, kuten paremmasta käyttötoiminnasta saatavien hyötyjen määrittämiseen, mutta keskeytyskustannusten laskeminen on pääperiaatteiltaan samanlaista kuin Suomenkin olosuhteissa. Kuitenkin merkittävimpinä eroina laskennassa ovat Suomen olosuhteissa käytettävät pikajälleenkytkennöistä (eroteltuina aika- ja pikajälleenkytkentöihin) aiheutuvat kustannukset sekä erilaiset arvostukset keskeytyksille (KAH- parametrit).

Northcote- Green ja Wilson esittävät teoksessaan oman määritelmänsä automaatioasteelle. Määritelmä ei ole kuitenkaan yleispätevä ja sitä ei voida sellaisenaan soveltaa jokaiseen verkkoon ja verkkoyhtiöön. Tämän työn yhtenä tuloksena voidaan sanoa, että automaatioaste ei ole kuvattavissa yhdellä muuttujalla, vaan sen määrittäminen vaatii aina verkkokohtaiset laskelmat, koska jokaisella verkkoyhtiöllä on erilaiset verkot, vikataajuudet jne.

8 YHTEENVETO

Käytäntukijärjestelmä on tietojärjestelmä, mikä hyödyntää siihen integroiduista järjestelmistä, kuten asiakastietojärjestelmästä ja verkkotietojärjestelmästä, saamiaan tietoja verkon hallinnassa ja käytössä. Käytäntukijärjestelmän sovellukset tarjoavat toimiessaan halutulla tavalla merkittävän apuvälineen käyttöhenkilökunnalle päätöksenteon tueksi.

Tämän diplomityön tavoitteena on ollut tarkastella käytäntukijärjestelmän toimintoja ja analysoida niistä saatavia hyötyjä. Työssä esitettävien hyötyanalyysien pohjana on käytetty esimerkkilaskelmia sekä case verkkoyhtiössä tehdystä haastattelusta saatuja tietoja. Ensimmäinen analysointi työssä on tehty oletusarvoihin perustuvalla johtolähdölle ja tämän lisäksi pohdintaa on jatkettu verkkoyhtiöstä saatujen tietojen perusteella. Haastattelun pohjalta on analysoitu käytäntukijärjestelmän käytettävyyttä sekä siinä ilmenneitä ongelmakohtia verkkoyhtiön ja käyttöhenkilökunnan näkökulmasta.

Käytäntukijärjestelmän eri toiminnoilla on saavutettavissa useita eri hyötyjä. Hyödyt näkyvät erityisesti keskeytyskustannuksien pienenemisen muodossa, mutta esimerkiksi työryhmien hallinnalla pystytään vaikuttamaan työturvallisuuden paranemiseen. Käytäntukijärjestelmä soveltuu parhaiten tavanomaisiin tilanteisiin, kuten yksittäisten vikojen paikantamiseen, kun taas suurhäiriötilanteissa järjestelmästä saatavat hyödyt ovat marginaalisia. Tärkeimpinä käytäntukijärjestelmän toimintoina verkkoyhtiön kannalta pidetään sähkötekniikan hallintaa, vian paikannusta, vikaraportointia ja työryhmien hallintaa. Näistä toiminnoista saavutettavat hyödyt ovat myös merkittävimmissä roolissa tässä työssä tehdyissä hyötytarkasteluissa. Toisaalta myös asiakaspalvelua pidetään verkkoyhtiön kannalta tärkeänä välillisiä hyötyjä tuottavana toimintona. Hyvällä asiakaspalvelulla pystytään vaikuttamaan asiakkaiden tyytyväisyyteen ja näin verkkoyhtiön imagoon. Välillisten hyötyjen analysointia ei tule unohtaa, sillä niiden avulla saavutettavat hyödyt ovat usein merkittäviä tarkasteltaessa verkkoyhtiön toimintaa, vaikka niitä ei rahallisesti pystykään

määrittelemään. Suur- Savon Sähkö Oy:n tapauksesta ei ole tässä työssä määritelty tarkkoja käytöntukijärjestelmästä saavutettavia hyötyjä, sillä niiden määrittämistä varten ei ole tarvittavaa informaatiota. Voidaan kuitenkin sanoa, että Suur- Savon Sähkö Oy:n kokoisessa verkkoyhtiössä järjestelmästä saavutettavat hyödyt nousevat helposti investointikustannuksia suuremmiksi, vaikkakin kaikkien toimintojen käyttöaste ei ole parhaimmalla mahdollisella tasolla. Toimintojen käytettävyyden kehittäminen erityisesti suurhäiriötilanteissa parantaisi hyötyjen saavutettavuutta.

Käytöntukijärjestelmän hyödyntäminen vaatii käyttöhenkilökunnalta ymmärrystä järjestelmän varsinaisesta käyttämisestä, mutta myös eri toimintojen, kuten vian paikannuksen vaikutuksesta esimerkiksi keskeytyskustannuksiin ja täten verkkoyhtiön liiketoimintaan. Maksimaalisten hyötyjen saavuttamiseksi vaaditaan käyttöhenkilökunnalta riittävää järjestelmän käytön osaamista, mikä on riippuvaista saadusta koulutuksesta. Läpi organisaation ulottuva koulutus onkin lähtökohta sille, että hyödyt ovat tavoitettavissa. Vastaavasti itse käytöntukijärjestelmältä vaaditaan luotettavuutta sekä käytettävyyttä, erityisesti ääriolosuhteissa. Lisäksi verkosta löytyvällä automaatiolla ja verkon laajuudella on oma vaikutuksensa hyötyjen saavutettavuuteen ja suuruuteen. Käytöntukijärjestelmän hankkiminen mahdollistaa hyötyjen saavuttamisen, mutta tämän jälkeen vaaditaan panostusta oikeisiin asioihin, jotta hyödyt todella saadaan irti.

Toimintojen uudelleen organisointi on merkittävässä roolissa tämän päivän verkkoliiketoiminnassa. Työssä on otettu kantaa siihen, minkälaista liiketoimintamallia verkkoyhtiö, pieni tai iso, voisi käyttää harkitessaan käytöntukijärjestelmän hankkimista. Pienelle verkkoyhtiölle järjestelmän hankkiminen itse ei välttämättä ole mahdollista taikka järkevää, mutta palveluntarjoajan käyttäminen voi tulla kysymykseen. Isolla verkkoyhtiöllä tilanne on usein päinvastainen ja käytöntukijärjestelmästä saatava hyöty voi olla selvästikin suurempi kuin kustannustekijä. Tähän vaikuttaa erityisesti verkon laajuus ja se, että isojen verkkoyhtiöiden osaamistaso on usein resursseista johtuen parempaa kuin pienillä

verkkoyhtiöillä. Ison verkkoyhtiön kannalta pohdittavaksi jää se, että ostaako järjestelmän itse vai käyttääkö palveluntarjoajan palveluita.

Käytöntukijärjestelmä mahdollistaa merkittävien hyötyjen saavuttamisen tilanteessa, missä kaikki toimii niin järjestelmän kuin muidenkin osatekijöiden osalta optimaalisesti. Tässä työssä esitettyihin lukuihin ja analyyseihin ei tule tuijottaa liikaa, mutta niiden on tarkoitus olla ajatuksia herättäviä ja suuntaa antavia. Kuitenkin tyypilliset maaseutuyhtiöt, joiden keskimääräinen johtolähtöpituus on samaa suuruusluokkaa kuin työssä käytetyssä esimerkkijohtolähdössä, voivat käyttää tämän työn tuloksia hyväkseen analysoidessaan omaa toimintaansa käytöntukijärjestelmän käytön osalta. Vastaavasti kaupunkiverkkoyhtiöille tämä työ ei tarjoa mitään, koska tarkastelu heidän osaltaan saman asian ympärillä on täysin erilainen kaupunkiolosuhteiden takia.

Jatkotutkimuksena tämän työn aiheeseen liittyen, tulisi verkkoyhtiöiden, järjestelmän toimittajien sekä yliopistojen yhteistyössä perehtyä siihen, mitä osa- alueita järjestelmästä tulisi kehittää ja miten mahdolliset kehitystarpeet olisi toteutettavissa. Sama tarkastelu käytöntukijärjestelmän hyödyistä ja käytettävyydestä kaupunkiverkkoyhtiöiden osalta olisi paikallaan.

LÄHTEET

- (ABB00) www.abb.com. ABB:n TTT- käsikirja. 2000. Saatavilla:
[http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/\\$file/150_0007.pdf](http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/$file/150_0007.pdf)
- (ABB03) www.abb.fi. Käyttötukijärjestelmä Open++ Opera käyttöohje. Saatavilla:
[http://library.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/206ca8d553bd0da7c125729c005d78be/\\$File/Paakayttajanohje.pdf](http://library.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/206ca8d553bd0da7c125729c005d78be/$File/Paakayttajanohje.pdf)
- (EMV 2005) Energiamarkkinavirasto. 2005. Sähköverkon kehittämisveloitteen arviointi käyttövarmuuden näkökulmasta. Saatavilla:
http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Kehittamisveloite_1-2005.pdf
- (EMV 2007) Energiamarkkinavirasto. 2007. Eräiden verkkokomponenttien yksikköhintojen määrittely. Saatavilla:
http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Empower_loppuraportti_20070228.pdf
- (EMV 2007a) Energiamarkkinavirasto. 2007. Yrityskohtaisen tehostamistavoitteen määrittely. Saatavilla:
http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Liite2_440-424-2007.pdf

- (GIGA 2007) Liiketoimintamallit ja arvoketjujen muutokset – GIGA – ohjelma. Saatavilla:
http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/CONE/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ja_aktivointi/Muu_viestinta_ja_aktivointi/Aiheryhmat/Aiheryhmaiva/Skenaarioiden_vaikutus_liiketoimintamalleihin_30.10.2007_v0.2.pdf
- (Haakana 2008) Haakana, J. Haja- asutusalueen keskijänniteverkon kaapeloinnin ja automaation suunnittelumetodiikka. Saatavissa:
http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/electrical_engineering/research/electricitymarkets/publications/Documents/Diplomity%C3%B6t/Haakana_Diplomityo.pdf
- (Honkapuro et al. 2006) Honkapuro S. Tahvanainen K. Viljainen S. Lassila J. Partanen J. Kivikko K. Mäkinen A. Järventausta P.2006. DEA- mallilla suoritettavan tehokkuusmittauksenkehittäminen. Tutkimusraportti.
- (Järventausta 95) Järventausta, P. Feeder fault management in medium voltage electricity distribution networks. 1995.
- (Lakervi 2007) Lakervi, E. Sähköjaketekniikka. Luento 9. 2007. Saatavilla: <http://powersystems.tkk.fi/opinnot/S-18.3153/Luentokalvot2007/Luento%209.pdf>
- (Lakervi 2008) Lakervi, E. Partanen, J. Sähköjaketekniikka. 2008. s.285. ISBN 978- 951- 672- 357- 3.

- (Northcote- Green, Wilson 2006) Northcote- Green, J. Wilson, R. Control and automation of electrical power distribution systems. 2006. s.464.
- (Partanen) Partanen, J. Sähkönjakelutekniikka. Luennot. Saatavilla: http://www.ee.lut.fi/fi/opi/kurssit/Sa2710500/Vikatilanteiden_hallinta.pdf
- (Partanen 91) Partanen, J. A PC- based information and design system for electricity distribution networks
- (Partanen 2005) Partanen, J. Viljainen, S. Lassila, J. Honkapuro, S. Tahvanainen, K. Järventausta, P. Mäkinen, A. Trygg, P. Kivikko, K. Antila, S. Toivonen, J. Kulmala, H. Antola, J. Palveluliiketoiminnan kehittymismahdollisuudet sähköverkkoliiketoiminnassa. 2005. s.80.
- (Partanen 2008a) Partanen, J. Sähkömarkkinoiden luentomateriaali. Saatavissa: <http://www.ee.lut.fi/fi/opi/kurssit/Sa2710400/materiaalit.html>
- (Partanen 2008b) Partanen, J. Viljainen, S. Lassila, J. Honkapuro, S. Tahvanainen, K. Karjalainen, R. Sähkömarkkinoiden opetusmoniste. 2008. ISSN 1459-3114 ISBN 951-764-819-9. Saatavilla: <http://www.ee.lut.fi/fi/opi/kurssit/Sa2710400/Smpruju-22092006.pdf>
- (RatesFX) www.ratesfx.com. Saatavilla: <http://www.ratesfx.com/rates/rate-converter.fi.html>

- (SSSOY) www.ssoy.fi. Saatavilla:
[http://www.ssoy.fi/modules/system/stdreq.aspx?P=265
&VID=default&SID=679523957168157&S=0&C=2171
1](http://www.ssoy.fi/modules/system/stdreq.aspx?P=265&VID=default&SID=679523957168157&S=0&C=21711)
- (Sähkömarkkinalaki) Sähkömarkkinalaki 386/1995. Saatavilla:
[http://www.energiamarckkinavirasto.fi/files/sahkomarkki
nalaki_386-1995.pdf](http://www.energiamarckkinavirasto.fi/files/sahkomarkkinalaki_386-1995.pdf)
- (Tahvanainen 2003) Tahvanainen, K. Käytöntukijärjestelmät; ominaisuudet ja käyttö. Saatavissa:
[http://www.ee.lut.fi/fi/opi/kurssit/Sa2710800/Tahvanain
en-kaytontukijarjestelmat.pdf](http://www.ee.lut.fi/fi/opi/kurssit/Sa2710800/Tahvanainen-kaytontukijarjestelmat.pdf)
- (Tanskanen 2007) Tanskanen, A. Jantunen, A. Saksa J-M. Partanen, J. Bergman, J. International Journal of Energy Sector Management. Governance structures of the electricity distribution network operation activities: towards a benefits- based analysis. 2007.
- (Tekla) www.tekla.fi
[http://www.tekla.com/fi/products/tekla-
xpower/functionalities-for-electricity-
distribution/operation/Pages/Default.aspx](http://www.tekla.com/fi/products/tekla-xpower/functionalities-for-electricity-distribution/operation/Pages/Default.aspx)
- (T&T 2007) Tekniikka & Talous. Saatavilla:
<http://www.tekniikkatalous.fi/energia/article29388.ece>
- (Vattenfall) www.vattenfall.fi. Saatavilla:
[http://www.vattenfall.fi/www/vf_fi/vf_fi/582841yksit/58
3211asiak/583566sxhkx/583582vikap/index.jsp](http://www.vattenfall.fi/www/vf_fi/vf_fi/582841yksit/583211asiak/583566sxhkx/583582vikap/index.jsp)

- (Verho 97) Verho, P. Configuration management of medium voltage electricity distribution network. 1997.
- (Viljainen 2005) Viljainen, S. Partanen, J. Development trends in the restructuring of the electricity distribution business in Finland. Saatavilla:
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=4524496&isnumber=4524335>
- (VTT 2006) www.energia.fi. Verkkovisio 2030- jakelu- ja alueverkkojen teknologiavisio. Saatavilla:
<http://www.energia.fi/fi/julkaisut/sahkovoimatekniikanpoo/Verkkovisio%202030%20loppuraportti%20v1.pdf>

Haastattelut

Suur- Savon Sähkö Oy, 5.3.2009, Mikkeli. Kehitysjohdaja Juha Lohjala ja Järvi-Suomen Energia Oy:n käyttöpäällikkö Arto Nieminen

Järvi- Suomen Energia Oy, sähköpostihaastattelu 12.3.2009. Tuomo Härkönen.

Suur- Savon Sähkö Oy, 5.3.2009, sähköpostihaastattelu 23.3.2009. Petri Kousa.

LIITTEET

Liite I Hyötyjen mahdollisuus matriisi. (Northcote- Green, Wilson 2006) 1/(1)

Automaatio toiminto	DA Area		Odotettu Hyötykategoria				
	SA	FA	Investointeihin liittyvät	Keskeytyksiin liittyvät	Asiakkaisiin liittyvät	Operatiiviset säätöt	Kehittynyt operointi
	X	X	X	X	X	X	X
Data	X	X	X			X	X
Datan monitorointi	X	X	X			X	X
Datan keräys	X	X	X			X	X
Integroitu V/Var ohjaus	X	X	X		X	X	X
Kiskon jännite säätely	X	X	X			X	X
Muuntajan pyörevirtejen ohjaus	X	X	X				X
Loistehon kompensointi	X	X	X			X	X
Muuntoaseman reaktiivinen ohjaus	X	X	X			X	X
Automaattinen uudelleen sulkeminen	X	X	X	X			X
Muuntoasema							
Kytkimien kauko- ohjaus	X		X		X	X	X
Kuorman vuodatus	X		X			X	
Kuorman ohjaus	X		X			X	
Muuntajan kuorman tasointi	X	X	X			X	X
Johtolähdöt							
Vian paikkaus	X			X		X	X
Vian erottaminen	X		X			X	X
Palvelun palauttaminen	X		X		X	X	X
Kauko kytkentä	X		X		X	X	X
Uudelleen ohjelmointi	X		X		X	X	X

Taulukko 3.1 Odotettavien hyötyjen mahdollisuus matriisi. (DA = Distribution Automation, jakeluautomaatio, SA = Substation Automation, muuntoasema automaatio ja FA = Feeder Automation, johtolähtö automaatio).

Alla on laskettu kappaleessa 3.9.2 esitettyihin arvoihin perustuvat laskelmat ensin Northcote- Greenin ja Wilsonin esittämällä kaavoille ja tämän jälkeen Suomen olosuhteisiin soveltuvilla yhtälöillä. Laskelmissa arvo 0,17 on oikaisukerroin ja 1.1 on punnan kurssi euroon.

Northcote- Green & Wilson:

$$SIC = 18.1\text{£} * 0,17 * 1,10 * 11353\text{MWh} = 38,4\text{k€}$$

$$ASIC = 38,4\text{k€} * 2,52 = 97\text{k€}$$

$$AMIC = 3,02\text{£} * 0,17 * 1,10 * 9,28 * 11353\text{MWh} = 60\text{k€}$$

$$Yhteensä = ASIC + AMIC \approx 160\text{k€}$$

Suomen olosuhteissa käytettävät yhtälöt:

$$\bar{P} = \frac{11353\text{MWh}}{8760\text{h}} = 1296\text{kW}$$

Laskennassa on käytetty teollisuusasiakkaalle määritettyjä KAH- parametreja.

$$Kus\ tan\ nus_{aika} = 1 * 1296\text{kW} * 3,63\text{h} * 24,45\text{€/ kWh} = 115\text{k€}$$

$$Kus\ tan\ nus_{määrä} = 1 * 1296\text{kW} * 2,52 * 3,52\text{€/ kW} = 12\text{k€}$$

$$Kus\ tan\ nus_{PJK} = 1296\text{kW} * 9,28 * 2,19\text{€/ kW} = 26\text{k€}$$

$$Kus\ tan\ nus_{AJK} = 1296\text{kW} * 9,28 * 2,87\text{€/ kW} = 35\text{k€}$$

$$Yhteensä \approx 190\text{k€}$$

Oletus sähköasema	
Lähtöjen määrä (kpl)	6-8
Lähtöjen pituudet (km)	40
Vikataajuus (kpl/100km, a)	7
PJK- taajuus (kpl/100km, a)	50
AJK- taajuus (kpl/100km, a)	20
Keskiteho (kW)	800
Huippukuorma (MW)	2
Kuormituksen huipunkäyttöaika (h)	3000
Häviöiden hinta (€MWh)	45
laskentakorko (%)	5
Pitoaika (a)	40
Katkaisijan investointikustannus (k€)	28

Laskennassa käytetyt asiakasryhmä painotetut KAH- arvot

Kuluttaja-ryhmä	Asiakasjakauma [%]	Vika [€/kW]	Vika [€/kWh]	Työ [€/kW]	Työ [€/kWh]	PJK [€/kW]	AJK [€/kW]
Kotitalous	48	0,173	2,06	0,09	1,06	0,053	0,23
Maatalous	12	0,054	1,13	0,03	0,58	0,024	0,074
Teollisuus	15	0,397	4,48	0,21	1,72	0,33	0,43
Julkinen	10	0,189	1,51	0,13	0,74	0,15	0,23
Palvelu	15	0,528	3,67	0,03	3,42	0,19	0,37
Yhteensä	100	1,34	12,85	0,49	7,52	0,75	1,33

Skenaario 1: Optimaalinen määrä automaatiota

Perustilanne:

$$K_{vika} = 800kW * 0,07vika / km, a * 40km(1,5h * 12.85€/ kWh + 1.34€/ kW)$$

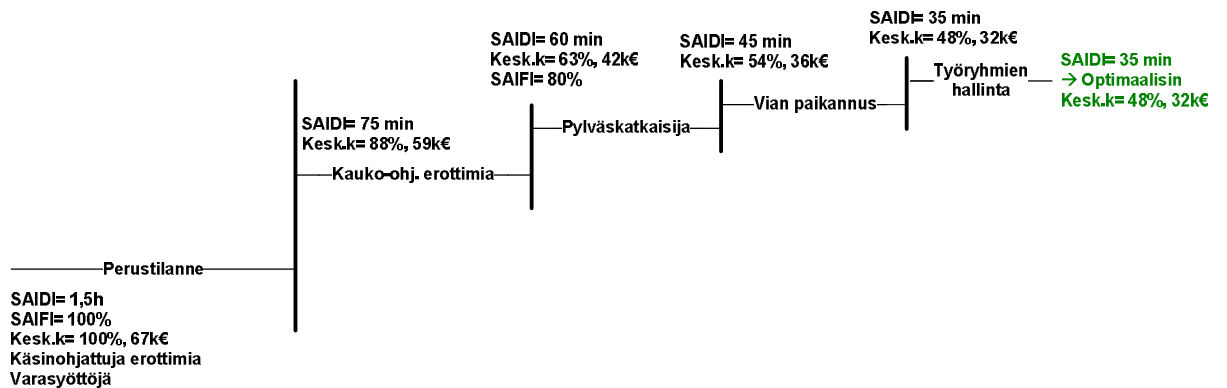
$$K_{aika} = 44k €, a, \quad K_{määrä} = 3,0k €, a$$

$$K_{PJK} = 800kW * 0,5kpl / km, a * 40km * 0,75€/ kW = 12k €, a$$

$$K_{AJK} = 800kW * 0,2kpl / km, a * 40km * 1,33€/ kW = 8,5k €, a$$

$$K_k = 67k €, a$$

Tehdään vastaava laskenta jokaisessa kohdassa alla olevan kuvan mukaan muuttaen keskeytysaikaa (SAIDI) sekä SAIFI:a (pylväskatkaisijan vaikutus vikojen ja jälleenkytkentöjen määrään) samalla kun lisätään eri toimintoja (verkstoautomaatiota, käytöntukijärjestelmän toimintoja). Kuvan mukaisesti vian paikannuksesta saatava hyöty on 6k€johtolähtö, a ja työryhmien hallinnan osalta 4k€johtolähtö, a.



Skenaario 2: Vioista 1/3 oikosulkuja ja 2/3 maasulkuja

Laskenta muuten sama kuin skenaariossa yksi, mutta vian paikannuksen kohdalla laskenta seuraava:

$$K_{vika} = 800kW * 0,07vika / km, a * \frac{1}{3} * 0,8 * 40km(0,75h * 12.85\text{€} / kWh + 1.34\text{€} / kW)$$

$$K_{vika} = 800kW * 0,07vika / km, a * \frac{2}{3} * 0,8 * 40km(1h * 12.85\text{€} / kWh + 1.34\text{€} / kW)$$

$$K_{aika, \frac{1}{3}} = 5,8k \text{€} a, K_{määrä, \frac{1}{3}} = 0,8k \text{€} a, K_{aika, \frac{2}{3}} = 15,3k \text{€} a, K_{määrä, \frac{2}{3}} = 1,6k \text{€} a$$

$$K_{PJK} = 800kW * 0,5kpl / km, a * 0,8 * 40km * 0,75\text{€} / kW = 9,6k \text{€} a$$

$$K_{AJK} = 800kW * 0,2kpl / km, a * 0,8 * 40km * 1,33\text{€} / kW = 6,7k \text{€} a$$

$$K_k = 40k \text{€} a$$

Myös työryhmien hallinnasta saatava hyöty muuttuu, koska vioista saadaan paikannettua vain 1/3. Laskenta menee muuten samoin kuin edellä, mutta oletuksena on, että vain 1/3 (oikosulut) vioista saadaan työryhmien hallinnalla 10 minuutin hyöty keskeytysajassa. Vastaavasti 2/3 (maasulut) vioista työryhmien hallinnasta saatavaa hyötyä ei saada ollenkaan. Näillä oletuksilla keskeytyskustannukset ovat alla olevan laskennan mukaisesti 38k€ a.

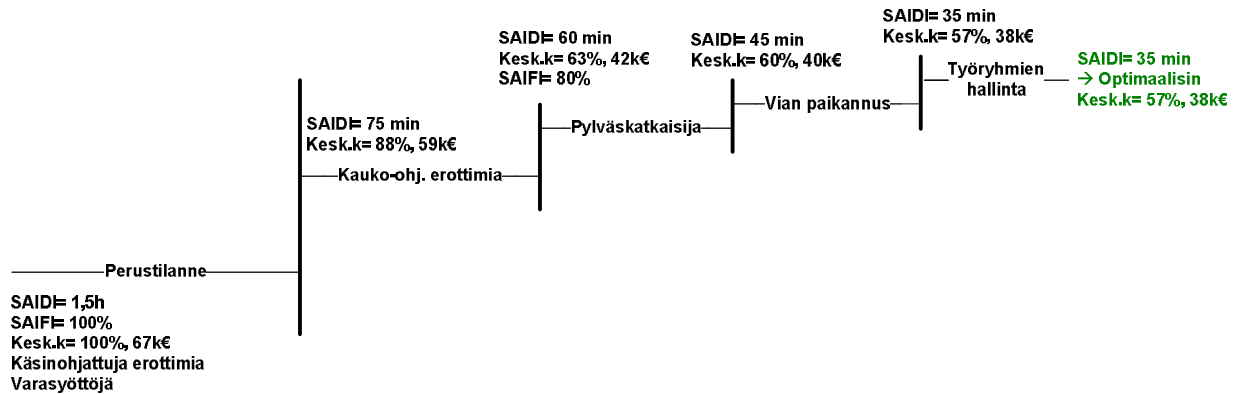
$$K_{vika} = 800kW * 0,07vika / km, a * \frac{1}{3} * 0,8 * 40km\left(\frac{7}{12} h * 12.85\text{€} / kWh + 1.34\text{€} / kW\right)$$

$$K_{vika} = 800kW * 0,07vika / km, a * \frac{2}{3} * 0,8 * 40km(1h * 12.85\text{€} / kWh + 1.34\text{€} / kW)$$

$$K_{aika, \frac{1}{3}} = 4,5k \text{€} a, K_{määrä, \frac{1}{3}} = 0,8k \text{€} a, K_{aika, \frac{2}{3}} = 15,3k \text{€} a, K_{määrä, \frac{2}{3}} = 1,6k \text{€} a$$

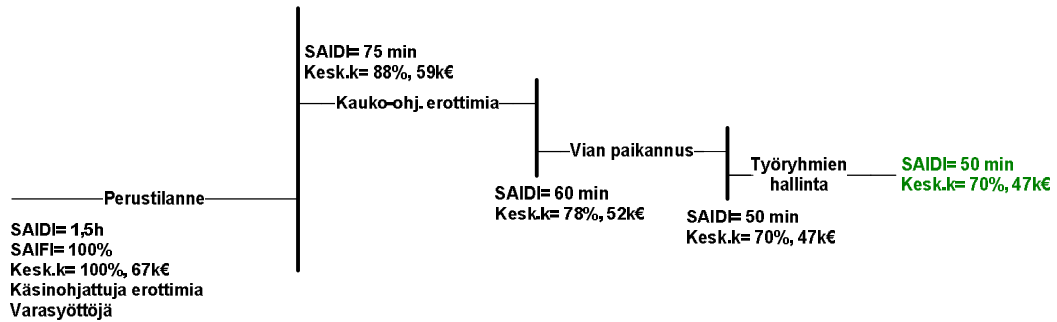
$$K_k = 38k \text{€} a$$

Alla olevan kuvan mukaisesti vian paikannuksesta saatava hyöty tässä skenaariossa on 2k€johtolähtö, a ja työryhmien hallinasta saatava hyöty 2k€johtolähtö, a.



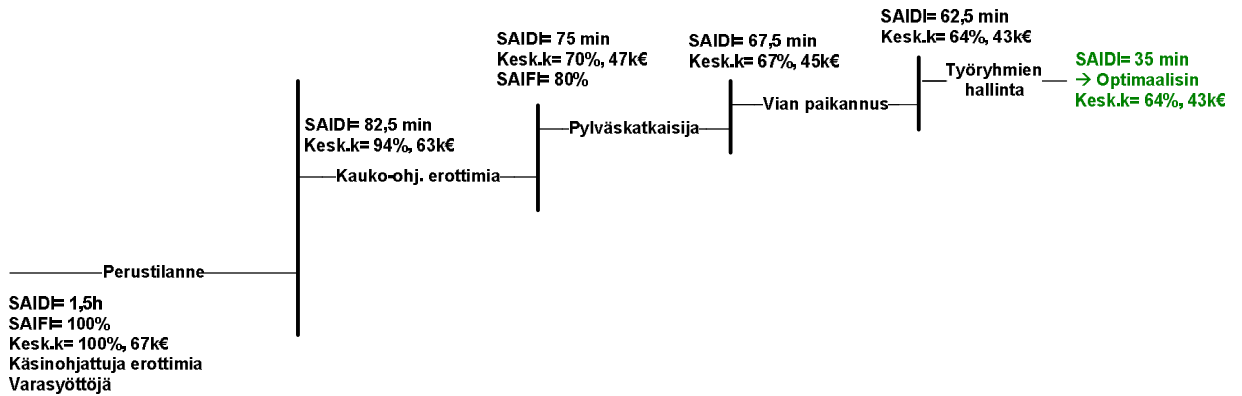
Skenaario 3: Vähemmän automaatiota (ei pylväskatkaisijoita)

Laskenta on täysin sama kuin skenaariossa yksi. Alla olevan kuvan mukaisesti vian paikannuksesta saatava hyöty on tässä tapauksessa 7k€johtolähtö, a ja työryhmien hallinnasta saatava hyöty 5k€johtolähtö, a.



Skenaario 4: Puolet vähemmän automaatiota kuin skenaariossa yksi.

Laskenta on muuten sama kuin skenaariossa yksi, mutta keskeytysajoissa saavutettavien hyötyjen on oletettu puolittuvan jokaisen toiminnon kohdalla alla olevan kuvan mukaisesti, koska automaatiota on verkossa puolet vähemmän. Vian paikannuksesta saatava hyöty on tässä tapauksessa 2k€johtolähtö, a ja työryhmien hallinasta saatava hyöty 2k€johtolähtö, a.



Skenaario 5: Vioista 1/3 oikosulkuja, 2/3 maasulkuja ja puolet kaikista vioista aiheutunut suurhäiriötilanteissa (vian paikannus ei käytössä)

Laskenta on muuten vastaava kuin skenaariossa 2, mutta vian paikannus toiminnosta saatava hyöty lasketaan tässä skenaariossa seuraavasti:

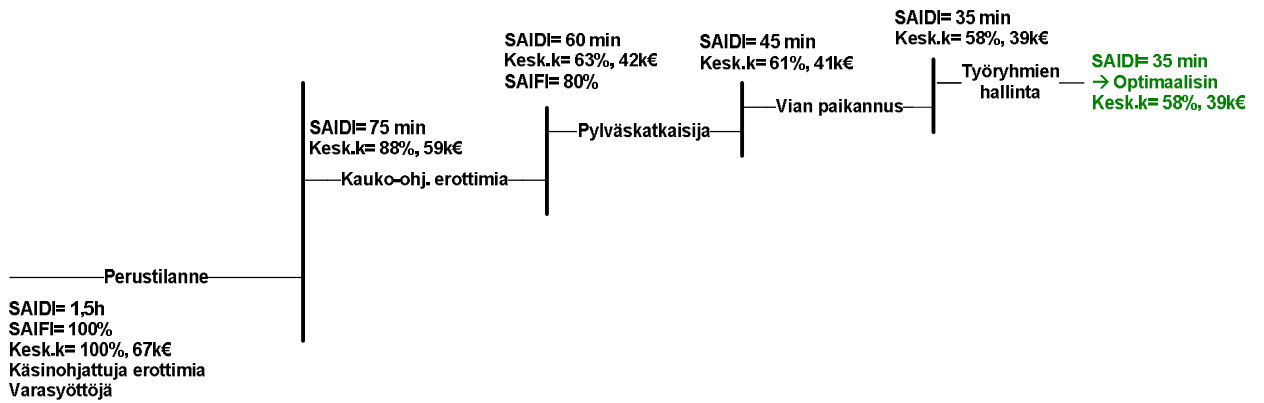
$$K_{vika} = 800kW * 0,07vika / km, a * \frac{2}{6} * \frac{3}{6} * 0,8 * 40km(0,75h * 12,85€/ kWh + 1,34€/ kW)$$

$$K_{vika} = 800kW * 0,07vika / km, a * \frac{5}{6} * 0,8 * 40km(1h * 12,85€/ kWh + 1,34€/ kW)$$

$$K_{aika, \frac{1}{3}} = 2,9k €, a, K_{määrä, \frac{1}{3}} = 0,4k €, a, K_{aika, \frac{2}{3}} = 19,2k €, a, K_{määrä, \frac{2}{3}} = 2,0k €, a$$

$$K_k = 41k €, a$$

Tässä skenaariossa vian paikannuksesta saatava hyöty on alla olevan kuvan mukaisesti 1k€johtolähtö, ja työryhmien hallinnasta saatava hyöty 2k€johtolähtö, a.



Kytkeätilan optimoinnista saatava hyöty:

Oletetaan, että keskijänniteverkon häviöt olisivat luokkaa 3 % vuosienergiasta ja häviökustannusten hinta olisi 45€/MWh. Johdon kuorma on tällä hetkellä 2MW ja kuormituksen huipunkäyttöaika 3000h. Oletetaan, että verkoston optimoinnilla saavutetaan 10 % parannus häviöissä à eli häviöt olisivat tämän jälkeen 2,7 % vuosienergiasta.

Häviöt 3 % à

$$Kustannus = P_{MAX} * t_h * h * h_{hinta} = 2MW * 3000h * 0,03 * 45€/MWh = 8,1k€$$

à Optimoidaan verkko à saadaan tiputettua häviöitä 10 % à 2,7

Häviöt 2,7 % à

$$Kustannus = 2MW * 3000h * 0,027 * 45€/MWh = 7,2k€$$

Kytkeätilan optimoinnista saatava hyöty tehtyjen oletuksien mukaan on n. 1k€johtolähtö, a

Vikaraportoinnista saatava hyöty:

Alla olevissa taulukoissa on kuvattu laskentaperiaatetta vikaraportoinnista saatavalle hyödyille. Taulukoissa on käyty läpi tilannetta, missä vikaraportointia hyödynnetään ja johto-osuudet saneerataan suurimmasta vikataajuudesta pienimpään. Ensimmäisessä taulukossa on esitetty jokaiselle johto- osuudelle lasketut keskeytyskustannukset.

Johto-osuus	f[kpl/km, a]	kesk.kust. [€ a/johto-osuus]	kesk.kust. [€ 40a/johto-osuus]
1	0,2	2783,2	111328
2	0,1	1648	65920
3	0,1	1648	65920
...			
...			
40	0,05	1080,4	43216

$$K_{vika} = 800kW * 0,2vika / km, a * 1km(1h * 12.85€ / kWh + 1.34€ / kW)$$

$$K_{aika} = 2,06k € a, \quad K_{määrä} = 0,2k € a$$

$$K_{pJK} = 800kW * 0,5kpl / km, a * 1km * 0,75€ / kW = 0,3k € a$$

$$K_{AJK} = 800kW * 0,2kpl / km, a * 1km * 1,33€ / kW = 0,22k € a$$

$$K_k = 2,78k € a \quad K_k = 111k € 40a$$

Yllä oleva laskenta suoritettu jokaiselle johto- osuudelle.

Toisessa taulukossa on esitetty vastaavat luvut kuin ensimmäisessä taulukossa, mutta saneerauksen jälkeiselle tilanteelle.

f[kpl/km, a]	kesk.kust. [€ a/johto-osuus]	kesk.kust. [€ 40a/johto-osuus]	hyöty [€ a/johto-osuus]	hyöty [€ 40a/johto-osuus]
0,035	796,92	33863,08	1986,28	77464,92
0,035	796,92	33578,96	851,08	32341,04
0,035	796,92	34430,04	851,08	31489,96
...				
...				
0,035	796,92	43216	283,48	0

Vikataajuuden on oletettu laskevan saneerauksen seurauksena jokaisen johto- osuuden osalta 3,5 vikaan/100km, a ja jälleenkytkentätaajuuksien on oletettu laskevan pikajälleenkytkentöjen osalta 40 kpl/100km, a ja aikajälleenkytkentöjen osalta 15 kpl/100km, a.

Keskeytyskustannukset jokaiselle johto-osuudelle saneerauksen jälkeen on laskettu seuraavasti:

$$K_{vika} = 800kW * 0,035vika / km, a * 1km(1h * 12.85€/ kWh + 1.34€/ kW)$$

$$K_{vika} = 0,4k € a$$

$$K_{PJK} = 800kW * 0,4kpl / km, a * 1km * 0,75€/ kW = 0,24k € a$$

$$K_{AJK} = 800kW * 0,15kpl / km, a * 1km * 1,33€/ kW = 0,16k € a$$

$$K_k = 0,8k € a$$

Vastaavasti 40 vuoden ajalle:

1. johto-osuus saneerataan 1. vuoden lopussa, toinen johto-osuus toisen vuoden lopussa jne. Tarkastelussa on siis keskeytyskustannukset kyseisellä johtolähdöllä 40 vuoden ajalta, jolloin ensimmäisenä saneerattu johto- osuus on verkossa 39 vuotta saneerauksen jälkeen ja yhden vuoden ennen saneerausta. Vastaavasti viimeisenä saneerattava johto- osuus on verkossa nykyisellä vikataajuudella 39 vuotta ja yhden vuoden saneerauksen jälkeen.

$$K_{k,40} = K_k * (40a - 1a) + kesk.kust.1vuodelta = 0,8k € a * 39a + 1 * 2,78k € = 33.9k €$$

Toinen johto- osuus:

$$K_{k,40} = K_k * (40a - 2a) + \text{kesk.k.2.vuodelta} = 0,8k \text{ €}, a * 38a + 2 * 1,65k \text{ €} = 33.6k \text{ €}$$

Vastaava laskenta suoritetaan jokaiselle johto-osuudelle.

40 vuoden ajalta saatava hyöty saadaan määritettyä jokaiselle johto-osuudelle vertaamalla keskeytyskustannuksia ennen ja jälkeen saneerauksen. Ensimmäisen johto-osuuden osalta saavutettava hyöty on:

$$\text{Hyöty} = 111k \text{ €} - 33,9k \text{ €} = 77k \text{ €}.$$

Kaikkien johto-osuuksien yhteenlaskettu hyöty 40 vuoden ajalta tässä skenaariossa on n. 500k€ ja nykyarvo tälle:

$$NA = \frac{1}{\left(1 + \frac{p}{100}\right)^n} = \frac{1}{\left(1 + \frac{5}{100}\right)^{40}} * 500k \text{ €} = 71k \text{ €}.$$

Vastaava laskenta on suoritettu kaikille kolmelle skenaariolle joiden tulokset on esitetty kuvassa 5.5.

Johtolähtökohtainen hyöty yhdelle vuodelle vikaraportoinnista on laskettu seuraavasti:

$$\text{Hyöty} = \frac{71k \text{ €} - 42k \text{ €}}{40a} \approx 1,0k \text{ €} / \text{johtolähtö}$$

Hyöty on pyöristetty 1k€n, koska laskennassa on käytetty muutenkin paljon oletuksia.