

Jukka Paavola

Sähköverkon tuoton parantaminen teknisillä ratkaisuilla

Opinnäytetyö

Kevät/Syksy 2015

SeAMK Tekniikka

Teknologiaosaamisen johtaminen YAMK



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Teknologiaosaamisen johtaminen

Tekijä: Jukka Paavola

Työn nimi: Sähköverkon tuoton parantaminen teknisillä ratkaisuilla

Ohjaaja: Ismo Tupamäki

Vuosi: 2016

Sivumäärä: 57

Liitteiden lukumäärä: 9

Suurjännitteisen jakeluverkon käyttö on muuttunut muutamassa vuodessa johtuen energiatarpeen kasvusta ja tuulivoiman verkkoliitynnöistä. Jotta asiakkaat saisivat energiaa lähes häiriöttömästi, on sähköverkon rakenteeseen tehtävä muutoksia. Muutosten on kuitenkin oltava hyödyksi myös energiaa siirtävälle yhtiölle, jolloin verkon kohtuullinen sallittu tuotto olisi mahdollisimman hyvä.

Verkon käyttöön ja sen rakenteeseen tehtävien muutoksien toteuttamista valvotaan sähkömarkkinalailla. Lain noudattamista valvoo Energiavirasto, joka on määritellyt laskentamallit tätä varten. Näitten laskentamallien perusteella verkkoyhtiölle määritetään vuosittain verkon kohtuullinen sallittu tuotto. Tähän tuottoon vaikuttaa merkittävästi verkon käytöstä aiheutunut haitta.

Tässä tutkimuksessa pyritään selvittämään, millä teknisellä ratkaisulla käytöstä aiheutunutta haittaa voidaan pienentää ja näin parantaa verkon kohtuullista sallittua tuottoa. Tarkoitus on selvittää myös, onko tekninen toteutus taloudellisesti kannattava.

Tutkimuksessa päädyttiin ratkaisuun, jossa verkon tiettyihin pisteisiin lisätään erottavat katkaisijat, jotka toimivat kaukokäytöllä. Tällä menettelyllä päästään eroon resursseja vaativasta puhallusavausmenetelmästä. Verkon käyttötoimenpidetilastojen, käytöstä aiheutuneiden haittojen ja Energiaviraston määritelmien laskentamallien perustella tehtiin laskelmat. Näistä laskelmista voitiin todeta, että esitetty tekninen ratkaisu olisi kannattavaa toteuttaa.

Tutkimuksessa selvitettiin myös teknisen ratkaisun investoinnin hinta ja sen kannattavuus yhtiön näkökulmasta. Tutkimuksessa esitetty tekninen ratkaisu on järkevää toteuttaa myös yhtiön taloudellisesta näkökulmasta katsottuna.

Avainsanat: kohtuullinen sallittu tuotto, käytöstä aiheutunut haitta, erottava katkaisija

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Master's Degree in Technology Competence Management

Author: Jukka Paavola

Title of thesis: Improving reasonable rate of return by technical solutions

Supervisor: Ismo Tupamäki

Year: 2016 Number of pages: 57 Number of appendices: 9

The use of high-voltage distribution network has changed in a few years due to the need to increase energy and wind power network interfaces. That customers would receive energy with little disturbance changes, have to be made to the structure of the electricity network. However, these changes must be for the benefit of the energy transferring company so that a reasonable return on the network would be as good as possible.

Electricity Market Act determine the terms and conditions of network use and the structure changes. Energy authority monitors compliance with the law. Energy authority defines the calculation models for reasonable return on the network. On the basis of the calculation models in the network company annually permitted reasonable return on the network is determined. The level of disadvantage caused by outages has, a large impact on reasonable returns.

The study aimed to clarify how the technical solution level of disadvantage caused by outages could be reduced and thus improve reasonable return on the network. The aim was also to find out whether the technical implementation would be economically viable.

The study reached a solution, where disconnecting a circuit breaker, operated by a remote control, would be added to the network in certain points. With this procedure it was possible to get rid of the blowing method, which require resources. Calculations were made based on the models for the network operation statistics, level of disadvantage caused by outages and calculation models by Energy authority. These calculations showed that the technical solution would be profitable to implement.

The study also investigated the price of the technical solution and its investment policy, the company's profitability point of view. It seems that this investment is the right thing to implement.

Keywords: reasonable return, level of disadvantage caused by outages, disconnecting circuit breaker

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO.....	9
1.1 Työn tausta.....	9
1.2 Työn tavoite.....	9
2 SÄHKÖVERKON TEKNIikka JA TALOUDELLINEN VALVONTA	11
2.1 Sähköverkon rakenne.....	11
2.2 Erotinasema sekä tehoerotin.....	12
2.3 Erottava katkaisija.....	14
2.4 Puhallusavausmenetelmä.....	15
2.5 Verkon käytönvalvontajärjestelmä.....	16
2.6 Lait ja valvonta.....	18
2.6.1 Sähkömarkkinalaki.....	18
2.6.2 Energiavirasto.....	18
2.6.3 Valvontamalli.....	19
2.6.4 Verkon jälleenhankinta-arvon laskenta JHA.....	19
2.6.5 Verkon nykykäyttöarvon laskenta NKA.....	20
3 TUTKIMUSMENETELMÄ.....	22
3.1 Tutkimusmenetelmän valinta.....	22
3.2 Konstruktiivinen tutkimusmenetelmä.....	22
4 VERKON KOHTUULLINEN TUOTTO JA KÄYTÖSTÄ	
AIHEUTUNEET HÄIRIÖT.....	24
4.1 Verkon kohtuullinen tuotto.....	24
4.2 Keskeytyksistä aiheutunut haitta KAH.....	26
5 VERKON KÄYTTÖVARMUUS.....	28
5.1 Sähköverkon käyttötoimenpiteiden muutos.....	28

5.2	Verkon kriittiset pisteet.....	29
5.3	Työturvallisuus.....	30
6	TADOUDELLINEN VAIKUTUS	32
6.1	KAH-laskenta ja muutos	32
6.1.1	KAH-vertailutason määrittäminen	35
6.1.2	KAH-arvon vaikutus verkon kohtuulliseen tuottoon.....	36
6.2	Operatiivisten kustannusten muutos	37
6.3	Verkon arvon muutos.....	38
6.4	Investoinnin kannattavuus verrattuna KAH-arvoon	39
6.5	Verkon jälleenhankinta-arvon kasvun vaikutus verkon kohtuulliseen tuottoon.....	41
7	INVESTOINTI	43
7.1	Hankkeen tekninen määrittely ja hankekuvaus.....	43
7.2	Budjetti.....	46
7.3	Investoinnin kannattavuus	47
7.3.1	Takaisinmaksuajan menetelmä	47
7.3.2	Nykyarvomenetelmä	49
7.3.3	Investoinnin arviointiin liittyvä epävarmuus.....	50
7.4	Investoinnin toteuttaminen ja aikataulu	50
8	JOHTOPÄÄTOKSET	52
	LÄHTEET	54
	LIITTEET	57

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. EPA-verkkoaluekartta	11
Kuva 2. Joupin erotinasema	12
Kuva 3. Hapam-kiertoerottimen periaatepiirros.....	13
Kuva 4. Erottava katkaisija ABB.....	14
Kuva 5. Edellytykset rengasjohdon avaamiselle	16
Kuva 6. Erotinaseman kauko-ohjauskaappi.....	17
Kuva 7. Sähköverkkomalli.....	20
Kuva 8. Konstruktivisen tutkimusotteen keskeiset elementit	23
Kuva 9. Verkon kohtuullisen tuoton laskenta	25
Kuva 10. Sähkötoimituksessa tapahtuneiden keskeytysten aiheuttaman haitan arvostamisessa käytettävät hinnat.....	26
Kuva 11. Piirros puhallusavauksesta	28
Kuva 12. KAH-arvojen kehitys ja muutos.....	35

Käytetyt termit ja lyhenteet

AE/E	110 kV:n jännitetaso
Duck	110 kV:n voimajohdon johdintyyppi
EPA	EPV Alueverkko Oy
EPV	EPV Energia Oy
ERO	Erotin
EV	Energiavirasto
EW1	110 kV:n pääkisko
EW4	110 kV:n apukisko
JHA	Verkon jälleenhankinta-arvo
KAH	Keskeytyksistä aiheutunut haitta
KAT	Katkaisija
kW	Kilowatti
kV	Kilovoltti
Kytkentäkatko	Sähköverkon osa ja/tai asiakasliityntä otetaan tilapäisesti jännitteettömäksi, jotta verkon osan muut käyttötoimenpiteet voidaan suorittaa turvallisesti
MW	Megawatti
NKA	Verkon nykykäyttöarvo vuonna t
Operatiivinen kustannus	Käytöstä ja/tai kunnossapitotoiminnasta aiheutunut kustannus verkon haltijalle
Pitoaika	Verkkokomponenteille määritetty elinikä

Puhallusavaus	Jännitteisen erottimen avaaminen, jossa käytetään valo-kaaren sammuttamiseen paineilmaa
Q0	Katkaisijan tunnus
Q1-Q4	Erottimien tunnuksset
Q9-Q93	Maadoituskytkimien tunnuksset
Rengasverkko	Sähköverkko, joka muodostaa rengasmaisen verkkokoko- konaisuuden, mihin voidaan syöttää ja siirtää sähköener- giaa useammasta eri pisteestä
SF6	Rikkiheksafluoridi (eristekaasu)
SML	Sähkömarkkinalaki
Sustrong	110 kV:n voimajohdon ukkosjohtimen tyyppi
Säteittäisverkko	Sähköverkko, joka siirtää tai saa sähköenergiansa yhden sähköverkon pisteen kautta
T&K-hanke	Tekniikka- ja kehityshanke
Tyhjäkäyvä verkko	Sähköverkon osa, jossa ei ole kuormitusta

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Tutkimus käsittelee mahdollisuutta parantaa EPV Alueverkko Oy:n (EPA) 110 kV:n verkon kohtuullista tuottoa teknisillä ratkaisulla. EPA:n tavoite on siirtää sähköä asiakkailleen tehokkaasti ja kokonaistaloudellisesti. Nyt on kuitenkin herännyt kysymys, miten verkon siirtovarmuutta voitaisiin parantaa? Miten verkon käytettävyyttä voidaan parantaa ja saada verkosta mahdollisimman hyvä taloudellinen tuotto? Muutoksiin liittyvät haasteet ovat kyllä tiedossa, mutta tarkasti niiden taloudellista vaikutusta ei ole tutkittu.

Tulevaisuudessa verkon käyttötilanteet ovat yhä haastavampia johtuen tottumuksista, sillä oletuksena on että sähköä on aina saatavilla. Lisäksi uudet energiatuotannon liittyvät, lähinnä tuulivoima, aiheuttavat verkon käyttöön uusia haasteita. EPA:n tulee vastata näihin haasteisiin niin että oma taloudellinen tulos olisi hyvä. On siis järkevää selvittää miten verkon kohtuullista sallittua tuottoa voidaan parantaa ja millä teknisillä ratkaisulla tämä voidaan toteuttaa.

Energiavirasto on se elin, joka valvoo sähkömarkkinalain noudattamista. Kyseinen virasto on antanut jokaiselle energiayhtiölle valvontapäätöksen. Valvontapäätös pohjautuu sähkömarkkinalakiin, sekä kunkin yhtiön antamiin energia- ja sähköverkkotietoihin. Näiden pohjalta määritellään kullekin yhtiölle verkon kohtuullinen tuotto.

1.2 Työn tavoite

Tarkoituksena on tutkia, miten suuri taloudellinen vaikutus keskeytyksistä aiheutuneilla häiriöillä on. Tiedon perusteella määritetään muutoksien vaikutus verkon kohtuulliseen tuottoon. Sähköverkon rakenteeseen on tehtävä muutoksia, että KAH-arvo (käytöstä aiheutunut haitta) saadaan pysymään mahdollisimman pienenä tulevaisuudessa.

Vanha työmenetelmä erottimen puhallusavaus on poistumassa EPA:n käytöstä. Fingrid Oyj on luopunut siitä jo vuonna 2011 (Fingrid Oyj 2009). Kyseisen työmenetelmän tilalle on myös saatava tekninen ratkaisu, että verkkoa voidaan käyttää häiriöttömästi.

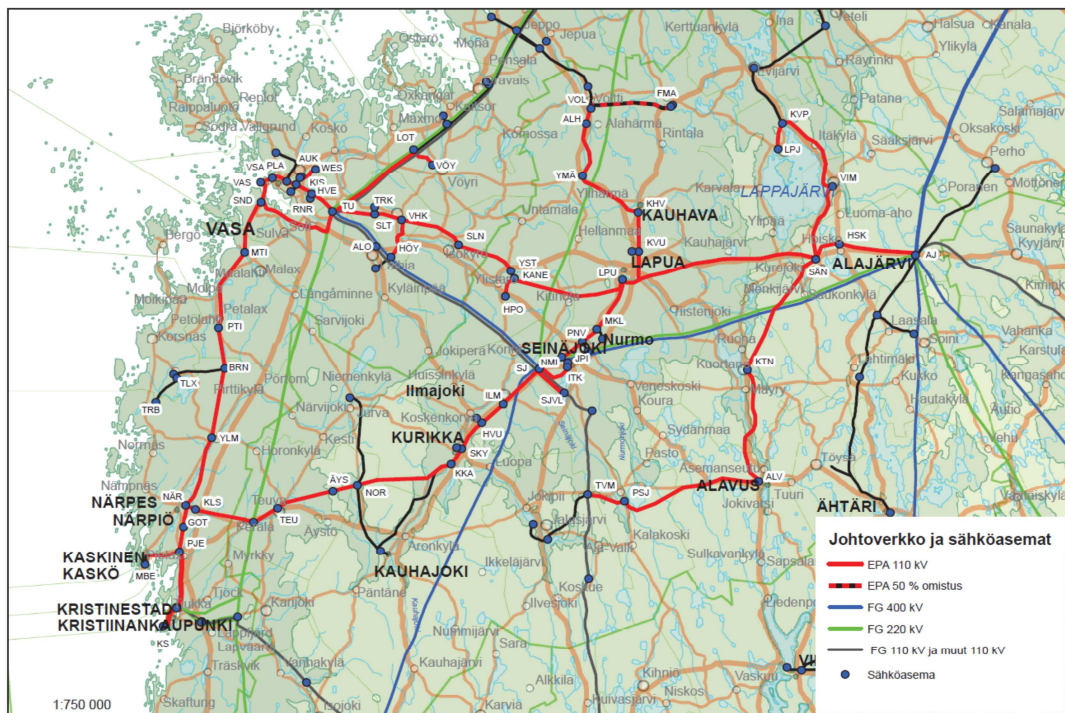
Tavoitteena on selvittää KAH-arvon taloudellinen vaikutus kohtuulliseen tuottoon. Sähköverkkoon selvitetään ja määritellään tekninen ratkaisu, jolla KAH-arvoa voidaan pienentää. Tälle tekniselle ratkaisulle lasketaan budjetti ja verrataan sitä mahdolliseen kohtuullisen tuoton lisääntymiseen. Tällä selviää pystytäänkö investointi kustantamaan kohtuullisen tuoton kasvulla.

2 SÄHKÖVERKON TEKNIikka JA TALOUDELLINEN VALVONTA

2.1 Sähköverkon rakenne

EPA on EPV Energia Oy:n (EPV) konsernin 100 % omistama tytäryhtiö. EPA hallinnoi vanhan Vaasan läänin, Kemin, Tornion ja Kokkolan alueella noin 730 km 110 kV:n suurjännitteistä jakeluverkkoa. Suurimpina asiakkaina ovat alueelliset jakeluverkkoyhtiöt, tuotantolaitokset ja teollisuus. Vuotuinen sähkönsiirto EPA:n verkossa on 6900 GWh ja maksimi tunnin huippukulutus on parhaimmillaan 1200 MWh/h. (EPA 2014.)

EPA:n hallinnoimaa 110 kV:n verkkoa nimitetään suurjännitteiseksi jakeluverkoksi. Fingrid Oyj:n verkko on kantaverkko. Lisäksi on jakeluverkkoyhtiöitä, joiden hallinnassa on 110 kV:n verkkoa. Näitä ovat esimerkiksi Caruna ja Elenia. Oheisessa kuvassa 1 näkyy EPA:n verkkoaluekartta. Siinä näkyy myös muiden yhtiöiden verkko ja jännitetasot.



Kuva 1. EPA-verkkoaluekartta (EPA 2014)

Siirtoverkko on rakennettu rengasverkoksi, jota käytetään osittain myös säteittäisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että verkkoa voidaan jakaa osiin niin että asiakkaille ei tule sähkönjakelukeskeytyksiä. Verkko on kuitenkin laaja, ja ongelmallisia paikkoja ovat pidemmät johto-osuudet, joissa siirretään suuria määriä energiaa. Näitä sähköverkkojen osuuksia ei voida erottimilla erottaa tai katkaista, mikäli kuormitus on liian suuri. Tällaisia tilanteita varten on olemassa kaksi vaihtoehtoa, joko jännitekatko tai puhallusavaus. Puhallusavauksessa paineilmaa apuna käyttäen sammutetaan erottimen avauksen yhteydessä syntyvä valokaari. Tämä jälkimmäinen menetelmä on kuitenkin paljon resursseja vaativa, ja siinä on suuria työturvallisuusriskejä, joten siitä tullaan luopumaan lähivuosina.

2.2 Erotinasema sekä tehoerotin

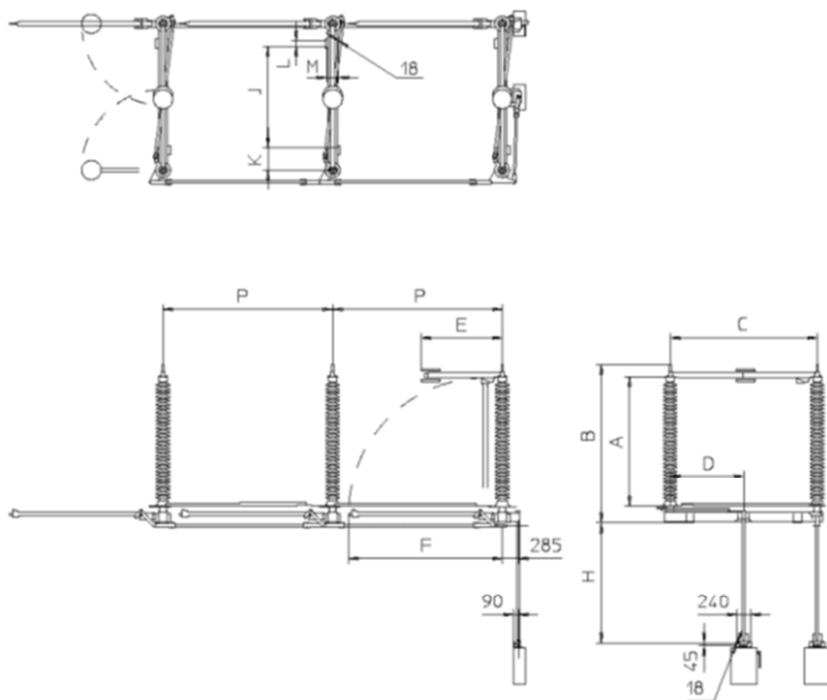
EPA:n verkossa on tällä hetkellä 37 erotinasemaa, joissa kussakin on vähintään kaksi 110 kV:n kiertoerotinta. (EPA 2014.) Erotinasema rakennetaan yleensä jonkin 110 kV:n haarajohdon tai sähköaseman liityntäpisteeseen.



Kuva 2. Joupin erotinasema
(EPV 2015a)

Tehoerotin on rakenteeltaan samanlainen kuin normaali kiertoerotin, mutta erotusväliin (kuva 3, mitta C) on lisätty jousikuormitteiset erotuspiiskat. Erottimen avaus-tilanteessa nämä piiskat pysyvät toisissaan kiinni avausliikkeen loppuun saakka, kunnes jousikuorma repäisee piiskat erilleen. Kun tämä liike on riittävän nopea, erotusväliin ei synny suurta valokaarta ja se sammuu nopeasti. Tämä sama tekniikka on yleisesti käytössä 20 kV:n verkon erottimissa (Rajala 2015.)

Tehoerottimella on kuitenkin rajallinen virrankatkaisukyky. Erotin soveltuu parhaiten säteittäisen kuormittamattoman (tyhjäkäyvän) verkon erottamiseen. Varsinaista tehonkatkaisukykyä ei erottimella ole (Rajala 2015.)

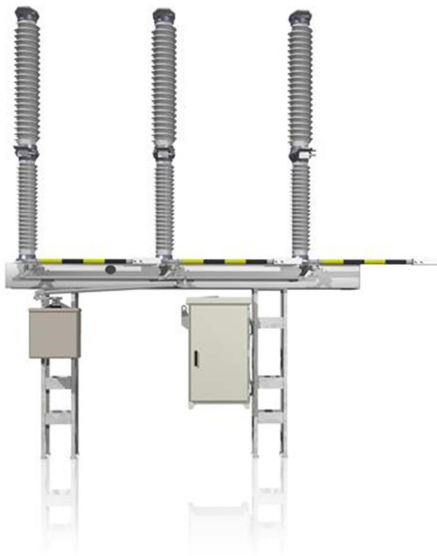


Kuva 3. Hapam-kiertoerottimen periaatepiirros (Hapam 2015)

Kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj asennutti viisi kappaletta tehoerottimia verkkoonsa T&K-hankkeena vuonna 2010 (Fingrid Oyj 2009). Nyt noin viiden vuoden käyttökokemuksien perusteella tehoerottimista ei ole saatu riittävää hyötyä irti, koska niiden tehon katkaisukyky on rajallinen, lisäksi laitteissa on ollut paljon mekaanisia ongelmia (Lehtonen 2015).

2.3 Erottava katkaisija

Erottava katkaisija sisältää nimensä mukaan erottimen ja katkaisijan. Katkaisijan katkaisupäässä tapahtuva erotusväli pystytään lukitsemaan auki-asentoon. Tämä tekniikka korvaa perinteisen erottimen. Lisäksi katkaisijassa on maadoituskytkin, jonka avulla jännitteetön voimajohto voidaan maadoittaa työturvallisuuden varmistamiseksi. Erottava katkaisija on SF6-tyypin katkaisija, eli valokaarta eristävänä aineena toimii SF6-kaasu (ABB Oy 2015.)



Kuva 4. Erottava katkaisija ABB
(ABB Oy 2015)

Erottavalla katkaisijalla pyritään säästämään kustannuksia ja asennustilaa. Tilaa voidaan säästää jopa 75 % verrattuna normaaliin kytkinkenttärakenteeseen, missä käytetään tavallisia erottimia, sekä katkaisijaa. Lisäksi elinkaarikustannuksissa voidaan säästää merkittävästi (ABB Oy 2015).

Katkaisija on tarkoitettu sähkötehon katkaisemiseen. Sen katkaisukyky riippuu laitteelle määritellyistä mitoitusarvoista. Yleisesti Suomen 110 kV:n sähköverkossa olevien katkaisijoiden katkaisukyky liikkuu 31,5–80 kA:n välillä. (Rajala 2015.)

Tässä opinnäytetyössä ongelmakohtien tekniseksi ratkaisuksi on valittu erottava katkaisija. Katkaisijoiden oikealla sijoittelulla pyritään pienentämään KAH:n vaikutusta verkon kohtuulliseen tuottoon.

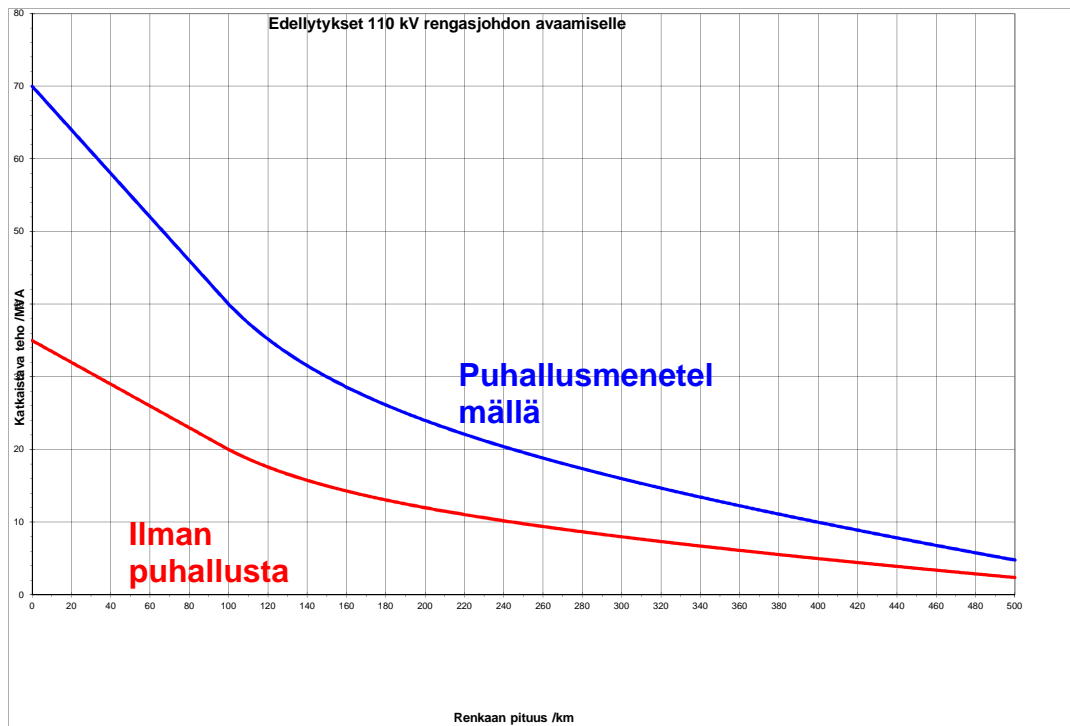
2.4 Puhallusavausmenetelmä

Erottimen puhallusavaus sähköverkon käyttötoimenpiteenä on edelleen käytössä EPA:lla ja muutamilla muillakin verkkoyhtiöillä. Käyttötoimenpiteestä ollaan kuitenkin luopumassa, koska toimenpide sitoo merkittävästi resursseja ja toimenpiteeseen sisältyy paljon työturvallisuusriskejä. Tilastollisesti ei yhtäkään työtaturmaa kyseisen toimenpiteenaikana ole kuitenkaan tapahtunut. Työturvallisuusseikkojen pohjalta kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj luopui menetelmästä vuoden 2011 lopussa. (Fingrid Oyj 2009.) EPA:n verkossa puhallusavauksia toteutetaan vuosittain noin 6–13 kappaletta. Määrä riippuu paljon kunkin verkko-osan käyttötoimenpidetarpeista vuosittain (Saarela 2015a).

Erottimen puhallusavauksella pystytään rengas- tai säteittäisverkon tietty verkkopiste erottamaan jännitteisenä, mikäli kyseisen verkkopisteen yli siirtyvä teho ei ole liian suuri (Rajala 23.11.2015). Oheisessa kaaviossa (kuva 5) on esitetty kuinka suuria tehoja ja johtopituuksia voidaan puhallusavauksella erottaa. (EPV 2015b.)

Säteittäisen kuormittamattoman verkonosan voi avata puhallusmenetelmällä, mikäli erotettavan pisteen ja säteittäisen verkon päätepisteen välinen etäisyys on alle 50 km. Ilman puhallusavausta sama toimenpide voidaan toteuttaa mikäli erotettavan pisteen ja säteittäisen verkon päätepisteen välinen etäisyys on alle seitsemän kilometriä (Rajala 2015.)

Puhallusavauksessa kytkentätoimenpiteen suorittajia tarvitaan neljä. Yksi heistä toimii varsinaisena kytkinlaitteen ohjaajana ja muut henkilöt toimivat paineilmasauvojen käsittelijöinä. Käyttötoimenpidetilanteessa paineilmasauvojen kautta kohdistetaan erottimen avausvälissä palavaan valokaareen 20 baarin ilmanpaine, jolloin valokaari sammuu. Kytkinlaitteen ohjaaja avaa käyttötoimenpiteessä erottimen sekä paineilmaventtiilin, joka vapauttaa paineilman sauvoihin.



Kuva 5. Edellytykset rengasjohdon avaamiselle (EPV 2015b)

2.5 Verkon käytönvalvontajärjestelmä

Sähköverkkoa valvotaan ja käytetään keskitetystä valvomosta käytönvalvontajärjestelmällä. EPV:llä käytönvalvontajärjestelmänä on Spectrum Power 4. Keskitetty valvomo toimii Porvoossa. Verkon valvontapalvelut tuottaa EPV:lle Empower IM Oy.

EPV:n verkon laitteista lähes 80 % toimii jo valvomosta käsin kauko-ohjauksella. Kohteet jotka eivät ole kauko-ohjattavia, näkyvät kyllä käytönvalvontajärjestelmässä, mutta niillä olevien toimilaitteiden tila päivitetään manuaalisesti valvomosta käsin aina verkostokytkenän yhteydessä. (Saarela 2015.)

Empower PN Oy toteutti vuonna 2007 EPV:lle projektin, jossa erotinasemille suunniteltiin ja toteutettiin mahdollisimman yksinkertainen kauko-ohjausjärjestelmä. Signaalien lähettäminen ja vastaanottaminen toteutettiin aluksi GSM-järjestelmällä, ja myöhemmin GPRS-järjestelmällä. 20 kV:n verkoissa on käytössä radiolinkkitekniikkaa, mutta kyseinen tekniikka on hiukan vanhanaikaista ja ei sovellu suurien tietomäärien siirtoon. (Saarela 2015b.)

Tämä erotinaseman kauko-ohjausyksikkö sisältää seuraavat komponentit:

1. Tehomoduuli 110 VDC
2. Akusto 110 VDC/9 Ah
3. Binääri INPUT/OUTPUT -moduulit
4. Akuston laturi
5. Viola GPRS-laite
6. MIC-ohjausyksikkö
7. Tarvittavat releet ja riviliittimet
8. Laitekaappi.



Kuva 6. Erotinaseman kauko-ohjauskaappi (EPV 2015c)

2.6 Lait ja valvonta

Sähkö, energia, ja maakaasumarkkinoita varten on määritelty eduskunnassa lait, joiden pohjalta kyseiset markkinat toimivat. Näitä lakeja valvoo Energiavirasto.

2.6.1 Sähkömarkkinalaki

Sähkömarkkinalaissa on säädetty, että lailla on tarkoitus valvoa ja varmistaa sähkömarkkinoiden toimivuutta, toimintavarmuutta, kilpailukykyistä hintaa ja kohtuullisia palveluperiaatteita loppuasiakkaalle. Energiavirasto valvoo lain noudattamista. (Sähkömarkkinalaki 588/2013, 1§, 106§.)

Sähkömarkkinalaki velvoittaa verkkoyhtiön kehittämään verkon toimintaa, sekä on määritellyt sähkönjakeluista aiheutuneiden häiriöiden korvaamisen loppuasiakkaalle verkon haltijan toimesta. Kehittämissuunnitelmat on esitettävä Energiavirastolle. (Sähkömarkkinalaki 588/2013, 52§.) Tämän tutkimuksen pohjalta verkkoa kehitetään ja pyritään minimoimaan häiriöitä.

2.6.2 Energiavirasto

Energiavirasto on työ- ja elinkeinoministeriön hallinnon alla toimiva asiantuntijavirasto, jonka tarkoituksena on valvoa ja edistää energiamarkkinoita mm. edistämällä uusiutuvan energian käyttöä, energiatehokkuutta ja päästöjen vähentämistä. Energiavirasto myöntää sähköverkkoluvat verkkoyhtiöille, koska sähköverkkotoiminta on monopolitoimintaa. (Energiavirasto 2015b.)

Energiamarkkinavirasto aloitti toimintansa vuonna 1995 sähkömarkkinakeskukseksi, jolloin sähkömarkkinalaki astui voimaan. Vuonna 2004 viraston tehtävät lisäntyivät päästökauppalaan astuttua voimaan. Vuonna 2011 tehtäviä tuli jälleen lisää, kun uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotukijärjestelmä tuli viraston vastuulle. Vuonna 2014 energiatehokkuuden ja uusiutuvan energian edistämistehtäviä siirtyi ministeriöstä virastolle. Lisäksi nimi muuttui vuonna 2014 Energiavirastoksi. (Energiavirasto 2015b.)

2.6.3 Valvontamalli

Energiavirasto antoi vuoden 2004 lopulla päätöksen, jonka nojalla kaikkien sähköverkonhaltioiden tulee noudattaa heidän määrittämiä menetelmiä sähköverkkotoiminnan tuoton ja siirtopalveluista perittävien maksujen määrittämiseksi. Tämä ensimmäinen valvontajakso kesti vuoden 2005 alusta vuoden 2007 loppuun. (Energiavirasto 2015a.) Valvontajaksot koostuvat nykyään neljän vuoden sykleistä.

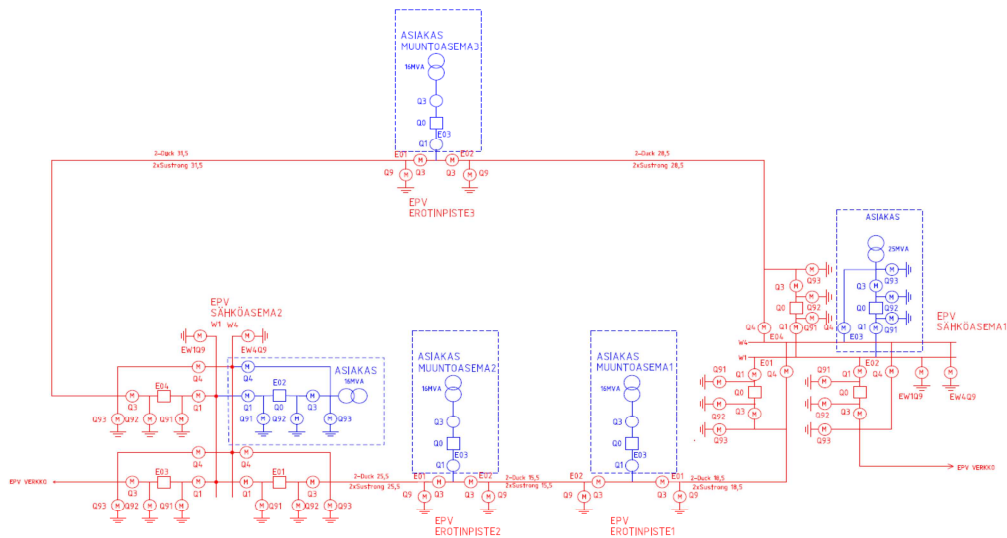
Valvontamalli kostuu useista eri valvontamenetelmistä joiden kokonaisuudesta koostuu periaatteet verkkoliiketoiminnan kohtuullisen tuoton valvontaan (Energiavirasto 2015d).

Jokaiselle verkkoluvan omaavalle verkkoyhtiölle annetaan valvontapäätös, joka pohjautuu edellä mainittuihin suuntaviivoihin.

2.6.4 Verkon jälleenhankinta-arvon laskenta JHA

Sähköverkon komponenteille on määritelty yksikköhinnat (Liite 1). Hinnat perustuvat energiaviraston Empower Oy:llä teettämään yksikköhintojen määrittelyä koskevaan selvitykseen. Selvitys on toteutettu vuonna 2010. Yksikköhintoja korjataan nykyiseen rahantarvoon rakennuskustannusindeksin (1995=100) perusteella. (Energiavirasto 2015b.) Rakennuskustannusindeksi kuvaa keskeisiltä rakenneominaisuuksiltaan samankaltaisten rakennustöiden ja rakennusten rakennuskustannusten suhteellista muutosta rakentamisessa käytettyjen peruspanosten hintakehityksen avulla (Tilastokeskus 2016).

Verkon arvon määrittelyssä käytetään hypoteettista esimerkkimallia sähköverkon osasta, joka kuvaa rengasmaista sähköverkkoa EPV:n verkkoalueella. Koko verkkoa ei ole järkevää lähteä tässä vertailussa esittämään, sillä se on hyvin laaja, ja osa tiedoista on salaisia.



Kuva 7. Sähköverkkomalli (EPV 2015d)

Kuten liitteessä 1 olevasta yksikköhintalaskelmasta havaitaan esimerkkiverkon arvoksi tulee 22 319 035 €. Kyseinen arvo on laskettu uusilla verkon yksikköhinnoilla. Seuraavaksi on määriteltävä verkon nykykäyttöarvo.

2.6.5 Verkon nykykäyttöarvon laskenta NKA

Nykykäyttöarvon laskennalla pyritään laskemaan sähköverkkokomponenttien sen hetkinen arvo. Verkon nykykäyttöarvo lasketaan aina kunkin valvontajakson (neljä vuotta) jokaisen vuoden tammikuun vastaavana arvona. (Energiavirasto 2011.)

Valvontapäätöksen kohdassa 3.1.1.2 on esitetty seuraavalla laskentakaavalla, miten NKA lasketaan:

$$NKA_{t,i} = \left(1 - \frac{\text{keski-ikä } t,i}{\text{pitoaika } i}\right) \times JHA_{t,i} \quad (1)$$

missä

$NKA_{t,i}$ verkkokomponentin i kaikkien komponenttien nykykäyttöarvo vuonna t vuoden t rahan arvossa.

$JHA_{t,i}$ verkkokomponenttien i kaikkien komponenttien yhteenlaskettu jälleenhankinta-arvo vuonna t vuoden t rahan arvossa.

$pitoaika_i$ verkkokomponentin i pitoaika. Pitoajalla tarkoitetaan sitä aikaa, jonka verkkokomponentti todellisuudessa on toiminnallisessa käytössä ennen sen uusimista eli teknistaloudellista valvontamenetelmissä käytettyä pitoaikaa.

$keski - ikä_{t,i}$ verkkokomponentin i määrätiedolla painotettu ikätieto vuoden t alussa.

Liitteessä 2 on esitetty esimerkkiverkon nykykäyttöarvo. Arvo on laskettu edellä mainitulla kaavalla. Verkon nykykäyttöarvoksi tulee 12 764 357 € hypoteettisilla pitoajoilla. Laskennassa käytetään verkkokomponenttien keski-ikää.

Kun nykykäyttöarvo lähenee nollaa, on kyseinen verkkokomponentti uusittava, sillä komponentille ei voida laskea enää verkon kohtuullista tuottoa.

JHA:n ja NKA:n laskenta otettiin tässä esille havainnollistamaan, millaisessa mitakaavassa sähköverkon arvoa lasketaan, ja millainen vaikutus sen arvoon on erilaisilla pitoajoilla.

3 TUTKIMUSMENETELMÄ

3.1 Tutkimusmenetelmän valinta

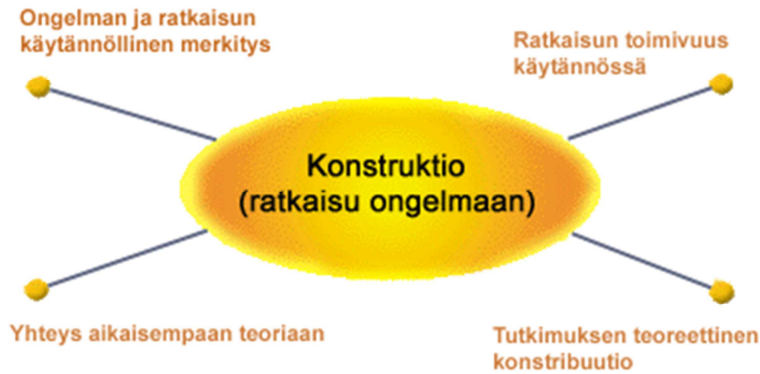
Tässä työssä tutkimusmenetelmänä käytetään konstruktiivista tutkimusmenetelmää. Valinta perustuu opinnäytetyössä ilmenevään todelliseen ongelmaan, johon pyritään hakemaan ratkaisua. Lisäksi saatua ratkaisumallia tutkitaan eri näkökulmista erityisesti sen toteutuskelpoisuutta.

3.2 Konstruktiivinen tutkimusmenetelmä

Konstruktiivisessa tutkimusmenetelmässä pyritään ratkaisemaan reaali maailman jokin ongelma, on kyseessä sitten tietojärjestelmä, teknologia tai vaikka toimintamalli. Tämä saatu ratkaisu on konstruktio jota hyödynnetään ongelman ratkaisuun. (Lukka 2001.)

Konstruktiivisen tutkimuksen piirteitä ovat:

- pohjalla on todellinen ongelma, johon haetaan ratkaisua
- tavoitteena on tuottaa innovatiivinen konstruktio, jolla voidaan ratkaista ongelma, sekä myös testata se.
- vaatii tutkijan ja käytännön henkilöiden tiivistä yhteistyötä
- tutkimus kytketään jo olemassa olevaan teoreettiseen tietämykseen
- siirretään saadut empiiriset tiedot takaisin teoriaan. (Lukka 2001.)



Kuva 8. Konstruktiiivisen tutkimusotteen keskeiset elementit (Lukka 2001)

Konstruktiiivisen tutkimuksen ideaalinen tulos on se, että tutkimuksesta saatu ratkaisu (konstruktio) tuottaa suuren kontribuution teorian ja käytännön välille. Välttämättä saatu ratkaisu ei ratkaise koko ongelmaa, mutta sillä voi olla suuri teoreettinen merkitys. (Lukka 2001.)

Tässä työssä on ongelmana miten verkon kohtuullista tuottoa voidaan parantaa. Tietoja, jota hyödynnetään ratkaisun löytämiseen ovat mm. yhtiön talous- ja energialuvut, Energiaviraston määrittämät laskentamallit, investointien kustannukset, sekä investointien kannattavuuslaskennat. Koska ongelma on todellinen, ja teoreettista tietoa ongelman ratkaisemiseen on saatavilla, on tässä järkevää käyttää konstruktiiivista tutkimusmenetelmää.

4 VERKON KOHTUULLINEN TUOTTO JA KÄYTÖSTÄ AIHEUTUNEET HÄIRIÖT

Opinnäytetyössä puhutaan useaan otteeseen verkon kohtuullisesta tuotosta ja käytöstä aiheutuneista häiriöistä. Näillä termeillä on merkittävä vaikutus verkkoyhtiön toimintaan ja taloudelliseen tulokseen. Opinnäytetyöstä saadulla ratkaisulla pyritään vaikuttamaan korottavasti yhtiön taloudelliseen tulokseen, sekä parantamaan työturvallisuus seikkoja.

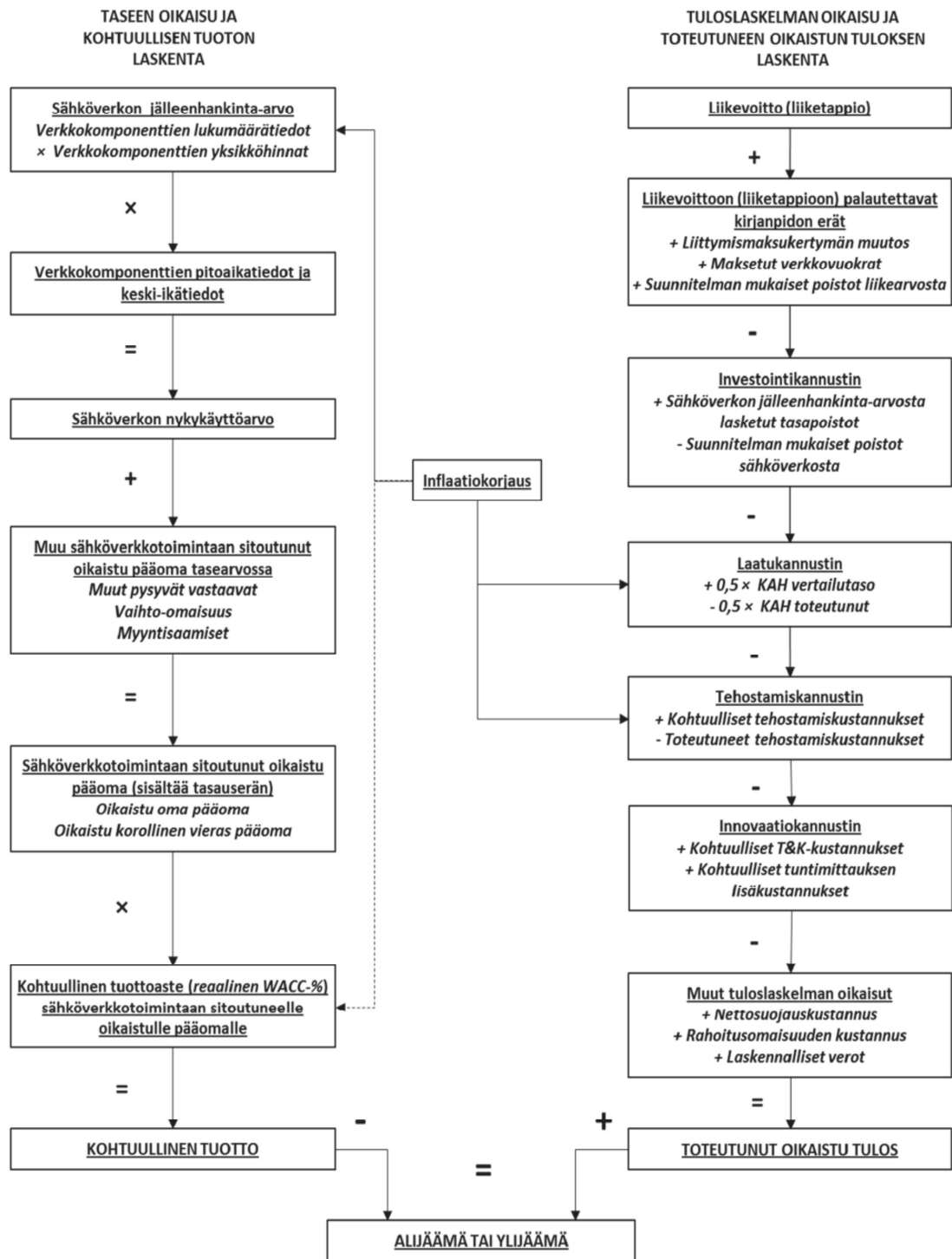
4.1 Verkon kohtuullinen tuotto

Verkon kohtuullinen tuotto on laskennallinen arvo, joka määrittää verkolle sallitun tuottoaseen, jota verrataan lopullisessa laskennassa yhtiön toteutuneeseen oikaistun tulokseen (Energiavirasto 2015d, 63).

Kohtuulliselle tuotolle annettu määritelmä on verkonhaltijan verkkotoiminnan valvontamenetelmien mukainen yhteisö verojen jälkeinen laskennallinen euromääräinen enimmäistuotto. Tämä laskentaperiaate on esitetty Energiaviraston antamassa dokumentissa 945/430/2010 luvussa viisi. Kohtuullisen tuoton laskentaa varten Energiavirastolla on verkossa oma järjestelmä, johon tarvittavat tiedot syötetään vuosittain. (Energiavirasto 2015d, 70.)

Kohtuullisen tuoton laskenta pitää sisällään muun muassa luvussa 2 mainitun verkon jälleenhankinta-arvon ja nykykäyttöarvon. Lisäksi laskennassa on mukana verkkoyhtiön taloudelliset luvut ja erilaisia kannustimia, jotka energiavirasto on määritellyt.

Verkon kohtuullisen tuoton, toteutuneen oikaistun tuloksen ja yli- tai alijäämän laskennan rakennetta voidaan esittää kuvassa 9 esitetyllä kaaviolla.



Kuva 9. Verkon kohtuullisen tuoton laskenta
(Energiavirasto 2011)

Mikäli kohtuullinen tuotto on suurempi kuin toteutunut oikaistu tulos, tällöin ollaan alituotolla. Verkkoyhtiö olisi voinut ansaita enemmän tuloja energian siirrosta. Mikäli toteutunut oikaistu tulos on suurempi kuin laskettu kohtuullinen tuotto, ollaan

taas ylituotolla, jolloin verkkoyhtiö on ansainnut liikaa energiansiirrolla. (Energia-
virasto 2015d, 66–67.)

Kohtuullisen tuoton, toteutuneen oikaistun tuloksen ja yli- tai alijäämän määrä ote-
taan huomioon kokonaisuudessa valvontajakson aikana, joka kestää aina neljä
vuotta. Mikäli kaksi valvontajaksoa peräkkäin (2008–2011 ja 2012–2015) ovat yli-
jäämäisiä koko jakson ajalta, joutuu verkkoyhtiö maksamaan asiakkailleen palau-
tuksia maksetusta energiasta ylijäämän osalta. Lisäksi yhtiö voi joutua maksa-
maan korkoa, mikäli ylijäämä on yli 5 % kohtuullisen tuoton laskennan osoittamas-
ta tuloksesta. Mikäli tulos on alijäämäinen valvontajakson tai jaksojen aikana, on
verkkoyhtiöllä mahdollisuus tarkistaa siirtohinnoitteluaan seuraavalle valvontajak-
solle. (Energia-
virasto 2011d, 66–67.)

4.2 Keskeytyksistä aiheutunut haitta KAH

Keskeytyksistä aiheutuneella haitalla tarkoitetaan yksinkertaisesti asiakkaalle toi-
mittamatta jääneen energian määrää kWh-arvossa, kappalemäärissä ja ajassa.
Nämä haittojen määrät ilmoitetaan vuosittain Energiavirastolle odottamattomien ja
suunniteltujen keskeytysten lukumääränä ja kestoajana (Energia-
virasto 2015d,
44).

Keskeytyksistä aiheutuneen haitan arvo on määritelty sähkön jakeluverkkotoimin-
nan ja suurjännitteisen jakeluverkkotoiminnan hinnoittelun kohtuullisuuden valvon-
tamenetelmien suuntaviivat vuosille 2012–2015 dokumentissa.

Odottamaton keskeytys		Suunniteltu keskeytys		Aikajälle- kytkentä	Pikajälle- kytkentä
$h_{E,odott}$	$h_{W,odott}$	$h_{E,suun}$	$h_{W,suunn}$	h_{AJK}	h_{PKK}
€/kWh	€/kW	€/kWh	€/kW	€/kW	€/kW
11,0	1,1	6,8	0,5	1,1	0,55

Kuva 10. Sähkötoimituksessa tapahtuneiden keskeytysten aiheuttaman haitan
arvostamisessa käytettävät hinnat
(Energia-
virasto 2011)

Suurjännitteisen jakeluverkon haltija käyttää laskennassa seuraavia arvoja:

$h_{E,odott}$ = Odottamattomista keskeytyksistä asiakkaalle aiheutuneen haitan hinta vuoden 2005 rahan arvossa, euroa/kilowattitunti

$h_{W,odott}$ = Odottamattomista keskeytyksistä asiakkaalle aiheutuneen haitan hinta vuoden 2005 rahan arvossa, euroa/kilowatti

$h_{E,suun}$ = Suunnitelluista keskeytyksistä asiakkaalle aiheutuneen haitan hinta vuoden 2005 rahan arvossa, euroa/kilowattitunti. (Energiavirasto 2015d, 44–45.)

Käytöstä aiheutunut haitta on energiaviraston valvontamallissa laatukannustimena. Käytöstä aiheutuneille haitoille on määritelty vertailutaso edeltävien vuosien valvontajakson (2005–2010) perusteella. Kyseisen valvontajakson keskeytyskustannuksista on laskettu keskiarvo, joka toimii vertailuarvona. Tämän vertailuarvon tarkoituksen on eliminoida asiakkaalle luovutetun energian vuosivaihtelujen vaikutus keskeytyskustannusten vertailuarvoon. Tämä vertailuarvo on tarpeellinen, koska luovutettu energiamäärä saattaa vaihdella paljonkin vuosittain. (Energiavirasto 2011d, 47–48.) Varsinaiseen KAH-arvon laskentaan perehdytään luvussa viisi.

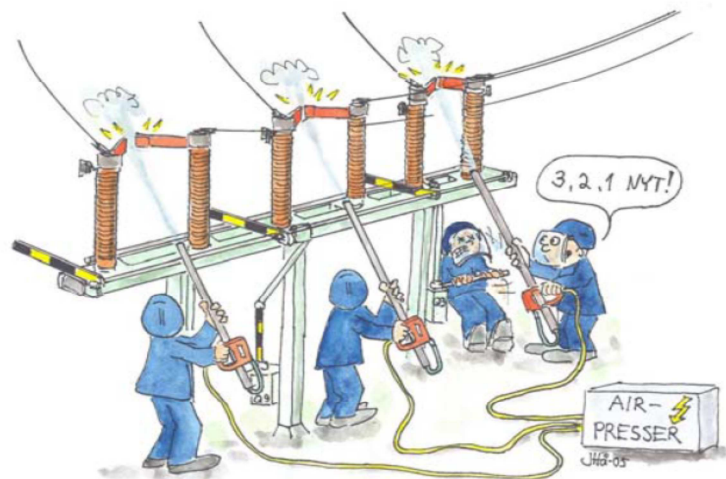
5 VERKON KÄYTTÖVARMUUS

Sähkön tarve on kasvanut entisestään ja sen saatavuutta pidetään itsestäänselvyytenä. Sähköverkkojen operaattoreiden on vastattava tähän haasteeseen. Käyttötoimenpiteiden muutokset, uudet asiakkaat ja verkon muuttuva kuormitustilanne vaikuttaa verkon käyttövarmuuteen.

EPA:n on tarkoitus selvittää verkon kriittiset pisteet, joissa on tarpeellista tehdä teknisiä muutoksia käyttövarmuuden parantamiseksi. Näillä parannuksilla pyritään pienentämään KAH-arvon vaikutusta verkon kohtuulliseen tuottoon.

5.1 Sähköverkon käyttötoimenpiteiden muutos

EPA luopuu puhallusavausmenetelmästä verkon käyttötoimenpiteiden osalta mahdollisimman nopeasti, johtuen työmenetelmän riskeistä ja resurssien sitovuudesta. Tietyissä verkon pisteissä ei kyseistä menetelmää voida käyttää lainkaan maaston haastavuuden tai toimilaitteiden (erottimen) sijainnista johtuen. Erotin ei saa olla ylempänä kuin seitsemän metriä maanpinnasta, jotta puhallus voidaan suorittaa turvallisesti (Fingrid Oyj 2007).



Kuva 11. Piirros puhallusavauksesta
(Tekninen ohje 31304 2006)

Kun tästä puhallusmenetelmästä luovutaan, täytyy kyseisissä verkon osissa tehtävät käyttötoimenpiteet toteuttaa kytkentäkatkojen kautta. Tästä on seurauksena asiakkaille jännitekatko tai -katkoja. Niiden pituus riippuu kytkentätoimenpiteen laajuudesta. Ajallisesti ne voivat kestää noin 15 minuutista pahimmassa tapauksessa tuntiin. (Saarela 2015.)

Kun kytkentäkatkoja joudutaan toteuttamaan, vaikuttaa se asiakkaille toimitetun energian määrään ja sen seurauksena KAH-arvoon korottavasti, mikä taas alentaa verkkoyhtiön kohtuullista tuottoa. Lyhytkin sähkönsiirtokeskeytys korottaa KAH-arvoa jo merkittävästi.

5.2 Verkon kriittiset pisteet

EPA teki selvityksen verkon kriittisistä erotinpisteistä loppuvuodesta 2014 yhdessä verkon käytönasiantuntijan Juha Saarelan, sekä sähköverkon suojausasiantuntijan Petri Kosken kanssa. Kriittisimpien alueiden havaittiin olevan rannikolla. Sisämaassa oli myös tiettyjä yksittäisiä kriittisiä erotinpisteitä. (Saarela & Koski 2014).

Kyseisissä verkon pisteissä on suuri kuormitus. Näissä pisteissä on pääsääntöisesti asiakkaan oma sähköasema, josta jaetaan sähköä taas heidän omaan verkkoonsa. Lisäksi näissä pisteissä on tehonsiirto niin suuri, että joudutaan tekemään puhallusavauksia ja kytkentäkatkoja.

Kriittisistä verkon pisteistä laadittiin taulukko mikä on esitetty liitteessä 3. Taulukoon kirjattiin kyseisen erotinpisteen nimi, laite, laitteen tunnus, luokka ja huomautus/syy, miksi juuri kyseisen erottimen käyttötoimenpide aiheuttaa ongelmia sähköverkossa.

Taulukoon on tehty luokittelu kustakin erotinpisteestä. Kriittiset pisteet on luokiteltu numerolla. Numerolla yksi oleville erotinpisteille on tehtävä muutokset ensimmäisessä vaiheessa, kun puhallusmenetelmästä luovutaan. Numerolla kaksi on vähemmän kriittiset erotinpisteet, niihin tehdään muutokset seuraavassa vaiheessa, kun luokan yksi erotinpisteet on muutettu. Numero kolmen erotinpisteet ovat ei-kriittisiä erotinpisteitä. Näitä erotinpisteitä harkitaan erikseen tapauskohtaisesti sen jälkeen, kun luokan yksi ja kaksi erotinpisteet on toteutettu.

Mikäli myöhemmässä vaiheessa tutkimusta todetaan erottavien katkaisijoiden sijoittelu taloudellisesti kannattavaksi, viedään hanketta eteenpäin vuoden 2016 aikana. Tavoite on, että luokan yksi erotinpisteet olisivat uudelleen rakennettu vuoden 2018 loppuun mennessä.

5.3 Työturvallisuus

Yleisen sähkötyöturvallisuuden edistämiseen ja valvontaan on laadittu useita säädöksiä ja lakeja. Ammattitaitovaatimukset tulevat mm. sähköturvallisuuslaista. Kauppa- ja Teollisuusministeriön päätös sähköalan töistä KTMP 516 määrittää koulutus- ja opastusveloitteet. Sähköturvallisuusstandardi SFS 6002 antaa ohjeet sekä määräykset turvalliseen työskentelyyn suurjännitelaitteistoissa. Sähkötyöturvallisuus SÄTKY 6002 antaa ohjeet sekä teoreettisen koulutuksen turvalliseen työskentelyyn suurjännitetöissä. (Energiateollisuus ry 2009.)

Verkon käyttötoimenpiteitä suorittavalla henkilöllä tulee olla riittävä koulutus ja perehdytys käyttötoimenpiteiden suorittamiseen. Hänellä tulee olla voimassa lakisääteiset koulutukset, hänen tulee tuntea verkonhaltian erilliset ohjeet. Lisäksi hänellä pitää olla riittävä perehdytys työn suorittamiseen. (Rajala 2015.)

Puhallusmenetelmään käyttötoimenpiteenä sisältyy riskejä kuten esimerkiksi oikosulun vaara, sähköiskun vaara ja valokaaresta johtuvien laitteiden rikkoontuminen. Mikäli puhallusavauksen yhteydessä tapahtuu sähköisku tai toimilaitte rikkoontuu on tapaturman vaarassa jopa kaikki neljä henkilöä, jotka ovat työtä suorittamassa. (Lehtonen 2015.)

Vuonna 2007 tapahtui vaaratilanne puhallusavauksenyhteydessä, missä avatun erottimen valokaari osui läheisen pylvään rakenteisiin ja aiheutti oikosulun. Henkilövahingoilta kuitenkin vältyttiin. Lisäksi on tapahtunut useita vaaratilanteita puhallusavauksien yhteydessä, missä paineilma-venttiili tai painepullon venttiili on jäänyt avaamatta. Tällöin puhallussauvoista ei ole tullut paineilmaa ja valokaari on jäänyt palamaan. (Lehtonen 2015.)

Näiden läheltä piti-tapausten perusteella Fingrid Oyj tarkensi omaa teknistä 31304-ohjettaan puhallusavausten osalta. Myöhemmin Fingrid luopui kokonaan puhallusavauksista. (Fingrid Oyj 2006.) Sama muutos koskee nyt myös EPA:a.

6 TADOUELLINEN VAIKUTUS

Käyttötoimenpiteiden muutos vaikuttaa verkon kohtuulliseen tuottoon alentavasti, sillä KAH-arvo tulee nousemaan merkittävästi. Tämä arvon korotus johtuu suunniteltujen keskeytysten asiakkaalle aiheutuneen haitan määrän kasvusta.

Taloudelliset vaikutukset vuositasolla ovat tällä hetkellä noin 300–800 t€ riippuen odottamattomien keskeytysten pituuksista ja määristä. Kun tilanne nyt muuttuu, tämä kustannus tulee nousemaan merkittävästi.

Verkon jälleenhankinta-arvo kasvaa uusinvestointien myötä. Jälleenhankinta-arvo vaikuttaa merkittävästi verkon kohtuulliseen tuottoon, joten on syytä tarkastella muutoksen vaikutusta.

Seuraavaksi pyritään laskennallisesti osoittamaan kulujen kasvu, sekä todentamaan onko erottavien katkaisijoiden oikea sijoittelu verkkoon kannattavaa toteuttaa. Lisäksi selvitetään miten operatiiviset kustannukset tulevat muuttumaan, sekä miten kyseisellä muutoksella voidaan vaikuttaa verkon jälleenhankinta-arvoon.

6.1 KAH-laskenta ja muutos

KAH-arvon laskentaan on määritelty kaava Energiaviraston antamissa suuntaviivoissa sähkön jakeluverkkotoiminnan ja suurjännitteisen jakeluverkkotoiminnan hinnoittelun kohtuullisuudelle.

$$KAH_{t,k} = \left(\begin{array}{l} KM_{odott,t} \times h_{W,odott} + \\ KA_{odott,t} \times h_{E,odott} + \\ KA_{suunn,t} \times h_{E,suunn} \end{array} \right) \times \left(\frac{W_t}{T_t} \right) \times \left(\frac{KHI_{k-1}}{KHI_{2004}} \right) \quad (2)$$

missä

$KAH_{t,k}$ toteutunut laskennallinen sähköntoimituksen keskeytyksistä verkonhaltijan asiakkaille aiheutunut haitta vuonna t, vuoden k rahan arvossa, euroa

$KM_{odott,t}$ eri jännitetasojen (110, 220 ja 400 kV) liityntäpistettä kohden ilmoitettujen odottamattomien keskeytysten lukumäärästä laskettu liittymispisteiden lukumäärällä painotettu keskiarvo vuonna t, kappaletta

$h_{W,odott}$ odottamattomista keskeytyksistä aiheutuneen haitan hinta vuoden 2005 rahanarvossa, euroa/kilowatti

$KA_{odott,t}$ eri jännitetasojen (110, 220 ja 400 kV) liityntäpistettä kohden ilmoitetuista odottamattomista keskeytysajoista laskettu liittymispisteiden lukumäärällä painotettu keskiarvo vuonna t, tuntia

$h_{E,odott}$ odottamattomista keskeytyksistä aiheutuneen haitan hinta vuoden 2005 rahanarvossa, euroa/kilowattitunti

$KA_{suunn,t}$ eri jännitetasojen (110, 220 ja 400 kV) liityntäpistettä kohden ilmoitetuista suunniteltujen keskeytysten keskeytysajoista laskettu liittymispisteiden lukumäärällä painotettu keskiarvo vuonna t, tuntia

$h_{E,suunn}$ suunnitelluista keskeytyksistä aiheutuneen haitan hinta vuoden 2005 rahanarvossa, euroa/kilowattitunti

W_t verkonhaltijan verkosta asiakkaalle luovutettu energiamäärä vuonna t, kilowattituntia

T_t vuoden tuntien lukumäärä

KHI_{k-1} kuluttajahintaindeksi vuonna k-1

KHI_{2004} kuluttajahintaindeksi vuonna 2004. (Energiavirasto 2015d, 46–47)

Tämän laskentakaavan avulla voidaan nyt tarkastella, miten $KAH_{t,k}$ muuttuu kun puhallusmenetelmästä luovutaan käyttötoimenpiteenä. Kun Puhallusmenetelmä poistuu se lisää suunnitelluista keskeytyksistä aiheutunutta haittaa asiakkaalle ($h_{E,suunn}$).

Laskennassa hyödynnetään vuoden 2014 asiakkaille siirretyn energianmäärää, sekä odottamattomien keskeytysten määrää. Suunniteltujen keskeytysten ($KA_{suunn,t}$) määrittämiseen oletettujen keskeytysaikojen ja määrien mukaan. Määritte-

lyssä käytetään käytönasiantuntijan Juha Saarelan haastattelussa antamia tietoja, sekä puhallusavauksien määrästä annettujen tietojen keskiarvoja.

Aluksi määritetään suunniteltujen keskeytysten määrä kappaleina. Puhallusavauksia on suoritettu EPA:n verkossa vuosina 2010–2014 yhteensä 40 kappaletta. Laskentaan otetaan suunniteltujen keskeytysten lukumääräksi puhallusavausten keskiarvo joka on kahdeksan kappaletta vuodessa.

Seuraavaksi määritellään suunniteltujen keskeytysten kesto aika tunneissa. Saarela mainitsi haastattelussaan, että suunnitellut keskeytykset, joissa joudutaan tekemään kytkentäkatko asiakkaalle voi kestää 15 minuutista tuntiin, riippuen kytkettävän alueen laajuudesta ja resurssien saatavuudesta. Laskennassa käytetään keskeytysajan keskiarvoa, joka on 37,5 minuuttia. Tunneiksi muutettuna se on 0,625 tuntia.

Lasketaan kaavaa varten $KA_{suunn,t}$ arvo:

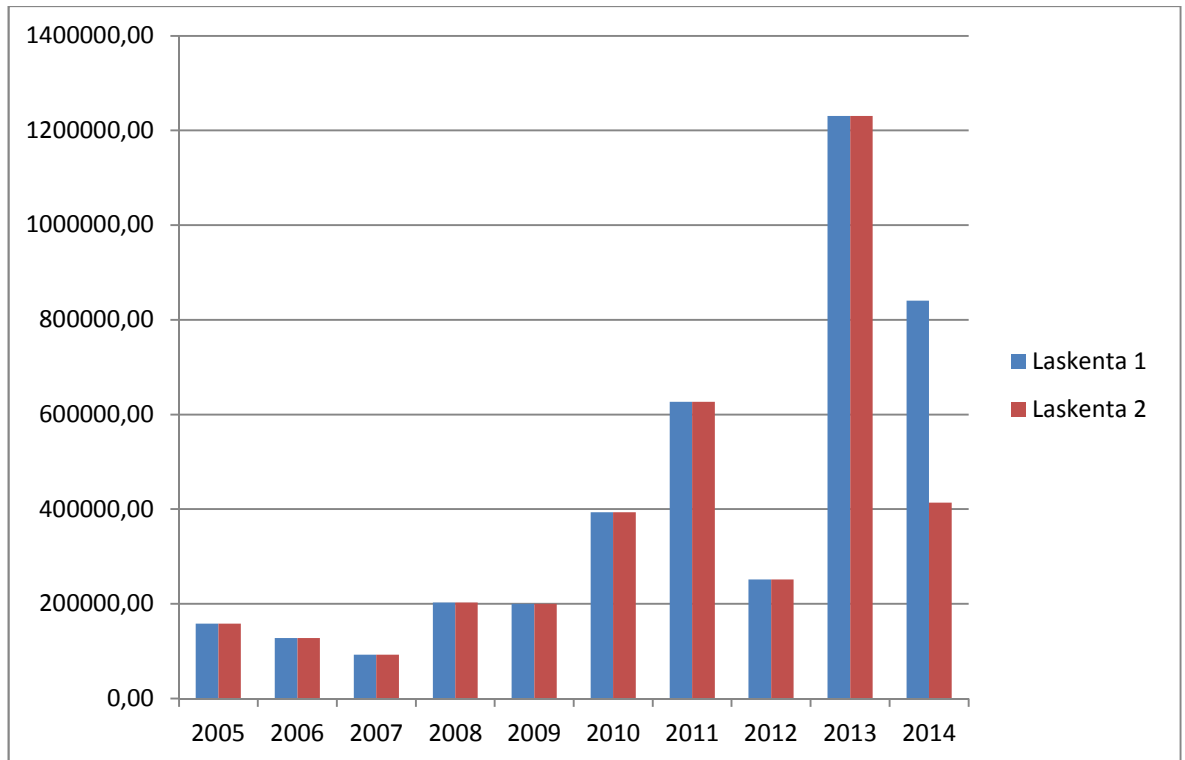
Yksittäisen suunnitellun keskeytyksen kesto h x suunniteltujen keskeytysten lukumäärä kpl.

Tästä saadaan arvoksi viisi tuntia, joka jaetaan verkon liityntäpisteiden lukumäärällä, mikä on EPA:n verkossa 76 kpl. $KA_{suunn,t}$ -arvoksi saadaan 0,065 tuntia.

EPA:n verkosta asiakkaille luovutettu energia (W_t) on 6980 GWh.

Liitteessä 4 on esitetty KAH-laskenta vuoden 2014 arvoilla. Taulukossa on esitetty KAH-laskenta vuodesta 2009 lähtien. Laskennassa 1 saadaan $KAH_{t,k}$ arvoksi 840 189 €. Tämä arvo on todellinen siinä tapauksessa, mikäli puhallusavauksista olisi jo luovuttu ja niiden suunniteltujen käyttötoimenpiteiden tilalla olisi kytkentäkatkot, joiden kestoajaksi olisi määritelty keskiarvoinen kytkentäaika.

Laskennassa 2 on esitetty todellinen $KAH_{t,k}$ vuodelle 2014. Tämä arvo on todellinen laskettu arvo, sillä EPA:n verkossa ei ole ollut laskennan mukaisia suunniteltuja keskeytyksiä vuoden 2014 aikana. Tämä johtuu siitä, että puhallusavausmenetelmä on käyttötoimenpiteenä edelleen käytössä. Oheisessa kuvassa 12 on esitetty samat KAH-arvot.



Kuva 12. KAH-arvojen kehitys ja muutos (EPV 2015e)

Kuten voidaan laskennasta 1 ja 2 havaita, $KAH_{t,k}$ -arvossa on merkittävä ero. Eroksi muodostuu 426365,02 €. Näin suuri KAH-arvon kasvu vaikuttaa merkittävästi verkon sallitun tuoton suuruuteen.

6.1.1 KAH-vertailutason määrittäminen

Käytöstä aiheutunut haitta on määritelty energiaviraston valvontamäärittelyssä laatukannustimeksi. Jotta kannustin olisi realistinen, tulee kunkin vuoden KAH-arvoa verrata vertailuarvoon. (Energiavirasto 2011, 48.)

Vertailuarvo määritellään seuraavan laskentakaavan mukaan

$$KAH_{ref,k} = \frac{\sum_{t=2005}^{2010} \left[KAH_{t,k} \times \left(\frac{W_k}{W_t} \right) \right]}{6} \quad (3)$$

missä

$KAH_{ref,k}$ on verkonhaltijan sähköntoimituksissa tapahtuneiden keskeytysten vertailutaso vuodelle k, euroa

$KAH_{t,k}$ on toteutunut laskennallinen sähköntoimituksen keskeytyksistä verkonhaltijan asiakkaille aiheutunut haitta vuonna t vuoden k rahanarvossa, euroa (vuosi 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 tai 2010)

W_k on verkonhaltijan verkosta asiakkaille luovutettu energiamäärä vuonna k, kilowattituntia (vuosi 2014)

W_t on verkonhaltijan verkosta asiakkaille luovutettu energiamäärä vuonna t, kilowattituntia (vuosi 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 tai 2010)

Tämän laskennan avulla $KAH_{ref,k}$ -arvoksi saadaan 418628,00 €. Tähän kyseiseen arvoon verrataan kuluvan vuoden laskettu $KAH_{t,k}$ -arvoa. Tämä vertailu on sisällytetty kohtuullisen tuoton laskentaan.

6.1.2 KAH-arvon vaikutus verkon kohtuulliseen tuottoon

KAH-arvo on mukana yhtenä osana verkon kohtuullisen tuoton ja toteutuneen oikaistun tuloksen laskennassa. Kuvassa 9 on esitetty yli/alijäämälaskelma, mistä käy ilmi miten KAH-laskenta-arvoa ja vertailuarvoa hyödynnetään laskennassa. KAH-arvo vaikuttaa suoraan toteutuneen oikaistun tuloksen summaan ja sen välityksellä verkon kohtuullisen tuoton laskentaan.

Mikäli vuoden toteutunut KAH-arvo on suurempi kuin KAH-vertailutaso, tällöin se korottaa toteutuneen oikaistun tuloksen lopullista laskettua arvoa. Jos taas toteutunut arvo on pienempi kuin vertailuarvo, se vaikuttaa alentavasti toteutuneen oikaistun tuloksen lopulliseen arvoon.

Jos toteutunut oikaistu tulos on suurempi kuin verkon kohtuullisen tuoton laskennasta saatu tulos, on yhtiö tällöin ylituotolla. Jos taas oikaistu laskettu tulos on taas

pienempi, yhtiö on tällöin alituotolla. Opinnäytetyön kohdassa 3.1 on kerrottu, miten yli- ja alituotto vaikuttavat yhtiön tulokseen.

Otetaan esimerkkinä kohdassa 5.1 lasketu KAH-arvo. Laskennassa 1 saatiin KAH-arvoksi 840 189 €. Oikaistun tuloksen laskennassa laatukannustinkohdassa kyseinen arvo kerrotaan 0,5, jolloin toteutuneeksi KAH-arvoksi saadaan 420 094 €. Laatukannustimen kohdan KAH-vertailutason arvo saadaan kertomalla kohdassa 5.2 saatu referenssiarvo 0,5:llä, jolloin tulos on 209 314 €. Nyt KAH-vertailutason tuloksesta vähennetään toteutunut KAH-arvo, mistä saadaan tulokseksi -134 113 €. Tulos on negatiivinen, joten tällöin laatukannustimen osuus kasvattaa lopullisen toteutuneen oikaistun tuloksen arvoa. Tulos on merkittävä.

6.2 Operatiivisten kustannusten muutos

Operatiivisiin kustannuksiin kuuluvat verkkoliiketoiminnassa käyttö- ja kunnossapitokustannukset. (Energiavirasto 2015d, 37-38.) Nämä kustannukset vaikuttavat myös oikaistun lasketun tuloksen loppusummaan ja sen myötä kohtuulliseen sallittuun tuottoon. Operatiiviset kustannukset on sisällytetty kuvan 9 kaavassa esitettyyn tehostamiskannustimeen. Tehostamiskannustimien laskennalle on määritelty omat laskentakaavat Energiaviraston antamissa suuntaviivoissa, mutta tässä luvussa perehdytään nimenomaan operatiivisten kustannusten muutokseen. Lisäksi kustannus rajataan ainoastaan puhallusavaukseen ja normaaliin käyttötoimenpiteeseen.

Lasketaan aluksi, miten paljon vuositasolla puhallusavaukset maksavat yhtiölle kun käytetään luvussa 5.1 määriteltyä puhallusavausten keskiarvo eli kahdeksan kappaletta. Laskennassa käytetään keskimääräisiä veloitus hintoja, sillä varsinaiset sopimushinnat ovat salaisia.

- Asentaja 55 €/h
- Osapäiväraha 21 €/kpl
- Kilometriveloitus 1 €/km

Kokopäivärahaa tai ruokarahaa laskennassa ei oteta huomioon, sillä puhallusavauksen kesto matkoineen on yleensä noin neljä tuntia. Matkana käytetään keskimääräistä etäisyyttä toimittajan tukikohdasta, joka on noin 100 km suuntaan.

Puhallusavauksien kustannus/vuosi:

$$((55 \text{ €} \times 4 \text{ h} \times 4 \text{ asent.}) + (21 \text{ €} \times 4 \text{ asent.}) + (1 \text{ €} \times 200 \text{ km})) \times 8 \text{ kpl} = 9312 \text{ €} / \text{vuosi}$$

Operatiivinen kustannus vuodessa olisi seuraava, jos puhallusavauksista luovutaisiin, ja kyseisiin kohteisiin on asennettu erottavat katkaisijat. Tällöin käyttötoimenpiteessä ei tarvitse käyttää kuin yhtä asentajaa:

$$((55 \text{ €} \times 4 \text{ h}) + 21 \text{ €} + (1 \text{ €} \times 200 \text{ km})) \times 8 \text{ kpl} = 3528 \text{ €} / \text{vuosi}$$

Vuodessa operatiivisten kustannusten osalta säästö olisi 5784 €. Tämä summa koskee nyt ainoastaan muutosta, kun puhallusavauksista luovutaan ja verkon kriittisiin pisteisiin asennetaan erottavat katkaisijat. Tämä säästö vaikuttaa positiivisesti tehostamiskannustimen laskentaan. Lopputuloksen kannalta tällä ei ole niin suurta merkitystä, kuin KAH-arvon muutoksella tai verkon arvon kasvulla (Rajala 2015).

6.3 Verkon arvon muutos

Verkon arvo muuttuu aina iän myötä kuten luvuissa 2.6.4 ja 2.6.5 on todettu. Uudelleenrakentamisella verkkoyhtiö voi korottaa verkon arvoa ja parantaa verkon kohtuullista tuottoa.

Tässä tutkimuksessa esitetty tekninen ratkaisu korottaa merkittävästi verkon jälleenhankinta-arvoa, sekä pitkällä aikavälillä nykykäyttöarvoa. Tämän teknisen ratkaisun jälleenhankinta-arvona käytetään energiaviraston määrittelemiä verkko-komponenttien yksikköhintoja vuodelle 2015 (Energiavirasto 2015e).

Jotta verkon arvon muutos voidaan laskea, on erottavalle katkaisijalle määriteltävä yksikköhinta. Energiaviraston määrittelemistä sähköverkko komponenttien yksikköhinnastosta ei löydy juuri kyseiselle komponentille hintamäärittelyä. Tällöin laskennassa käytetään vastaavaa komponentin yksikköhintaa. 110 kV sähköaseman

ilmaeristeinen yhdellä kiskolla varustettu peruskenttä maksaa 389 570 €. Tähän on vielä lisättävä käytönvalvontajärjestelmän- ja viestiverkon sähköasemakohtaiset lisäosat. Lisäosat sisältävät kaukokäytön rakentamisesta ja kaukokäytön viestiverkosta kertyneet kulut. Lisäosien hinnat ovat 9790 € ja 5440 €. (Energiavirasto 2015e.)

Hinnastossa puhutaan käytönvalvontajärjestelmän ja viestiverkon kohdalla myös perusosista, jotka ovat yksikköhinnaltaan merkittävästi kalliimpia. Nämä perusosien hinnat on laskettu jo kertaalleen verkon arvoon, joten niitä ei laskennassa käytetä.

Kaukokäytettävän erottavan katkaisijan jälleenhankinta-arvoksi tulee 404 980 €/kpl. Jos ensimmäisessä vaiheessa liitteen 3 luokan yksi erotinpisteet rakennettaisiin erottavilla katkaisijoilla, verkon jälleenhankinta-arvo kasvaa tällöin 5 262 400 euroon. Tämän suuruinen verkon jälleenhankinnan hinnan kasvu vaikuttaa merkittävästi verkon kohtuulliseen tuottoon. Varsinaista vaikutusta kohtuullisen tuoton suuruuteen käsitellään myöhemmin.

6.4 Investoinnin kannattavuus verrattuna KAH-arvoon

Erottavien katkaisijoiden investointikustannuksia pitää verrata luvun 5.1.2 esimerkkilaskennassa saatuun KAH-arvoon. Kyseessä on yksinkertainen vertailu, eli montako erottavaa katkaisijaa kyetään rakentamaan KAH-arvoksi saadulla eromäärällä.

ABB Oy antoi erottavasta katkaisijasta tarjouksen. Tämän tarkoituksena oli selvittää toimilaitteen markkinahinta, mikäli EPA hankkisi itse laitteet ja urakoitsija toteuttaisi tarjouskilpailun perusteella muun työn. ABB Oy tarjosi erottavan katkaisijan 34000 €/kpl alv 0 %. Mikäli ostettavien laitteiden määrä on kerralla suurempi, sillä on hintaa alentava vaikutus. (Poskiparta 2015.)

Kokonaisurakasta on pyydetty budjettitarjous VEO Oy:ltä. Tämä tarjous sisältää seuraavaa:

- 110 kV erottava katkaisija

- katkaisijateline, korkea
- katkaisijaperustus
- tarvittavat voimajohtotyöt
- virtaköydet
- kaivinkone- ja rakennusmiestunnit sekä perustusmurskeet, maadoitukset ja routasuojat perustuksen alle.
- kaukokäyttölaitteet ohjelmoituna
- projektinhoito, suunnittelu, asennus ja käyttöönotto dokumentoituna. (Hiironniemi 2015.)

Tämän tarjouksen kokonaishinta oli 97000 € alv 0 %. (Hiironniemi 2015.)

Verkkoyhtiön on järkevämpää tilata urakkakokonaisuus joltakin urakoitsijalta, sillä toteutus tapahtuu avaimet käteen-periaatteella. Mikäli verkkoyhtiö hankkisi toimilaitteet itse, säästö on korkeintaan noin 5–10 % luokkaa kokonaiskauppasummasta. Tämän perustella on siis syytä verrata kokonaisurakan tarjousta KAH-laskennasta saatuun arvoon.

Mikäli verkkoyhtiön käytöstä aiheutunut haitta olisi luvun 6.1.2 laskennan mukainen, pystyttäisiin kyseisellä käytöstä aiheutuneiden kustannusten säästöllä toteuttamaan kaksi erottavalla katkaisijalla varustettua erotinpistettä joka vuosi. Käytöstä aiheutuneista häiriöistä saatu säästö jaetaan erottavan katkaisijan toimitushinnalla $210\,780\text{ €}/97\,000\text{ €} \approx 2$ kpl.

Käytöstä aiheutunut haitta pienenee lisäksi myös vikatilanteiden selvittämisenopeuden myötä. Erottavien katkaisijoiden avulla pystytään vikapaikka rajaamaan huomattavasti nopeammin kuin erottimilla, koska erottimia ohjattaessa on paikalla oltava aina käyttötoimenpiteen suorittaja, joka varmistaa erottimen oikean asennon silmämääräisesti. Tällöin vian rajaamiseen voi mennä jopa tunti. Katkaisijalla vika voidaan rajata muutamissa minuuteissa, ja käyttötoimenpiteen suorittaja voi käydä jälkeinpäin tarkastamassa toimilaitteen tilan. Näillä verkon teknisillä muutoksilla voidaan vikapaikan selvittämistä nopeuttaa jopa 70 %. (Saarela 2015b.) Tämä

muutos vaikuttaa myös suoraan KAH-arvoon alentavasti, joten se parantaa verkon kohtuullista tuottoa.

6.5 Verkon jälleenhankinta-arvon kasvun vaikutus verkon kohtuulliseen tuottoon

Verkon jälleenhankinta-arvon sekä nykykäyttöarvon nousu vaikuttaa korottavasti verkon kohtuulliseen tuottoon. Energiaviraston antamassa dokumentissa on kerrottu tarkemmin tuoton laskenta, mutta sitä ei voida käsitellä tarkoilla luvuilla koska yhtiön virastolle antamat tarkat luvut ovat salaisia. Jotta saadaan käsitys arvon nousun vaikutuksesta, käytetään esityksessä hypoteettisia lukuja.

Käytetään seuraavia lukuja esitettäessä kohtuullista tuottoa:

- JHA 150 M€
- NKA 80 M€
- Verkon JHA:sta laskettu tasapoisto 3 M€
- Verkon laskennallinen keski-ikä 20 vuotta
- Verkon keskimääräinen pitoaika 45 vuotta
- (Laatukannustin) toteutuneiden keskeytyskustannusten vertailutaso 190 t€
- (Laatukannustin) toteutuneet keskeytyskustannukset vuonna t 150 t€

Laskentaan sisältyy erilaisia korkovaikutuksia, tuloslaskelman arvoja, taseesta saatavia arvoja ym. Kuitenkin nämä edellä mainitut luvut vaikuttavat verkon kohtuulliseen tuottoon kaikkein merkittävimmin. Kun nyt kyseisillä luvuilla lasketaan verkon kohtuullinen tuotto vuodelle t, on se 2,70 M€.

Kun käytetään samoja lähtöarvoja, mutta JHA- ja NKA-arvoihin lisätään luvussa 5.3 saatu verkon arvon nousu, mikäli kaikki 13 kpl katkaisijoita lisätään verkkoon kerralla, on JHA-arvo 155 262 400 € ja NKA-arvo on 85 262 400 €. Muut muuttujat

säilytetään ennallaan. Tällöin verkon kohtuulliseksi tuotoksi vuonna t saadaan 2,90 M€.

Tällä verkkorakenteen muutoksella verkon kohtuullinen tuotto kasvaa 200 t€/a. Tämä tuotto säilyy tulevillekin vuosille, mutta tietenkin pienenee, kun kyseisten komponenttien NKA lähenee nollaa ja komponenttien pitoaika tulee loppuunsa. Lopulliseen kohtuulliseen tuotonkasvuun vaikutus on noin 7 %.

7 INVESTOINTI

EPV Alueverkko Oy:n on muutettava verkon käyttötoimenpidemenettelyjään asiakkaiden sähkönlaadun ja toimituksen varmistamiseksi. Laskelmien pohjalta on havaittavissa, että erottavien katkaisijoiden oikealla sijoittelulla on mahdollisuus parantaa verkon käyttövarmuutta ja nostaa verkon arvoa.

Investoinnilla tarkoitetaan suurehkon rahasumman sijoittamista kohtuullisen pitkäksi aikaa johonkin kohteeseen, ja tuoton odotusaika on pitkä. Investoinnin suunnittelussa on tärkeää, että investoidaan oikeaan asiaan, oikeaan aikaan ja tehdään riittävä esitutkimus. (Nelimo & Uusi-Rauva 2010a, 206–209.)

Ennen uusien erottavien katkaisijoiden ja niihin liittyvien järjestelmien sijoittamista verkon eri pisteisiin, on kuitenkin tehtävä budjettilaskelma, aikataulu, hankkeen tekninen määrittely ja kannattavuuslaskelmat. Aluksi on tehtävä alustava tekninen määrittely hanketta varten, että pystytään määrittelemään mitä ollaan hankkimassa ja tämän perustella voidaan tehdä alustava budjetti hankkeelle. Kun budjetti on saatu määriteltyä, voidaan alkaa miettiä kannattavuusnäkökulmia.

7.1 Hankkeen tekninen määrittely ja hankekuvaus

Hankkeen tekninen määrittely ja hankekuvaus perustuu SFS6000-, 6001- ja 6002 standardeihin. Lisäksi määrittelyssä käytetään yhtiön omia teknisiä vaatimuksia ja määrittelyksiä. Tämä kokonaisuuden perusteella voidaan tehdä aikanaan kilpailutus eri urakoitsijoiden välillä.

Varsinaisen hankkeen tarkka tekninen määrittely on kuitenkin sen verran laaja, että sitä ei käydä tässä yksityiskohtaisesti läpi. Perusperiaatteet ja pääkohdat käydään kuitenkin läpi, että saadaan käsitys kokonaiskuvasta ja tarpeesta. Varsinaisen teknisen määrittelyn ja hankekuvauksen luominen voisi olla jopa erillisen AMK insinööriyön aihe.

Teknisen määrittelyn ja hankekuvauksen runko on seuraavanlainen:

- **Hankkeen nimi**

- **Yleistä**
 - kerrotaan yleisesti hankekokonaisuus
- **Työjärjestelyt ja keskeytykset**
 - hankeen alustava toteutusaikataulu
 - mahdolliset työn vaatimat erikoisjärjestelyt
- **Noudatettavat lait, määräykset ja standardit**
 - luettelo ja selvitys hankkeen kannalta tärkeistä lakipykälästä, määräyksistä ja standardeista
- **110 kV:n sähkölaitteisto**
 - sähkölaitteiston mitoitusarvot
 - sähkölaitteiston tekniset arvot
 - sähkölaitteiston määrät
 - yksityiskohtainen kuvaus hankkeen toteuttamisesta
 - rakennustyövaatimukset
 - laitetelinevaatimukset
 - maadoitusverkkoon liittyvät vaatimukset
 - mahdolliseen suoja-aitaan liittyvät vaatimukset
- **110 kV:n toisiojärjestelmät**
 - ohjaus, mittaus ja mahdollisen relesuojauksen vaatimukset
 - tarvittavat tietoliikenneyhteydet
 - tarvittavien ohjaus- ja suojausmuutosten määrittely vasta-aseilla

- **Apusähköjärjestelmät**
 - AC/DC-sähköjärjestelmien tekninen määrittely sisältäen akustot, laaturit, keskukset
- **Paikallisohtaus ja kaukokäyttö**
 - laitteiston paikallis- ja kauko-ohjauksen vaatimukset ja kuvaus sen toteuttamisesta
 - tietoliikennevaatimukset
- **Ohjous- ja apusähköasennukset**
 - laite-, jakokaappi- ja kotelovaatimukset
 - kaapelivaatimukset
 - kaapelireittienvaatimukset
 - kaapelimerkintävaatimukset
 - kaapelointeihin liittyvät maadoitusvaatimukset
- **Koestukset**
 - määrittely kaikkiin hankkeeseen liittyvään koestukseen ja testaukseen
- **Asiakirjat ja piirustukset**
 - määrittely hankkeeseen liittyvästä dokumentaatiosta ja asiakirjoista

Hankekuvauksen ja teknisen määrittelyn lisäksi tehdään alustavat piirustukset, miltä lopullinen kokonaisuus tulisi näyttää, sekä pääkaavio. Piirustukset tehdään ainoastaan 110 kV:n pääpiirien osalta. Tämän avulla pystytään hahmottelemaan laitteiden sijoittelu.

Kun hanke tilataan tarjouksen perusteella, se tehdään kokonaistoimituksena, jolloin toimittava urakoitsija vastaa hankkeesta, järjestelmän toimivuudesta ja työtur-

vallisuusseikoista koko hankkeen ajan luovutushetkeen saakka. Kun hanke on luovutettu alkaa takuu-aika, joka on yleensä 24 kuukautta.

7.2 Budjetti

Verkkoyhtiöt käyttävät hankkeiden budjettilaskennassa joko Energiaviraston kunkin vuoden sähköverkkokomponenttien yksikköhinnastoa tai toimittajalta kysyttyä budjettitarjousta. Luvussa 2.6.4 on mainittu energiaviraston Empower Oy:llä teetästä selvityksestä, mihin nämä yksikköhinnat perustuvat. Yksikköhinnat antavat hintatiedon kyseisen verkon osan tai komponentin sen hetkisestä investointihinnasta. Tämä hinta sisältää kaikki rakentamiseen sisältyvät kustannukset mukaan lukien yhtiön omat hallinnolliset kulut.

Kun budjetti tarvitaan nopeasti tai tehdään alustavaa suunnittelua investointeihin liittyen, EPA laskee urakoidensa budjetit kunkin vuoden yksikköhinnoilla. Tällä tavalla saadaan suuntaa antava budjetti. Liitteessä 5 on esitetty budjetti erottavien katkaisijoiden sijoittamisesta verkkoon. Laskennassa on käytetty samoja arvoja, joita luvussa 6.3 on esitetty. Budjetti laskettiin kokonaisinvestointina kaikille 13 kriittiselle (luokka 1) erotinpisteelle. Budjetin kokonaisarvoksi saatiin 5 262 400 €.

Lasketaan budjetti myös tarjouksena saadun hinnan perusteella, joka on mainittu luvussa 6.4. Tässä tapauksessa investoinnin kokonaishinta olisi $97000 \text{ €} \times 13 \text{ kpl} = 1\,261\,000 \text{ €}$. Tämä hinta ei sisällä yhtiön omia hallinnollisia kuluja ja mahdollisia lisätyöitä, joita investoinnin aikana voi ilmetä. Tällaisissa tapauksissa EPA on lisännyt budjettiin 20 % lisäkuluja. Tämä kattaa hallinnolliset kulut, ja mahdolliset lisätyöt. Tarkemmin tämä sisältää:

- projektiin liittyvät EPA:n palkka- ja matkakulut
- EPV:n taloushallinnon kulut
- mahdolliset lisätyöt, joita keskimäärin projekteissa tulee noin 100 t€

Näin ollen budjettitarjouksen kokonaishinnaksi saadaan tuolla 20 % lisäyksellä 1 513 200 €. Näiden kahden budjetin perusteella voidaan lähteä tarkastelemaan investoinnin todellista kannattavuutta.

7.3 Investoinnin kannattavuus

Investoinnin kannattavuus on yksi tärkeimmistä mittareista koko hankkeen toteutumisen kannalta. Aiemmin todettiin, että esitetty erottavien katkaisijoiden sijoittaminen verkon eri pisteisiin vaikuttaisi Energiaviraston laskentaperusteiden mukaan kannattavalta investoinnilta.

On huomioitava varsinaiset taloudelliset seikat, kuten poistot, korot, laitteiston arvon aleneminen ja niin edelleen. Nämä edellä mainitut seikat vaikuttavat merkittävästi yhtiön lopulliseen päätökseen lähteä toteuttamaan hanketta.

EPV:n koko verkolle on määritelty talousjärjestelmään erikseen pitoaika, joka on 30 vuotta. Kun jokin verkon osa tai komponentti uusitaan, talousjärjestelmässä se siirtyy poistoihin. Kyseinen verkon osan tai komponentin poisto tehdään tasaerissä 30 vuoden ajan, jonka jälkeen sen kirjanpidollinen arvo on nolla. (Koski 2016.) Investoinnin kannattavuuslaskennassa pitoaikana tullaan käyttämään tätä 30 vuotta, vaikka Energiaviraston pitoaika olisikin pidempi.

Investoinnin kannattavuutta vertaillessa tullaan käyttämään kahta eri menetelmää, takaisinmaksuajan menetelmää ja nykyarvomenetelmää. Yksi vertailumenetelmä ei ole riittävän luotettava tehtäessä investoinnin vertailua.

7.3.1 Takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuajan menetelmässä perusinvestoinnin hinta jaetaan vuotuisella nettotuotolla. Nettotuoton arvo saadaan, kun vähennetään vuotuisesta tuotosta laskennalliset käyttökustannukset. Takaisinmaksuajan menetelmässä ei oteta huomioon korkoja, eikä se suoraan anna vastausta onko investointi kannattava vai ei (Anderson, Ekström & Gabrielson 2001,134). Kyseistä menetelmää käytetään jonkin toisen tarkastelumenetelmän tukena.

Aluksi lasketaan nettotuotto. Tässä tapauksessahan kyseessä on sähköverkon kohtuullinen tuotto. Tuotoksi tulee laskea verkonarvon nousulla saatu kohtuullisen tuoton kasvu, joka on laskettu luvussa 6.5 sekä käytöstä aiheutuneen haitan säästöt, joka on laskettu luvussa 6.1.

$$\text{Bruttotuotto/vuosi} = 200\,000\text{ €} + 134\,114\text{ €} = 334\,114\text{ €}$$

Nettotuotto saadaan, kun bruttotuotosta vähennetään käyttökustannukset. Käyttö- ja ylläpitokustannuksia on hankala määrittää vuositasolla, sillä kyseisten laitteiden kunnossapitovälit ovat 10 vuoden luokkaa. Tarkkoja kunnossapidon hintoja ei voida tässä julkisessa laskennassa käyttää, koska tiedot ovat salaisia, mutta käytetyt luvut ovat suuntaa antavia.

- Katkaisijoiden huolto 1 200 €/kpl. Tämä tehdään 10 vuoden välein kaikille katkaisijoille. Pitoaika on 30 vuotta $1\,200\text{ €} \times 13\text{ kpl} \times 3 = 46\,800\text{ €}$. Tämä summa jaetaan 30 vuodelle, $46\,800\text{ €} / 30 = 1\,560\text{ €/vuosi}$.
- Lisäksi on laskettava vuosittaiset tarkastus- ja käyttökulut. Käytetään samoja arvoja joita on käytetty luvussa 6.2. Tarkastuskäyntejä tulee vuodessa yksi/erottava katkaisija ja työn kesto on noin 30 min, $55\text{ €} \times (30\text{ min} \times 13\text{ kpl}) = 357,50$. Lisäksi on määriteltävä oletetut ajokilometrit. Kierroksen pituus voi olla 200 km, $1\text{ €} \times 200\text{ km} = 200\text{ €}$. Käyttökustannukset lasketaan olettamalla, että kussakin kohteessa olisi yksi käyntikerta/vuosi ($55\text{ €} \times 13$) + ($200\text{ km} \times 1\text{ €}$) = 915 €.

$$\text{Nettotuotoksi saadaan tällöin } 334\,114\text{ €} - 2\,832\text{ €} = 331\,281\text{ €/vuosi}$$

Takaisinmaksuajan menetelmällä urakan takaisinmaksuajaksi saadaan kun käytetään Energiaviraston yksikköhinnoilla laskettua budjettia:

$$5\,262\,400\text{ €} / 331\,281\text{ €/vuosi} = 15,8\text{ vuotta}$$

Tässä tapauksessa hanke on kannattava, koska takaisinmaksuaika on pienempi, kun määriteltä pitoaika.

Kun käytetään budjettitarjoukseen perustuvaa budjetin arvoa, saadaan takaisinmaksuajaksi:

$1\,513\,200\text{ €} / 331\,281\text{ €/vuosi} = 4,5\text{ vuotta}$

Tässäkin tapauksessa voidaan todeta investointi kannattavaksi, koska takaisinmaksuaika on pienempi kuin määritelty pitoaika.

7.3.2 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmässä tuotot ja kustannukset siirretään samaan ajankohtaan. lisäksi nykyarvomenetelmässä on otettu huomioon korko. Tämä menetelmä soveltuu kyseisen investoinnin kannattavuuslaskentaan hyvin, sillä tuotot ja kustannukset jakautuvat eri tavalla eri vuosille. Tämä menetelmä tunnetaan myös nimellä diskonttausmenetelmä. (Anderson ym. 2001, 138.)

Laskenta toteutetaan kahdella eri budjetilla kuten takaisinmaksuajan laskelmakin. Investointiajaksi valitaan yhtiön taloudellinen pitoaika 30 vuotta. Nettotuottona käytetään luvussa 6.3.1 laskettua arvoa, joka on 331 281 €. Poistot lasketaan kuitenkin 45 vuodelle, mikä saadaan Energiaviraston määrittämästä pitoajasta, joten nettotuotolle jää kummassakin laskelmassa jäännösarvo. Nettotuoton muutos lasketaan seuraavasti:

$331\,281\text{ €} / 45a = 7\,361\text{ €} \approx 7\,362\text{ €/a}$

Jäännösarvo on luovutusarvo tai romutusarvo eli myyntitulo, joka perusinvestoinnista voidaan arvioida saatavan pitoajan päätyttyä (Neilimo & Uusi-Rauva 2010b, 213–218).

Jäännösarvo lasketaan jakamalla hankintakustannus Energiaviraston pitoajalla (45 vuotta). Tästä saadaan yhden vuoden muutos hankintahintaan. Tästä laskennasta saatu tulos kerrotaan yhtiön määrittämällä taloudellisella pitoajalla (30 vuotta), jonka jälkeen tästä saatu tulos vähennetään alkuperäisestä hankintakustannuksesta.

Laskentakorkona käytetään tämänhetkistä markkinakorkoa, joka on määritelty yli miljoonan euron yrityslainoihin. Tällä hetkellä se on 1,5 % (Suomen Pankki 2015). Laskennassa on käytetty apuna Haaga-Helian julkaisemia laskentamalleja (Haaga-Helia 2014).

Liitteessä 6 on esitetty laskenta yksikköhinnoin määritellyllä budjetilla. Hanke voidaan todeta kannattavaksi, sillä tuottojen nykyarvo on suurempi kuin kustannusten nykyarvo.

Liitteessä 7 on esitetty laskenta budjettitarjouksen perusteella. Tässäkin tapauksessa hanke voidaan todeta kannattavaksi, koska tuottojen nykyarvo on suurempi kuin kustannusten nykyarvo.

7.3.3 Investoinnin arviointiin liittyvä epävarmuus

Investointeihin ja niihin liittyviin analyyseihin liittyy aina tiettyjä epävarmuustekijöitä, kuten laskentakoron vaihtelu, ylijäämä ja pitoajan pituus. Jotta riskejä voitaisiin pienentää, on investointilaskelmaan syytä lisätä ns. "puskureita". (Anderson ym. 2001, 148.)

Investointilaskennan "puskurina" käytetään yleisesti suurempaa korkoa, kuin sen hetkinen markkinakorko on. Tällä tavalla muiden tekijöiden kannattavuusvaatimukset saadaan suuremmiksi. (Anderson ym. 2001, 149.)

Toisena puskurina käytetään taloudellisen pitoajan lyhentämistä. Jos pitoaika on pitkä, on taloudellinen tuotto myöhemmin epävarma. Tällä tavoin pystytään poistamaan epävarmat vuosiylijäämät ja jäännösarvoa voidaan korottaa. (Anderson ym. 2001, 149.)

Liitteissä 8 ja 9 on esitetty samat investointilaskelmat kuten luvussa 6.3.2, mutta investointiaika (taloudellinen pitoaika) on muutettu takaisinmaksuvertailussa saatuaan aikaan ja korko on nostettu 1,5 %:sta 3 %:n. Molemmilla budjeteilla hanke on kannattava vaikka niihin on lisätty riskitekijöitä.

7.4 Investoinnin toteuttaminen ja aikataulu

Nyt kun investointi on katsottu järkeväksi toteuttaa useammastakin näkökulmasta, on mietittävä sen toteutuskokonaisuutta ja aikataulullisia seikkoja. Aikataulussa tulee ottaa huomioon esisuunnittelun vaatima aika, ja ennen kaikkea sähköverkon

käyttötilanteet hankkeen aikana. Onko verkkoon saatavilla siirtokeskeytyksiä rakentamisen ajaksi. Toteutuskokonaisuudessa on siis syytä miettiä toteutetaanko kaikki kohteet yhtenä kokonaisurakkana vai teetetäänkö yksittäisiä kohteita erikseen.

Vuonna 2016 hanke käynnistetään ensimmäisen kohteen rakentamisella. Tämä toteutetaan T&K-hankkeena. Energiaviraston valvontamallissa toteutetulla T&K-hankkeella voidaan kasvattaa verkon kohtuullista tuottoa (kts. kuva 8). Tällä tavoin verkkoyhtiö saa etua toteutettavasta hankkeesta. T&K-hankkeen avulla voidaan myös seurata kokonaiskustannuksia tarkemmin ja muotoilla lopullinen tekninen toteutustapa. T&K-hanke tulee olla valmis syyskuun 2016 loppuun mennessä.

Hankkeen alustava tekninen määrittely on tehty, mutta lopullinen määrittely toteutetaan syksyn 2016 aikana. Marraskuun loppuun mennessä on urakoitsijan valinta saatu suoritettua.

Lopullinen hankekokonaisuus on päätetty toteuttaa kokonaisurakkana. Kaikki loput 12 kriittistä pistettä toteutetaan yhdessä kokonaisurakassa. Tällä tavalla saadaan kustannussäästöä ja kaikki kohteet toteutetaan samanlaisella toteutustavalla, laitteilla ja suunnittelulla. Näin toteutettuna eri verkon osiin ei tule eroavaisuuksia ja näin kunnossapitoa ja dokumentaatiota on helpompi hallinnoida.

Aikataulullisesti on mietitty, että hanke toteutetaan kokonaisuudessaan vuosien 2017–2018 aikana. Urakan saaneella toimittajalla on vapaus toteuttaa kohteet missä järjestyksessä tahansa, kuitenkin sillä edellytyksellä, että työ suunnitellaan hankkeen alkuvaiheessa tilaajan sekä verkon käytönvalvonnan kanssa.

8 JOHTOPÄÄTOKSET

EPV:n oli ryhdyttävä selvittämään vaihtoehtoja parantaakseen verkon käyttövarmuutta ja hakemaan teknistä ratkaisua verkossa oleville ja myös tuleville erotinpisteille. Puhallusavausmenetelmästä tullaan luopumaan lähivuosien aikana, siirtoyhteydet ovat pitkiä, verkon osien kytkentäkatkot ja häiriöt vaikuttavat taloudellisesti merkittävästi yhtiön verkon kohtuulliseen tuottoon.

Tutkimuksessa päädyttiin ratkaista ongelma vaihtamalla ja /tai lisäämällä verkkoon erottavia katkaisijoita, joiden avulla vikapaikkojen rajaaminen nopeutuisi, sekä laitteen virrankatkaisukyky on aivan omaa luokkaansa verrattuna pelkkään erottimeen. Tätä ratkaisua puoltavat myös työturvallisuusseikat. Käyttötoimenpidetilanteessa ei paikalla tarvitse olla kuin yksi toimenpiteen suorittaja. Puhallusmenetelmässä henkilöitä tarvitaan neljä. Nyt sähkötehon katkaisu tapahtuu suljetussa kaasutilassa. Tämä tarkoittaa sitä, että puhallusavausmenetelmässä aiheutuvaa valokaaren vaaraa ei enää ole.

Tutkimuksessa oli tarve selvittää hankkeen kannattavuutta Energiaviraston valvontamallin ja sähkömarkkinalain näkökulmasta, sekä yhtiön taloudellisten näkökulmien kannalta. Tutkimuksessa todettiin, että lainsäädäntö velvoittaa verkkoyhtiötä kehittämään verkkonsa toimivuutta ja varmistamaan energiatoimitus asiakkailleen. Tutkimuksessa esitetty ratkaisu vie yhtiön toimintaa tähän suuntaan.

Energiaviraston valvontamallin pohjalta tehdyn tutkimuksen mukaan on yhtiöllä mahdollisuus kasvattaa verkko omaisuuden arvoa, pienentää KAH-arvoa ja näiden pohjalta mahdollisuus kasvattaa verkon kohtuullista tuottoa merkittävästi vuositasolla. Tämän pohjalta toimenpide ja tekniset muutokset verkon käytön osalta näyttävät kannattavilta.

Tutkimuksessa selvitettiin yhtiön taloudellinen näkökulma hankkeen toteuttamisesta. Tutkimuksessa käytettiin takaisinmaksuajan menetelmää sekä nykyarvomenetelmää. Kannattavuutta tarkasteltiin lisäksi suuremman riskin näkökulmasta, kuten takaisinmaksuajan lyhentämisellä ja lainakorkojen nousulla. Johtopäätöksenä voitiin todeta investointi kannattavaksi, vaikka riskikertoimia lisättiin.

Aikataulullisesti hanke on tarkoitus toteuttaa seuraavan kolmen vuoden sisällä. Yhtiö voi näin luopua mahdollisimman nopeasti puhallusavausmenetelmästä ja verkon käyttövarmuutta saadaan parannettua. Taloudellinen puoli on myös merkittävässä roolissa aikataulun muodostumiselle, sillä yhtiö haluaa investointinsa mahdollisimman nopeasti tuottamaan rahaa.

Tutkimuksessa käsiteltyä ratkaisumallia erottavien katkaisijoiden sijoittelusta on tarkoitus jatkojalostaa siten, että verkon pisteissä, joissa on erottavat katkaisijat, lisätään virtamuuntajat ja relesuojaus (ylivirtasuojaus). Tällä menettelyllä voidaan entisestään parantaa verkon käyttövarmuutta nostaa verkon arvoa, ja myös verkon kohtuullista tuottoa.

Tämän tutkimustyö on selvittänyt paljon taloudellisia näkökulmia verkkoyhtiön tuottopohjaan rakenteesta, sekä antanut hyviä esimerkkejä ja oppeja Energiaviraston valvontamallin tulkitsemiseen.

LÄHTEET

- ABB Oy. 2015. Disconnecting Circuit Breaker 72.5 – 550 kV [www-lähde]. ABB Oy [Viitattu 24.5.2015]. Saatavissa: <http://new.abb.com/high-voltage/AIS/selector/dcb>
- Anderson, J-O, Ekström, C & Gabrielson, A. 2001. Kannattavuus suunnittelu ja laskenta. Helsinki: Tietosanoma Oy.
- Energiateollisuus ry. 2009. Suurjännitelaitteistojen sähkötyöturvallisuus. Opintomateriaali
- Energiavirasto. 2015 a. Toiminnan kulmakiviä. [www-lähde]. Energiavirasto. [Viitattu 1.9.2015]. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/toiminnan-kulmakivia>
- Energiavirasto. 2015b. Historia [www-lähde]. Energiavirasto. [Viitattu 1.9.2015]. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/historia>
- Energiavirasto. 2015c. Valvontamenetelmät 2005-2007. [www-lähde]. Energiavirasto. [Viitattu 1.9.2015]. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/valvontamenetelmat-2005-2007>
- Energiavirasto. 2015d. Sähkön jakeluverkkotoiminnan ja suurjännitteisen jakeluverkkotoiminnan hinnoittelun kohtuullisuuden valvontamenetelmien suuntaviivat vuosille 2012-2015. Dnro 945/430/2010. 29.6.2011. [Viitattu 1.9.2015]: Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/valvontamenetelmat-2012-2015>
- Energiavirasto. 2015e. Sähkönjakeluverkon komponenttien yksikköhinnat 2015. [www-lähde]. Energiavirasto. [Viitattu 7.9.2015]. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/sahkonjakeluverkon-komponenttien-yksikkohinnat-2015>
- Energiavirasto. 23.11.2011. Päätös Dnro 820/430/2011
- EPA. 2014. Yritys. [www-lähde]. EPV Alueverkko Oy. [Viitattu 12.6.2015]. Saatavissa: <http://www.epa.fi/yritys/>
- EPV. 2015a. Joupin erotinasema. Ei julkaisuaikaa. Valokuva
- EPV. 2015b. Edellytykset rengasjohdon avaamiselle. Ei julkaisuaikaa. Valokuva
- EPV. 2015c. Erotinaseman kauko-ohjauskaappi. Ei julkaisuaikaa. Valokuva
- EPV. 2015d. Sähköverkkomalli 1.9.2015. Valokuva

- EPV. 2015e. KAH-arvojen kehitys ja muutos 1.9.2015. Diagrammi
- Fingrid Oyj. 2007 Muutokset tekniseen ohjeeseen 31304. Käyttö- ja sähkötyöturvallisuus kantaverkossa kohta 4.8 2007. [Viitattu 9.9.2015]
- Fingrid Oyj. 2009. Asiakkaat/asiakasliitteet/Käyttötoimikunta. [www-lähde]. Fingrid Oyj. [Viitattu 17.5.2015]. Saatavissa: <http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Kayttotoimikunta/2009/18.3.2009/puhallusavaukset.pdf>
- Fingrid Oyj. 2009. Tekninen ohje 31304. Käyttö- ja sähkötyöturvallisuus kantaverkossa 2006. [Viitattu:19.10.2015]
- Haaga-Helia. 2014. Excel- rahoitusfunktioita. [www-lähde] Haaga-Helia ammattikorkeakoulu. [Viitattu 2.2.2015]: Saatavissa: myy.haaga-helia.fi/~taaak/e/rahoitus.xlsx
- Hapam B.V. 2014. Centre-break disconnectors type SSBII [www-lähde]. Hapam B.V. [Viitattu 24.5.2015]. Saatavissa: <http://www.hapam.nl/assets/Uploads/Engels-SSBII-f.pdf>
- Hiironniemi, A. 2015. Myyntipäällikkö. VEO Oy. Sähköpostitarjous 23.11.2015
- Koski, M. 2016. Talouskontrolleri. EPV Energia Oy. Haastattelu 12.1.2016
- Lehtonen, P. 2015. Turvallisuusasiantuntija. Fingrid Oyj. Haastattelu 19.10.2015
- Lukka, K. 2001. Konstruktiivinen tutkimusote. [www-lähde] Metodix. [Viitattu 26.2.2016] Saatavissa: <https://metodix.wordpress.com/2014/05/19/lukka-konstruktiivinen-tutkimusote/>
- Nelimo, K & Uusi-Rauva, E. 2010b. Hankkeen teknisistä ja taloudellisista soveltuvuudesta
- Nelimo, K. & Uusi-Rauva, E. 2010a. Johdon laskentatoimi. Helsinki. Edita.
- Poskiparta, A. 2015. Tuotemyyjä. ABB Oy. Sähköpostitarjous 25.11.2015
- Rajala, J. 2015. Toimitusjohtaja. EPV Alueverkko Oy. Haastattelu 23.11.2015
- Saarela, J. & Koski, P. 2014 Käytönasiantuntija, Empower IM Oy. Petri Koski, Suojausasiantuntija, Empower PN Oy. Sähköpostihaastattelu 30.10.2014
- Saarela, J. 2015a. Käytönasiantuntija. Empower IM Oy. Haastattelu 3.9.2015

Saarela, J. 2015b. Käytönasiantuntija. Empower IM Oy. Haastattelu 10.9.2015

Saarela, J. 2015c. Käytönasiantuntija. Empower IM Oy. EPA puhallusavaukset 2010-2014

Sähkömarkkinalaki 588/2013. Finlex. 9.8.2013. [www-lähde]. Helsinki Finlex. [Viitattu 1.9.2015]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>.

Suomen Pankki. 2015. Talletusten ja lainojen korot Suomessa. 12/2015. [www-lähde] Suomen Pankki. [Viitattu 2.2.2015]: Saatavissa: http://www.suomenpankki.fi/fi/tilastot/tase_ja_korko/pages/tilastot_rahalaitosten_lainat_talletukset_ja_korot_lainat_talletusten_ja_lainojen_korot_fi.aspx

Tilastokeskus. 2016. Rakennuskustannusindeksi [www-lähde] Tilastokeskus. [Viitattu 30.3.2016]: Saatavissa: <http://tilastokeskus.fi/meta/til/rki.html>

LIITTEET

Liite 1. Sähköverkon arvon laskenta yksikköhinnoilla

Liite 2. Sähköverkon nykykäyttöarvon laskenta

Liite 3. EPV Alueverkko Oy:n verkon kriittiset pisteet

Liite 4. KAH-arvon laskenta

Liite 5. Budjetti erottavien katkaisijoiden sijoittamisesta 110 kV verkkoon

Liite 6. Nykyarvomenetelmä yksikköhinnoin lasketulla budjetilla

Liite 7. Nykyarvomenetelmä budjettitarjouksen perusteella lasketulla budjetilla

Liite 8. Nykyarvomenetelmä yksikköhinnoin lasketulla budjetilla sisältäen ”puskurit”

Liite 9. Nykyarvomenetelmä budjettitarjouksen perusteella lasketulla budjetilla sisältäen ”puskurit”

Liite 1 Sähköverkon arvon laskenta yksikköhinnoilla

EV-yksikkö	Yksikkö	määrä	a-hinta	yht.
Sähköasemarakennus muut kaava-alueet	kpl	2	244 840,00 €	489 680,00 €
Sähköasematontti muut kaava-alueet	m ²	10000	2,60 €	26 000,00 €
Sähköasemat 110 kV kentät, ilmaeristeinen 2-kiskokojeisto, peruskenttä	kpl	2	472 270,00 €	944 540,00 €
Sähköasemat 110 kV kentät, ilmaeristeinen 2-kiskokojeisto, lisäkenttä	kpl	4	330 800,00 €	1 323 200,00 €
Sähköasemat 110 kV kentät, ilmaeristeinen suojaus/automaatio peruskenttä	kpl	2	67 470,00 €	134 940,00 €
Sähköasemat 110 kV kentät, ilmaeristeinen suojaus/automaatio lisäkenttä	kpl	4	19 150,00 €	76 600,00 €
110 kV putkipylväsjohto, yksi virtapiiri, kaksi osajohdinta	km	119,5	159 850,00 €	19 102 075,00 €
110 kV kaukokäyttöinen johtoerotin	kpl	6	37 000,00 €	222 000,00 €

Esimerkkiverkon arvo uusilla komponenteilla

yht. 22 319 035,00 €

Liite 2 Sähköverkon nykykäyttöarvon laskenta

EV-yksikkö	Yksikkö	määrä	a-hinta	yht.	EV määrittämä pitoaika	EPV määrittämä pitoaika	komponenttien keski-ikä vuonna t	Komponenttien NKA vuonna t
Sähköasemarakennus muut kaava-alueet	kpl	2	244 840,00 €	489 680,00 €	30-50	40	20	244 840,00 €
Sähköasematontti muut kaava-alueet	m ²	10000	2,60 €	26 000,00 €				26 000,00 €
Sähköasemat 110kV kentät, ilmaeristeinen 2- kiskokojeisto, peruskenttä	kpl	2	472 270,00 €	944 540,00 €	30-45	45	20	472 270,00 €
Sähköasemat 110 kV kentät, ilmaeristeinen 2- kiskokojeisto, lisäkenttä	kpl	4	330 800,00 €	1 323 200,00 €	30-45	45	20	661 600,00 €
Sähköasemat 110 kV kentät, ilmaeristeinen suojaus/ automaatio peruskenttä	kpl	2	67 470,00 €	134 940,00 €	20-40	20	10	67 470,00 €
Sähköasemat 110 kV kentät, ilmaeristeinen suojaus/ automaatio lisäkenttä	kpl	4	19 150,00 €	76 600,00 €	20-40	20	10	38 300,00 €
110 kV putkipylväsjohto, yksi virtapiiri, kaksi osajoh- dinta	km	119,5	159 850,00 €	19 102 075,00 €	40-60	60	25	11 142 877,08 €
110 kV kaukokäyttöinen johtoerotin	kpl	6	37 000,00 €	222 000,00 €	30-45	40	20	111 000,00 €

**Esimerkkiverkon arvo uusil-
la komponenteilla**

yht. 22 319 035,00 €

**Esimerkkiverkon NKA
vuonna t**

12 764 357,08 €

LIITE 3. EPV Alueverkko Oy:n verkon kriittiset pisteet

Paikka	Laite	tunnus	Luokka	huom, syy...
Vimpeli	erotin	E03Q3	1	Matka Kivipuroon 19,2 km
Vimpeli	erotin	E01Q3	1	Matka Sänkiahoon 16,1 km
Vähäkyrö	erotin	E01Q3	1	Matka 13,1 km Suolaisiin. Vaatii lisäksi Suolaisten varasyötön
Maalahti	erotin	E02Q3	1	Matka Sundom 11,3 km. Maalahti ja Sundom on vaikea korvata yhtä aikaa.
Maalahti	erotin	E03Q3	1	Matka Petolahti 17,2 km. Maalahti ja Sundom on vaikea korvata yhtä aikaa.
Alahärmä	erotin	E04Q3	1	Matka Ylihärmään 11,3 km, Jos vain toinen asennetaan. Alahärmän saa Alahärmän varasyötöillä, Ylihärmän saa muuntajakatkaisijan avulla Riippuen tietenkin kytkentätilanteesta
Ylihärmä	erotin	E01Q3	1	Matka Alahärmään 11,3 km
Kallmossen	erotin	E01Q3	1	Matka Teuvalle 17,93 km. Vaatii rengas avauksen ja katkon.(tai SIGG ja Kallmossen varasyöttö)
Teuva	erotin	E01Q3	1	Matka Kallmossen 17,93 km. Vaatii rengas avauksen ja katkon
Teuva	erotin	E03Q3	1	Matka Äystö 11,7 km. Vaatii rengas avauksen ja katkon.
Äystö	erotin	E02Q3	1	Matka Teuvalle 11,7 km. Rengas avaus ja katko
Nori	erotin	E01Q1	1	Jos Caruna ottaa renkaan auki NOR-SLA-TEA-KKA ei erotinta saada auki kuin katkolla (KKA-NÄR)
Koivula	erotin	AE02Q3	1	Matka Kauhavalle 10,4 km. Käsin veivattava. 2-Duck. Mahdollista Ritämäen varasyötöillä Kauhavan ja Lapuan katkaisijoilla.
Brännskog	erotin	AE02Q3	2	Kristiina 2 pitää olla verkossa, että rengas avaus onnistuu ja Ylimarkku varasyötöille.
Hoisko	erotin	E04Q3	2	Matka Alajärvelle 16,2 km. Mahdollista Hoiskon katkolla/varasyötöillä, SÄN ja AJ katkaisijoilla.
Kivipuro	erotin	E02Q3	2	Alholman täytyy olla verkossa, että erotin saadaan auki
Peräseinäjoki	erotin	E03Q3	2	Matka Alavudelle 28,9 km. Mahdollista Peräseinäjoen varasyöttö, ALV TVM katkaisijoilla.
Ylistaro	erotin	E04Q3	2	Matka 12,3 km Suolainen. Vaatii Ylistaron varasyötön ja VR:n Haapojan keskeytyksen.
Pjelax	erotin	E02Q3	2	Pjelax-Svalskulla keskeytys vaatii Svalskullan tuulipuiston varasyötön.
Kuortane	erotin	E02Q3	3	Matka Sänkiahoon 27,7 km. Mahdollista rengasavaus kesäisin. Kuortane varasyöttö SÄN ALV katkaisijoilla.
Kuortane	erotin	E03Q3	3	Matka Alavudelle 25,1 km. Mahdollistarengasavaus kesäisin. Kuortane varasyöttö SÄN ALV katkaisijoilla.
Ylistaro	erotin	E05Q3	3	Matka 25,8 km Lapualle. Rengas avaus ei välttämättä aina onnistu.
Suolainen	erotin	E01Q3	3	Matka Vähäkyrö 13,1 km. Vaatiin Suolaisen varasyötön. Rengas avaus vain kesäisin.

Liite 4 KAH-arvon laskenta

Laskenta 1

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
KAH t,k	158016,42	127677,53	92558,66	202657,42	200310,86	393272,58	626978,63	251522,15	1230888,32	840189,89
KM _{odott,t}	0,450	0,330	0,230	0,400	0,230	0,400	0,290	0,260	0,340	0,320
h _{w,odott}	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
KA _{odott,t}	0,001	0,002	0,001	0,01	0,005	0,001	0,04	0,001	0,082	0,007
h _{E,odott}	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
KA _{suunn,t}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,065
h _{E,suunn}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,8
W _{t(KW)}	2707000000	2823000000	2914620000	2944960000	5185460000	6891860000	6308120000	6296210000	7047090000	6980275000
T _t	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8784	8760	8760
KHI _{k-1}	114,7	116,8	119,6	124,4	124,7	125,8	130,2	134,1	136,1	137,4
KHI ₂₀₀₄	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5
KAH t,k (laskettu)	158016,42	127677,53	92558,66	202657,42	200310,86	393272,58	626978,63	251522,15	1230888,32	840189,89

Laskenta 2

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
KAH t,k	158016,42	127677,53	92558,66	202657,42	200310,86	393272,58	626978,63	251522,15	1230888,32	413824,87
KM _{odott,t}	0,450	0,330	0,230	0,400	0,230	0,400	0,290	0,260	0,340	0,320
h _{w,odott}	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
KA _{odott,t}	0,001	0,002	0,001	0,01	0,005	0,001	0,04	0,001	0,082	0,007
h _{E, odott}	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
KA _{suunn,t}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
h _{E, suunn}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,8
W _{t (KW)}	2707000000	2823000000	2914620000	2944960000	5185460000	6891860000	6308120000	6296210000	7047090000	6980275000
T _t	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8784	8760	8760
KHI _{k-1}	114,7	116,8	119,6	124,4	124,7	125,8	130,2	134,1	136,1	137,4
KHI ₂₀₀₄	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5	113,5
KAH t,k (laskettu)	158016,42	127677,53	92558,66	202657,42	200310,86	393272,58	626978,63	251522,15	1230888,32	413824,87

Liite 5 Budjetti erottavien katkaisijoiden asentamisesta 110 kV verkkoon

EV-yksikkö	Yksikkö	määrä	a-hinta	yht.
Sähköasemat 110 kV kentät, ilmaeristeinen 1-kiskokojeisto, peruskenttä	kpl	13	389 570,00 €	5 064 410,00 €
Käytönvalvontajärjestelmän sähköasemakohtainen lisäosa	kpl	13	9 790,00 €	127 270,00 €
Käytönvalvontajärjestelmän viestiverkko sähköasemakoh- tainen lisäosa	kpl	13	5 440,00 €	70 720,00 €

**Erottavien katkaisijoiden bud-
jetti yksikköhinnoilla laskettu-
na**

yht. 5 262 400,00 €

Liite 6. Nykyarvomenetelmä yksikköhinnoin lasketulla budjetilla

Laskentakorkokanta	1,5 %
Investointiaika (vuotta)	30

		Nykyarvo	
Hankintakustannukset	5 262 400 €	5 262 400 €	=B7
1. vuoden nettotuotto	331 282 €		
2. vuoden nettotuotto	323 920 €		
3. vuoden nettotuotto	316 558 €		
4. vuoden nettotuotto	309 196 €		
5. vuoden nettotuotto	301 834 €		
6. vuoden nettotuotto	294 472 €		
7. vuoden nettotuotto	287 110 €		
8. vuoden nettotuotto	279 748 €		
9. vuoden nettotuotto	272 386 €		
10. vuoden nettotuotto	265 024 €		
11. vuoden nettotuotto	257 662 €		
12. vuoden nettotuotto	250 300 €		
13. vuoden nettotuotto	242 938 €		
14. vuoden nettotuotto	235 576 €		
15. vuoden nettotuotto	228 214 €		
16. vuoden nettotuotto	220 852 €		
17. vuoden nettotuotto	213 490 €		
18. vuoden nettotuotto	206 128 €		
19. vuoden nettotuotto	198 766 €		
20. vuoden nettotuotto	191 404 €		
21. vuoden nettotuotto	184 042 €		
22. vuoden nettotuotto	176 680 €		
23. vuoden nettotuotto	169 318 €		
24. vuoden nettotuotto	161 956 €		
25. vuoden nettotuotto	154 594 €		
26. vuoden nettotuotto	147 232 €		
27. vuoden nettotuotto	139 870 €		
28. vuoden nettotuotto	132 508 €		
29. vuoden nettotuotto	125 146 €		
30. vuoden nettotuotto	117 784 €	5 588 892 €	=NPV(B3;B8:B30) (NNA)
Jäännösarvo	- 1 754 133 €	1 122 228 €	=PV(B3;B4;;B38) (NA)
Tuottojen nykyarvo		6 711 120 €	=C37+C38
Kustannusten nykyarvo		5 262 400 €	=C7
Erotus		1 448 720 €	=C39-C40

Liite 7. Nykyarvomenetelmä Budjettitarjouksen perustella laskettu budjetti

Laskentakorkokanta	1,5 %
Investointiaika (vuotta)	30

		Nykyarvo	
Hankintakustannukset	1 513 200 €	1 513 200 €	=B7
1. vuoden nettotuotto	331 282 €		
2. vuoden nettotuotto	323 920 €		
3. vuoden nettotuotto	316 558 €		
4. vuoden nettotuotto	309 196 €		
5. vuoden nettotuotto	301 834 €		
6. vuoden nettotuotto	294 472 €		
7. vuoden nettotuotto	287 110 €		
8. vuoden nettotuotto	279 748 €		
9. vuoden nettotuotto	272 386 €		
10. vuoden nettotuotto	265 024 €		
11. vuoden nettotuotto	257 662 €		
12. vuoden nettotuotto	250 300 €		
13. vuoden nettotuotto	242 938 €		
14. vuoden nettotuotto	235 576 €		
15. vuoden nettotuotto	228 214 €		
16. vuoden nettotuotto	220 852 €		
17. vuoden nettotuotto	213 490 €		
18. vuoden nettotuotto	206 128 €		
19. vuoden nettotuotto	198 766 €		
20. vuoden nettotuotto	191 404 €		
21. vuoden nettotuotto	184 042 €		
22. vuoden nettotuotto	176 680 €		
23. vuoden nettotuotto	169 318 €		
24. vuoden nettotuotto	161 956 €		
25. vuoden nettotuotto	154 594 €		
26. vuoden nettotuotto	147 232 €		
27. vuoden nettotuotto	139 870 €		
28. vuoden nettotuotto	132 508 €		
29. vuoden nettotuotto	125 146 €		
30. vuoden nettotuotto	117 784 €	5 588 892 €	=NPV(B3;B8:B37) (NNA)
Jäännösarvo	- 504 400 €	322 696 €	=PV(B3;B4;;B38) (NA)
Tuottojen nykyarvo		5 911 588 €	=C37+C38
Kustannusten nykyarvo		1 513 200 €	=C7
Erotus		4 398 388 €	=C39-C40

Liite 8. Nykyarvomenetelmä yksikköhinnoin lasketulla budjetilla sisältäen "puskurit"

Laskentakorkokanta	3,0 %
Investointiaika (vuotta)	16

		Nykyarvo	
Hankintakustannukset	5 262 400 €	5 262 400 €	=B7
1. vuoden nettotuotto	331 282 €		
2. vuoden nettotuotto	323 920 €		
3. vuoden nettotuotto	316 558 €		
4. vuoden nettotuotto	309 196 €		
5. vuoden nettotuotto	301 834 €		
6. vuoden nettotuotto	294 472 €		
7. vuoden nettotuotto	287 110 €		
8. vuoden nettotuotto	279 748 €		
9. vuoden nettotuotto	272 386 €		
10. vuoden nettotuotto	265 024 €		
11. vuoden nettotuotto	257 662 €		
12. vuoden nettotuotto	250 300 €		
13. vuoden nettotuotto	242 938 €		
14. vuoden nettotuotto	235 576 €		
15. vuoden nettotuotto	228 214 €		
16. vuoden nettotuotto	220 852 €	3 525 569 €	=NPV(B3;B8:B23) (NNA)
Jäännösarvo	- 3 391 234 €	2 113 305 €	=PV(B3;B4;;B24) (NA)
Tuottojen nykyarvo		5 638 874 €	=C23+C24
Kustannusten nykyarvo		5 262 400 €	=C7
Erotus		376 474 €	=C25-C26

Liite 9. Nykyarvomenetelmä Budjettitarjouksen perustella laskettu budjetti sisältäen "puskurit"

Laskentakorkokanta	3,0 %
Investointiaika (vuotta)	5

		Nykyarvo	
Hankintakustannukset	1 513 200 €	1 513 200 €	=B7
1. vuoden nettotuotto	331 282 €		
2. vuoden nettotuotto	323 920 €		
3. vuoden nettotuotto	316 558 €		
4. vuoden nettotuotto	309 196 €		
5. vuoden nettotuotto	301 834 €	1 451 733 €	=NPV(B3;B8:B12) (NNA)
Jäännösarvo	- 1 345 067 €	1 160 267 €	=PV(B3;B4;;B13) (NA)
Tuottojen nykyarvo		2 612 000 €	=C12+C13
Kustannusten nykyarvo		1 513 200 €	=C7
Erotus		1 098 800 €	=C14-C15