

Sähköverkkoyhtiöiden valvontamalli tarkastelun kohteena

Kirjoittajat: Juha Forsström

Luottamuksellisuus: Julkinen

Versio: 10.8.2023

| | |
|--|--|
| Raportin nimi Sähköverkkoyhtiön valvontamallien vertailua | |
| Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot | Asiakkaan viite |
| Projektin nimi GG_SmartEnergy | Projektin numero/lyhytnimi 129230/GG_SmartEnergy |
| <p>Tiivistelmä</p> <p>Sähköverkkoyhtiöllä on sähkönjakelun monopoli omalla alueellaan. Energiavirasto valvoo yhtiöiden toimintaa ja hinnoittelun kohtuullisuutta. Tätä valvontaa se toteuttaa soveltamalla valvontamalliksi kutsuttua säätelykehikkoa.</p> <p>Viime vuosien aikana useampikin taho on kritisoinut ja esittänyt muutoksia nykyiseen valvontamalliin. Kritiikki kohdistui verkkotoimintaan sitoutuneen pääoman määrittelyyn ja siihen, kuinka suuri korvaus voidaan katsoa kohtuulliseksi. Säätelyjärjestelmän muutos johtaa yritysten toiminnan muuttumiseen. Ilman kvantitatiivista tarkastelua nämä muutokset jäävät periaatteellisten kehityskulkujen hahmotteluksi.</p> <p>Työssä on laadittu mallikokonaisuus, jossa sähköverkkoyhtiö kuvataan nettotulosta maksimoivana toimijana ja valvontamalli tätä toimintaa rajoittavana tekijänä. Valvontamalliosio kattaa sekä nykyisen valvontamallin että sille ehdotetut variaatiot. Laskentamalli mahdollistaa nykyisen valvontamallin ja sen variaatioiden arvioinnin ja vertailun luomalla ympäristön, jossa yhtiötä ja valvontamalliversioita käsitellään johdonmukaisesti samalla tavalla. Valvontamallien piirteet paljastuvat, kun yritys pyrkii hyödyntämään ne edukseen täysimääräisesti. Oleellista tällaisessa vertailussa ovat vertailusuureiden erot, eivät niiden absoluuttiset arvot tai tasot.</p> <p>Esimerkkiyhtiöiden tarkastelu osoittaa, että laadittu laskentamalli kuvaa yhtiöiden toimintaa uskottavasti. Se soveltuu työkaluksi valvontamallin kannusteiden ja rajoitusten vaikutusten selvittämiseen – ja hieman täydentäen myös yrityksen strategiaan tarkasteluihin. Raportissa tarkastellaan lisäksi älyverkkoteknologioiden sovellusmahdollisuuksia ja niiden käyttöönottoa edistävien uusien kannustimien taloudellisia vaikutuksia niin asiakkaisiin (verkkomaksuihin) kuin yhtiötalouteen.</p> | |
| Espoo 9.8.2023 | |
| Laatija | Tarkastaja |
| Juha Forsström Erikoistutkija | Kari Mäki Tutkimusprofessori |
| Confidentiality | Julkinen |
| VTT:n yhteystiedot Juha Forsström, juha.forsstrom@vtt.fi , p:0405936973 | |
| Jakelu (asiakkaat ja VTT) Vapaasti ladattavissa | |
| <p><i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i></p> | |

Hyväksyminen

TEKNOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS VTT OY

Päivämäärä: 17.8.2023

Allekirjoitus:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Kari Mäki', is centered within a light beige rectangular box.

Nimi: Kari Mäki

Asema: Tutkimusprofessori

Alkusanat

Tämä työ sai alkunsa vuonna 2017, kun kollegani Sanna Uski pyysi minut mukaan sähkön käytön joustoja tutkivaan hankkeeseen. Hankkeen aikana kävi selväksi, että sähköverkkoyhtiöiden toimintaa ohjaavaan Energiaviraston valvontamalliin olisi tutustuttava syvällisesti, jotta sen vaikutukset verkkoyhtiön päätöksiin voitaisiin ymmärtää. Valvontamallia koskeva ymmärrys realisoitui laskentamallina (Sähköverkkoyhtiön kustannusrakenneneutraali valvontamalli. VTT-R-00517-19, Espoo 2019.). Se on Excel-ympäristössä toimiva simulointimalli, joka kuvaa sähköverkon toimitusvarmuuden parantamisen taloudellisia vaikutuksia sähköverkkoyhtiöön ja asiakkaisiin.

Vuoden 2020 aikana useampikin taho esitti kritiikkiä ja muutosesityksiä nykyiseen valvontamalliin. Tämän kritiikin arvioiminen toimi merkittävimpana pontimena jatkaa laskentamallin kehittämistä. Mallin julkisen kritisoinnin aikoihin VTT:n sisäisenä kehityshankkeena käynnistyi älykkään energiankäytön (Smart Energy) hanke, johon valvontamallin jatkoprojekti aiheena sopi. Tämä raportti on hankkeessa tehdyn uuden malliversion ja sillä saatujen tulosten kuvaus.

Kiitän tutkimusprofessori Kari Mäkeä kannustavasta suhtautumisesta, hyvistä kommentteista ja taloudellisen perustan varmistamisesta. Johtava tutkija Magnus Simonsia kiitän yrityksen kirjantalon liittyvien harhakäsitysteni oikaisemisesta. Jäljelle jääneet virheet ovat kirjoittajan.

Espoo 9.8.2023

Tekijä

Sisällysluettelo

| | |
|---|----|
| Alkusanat | 3 |
| 1. Johdanto | 6 |
| 2. Sähköverkkoyhtiön talous..... | 8 |
| 2.1 Sähköverkko..... | 9 |
| 2.1.1 Verkon kehittyminen..... | 9 |
| 2.2 Sähköverkkoyhtiön omaisuus | 11 |
| 2.3 Rahavirta..... | 13 |
| 2.4 Velka | 15 |
| 2.5 Yritystalouden tunnusluvut..... | 16 |
| 2.5.1 Rahoituksen saannin edellytykset | 16 |
| 2.5.2 Kannattavuuden mittarit | 18 |
| 2.6 Kohdefunktio | 19 |
| 3. Valvontamalli | 20 |
| 3.1 Verkon arvo..... | 21 |
| 3.2 Tase ja oikaistu pääoma..... | 21 |
| 3.3 Valvontamallin rahavirta | 22 |
| 3.4 Valvontamallin asettamat rajoitukset | 26 |
| 3.4.1 Liikevaihto..... | 26 |
| 3.4.2 Jaksotuloksen rajoittaminen | 26 |
| 4. Esimerkkitarkastelut: osa 1 | 27 |
| 4.1 Laskentaesimerkkien taustaa | 28 |
| 4.1.1 Toimitusvarmuuden parantaminen maakaapeloinnilla..... | 28 |
| 4.1.2 Kaapelointitavoitteen toteuttaminen..... | 29 |
| 4.1.3 Lähtöoletuksia korkotasoista | 29 |
| 4.2 Liikevaihdon vuosittaisen vaihtelun vaimentaminen..... | 30 |
| 4.3 Kohdefunktio | 31 |
| 4.4 Esimerkkiyhtiöt | 31 |
| 4.5 Sähköverkon kehittyminen..... | 31 |
| 4.6 Asiakkaan näkökulma..... | 34 |
| 4.7 Valvontamallin piirteitä..... | 35 |
| 4.8 Sähköverkkoyhtiön tase | 38 |
| 4.9 Yritystalous..... | 39 |
| 5. Valvontamalliin ehdotettuja muutoksia..... | 40 |
| 5.1 Järventausta..... | 41 |
| 5.2 Collan..... | 42 |
| 5.3 Huomioita muutosehdotuksista..... | 43 |
| 6. Esimerkkitarkastelut: osa 2..... | 43 |
| 6.1 Johdanto | 43 |
| 6.2 Asiakkaan näkökulma..... | 44 |
| 6.3 Pääomakorvaus eri mallien mukaan..... | 46 |
| 6.4 Sähköverkkoyhtiön talous..... | 48 |

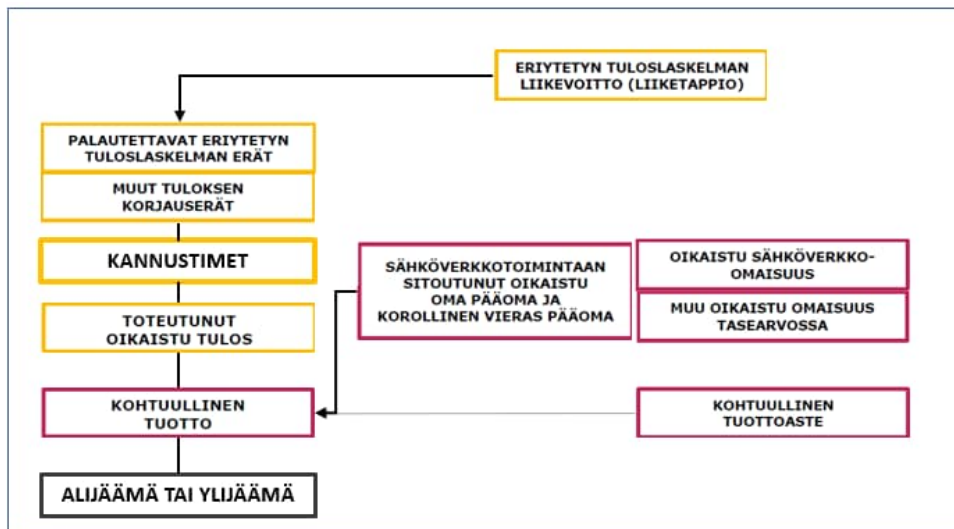
| | | |
|--------|--|----|
| 6.4.1 | Rahoitus tilanne | 48 |
| 6.4.2 | Kannattavuus | 49 |
| 6.5 | Tulosten pohdintaa | 51 |
| 7. | Toimitusvarmuuden tuottaminen toisin | 51 |
| 7.1 | Johdanto | 51 |
| 7.2 | Valvontamallin täydentäminen | 52 |
| 7.3 | Älyverkon talous | 53 |
| 7.3.1 | Komponenttihinnoituksen soveltaminen älyverkkoihin | 53 |
| 7.3.2 | Älyverkkokilometrit | 54 |
| 7.3.3 | Kustannusten implementointi | 55 |
| 7.3.4 | Muutokset valvontamallissa | 57 |
| 8. | Esimerkkitarkastelut: osa 3 | 57 |
| 8.1 | Tapaukset | 57 |
| 8.2 | Lähtötiedot | 58 |
| 8.3 | Tulosten hintatausta | 58 |
| 8.4 | Verkkomaksut ja teknologian kilpailukyky | 59 |
| 8.5 | Älyverkko Collan-mallissa | 61 |
| 8.6 | Joitain huomioita | 63 |
| 9. | Loppupäätelmiä | 63 |
| 10. | Lähdeviitteet | 65 |
| 11. | Liitteet | 66 |
| 11.1 | Laatu- ja tehostamiskannustin | 66 |
| 11.1.1 | Ominaiskustannus | 66 |
| 11.1.2 | Kaapeliosuus ja ominaiskustannusfunktio | 67 |
| 11.1.3 | Kannustin | 68 |
| 11.2 | Osuuksien laskeminen iteroimalla | 71 |

1. Johdanto

Sähkön jakeluverkkojen kehittämistä ajaa lainsäädännössä määritelty toimitusvarmuudelle asetettu aikataulutettu minimitaso. Tason saavuttaminen edellyttää useimmissa yhtiössä mittavan investointiohjelman läpivientiä. Energiavirasto valvoo yhtiöiden toimintaa ja hinnoittelun kohtuullisuutta soveltamalla valvontamalliksi kutsuttua kokonaisuutta.

Verkkoyhtiö on monopoliasemassa ja valvontamallin tehtävänä on toimia kilpailun korvikkeena. Valvontamalli rajoittaa yhtiön hinnoittelua kahdella tavalla. Ensimmäiseksi, se asettaa 8 prosentin ylärajan hinnan vuosittaiselle korotukselle ja toiseksi, yhtiön tilikauden tulosten summa neljän vuoden mittaisen valvontajaksolta on oltava enintään nolla. Jos se on suurempi, verkonhaltijalle on kertynyt ylivoittoa, koska kohtuullinen pääomakorvaus sisältyy jo nollatulokseen. Jos ylivoittoa syntyy, on se hyvitetävä seuraavan valvontajakson aikana. Tämä menettely rajoittaa yhtiön hinnoitteluvoimaa. Valvontajaksolta kertynyt alijäämä on mahdollista kompensoida seuraavan valvontajakson aikana – mitään vaatimusta ei sille kuitenkaan ole.

Energiaviraston raportti ”Valvontamenetelmät neljännellä 1.1.2016-31.12.2019 ja viidennellä 1.1.2020-31.12.2023 valvontajaksolla” ja siihen liittyvä Excel-työkirja (Kohtuullisen tuoton ...) muodostavat yhdessä yksityiskohtaisen kuvauksen valvontamallin (staattisesta) laskentakehikosta. Kun lähtötietoina Excel-taulukoihin syötetään tarkasteltavaa yhtiötä tietyssä vuonna kuvaavat suuret, niin lopputuloksena saadaan valvontamallin mukainen tilikauden tulos (yliäämä/alijäämä). Valvontamallin rakenne on kuvan 1a mukainen.



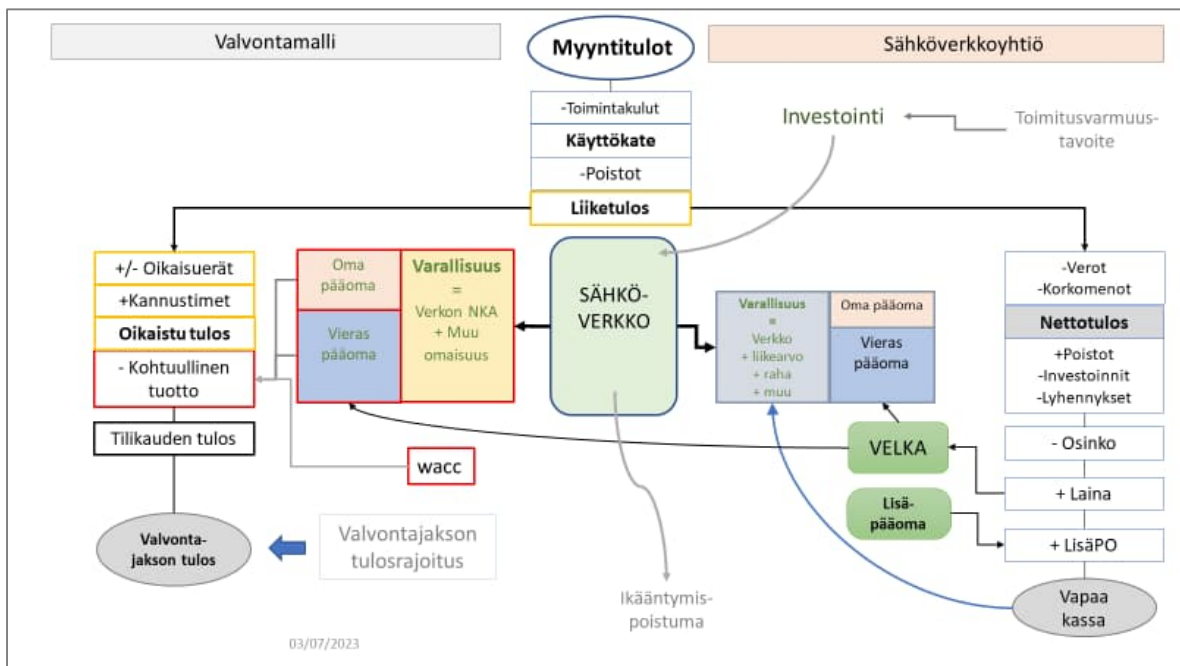
Kuva 1a. Sähköverkkoyhtiöiden valvontamalli, joka perustuu Valvontamenetelmät... (2019) -raportin kuvaan 1. Alkuperäistä kuvaa on hieman muunneltu, jotta vertailu laadittuun laskentamalliin, kuva 1b, helpottuu. Keltareunaiset laatikot kuvaavat rahavirtasuureita ja punareunaiset laatikot taseen suureita.

Valvontamallin rahavirta, keltareunaiset laatikot, alkaa liiketuloksesta (liikevoitto/liiketappio), johon lisätään oikaisuerät ja kannustimien arvot, jolloin päädytään oikaistuun tulokseen. Verkkotoimintaan sitoutunut pääoma lasketaan verkon nykykäyttöarvona, NKA. Se perustuu verkon komponenttihinnaston mukaisiin investointikuluihin ja komponenttien ikin. Kun siihen lisätään muu oikaistu omaisuus, saadaan pääoman kantaluku, jolle valvontamalli antaa viraston määrittelemän kohtuullisen tuottoasteen mukaisen korvauksen. Vähentämällä se oikaistusta tuloksesta päädytään tilikauden tulokseen (alijäämä/ylijäämä).

Viime vuosien aikana yllä kuvattua valvontamallia on kritisoitu (mm. Collan (2020), Järventausta, (2020)) siitä, miten verkkotoimintaan sitoutunut pääoma on määritelty ja kuinka suuri

pääomakorvaus voidaan katsoa kohtuulliseksi. Kriitikot ovat esittäneet myös muutoksia nykyiseen valvontamalliin.

Valvontamallin toiminnan selvittämiseksi ja tehtyjen muutosesitysten vaikutusten arviointia varten laaditaan laskentamalli, jossa yhtiön ja valvontamallin kokonaisuutta tarkastellaan pitkällä aikajaksolla. Ilman sähköverkkoyhtiön teknistaloudellista mallia ei ole mahdollista arvioida valvontamallin vaikutusta yrityksen päätöksentekoon. Laskentamallin avulla voidaan kuvata, miten yritykset erilaisia valvontamallivariaatioita sovellettaessa menestyvät ja millaisia verkkomaksuja asiakkaat joutuvat maksamaan. Jos säätelyjärjestelmä muuttuu, niin myös yritysten toiminta muuttuu. Ilman kvantitatiivista tarkastelua muutosten vaikutukset jäävät periaatteellisten kehityskulkujen hahmotteluksi. Sähköverkkoyhtiön ja sen toimintaa säätelevän valvontamallin muodostama kokonaisuus on tiivistetty kuvaan 1b.



Kuva 1b. Valvontamallin ja sähköverkkoyrityksen muodostaman laskentamallikokonaisuus. Keltaiset ja punareunaiset vastaavat kuvan 1a laatikoita. Liiketulos muodostaa valvontamallin rahavirran lähtöpisteen ja sähköverkko varallisuuden suurimman erän. Rahavirta jakautuu liiketuloksen jälkeen valvontamalliin ja yrityksen kirjanpitoon. Sähköverkko arvotetaan eri lailla valvontamallissa yrityksen kirjanpidossa, mitä laatikoiden koko heijastaa. wacc = ”kohtuullinen tuottoaste”.

Energiavirasto käyttää valvontamallia (kuvan 1b vasen puoli toistaa kuvan 1a rakenteen) verkkoyhtiöiden toiminnan tarkasteluun jälkikäteen. Tarvittavat lähtötiedot otetaan yritysten kirjanpidosta. Tässä hankkeessa tutkitaan valvontamalliin ehdotettujen muutosten vaikutuksia verkkoyhtiön talouteen ja asiakasmaksujen tasoon, minkä vuoksi valvontamallin tarvitsemia tulevaisuuden lähtötietoja tuotetaan sähköverkkoyhtiön teknistaloudellisella mallilla. Laadittu valvontamalli ja verkkoyhtiön muodostama kokonaisuus mahdollistaa verkkoyhtiön päätöksenteon kuvaamisen. Päätös tarkoittaa tässä verkon kehittämiseen liittyviä rakentamis- ja purkupäätöksiä, niiden määrää, laatua ja ajoitusta.

Kuvan 1b mukaan yrityksen rahavirta alkaa myyntituloista (liikevaihdosta) ja jatkuu käyttökateen kautta liiketulokseen ja edelleen nettotulokseen. Nettotuloksen jälkeen huomioidaan investoinnit ja lainanlyhennykset. Lainaa yhtiö ottaa tarpeen mukaan, mutta jos rahoituksen saannin edellytykset eivät täyty, on omistajien tuotava yhtiöön lisää pääomaa. Tämä on äärimmäinen,

mutta mahdollinen tilanne. Rahavirta päättyy vapaaseen kassavirtaan, joka joko lisää tai vähentää yrityksen rahavarallisuutta. Yrityksen omaisuuden määrä muuttuu paitsi rahavarojen muutoksen seurauksena, myös sähköverkkoon tehtyjen investointien ja verkosta tehtävien poistojen erotuksena. Oman ja vieraan pääoman määrämuutokset vastaavat omaisuuden määrän muutosta. Omaisuuden arvo ja vuosittainen rahavirta määritellään valvontamallissa eri tavalla kuin yrityksen kirjanpidossa. Nämä erilaiset näkökulmat ovat niin laskentamallissa kuin tosielämässäkin kytkeytyneet toisiinsa. Yrityksen näkökulmasta valvontamalli rajoittaa verkkopalvelun hinnoittelua eli sen tavoitteen, nettotuloksen, maksimointia.

Laskentamallissa on kolme aikatasoa: vuosi, valvontajakso (4 vuotta) ja koko tarkastelujakso. Yhtiön tavoitteena on maksimoida koko tarkastelujakson diskontattu nettotulos. Tarkastelu kattaa seitsemän valvontajaksoa, joista kuusi ensimmäistä, 24 vuotta, raportoidaan. Osa tarvittavista lähtötiedoista on yrityssalaisuuden piirissä, joten ne arvioidaan julkisten tietojen perusteella, ks. myös Forsström (2019).

Sähköverkkoa tarkastellaan sekä fyysisenä rakenteena että omaisuutena. Valvontamalli arvottaa sähköverkon verkon komponenttien nykykäyttöarvon summana. Komponenttiedot eivät ole julkisia, minkä vuoksi sähköverkko kuvataan laskentamallissa vuosikertamallina, jonka perusyksikkö on verkkokilometri. Sen arvo on mahdollista laskea yhtiökohtaisesti julkisen datan perusteella. Jokainen verkkokilometri kuuluu ikänsä mukaiseen vuosiluokkaan. Verkkokilometrejä on lähtötilanteessa kahta tyyppiä: ilmajohtoja ja maakaapeleita. Verkon oletetaan pysyvän laajuudeltaan samana koko tarkastelujakson ajan: Joka vuosi vanhin ikäluokka molempia verkkotyyppejä puretaan ja poistuvat kilometrit korvautuvat joko ilmajohtoverkolla tai säävarmalla verkolla tai sopivassa suhteessa kumpaakin lajia. Toimitusvarmuutta parannetaan mallilaskelmissa korvaamalla ilmajohtoja maakaapeleilla. Jos toimitusvarmuustavoitteeseen ei muuten päästä, niin ilmajohtoverkkoa puretaan ennen aikaisesti maakaapeloinnin tieltä. Ennen aikainen purkaminen tarkoittaa kirjanpidossa verkon arvosta tehtävää kertapoistoa. Raportin viimeisessä luvussa tarkastelua täydennetään tutkimalla ilmajohtoverkon toimitusvarmuuden parantamista älyverkkoteknologioin.

Raportti muodostuu kolmesta osasta, johon jokaiseen liittyy oma esimerkkilaskelmaosionsa. Ensin esitellään laskentamallin kuvaus sähköverkkoyhtiön taloudesta ja nykyisestä valvontamallista. Tähän liittyvä esimerkkiosio kuvaa valvontamallin ja yritystalouden vuorovaikutusta. Toisessa osassa esitellään nykyiselle valvontamallille ehdotetut vaihtoehtoiset valvontamallit ja niiden toteutus laskentamallissa. Tähän liittyvässä esimerkkiosiossa vertaillaan, miten yritystalouden tunnusluvut ja asiakasmaksut eroavat, kun sovelletaan nykyistä tai vaihtoehtoisia valvontamalleja. Kolmannessa osassa pohditaan älyverkkoteknologioiden erityispiirteitä ja niiden soveltamisen taloudellisia vaikutuksia. Viimeisessä esimerkkilaskelmaosiossa tarkastellaan näiden teknologioiden sovellusmahdollisuuksia ja kannattavuutta. Lukemisen voi aloittaa vaikkapa esimerkkitapauksista ja, kun tulokset on vilkaistu, niin sen jälkeen on hyvä tutustua perusteisiin, joihin tulokset nojaavat.

2. Sähköverkkoyhtiön talous

Sähköverkkoyhtiö on monopoliasemassa ja kilpailun sijaan hinnoittelua rajoittaa valvontamalli. Jotta valvontamallin ominaisuuksia on mahdollista tarkastella ja ehdotettuja valvontamalliversioita vertailla, on sähköverkkoyhtiöstä laadittava teknistaloudellinen laskentamalli.

Yhtiön talouden tarkastelu aloitetaan taseesta, eli omaisuudesta ja sen rahoituksesta. Vuosittaisia muutoksia tarkastellaan rahavirran avulla. Hitaasti sopeutuvat suureet, kuten verkon rakenne ja velat, luovat mallin dynamiikan. Laadittu malli tuottaa valvontamallin tarvitsemat lähtötiedot, jotka perustuvat sähköverkon vuosittaiseen kehittymiseen tarkastelun kattamalla aikävälillä.

lillä. Sähköverkon kehittymistä ajaa vaatimus toimitusvarmuuden parantamisesta. Sähköverkkoyhtiön oletetaan maksimoivan nettotuloksensa tarkastellulla aikavälillä. Sen se tekee päättämällä investoinneista ja tuotteen (verkkopalvelun) hinnoittelusta.

Tekninen osuus kattaa sähköverkon. Se on verkkoyhtiön talouden perusta. Sen vuoksi, ennen sähköverkkoyhtiön talouden kuvausta, käydään läpi sähköverkkoon liittyviä tämän työn näkökulmasta oleellisia käsitteitä.

2.1 Sähköverkko

Sähköverkkomallin perusyksikkö on *verkkokilometri*. Toteutusteknologian mukaan tyypitellyt verkot ovat *maakaapeliverkko*, *ilmajohtoverkko* ja *älyverkko*. Kun ilmajohtoverkkoa täydennetään teknologialla, joka nostaa sen toimitusvarmuuden maakaapelin tasolle, kutsutaan sitä älyverkoksi. Haja-asutusalueella älyverkko täydentää ilmajohtoverkkoa ja muuttaa sen myrskyvarmaksi. Kaupungissa kulutuksen ohjauksen ajatellaan toteutuvan älyverkon avulla siten, että välitetään maakaapeliverkon lisäinvestoinnit.

Verkkokilometrit jakautuvat *ikäluokkiin*. Joka vuosi yksi ikäluokka tulee elinikänsä päähän ja vastaava määrä uutta verkkoa rakennetaan poistuvien verkkokilometrien tilalle. Uusien verkkokilometrien teknologia valikoituu yhtiön tilanteen ja tavoitteen mukaan. Alkutilanteen ilmajohtokilometrejä, jotka tarkasteluhetkellä ovat vielä käytössä, on mahdollista poistaa ennenaikaisesti, jos toimitusvarmuustavoitetta ei muutoin saada toteutettua ajoissa, tai jos se taloudellista syistä muutoin on kannattavaa. Tarkastelun aikana rakennettuja verkkokilometrejä ei poisteta ennenaikaisesti.

Verkon toimitusvarmuusluokkia on kaksi: verkko on joko *myrskyvarma* tai *haavoittuva*. Myrskyvarman verkon pituus on maakaapeli- ja älyverkkokilometrien summa. Toimitusvarmuutta on mahdollista parantaa vain kasvattamalla myrskyvarman verkon osuutta. Verkon kokonaispituus lasketaan haja-asutusalueella maakaapeli- ja ilmajohtokilometrien summaksi, kaupungissa siihen lisätään myös älyverkon kilometrit, koska tässä oletetaan, että älyverkolla voidaan korvata poistuvat maakaapelikilometrit.

Verkon oletetaan pysyvän laajuudeltaan samana koko tarkastelun ajan. Myös luovutettu energiamäärä pidetään vakiona. Vakiointi tehdään, jotta huomio voidaan kohdistaa voimallisemmin valvontamallin ja yrityksen vuorovaikutuksen tutkimiseen. Ei tosin ole mitään periaatteellista estettä näiden piirteiden huomioimiselle.

Älyverkko-käsitteellä tarkoitetaan tässä laajaa joukkoa teknologioita, myös sellaisia, joita ei yleensä sillä nimellä kutsuta. Se kattaa kaikki sellaiset teknologiat, joilla verkon toimitusvarmuus voidaan nostaa tavoitellulle tasolle. Toimenpiteet ja teknologiat jätetään tarkemmin määrittelemättä, koska oleellisin piirre niissä on kustannustaso ja -rakenne, siis jakautuminen kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin. Esimerkiksi dieselaggregaatilla varmennetut ilmajohtokilometrit luetaan tässä älyverkkoluokkaan.

2.1.1 Verkon kehittyminen

Verkkokilometri on laskentamallin perusyksikkö. Jokainen verkkokilometri kuuluu johonkin ikäluokkaan $\tau = \{1, \dots, T_f\}$. Muuttuja $V(t, \tau)$ kuvaa verkkokilometrien määrän hetkellä t ikäluokassa τ . Lähtötilanteessa verkolla on tunnettu ikäjakauma: $V_W(t_0, \tau) = V_0(\tau)$. Elinikänsä päähän tuleva ikäluokka korvataan uudella saman mittaisella verkolla.

Verkkokilometri poistuu verkosta, kun sen elinikä täyttyy. Tätä kuvataan parametrilla delta:

$$\delta(\tau) = \begin{cases} 1, & \tau \leq T_f \\ 0, & \tau > T_f \end{cases}$$

Vanhoille (alkutilanteen) verkkokilometreille pätee (alkutilanteen määrittely, ks. Forsström (2019))

$$V_W(t, \tau) = \delta(\tau) \cdot V_W(t-1, \tau-1) - R_{purku}(t, \tau) \quad (1)$$

Parametri $\delta(\tau)$ huomioi ikäpoistuman ja $R_{purku}(t, \tau)$ ennenaikaisesti puretut ilmajohtokilometrit. Ennenaikaisesti puretut verkkokilometrit kohdennetaan ilmajohtoverkon alkutilanteen ikäluokille parametrilla $p_0(t, \tau)$, jonka arvo määräytyy alkutilanteen verkon ikäjakauman perusteella. Verkkoa puretaan alkutilanteen mukaisen verkon ikäluokkajakauman mukaisesti eri ikäluokista. Joka vuosi poistuu yksi ikäluokka, minkä vuoksi alkutilanteen ikäjakauma muuttuu vuosittain. Merkitään vuonna t ennenaikaisesti poistettujen (purettujen) kilometrien määrää tekijällä $P(t)$. Tällöin

$$R_{purku}(t, \tau) = p_0(t, \tau) \cdot P(t) \quad (2)$$

Uudet, vuonna t rakennetut verkkokilometrit merkitään $U(t)$, jolloin eri vuosina rakennetut uudet verkkokilometrit kuvataan muuttujalla $V_U(t, \tau)$

$$V_U(t, \tau) = \begin{cases} U(t), & \tau = 1 \\ \delta(\tau)V_U(t-1, \tau-1), & \tau > 1 \end{cases} \quad (3)$$

Uusien verkkokilometrien teknologia valikoituu yhtiön tilanteen ja tavoitteen mukaan. Kaikkia verkkotyyppejä on mahdollista rakentaa samanaikaisesti.

Verkon pituus verkkotyypeittäin lasketaan summaamalla uusien ja vanhojen ikäluokkien kilometrit yhteen

$$V(t) = \sum_{\tau} V_W(t, \tau) + V_U(t, \tau) \quad (3)$$

Verkon ei oleteta laajenevan tarkastelun aikana, se vain uudistuu.

Tarkastelun jatkaminen edellyttää eri verkkotyypin erottelua, joten otetaan käyttöön indeksi $\omega = \{\text{maa, ilma, äly}\} = \{m, i, g\}$, jolla verkkotyypit erotellaan. Myrskyvarman verkon muodostavat maakaapeli- ja älyverkot, joita merkitään indeksillä $\omega' = \{m, g\}$.

Koko verkon pituus on myrskyvarman verkon, $V^V(t)$, ja ilmajohtoverkon summa, eli

$$V(t) = V^V(t) + V^i(t) \quad (4)$$

Myrskyvarman verkon pituus lasketaan summaamalla maakaapeli- ja älyverkkokilometrit yhteen:

$$V^V(t) = V^m(t) + \delta_{SG}V_{SG}(t) \quad (5)$$

missä kerroin δ_{SG} saa arvon nolla paitsi silloin, kun se korvaa maakaapeliverkkoa. Myrskyvarman verkon ei oleteta lyhenevän tarkastelun aikana. Toimitusvarmuustavoite määrittää myrskyvarman verkon osuutena koko verkosta. Ilmajohtoverkon kehittäminen myrskyvarmaksi tapahtuu älyverkkoteknologioin. Älyverkon pituus alussa oletetaan nolaksi.

Kun merkitään vuonna t iän vuoksi poistuvia verkkokilometrejä $F(t)$, niin poistuvien kilometrien määrä on

$$F(t) = V(t - 1, T_f) \quad (6)$$

Eli viime vuonna pitoajan saavuttanut ikäluokka ei ole enää tämän vuoden verkossa.

Verkon kokonaispituus ei muutu, joten maakaapeli- ja ilmajohtokilometrien muutoksille pätee:

$$U^m(t) + U^i(t) + \epsilon^g U^g(t) - F^m(t) - F^i(t) - \epsilon^g F^g(t) - P(t) = 0 \quad (7)$$

Ennenaikainen ilmajohtoporuku $P(t)$ antaa tilaa myrskyvarman verkon rakentamiselle, kun taas uusia ilmajohtoja rakennetaan pelkästään ikäpoistuma korvaamaan. Kaupungissa älyverkkojen rakentaminen ja poistuma huomioidaan verkon taseessa. Tästä lisää älyverkkoluvussa.

2.2 Sähköverkkoyhtiön omaisuus

Sähköverkkoyhtiön muuttuva omaisuus koostuu sähköverkon komponenteista, rahavaroista ja liikearvosta. Muiden erien oletetaan pysyvän vakioina. Rahavarat kalibroidaan alkutilanteessa nolaksi. Merkittävin omaisuuserä on sähköverkon arvo. Taseen kehittymistä tarkastellaan vuosimuutosten avulla. Yrityksen tase vuoden lopussa lasketaan lisäämällä vuoden takaiseen arvoon sähköverkon arvomuutos, $\Delta Verkko(t)$, rahavarojen muutos, $\Delta RV(t)$, ja vähentämällä liikearvosta poisto, $d_{LA}(t)$.

Yhtiön varallisuuden muutos¹

$$Tase^Y(t) = Tase^Y(t - 1) + \Delta Verkko(t) + \Delta RV(t) - d_{LA}(t) \quad (8)$$

Yrityksen varallisuus kasvaa, kun verkkoon tehdyt investoinnit ovat siitä tehtyjä poistoja suuremmat ja kun rahavarallisuuden muutos, $\Delta RV(t) = KV_{pos}(t) - KV_{neg}(t) - addOS(t)$, on positiivinen. Muuttuja KV_j tarkoittaa vapaata kassavirtaa ja $addOS$ lisäosinkoa. Näiden tekijöiden tarkempi tarkastelu tehdään luvussa 2.3 Rahavirta. Muut suureet käydään tässä läpi.

Verkon arvon muutos

$$\Delta Verkko(t) = Verkko(t) - Verkko(t - 1) = INV^Y(t) - Poistot(t) \quad (9)$$

Verkon arvo kasvaa, kun verkkoon investoidaan, $I^Y(t)$, ja se pienenee, kun siitä tehdään poistoja, $Poistot(t)$. Yrityksen investointeja merkitään yläindeksillä Y , koska verkonosien arvo yritystaseessa perustuu todelliseen investointiin ja poistoihin, mutta valvontamallissa komponenttihinastoon. Investoinnit tehdään keskimäärin hinnastohintoja edullisemmin.

¹ Vain mallin muuttujien yhtälöt numeroidaan. Parametrien laskennasta esitetään kaavat ilman numerointia.

Verkko-omaisuudesta tehdään kolmenlaisia poistoja: i) Alkuhetken tilinpäätöksen mukainen poisto, $d_W(0) = w_0$, kohdistuu lähtötilanteen verkkoon; ii) tarkastelujakson aikana tehtyjen investointien poisto, $D_U(t)$; ja iii) kertapoistot eli ennenaikaisesti puretut ilmajohtot, $D_{EA}(t)$. Lähtötilanteen poistot jatkuvat samansuuruisina, kunnes alkutilanteen verkko on poistettu (ei välttämättä tapahdu tarkastelujaksolla). Kertapoistot tehdään, jotta varma verkko saadaan määrääkaaan mennessä tehtyä. Ennenaikaisesti purettujen verkonosien arvo on niiden laskennallinen jäännösarvo. Jäännösarvon laskenta kuvataan liitteessä.

Verkko-omaisuuden poistot

$$Poistot(t) = d_W(t) + D_U(t) + D_{EA}(t) \quad (10)$$

Yrityksen taseesta uusi verkko poistuu vuosittain tasaerin taloudellisen poistoaikataulun mukaan, kun taas valvontamallissa poistot etenevät teknisen pitoajan mukaisesti. Alkutilanteen (vanha) verkko poistetaan aloitusvuoden poistojen, w_0 , suuruisin vuosiaskelin.

Vanhan verkon poisto

$$\begin{aligned} a_W(t) &= \max\{0, a_W(t-1) - w_0\} \\ d_W(t) &= a_W(t-1) - a_W(t) \end{aligned}$$

missä $a_W(t)$ on vanhan verkon arvo vuonna t . Tämä aikasarja on laskentamallin lähtötieto.

Tarkastelujaksolla tehdyt investoinnit poistetaan tasaerin T_L vuoden kuluessa. $D_U(t)$ on eri vuonna tehtyjen investointien poistojen $D_I(t')$ summa vuonna t :

Investointien poistot

$$D_I(t') = \frac{1}{T_L} INV^Y(t), \quad t = t' \quad (11)$$

$$D_U(t) = \sum_{t'} \delta(t, t') D_I(t') \quad (12)$$

missä aktiivisuusparametri $\delta(t, t')$

$$\delta(t, t') = \begin{cases} 1, & t \geq t' \wedge t \leq T_L \\ 0, & \text{muulloin} \end{cases}$$

saa arvon yksi, niin kauan kuin poistettavaa on jäljellä. t' on investointivuosi ja T_L on poistojakson pituus. Taloudellinen poistoaikataulu on riippumaton verkon fyysisestä pitoajasta, jota merkitään T_f .

Jos yhtiön taseessa on liikearvoa niin sitä poistetaan vuosittain lähtövuoden mukaisesti:

Liikearvopoisto

$$a_{LA}(t) = \max\{0, a_{LA}(t-1) - g_0\}$$

$$d_{LA}(t) = a_{LA}(t-1) - a_{LA}(t)$$

missä $a_{LA}(t)$ on liikearvo vuonna t . Tämä aikasarja on laskentamallin lähtötieto. Alkutilanteen liikearvo poistetaan samoin kuin verkko eli aloitusvuoden poisto g_0 jatkuu vuosittain niin kauan kuin poistettavaa riittää.

Omaisuuksien rahoitus tehdään omalla ja vieraalla pääomalla, ts. taseen loppusumma on oman ja vieraan pääoman summa.

$$Tase^Y(t) = OPO^Y(t) + VPO^Y(t) \quad (13)$$

Vieras pääoma jakautuu korolliseen, $V_{koroll}(t)$, ja korottomaan pääomaan, v_{kton}^Y . Korottoman velan määrä pidetään alkutilanteen arvossa. Alkutilanteen korollista velkaa lyhennetään ta-
saerin niin kauan kuin velkapääomaa riittää. Tarkastelujakson aikana otettuja tavallisia lainoja
kohdellaan annuiteettiperiaatteen mukaisesti.

Vieras pääoma koostuu korollisesta ja korottomasta pääomasta

$$VPO^Y(t) = V_{koroll}(t) + v_{kton}^Y \quad (14)$$

Korollinen vieras pääoma

$$V_{koroll}(t) = Velka(t) + w_{velka}(t) \quad (15)$$

missä $w_{velka}(t)$ on alkutilanteen velka, jota lyhennetään vuosittain määrällä, joka vastaa alkuti-
lanteen velkamäärää jaettuna verkon keski-iällä. $Velka(t)$ on tarkastelujaksolla otettujen lainojen
jäljellä oleva määrä. Vieraan pääoman dynamiikka on suoraviivaista: se kasvaa, kun yhtiö ottaa
lisää velkaa ja se vähenee, kun velkaa lyhennetään. Koroton velka pysyy muuttumattomana.

Oman pääoman määrä lasketaan taseen loppusumman ja vieraan pääoman erotuksena siten,
että laskennassa huomioidaan oman pääoman mahdollinen negatiivisuus.

Oma pääoma

$$Tase^Y(t) - vpo^Y(t) = OPO_{pos}^Y(t) - OPO_{neg}^Y(t) \quad (16)$$

$$OPO_{pos}^Y(t) \leq M \cdot b_{oma}^Y(t) \quad (17)$$

$$OPO_{neg}^Y(t) \leq M \cdot (1 - b_{oma}^Y(t)) \quad (18)$$

missä $b_{oma}^Y(t)$ on binäärimuuttuja, jonka avulla oma pääoma on joko positiivinen $OPO_{pos}^Y(t)$ tai
negatiivinen $OPO_{neg}^Y(t)$. Rahavarat ovat osa omaa pääomaa. Niiden määrään vaikuttavat mak-
settavat osingot ja vapaan kassavirran määrä ja merkki. Tästä lisää seuraavassa luvussa.

2.3 Rahavirta

Kuvan 1b mukainen yrityksen rahavirta alkaa liikevaihdosta ja päättyy vapaaseen kassavirtaan.
Ennen rahavirran läpikäyntiä lasketaan kalibrointitermi, jolla täsmätään liikevaihdon ja liiketulo-
ksen arvot alkutilanteeseen. Kun muuttuvat eli OPEX-kulut ja poistot vähennetään liikevaihdosta,
päädytään liiketulokseen. Tuloslaskelman muut kuin ym. termit kiinnitetään alkutilanteen arvoihin,
joita merkitään alaindeksillä 0, jolloin vakiotermin arvoksi saadaan

$$\Delta lv = liikevaihto_0 - opex_0 - poistot_0 - liiketulos_0$$

Tämä vakio-termi vähennetään liikevaihdosta, jolloin käyttökatteen arvoksi tulee

$$Käyttökate(t) = Liikevaihto(t) - \Delta lv - OPEX(t) \quad (19)$$

Vastaavasti liiketulokselle ja nettotulokselle voidaan kirjoittaa

$$Liiketulos(t) = Liikevaihto(t) - \Delta lv - OPEX(t) - Poistot(t) \quad (20)$$

$$Nettotulos(t) = Liikevaihto(t) - \Delta lv - OPEX(t) - Poistot(t) - Vero(t) - Korko(t) \quad (21)$$

Liiketulos on valvontamallin (seuraava luku) lähtökohta. Nettotulos on yrityksen maksimoinnin kohde. Positiivinen nettotulos antaa mahdollisuuden maksaa omistajille osinkoa (osinkoa maksetaan myös muin perustein).

Muuttuvat kustannukset, OPEX(t), alenevat säävarman verkon osuuden kasvaessa. Niiden kehittyminen kuvataan valvontamalliluvussa osana tehostamiskannustimen määrittämistä ja yksityiskohtaisemmin raportin lopun kannustimia kuvaavassa liitteessä.

Verot määräytyvät liiketuloksen perusteella korkojen vähentämisen jälkeen. Laskentamallissa verojen määräytyminen muotoillaan epäyhtälönä:

$$Vero(t) \geq yvk \cdot [LiikeVaihto(t) - \Delta lv - OPEX(t) - Poistot(t) - Korko(t)] \quad (22)$$

missä *yvk* on yhtiöverokanta. Vain positiivisesta tuloksesta maksetaan veroa, joten suurempi kuin -muotoilu on välttämätön, koska sulkeissa oleva lauseke, liiketulos, voi saada myös negatiivisia arvoja. Vieraan pääoman korkokulut, *Korko(t)*, lasketaan osana velan hallintaa.

Yhtiön vuotuista taloudellista tulosta kuvataan vapaalla kassavirralla (*Kassa(t)*), joka on rahavirran päätepiste. Rahavirta kokonaisuudessa määritellään seuraavasti:

$$\begin{aligned} &Liikevaihto(t) - \Delta lv \\ &\quad - OPEX(t) \\ &\quad - Vero(t) \\ &\quad - Korko(t) \\ &- Lyhennys(t) \\ &\quad - INV^Y(t) \\ &- OsinkoT(t) \\ &\quad + Laina(t) \\ &\quad + addPO(t) \\ &= \\ &Kassa(t) \end{aligned} \quad (23)$$

OPEX(t) kuvaa muuttuvien kustannuksia, *Vero(t)* maksettujen verojen määrää, *Korko(t)* lainojen vuosikorkojen määrää, *Lyhennys(t)* on lainapääoman lyhennykset ja *INV^Y(t)* verkkoinvestointien määrä ja *OsinkoT(t)* nimensä mukaisesti kuvaa maksettujen osinkojen määrän. Seuraavat kaksi tekijää ennen yhtälöisyysmerkkiä ovat ohjaussuureita: *Laina(t)* kuvaa uutta lainaa ja *addPO(t)* omistajien yhtiöön tuomaa uutta pääomaa. Vapaa kassavirta joko lisää (positiivinen) tai vähentää (negatiivinen) yhtiön rahavarallisuutta.

Poistot eivät ole kassasta maksettava erä, minkä vuoksi ne eivät esiinny rahavirtayhtälössä, mutta ne vaikuttavat verojen ja ym. tulosindikaattorien arvoihin. Lainoihin liittyvät tekijät, korot ja lyhennykset, käsitellään myöhemmin omana kokonaisuutenaan.

Sähköverkkoon tehtävien *investointien* yksikkökustannus perustuu verkkokilometrin hintaan, k^ω . Se vaihtelee yrityskohtaisesti ja verkkotyypin mukaan. $V_U^\omega(t)$ kuvaa uusien ω -tyyppisten verkkokilometrien määrää tarkasteluvuotena.

Investointi

$$INV^Y(t) = \varphi(t) \cdot \sum_{\omega} k^{\omega} V_U^{\omega}(t) \quad (24)$$

missä kerroin $\varphi(t)$ kuvaa todellisen investointikustannuksen ja regulaatiomallin komponenttihinnastoon perustuvan kustannuksen suhdetta. Kertoimen arvo lähestyy ykköstä ajan myötä. Tilastotietojen valossa asetetaan $\varphi(t) = 0.8$. Valvontamallissa lasketaan verkon arvo komponenttihinnaston mukaan, mikä tarkoittaa, että valvontamallissa pätee $\varphi(t) = 1$.

Yhtiön maksaman osinkojen määrä rajoitetaan valituksi osuudeksi, f , nettotuloksesta, $Netto(t)$. Vain positiivisesta nettotuloksesta jaetaan osinkoa, joten osingon määrä kuvataan seuraavin yhtälöin:

$$Netto(t) = Netto_{plus}(t) - Netto_{neg}(t) \quad (25)$$

$$Netto_{plus}(t) \leq b_N(t) \cdot M \quad (26)$$

$$Netto_{neg}(t) \leq (1 - b_N(t)) \cdot M \quad (27)$$

$$Osinko(t) \leq f \cdot Netto_{plus}(t) \quad (28)$$

Osinkoja maksetaan nettotuloksesta, jos se on linjassa nettotuloksen maksimoinnin kanssa.

Osinkoja voidaan tulouttaa omistajille myös taseeseen kerrytetyistä rahavaroista, $RV(t)$. Maksettua osinkoerää merkitään $addOS(t)$.

$$RV(t) = RV(t - 1) + Kassa(t) - addOS(t) \quad (29)$$

$$OsinkoT(t) = Osinko(t) + addOS(t) \quad (30)$$

Jotta taseeseen ei kerry epärealistisen suurta rahamäärää, asetetaan sille enimmäisosuus taseeseen kokonaismäärästä. Vaaditun toimitusvarmuuden saavuttaminen annetussa aikataulussa voi johtaa yhtiön hankalaan taloustilanteeseen suuren investointitarpeen vuoksi. Jos oma pääoma uhkaa mennä negatiiviseksi, tai rahoituksen saannille asetetut ehdot eivät täyty ja verkkomaksujen yritystalouden kannalta riittävä korotus johtaa valvontamallin kieltämiin kompensoimattomiin positiivisiin jaksotuloksiin, niin omistajien yritykseen tuoma lisäpääoma, $addPO(t)$, on viimesijainen selviytymiskeino. Viimesijaisuus tarkoittaa, että pääomittamisen kokonaismäärälle, $KPO(t)$, asetetaan kohdefunktiossa kustannus, joka on lähes positiivisen jaksotulossanktion suuruinen.

$$KPO(t) = KPO(t - 1) + addPO(t) \quad (31)$$

Yritykseen tarkastelujaksolla tuodun lisäpääoman kokonaismäärä, $KPO(t)$, kasvattaa kohdefunktion minimoitavia kustannuksia. Yhtiön ei sen vuoksi kannata turvautua lisäpääomittukseen ennen kuin muut sopeutumistoimenpiteet on hyödynnetty.

2.4 Velka

Velat muodostavat yritystalouden dynaamisen elementin. Viime vuoden tilanne vaikuttaa tämän vuoden tilanteeseen, minkä vuoksi muutos tapahtuu vähittäin, lainoja ottamalla ja niitä lyhentämällä. Alkutilanteen lainakorko lasketaan lähtötietojen perusteella jakamalla korkomenot lainakannalla ja vuosittaisen lyhennyksen määrä lasketaan jakamalla lainakanta verkon keskiällä. Lainat hoidetaan alkutilanteen mukaisin koroin ja lyhennyksin niin kauan, kuin velkapääomaa riittää.

Laina(t)-muuttuja kuvaan tarkasteluvuonna otettua uutta lainaa ja *Velka(t)* on eri vuosina otettujen lainojen jäljellä olevaa määrää yhteensä. Lainojen vuosikulut, lyhennykset ja korkomenot, *Lyhennys(t)* ja *Korko(t)*, määräytyvät annuiteettiperiaatteen mukaan lainan ottovuoden korkotasoa soveltaen. Takaisinmaksuaika valitaan esimerkiksi 20 vuodeksi.

Velkadynamiikan perussuureita kuvataan matriisilla $m(t,t')$, jossa rivi t kertoo kalenterivuoden ja sarake t' lainan ottovuoden. Matriisin $Laina(t,t')$ diagonaalille, $t=t'$, asettuvat uudet lainat, $L(t')$. Jokainen matriisin rivi kuvaa riviä vastaavana vuonna otetun lainan ja sarakkeet jäljellä olevan lainapääoman. Alla olevien velkayhtälöiden parametrit ovat seuraavat:

- Korko määräytyy vieraan pääoman ottohetken t' kustannuksen mukaisesti

$$\rho(t, t') = rr(t') * r_{VPO}$$

- Lainan, jonka ottohetki on t' ja pitoaika on t_L , annuiteettikerroin on

$$a(t, t') = \frac{r(t')}{1 - (1 + r(t'))^{-t_L}}$$

- Lainan olemassaolon indikaattori

$$\delta(t, t') = \begin{cases} 1, & t \geq t' + 1 \wedge t \leq t' + t_L + 1 \\ 0, & \text{muulloin} \end{cases}$$

Lainapääoman yhtälöt

$$Laina(t, t') = \begin{cases} L(t'), & t = t' \\ Laina(t-1, t') - LYH_U(t-1, t'), & t > t' \end{cases} \quad (32)$$

$$Tasalaina(t, t') = a(t, t') \cdot L(t') \quad (33)$$

$$Korkomaksu(t, t') = \rho(t, t') \cdot Laina(t, t') \quad (34)$$

$$Korko(t) = \sum_{t'} \delta(t, t') \cdot Korkomaksu(t, t') + rr(t) \cdot r_0 \cdot w(t) \quad (35)$$

$$LYH_U(t, t') = \delta(t, t') \cdot (Tasalaina(t, t') - Korkomaksu(t, t')) \quad (36)$$

$$Lyhennys(t) = \sum_{t'} \delta(t, t') \cdot LYH_U(t, t') + w_{LYH}(t) \quad (37)$$

$$Velka(t) = \sum_{t'} Laina(t, t') \quad (38)$$

Lainan tasaerän koko, $Tasalaina(t, t')$, ei muutu, mutta lyhennyksen, $LYH_U(t, t')$ ja koron, $Korkomaksu(t, t')$, määrät muuttuvat ajan myötä. Lyhennykset eri lainoista yhteensä, $Lyhennys(t)$, lasketaan summaamalla otettujen lainojen erät yhteen. Laina-ajan pituus hallitaan parametrilla $\delta(t, t')$, jonka arvo lasketaan ennen optimoinnin alkua. Alkutilanteen lainaerät, $w(t)$, summataan otettujen lainojen vastaavien erien kanssa yhteen.

2.5 Yritystalouden tunnusluvut

Kuvan 1b oikean puolen kassavirran termeistä lasketaan yrityksen taloudellista tilaa kuvaavat suureet. Kannattavuuden indikaattorit lasketaan ratkaisun perusteella. Rahoituksen saantia kuvaavat tekijät muotoillaan rajoituksina, jotka osaltaan ohjaavat yrityksen käyttäytymistä.

2.5.1 Rahoituksen saannin edellytykset

Rahoituksen mittarit tai tunnusluvut liittyvät rahoituksen saannin ehtoihin. Sen vuoksi ne määritellään rajoitusehtoina. Rajat ohjaavat ratkaisun realistiselle alueelle.

Lainanhoitokate muotoillaan seuraavasti

$$\text{Lainanhoitokate} = lhk(t) = \frac{\text{Käyttökate}(t) - \text{Vero}(t)}{\text{Korko}(t) + \text{Lyhennys}(t)}$$

Lainanhoitokate kuvaa sitä osuutta käyttökatteesta, joka verojen jälkeen on käytettävissä mm. lainanhoitokuluihin. Lainanhoitokatteen arvon tulkinta on seuraava²: Tilanne on heikko, jos arvo on alle 1; tilanne on tyydyttävä, jos arvo on 1-2; ja tilannetta luonnehditaan hyväksi, jos arvo on yli 2. Tällöin verojen jälkeisestä käyttökatteesta menee rahoittajille alle puolet. Rajoituksena tämä muotoillaan seuraavasti.

Lainanhoitokate

$$\text{Käyttökate}(t) - \text{Vero}(t) \geq lhk(t) \cdot [\text{Korko}(t) + \text{Lyhennys}(t)] \quad (39)$$

Epäyhtälöllä varmistetaan, että käyttökate on riittävän suuri korkojen ja lyhennysten maksuun. Tätä rajoitusta sovelletaan vain tarkastelujakson viimeiselle vuodelle. Ajatuksena on, että tunnusluku saa rankan investointivaiheen aikana pudota alle kahden, mutta lopuksi sen on nouseva kohtuulliselle tasolle. Näin muotoiltuna yrityksen toimintaa rajoitetaan mahdollisimman vähän.

Nettovelkaantumisaste (eli net **gearing**) on tunnusluku, joka kuvaa yrityksen mahdollisuutta saada lisärahoitusta. Se lasketaan jakamalla korolliset nettovelat yrityksen omalla pääomalla.

$$\text{Nettovelkaantumisaste}_{\%} = \frac{\text{Korolliset velat} - \text{rahavarat}}{\text{Oma pääoma}} \cdot 100\%$$

Rahavarat tarkoittaa laskentamallin tapauksessa taseessa olevia rahavaroja. Nettovelkaantumisasteen ”hyvän taloudenpidon” ylärajana pidetään noin 100 %, mitä perustellaan sillä, että normaalisti luotonantaja ei ota yrityksen toiminnasta suurempaa riskiä kuin omistajakaan. Tulokinnan ohjearvot ovat³:

- Hyvä: $\leq 60\%$
- Tyydyttävä: 60 – 120 %
- Heikko: $\geq 200\%$

Jos luku on negatiivinen, niin yhtiö on nettovelaton ja erittäin vakavarainen. Myös tämä tunnusluku muotoillaan rajoituksena

Gearing-rajoite

$$ngr \cdot OPO^Y(t) \geq V_{koroll}(t) - RV(t) \quad (40)$$

missä *ngr* on valittu suurin hyväksyttävä arvo nettovelkaantumisasteelle. Tämä rajoitusyhtälö vaikuttaa oman pääoman ja korollisten velkojen väliseen suhteeseen.

Nettorahoituskulut (nrk) käyttökatteesta kertoo, kuinka suuri osa käyttökatteesta menee rahoittajalle.

² <https://www.almatalent.fi/tietopalvelut/tunnuslukuopas>

³ <https://www.almatalent.fi/tietopalvelut/tunnuslukuopas>

$$nrk(t) = \frac{\text{Korko}(t)}{\text{Käyttökate}(t)}$$

Viitteelliset ohjearvot ovat seuraavat⁴ Hyvä: alle 20 %; tyydyttävä: 20-29 %; Välttävä: 30-39 %; ja heikko: yli 40%. Tämä tunnusluku muotoillaan osuuden ylärajana siten, että korkojen osuus ei saa ylittää valittua osuutta käyttökatteesta. Sitä sovelletaan vain tarkastelujakson päätepis- teessä, koska huomio on yrityksen pitkän aikavälin toiminnan tarkastelussa.

$$\text{Korko}(t) \leq nrk(t) \cdot \text{Käyttökate}(t) \quad (41)$$

Kuten lainanhoitokatteen tapauksessa, ym. ohjearvojen soveltaminen aiheuttaisi joillekin yrityksille ylityspääsemättömiä ongelmia muutosjakson alkuvaiheessa, jos rajoitusta sovellettaisiin jokaisena vuotena.

2.5.2 Kannattavuuden mittarit

Kannattavuutta tarkastellaan laskentatulosten perusteella jälkikäteen, eli ne eivät muodosta mallirajoituksia. Kannattavuutta arvioidaan neljällä mittarilla⁵, joskin tuloskuvissa esitetään tilanpuutteen vuoksi vain sijoitetun pääoman tuotto ja liiketulos. Kolme ensimmäistä indikaattoria - ROI, ROE, ROA - joilla on pääomatekijä jakajana, lasketaan vallitsevan käytännön mukaisesti kahden peräkkäisen vuoden keskiarvoilla.

Kun yrityksen tulos suhteutetaan sen saamiseksi tarvittuihin resursseihin eli yrityksen sitomaan pääomaan, on kyse sijoitetun pääoman tuotosta. Sijoitetun pääoman vähimmäistuotona pidetään yrityksen vieraalle pääomalleen maksamaa korkoa. Omalle pääomalle ja lainapääomalle tulisi saada vähintään rahamarkkinoilla vallitsevan korkotason mukainen tuotto.

Sijoitetun pääoman tuotto ROI (tai ROCE)

$$ROI = \frac{\text{Liiketulos}}{\text{Sijoitettu pääoma}}$$

Sijoitettu pääoma on joko *oman ja korollisen vieraan pääoman* summa tai *taseen loppusumma*, josta on vähennetty *koroton vieras pääoma*. Indeksien laskentaan valitaan näistä suurempi.

Kokonaispääoman tuotto, ROA, lasketaan liiketuloksen ja taseen loppusumman perusteella.

$$ROA = \frac{\text{Liiketulos}}{\text{Tase}}$$

Kokonaispääoman tuotto kertoo, kuinka paljon yritystoimintaan sitoutuneelle pääomalle on ker- tynyt tilikaudella tuottoa. Tunnusluvussa verrataan tulosta ennen rahoituskuluja ja veroja koko siihen pääomaan, joka on sitoutunut yritystoimintaan. Taseen loppusumman sijaan käytetään korollisen vieraan pääoman määrää, jos se on tasetta suurempi.

Oman pääoman tuotto, ROE (Return on Equity), lasketaan jakamalla nettotulos oman pää- oman määrällä.

$$ROE = \frac{\text{Nettotulos}}{\text{Oma pääoma}}$$

⁴ Alma Talent tunnuslukuopas: <https://www.almatalent.fi/tietopalvelut/tunnuslukuopas>

⁵ Emma Lilja diplomityössään esittää hyvän katsauksen: Emmi Lilja, Profitability of the Finnish electricity distribu- tion operators during the years, 2014-2019, LUT 2020.

Oman pääoman tuotto prosentti kertoo yrityksen kyvystä huolehtia omistajien yritykseen sijoittamista pääomista, eli kuinka paljon omalle pääomalle on kertynyt tuottoa tilikauden aikana. Tämä indikaattori poikkeaa muista kannattavuusindikaattoreista siinä, että jaettava suure on nettotulos liiketuloksen sijaan. Nettotulos on yrityksen maksimoinnin kohteena.

Liiketulosta tarkastellaan liikevaihtoon suhteutettuna, $liiketulos_{\%}$

$$Liike_{\%} = \frac{Liiketulos}{Liikevaihto} \cdot 100\%$$

Liiketulos kertoo, kuinka paljon varsinaisen liiketoiminnan tuotoista on jäänyt jäljellä ennen rahoituseriä ja veroja. Tunnusluku huomioi toimintakulujen lisäksi myös yrityksen käyttöomaisuuden kulumisen eli poistot.

2.6 Kohdefunktio

Valvontamalli asettaa yhtiön toiminnalle tietyt rajoitukset ja yleiset yritystaloudelliset vaatimukset rajoittavat osaltaan verkkoyhtiön toimintaa. Näiden rajoitusten rajaamalla alueella malli etsii parhaan mahdollisen ratkaisun tavoitefunktion mukaisesti. Nettotuloksen maksimointi on luonnollinen valinta yrityksen kohdefunktioksi.

Teknologioiden erilaiset toiminta-ajat huomioidaan palauttamalla investoinnin päätösajankohdan jäännösarvo kohdefunktioon. Investoinnin arvon oletetaan laskevan lineaarisesti, jolloin jäljellä olevaa arvoa kuvaa tarkastelun päättyessä jäljellä olevan toiminta-ajan osuus koko toiminta-ajasta.

Hetkellä t tehdyn investoinnin arvosta on tarkastelujakson päättyessä jäljellä

$$q(t) = \frac{\max\{0, t + L - T - 1\}}{L}$$

missä L on toiminta-aika ja T on viimeinen vuosi. Tällä tekijällä kerrotaan investoinnin arvo ja se diskonttataan nykyhetkeen ja vähennetään kohdefunktion kuluista.

Kohdefunktio

$$\begin{aligned} \text{Min } f &= - \sum_t \beta(t) \cdot \text{Nettotulos}(t) \\ &+ \sum_t a_F^{pos} q^{pos}(t) \\ &+ \sum_t a_K \cdot KPO(t) \\ &- \beta(T) \sum_t^T q(t) I^Y(t) \end{aligned} \tag{42}$$

Kerroin $\beta(t)$ on diskonttaustekijä

$$\beta(t) = \frac{1}{(1+r)^t}$$

missä r on yhtiön käyttämä diskonttauskorko.

Toinen rivi muodostaa sakkofunktion, jolla estetään valvontamallin mukaisen perättäisten jaksotuloksen positiivisuus. Se toteutetaan määrittelemällä kustannuskerroin a_F^{pos} hyvin suureksi. Tästä lisää valvontamallia kuvaavassa luvussa.

Kolmas rivi kuvaa lisöpääoman tuonnin kustannuksen, eli kannustaa olemaan sitä käyttämättä. Kohdefunktiota täydennetään myöhemmin verkkotariffin asettamiseen liittyvin lisätermein esimerkkilaskelmien ensimmäisessä osassa.

Neljäs rivi huomioi investoinnin jäännösarvon tarkastelun päätöshetkellä.

3. Valvontamalli

Valvontamalli toimii markkinoiden korvikkeena monopoliasemassa olevalle sähköverkkoyhtiölle. Sen tarkoitus on rajoittaa yhtiön voitot kohtuullisiksi ja samalla kannustaa yhtiötä verkon hyvään hoitoon. Yhtiöiden toimintaa arvioidaan sekä vuosittain että nelivuotisin valvontajaksoin. Rajoituksia valvontamallissa on kaksi: verkkomaksu saa nousta enintään 8 % vuodessa ja ylivoitot eivät ole sallittuja. Ylivoittorajoitus tarkoittaa sitä, että yhtiön jaksotuloksen ylittäessä nollatuloksen (eli yhtiö saa ylivoittoa⁶), on yhtiön seuraavalla valvontajaksolla hyvitetävä se asiakkailleen. Jaksotulos lasketaan summaamalla valvontajakson tilikauden tulokset yhteen. Vastaavasti, valvontajakson negatiivisen tuloksen saa tasapainottaa seuraavan valvontajakson vastaavansuuruisella positiivisella tuloksella. Käytännössä viranomaisen toteuttaa valvontaa valvontamallin tulosten perusteella tehtävinä päätöksinä, kun taas tässä laadittu laskentamalli toteuttaa viranomaistehtävää malliin muotoilluin rajoitusyhtälöin.

Tässä luvussa kuvataan Energiaviraston valvontamallia siltä osin kuin se on tämän työn kannalta oleellista. Energiaviraston verkkosivuilta ladattava Excel-pohjainen työkalu (Kohtuullisen ... (2019)) toimii lähtökohdana tässä kuvattavaan laskentamalliin. Valvontamallissa on sekä staattisia että dynaamisia osia. Staattisuus tarkoittaa, että vain tarkastellun vuoden lukuarvoilla on merkitystä ja dynaaminen sitä, että yhden tai useamman aiemman ajanhetken lukuarvot vaikuttavat laskettavan suureen arvoon. Valvontamallitoteutusta vaikeuttaa, että kaikkia tarvittavia lähtötietoja ei ole julkisesti saatavilla. Puuttuvat tiedot korvataan käyttämällä muuta saatavissa olevaa tietoa ja tekemällä tilanteen mukaisia oletuksia lukuarvojen laskemiseksi.

Excel-mallin muuntaminen optimointiympäristöön ei ole suoraviivaista, sillä monet valvontamallin laskentakaavat ovat epälineaarisia. Ne on muokattava käytettyyn paloittain lineaariseen ratkaisuympäristöön sopiviksi. Tässä luvussa käydään läpi valvontamallin eri osien toteutus yleisellä tasolla. Tarkka kuvaus niiden implementoinnista löytyy raportin lopun liitteestä.

Valvontamallissa asetetaan toiminnan tehostamisvaatimuksia niin koko toimialalle kuin yritys-kohtaisesti. Yrityskohtaiset vaatimukset lasketaan sangen monimutkaisin menetelmin toimialan kaikkien yritysten toiminnan perusteella. Vaatimusten täyttäminen tai täyttämättä jättäminen vaikuttaa yrityskohtaisesti tehostamiskannustimen arvoon. Tässä laaditun mallin tehostamisvaatimus lasketaan aikariippuvalla funktiolla, joka on kuvattu luvussa 11.1.3. Samaa toimintatapaa sovelletaan myös vuosittain määritettävälle pääoman keskikustannukselle, joka valvontamallissa koostetaan usean tekijän yhdeksi. Laskentamallin korkotason kehittyminen kuvataan kappaleessa 4.1.3.

⁶ Ylivoittoa, koska valvontamalli sallii yhtiölle ns. kohtuullisen tuoton. Näiden ehtojen vallitessa paras mahdollinen jaksotulos on nollatulos.

3.1 Verkon arvo

Valvontamallissa sähköverkon taloudellista arvoa kuvataan kahdella suureella, jotka ovat verkon jälleenhankinta-arvo ja verkon nykykäyttöarvo. Jälleenhankinta-arvo kuvaa rahamäärää, jolla verkko on tarkasteluhetkellä rakennettavissa uudelleen kokonaisuudessaan. Tätä rahamäärää käytetään investointikannustimen määrittämiseen. Verkon nykykäyttöarvo kuvaa verkkoon sitoutuneen pääoman arvoa tarkasteluhetkellä, kun verkon komponenttien ikääntyminen on huomioitu. Sekä jälleenhankinta-arvon että nykykäyttöarvon määrittäminen perustuu verkon komponenttien määrään, hintaan ja ikään. Laskentamallissa verkon perusyksiköksi on määritetty verkkokilometri, koska komponenttitason dataa ei verkoista ole saatavissa. Erityyppisille verkkokilometreille voidaan sen sijaan laskea arvo yhtiökohtaisesti julkaistujen tietojen perusteella.

Jokainen verkkokilometri kuuluu johonkin ikäluokkaan $\tau = \{1, \dots, T_f^\omega\}$, missä T_f^ω on verkon tyyppiä $\omega = \{\text{maa, ilma, äly}\} = \{m, i, g\}$ teknistaloudellinen pitoaika. Muuttuja $V^\omega(t, \tau)$ kuvaa verkkokilometrien määrän hetkellä t ikäluokassa τ . Verkon pituus ikäluokittain saadaan summaamalla vanhat (eli alkutilanteen verkkokilometrit, alaindeksi W) ja uudet (laskentajakson aikana rakennetut, alaindeksi U) verkot yhteen.

Verkkopituus verkkotyypeittäin

$$V^\omega(t, \tau) = V_U^\omega(t, \tau) + V_W^\omega(t, \tau) \quad (43)$$

Verkon jälleenhankinta-arvo, $JHA(t)$:

$$JHA(t) = \sum_{\omega, \tau} k^\omega V^\omega(t, \tau) \quad (44)$$

missä k^ω on verkkokilometrin hinta. Verkkokilometrin hinta vaihtelee verkon tyyppiin ja yhtiön mukaan.

Verkon nykykäyttöarvo $NKA(t)$

$$NKA(t) = \sum_{\omega, \tau} \rho^\omega(\tau) \cdot k^\omega V^\omega(t, \tau) \quad (45)$$

missä $\rho(\tau)$ on ikäkerroin, joka kuvaa verkon nykykäyttöarvon ikäluokittain. Ikäkerroin lasketaan kaavalla

$$\rho^\omega(\tau) = \max \left\{ 0, 1 - \frac{\tau-1}{T_f^\omega} \right\}$$

Osoittajassa ikätekijästä vähennetään puoli vuotta, koska ikävaikutus lasketaan puolen vuoden kohdalta.

3.2 Tase ja oikaistu pääoma

Valvontamallissa omaisuuden arvoksi otetaan yrityksen kirjanpidon mukaisen tasearvon sijaan verkon laskennallinen nykykäyttöarvo ja sitä täydentää tietyt muut tase-erät. Vuonna 2016 näiden muiden erien osuus jäi alle 10 %:iin verkon nykykäyttöarvosta. Nämä muut erät pidetään tarkastelussa vakiona, joten valvontamallin mukaisen taseen loppusumma muuttuu verkon nykykäyttöarvon mukaan. Kaavoissa yläindeksi VM viittaa valvontamalliin (erotuksena yritystalouden suureista, joihin viitataan indeksillä Y).

Oikaistun taseen arvo

$$Tase^{VM}(t) = NKA(t) + a_0 = OPO^{VM}(t) + VPO^{VM}(t) \quad (46)$$

a_0 kuvaa alkutilanteen vakiona pysyvän varallisuuden arvon. Alkutilanteessa verkon nykykäyttö-arvo, $NKA(0)$, saadaan julkisista tilastoista. Tase kasvaa, kun verkkoon investoidaan ja se pienenee, kun verkko vanhenee.

Omaisuus rahoitetaan omalla, $OPO^{VM}(t)$, ja vieraalla, $VPO^{VM}(t)$, pääomalla, eli taseen loppusumma on tuttuun tapaan oman ja vieraan pääoman summa. Valvontamallissa identiteetti toteutetaan oman pääoman tasauserän avulla. Tasauserä tarvitaan, koska verkko arvotetaan yritystaseesta poikkeavalla tavalla, mutta taseidentiteetistä - taseen loppusumma on oman ja vieraan pääoman summa – ei haluta poiketa. Laskentamallissa tasauserää ei erotella, vaan se sisällytetään suoraan omaan pääomaan. Vieras pääoma jakautuu korollisiin velkoihin, $V_{koroll}(t)$, ja (laskentamallissa) vakioina pysyviin muihin korottomiin eriin, v_{kton}^{VM} .

Vieras pääoma

$$VPO^{VM}(t) = V_{koroll}(t) + v_{muu}^{VM} + POLaina_0 \quad (47)$$

$$V_{koroll}(t) = V_{koroll}^{Uusi}(t) + w_{velka}(t) \quad (48)$$

Korollisten velkojen erät ovat tarkastelujakson aikana otetut uudet lainat, $V_{koroll}^{Uusi}(t)$ ja alkutilanteen velat, $w(t)$. Lähtötilanteen pääomalainat, $POLaina_0$, muodostaa vieraan pääoman erän, jonka ei oleteta muuttuvan tarkasteluaikana.

Oman pääoman määrä lasketaan siis taseen loppusumman ja vieraan pääoman erotuksena.

Oma pääoma

$$Tase(t) - VPO^{VM}(t) = OPO^{VM}(t) \quad (49)$$

Valvontamallin mukainen verkon vanheneminen ja yrityksen tilinpidollinen poistomenettely tuottavat erilaisen varallisuuden tason.

3.3 Valvontamallin rahavirta

Yrityksen myyntitulot, eli käytännössä liikevaihto, muodostuu siirretyn (luovutetun) sähkön hinnan ja määrän tulona. Kun tästä tulosta vähennetään muuttuvat kulut ja poistot, päädytään liike-tulokseen, joka on valvontamallin lähtökohta (kuva 1b).

Rahavirta komponenteittain:

$$\begin{aligned}
 & \text{Liiketulos}(t) \\
 & + \text{Palautus} \\
 & + \text{Poistot}(t) \\
 & - \text{RK}(t) \\
 & - \text{TP}(t) \\
 & + \text{LaatuK}(t) \\
 & + \text{TehosK}(t) \\
 & - \text{ToimitusK}(t) \\
 & - \text{PKK}(t) \\
 & = \text{TKtulos}(t)
 \end{aligned}$$

Liiketulokseen palautetaan ensin maksetut verkkovuokrat ja poistot. Poistojen palauttaminen kytkeytyy siihen, että yrityksen kirjanpidon mukaiset poistot korvataan valvontamallin tasapoistoilla, jotka perustuvat komponenttihinnaston perusteella laskettuun verkon jälleenhankinta-arvoon. Palautusten jälkeen tekijät rivi riviltä ovat seuraavat:

- $RK(t)$ kuvaa valvontamallin mukaiset kohtuulliset rahoituskustannukset;
- Kannustimia on kaikkiaan neljä: $TP(t)$ on tasapoistojen määrä (investointikannustin), $LaatuK(t)$ on laatukannustimen arvo, $TehosK(t)$ on tehostamiskannustimen arvo ja $ToimitusK(t)$ on toimitusvarmuuskannustin. Laatu- ja tehostamiskannustin voivat saada joko negatiivisia tai positiivisia arvoja, mikä selittää niiden etumerkin (poikkeaa valvontamallin standardiesittelystä). Innovaatiokannustinta ei laskentamallissa huomioida;
- $PKK(t)$, on pääomalle annettava kohtuullinen korvaus;
- Tilikauden tuloksen, $TKtulos(t)$, avulla toteutetaan valvontamallin jaksotuloksen ohjaus (luku 3.4.2).

Seuraavaksi käydään suureet rahavirtayhtälön mukaisessa järjestyksessä. Kannustinarvojen laskennan hankalimmat yksityiskohdat löytyvät liitteestä, tässä keskitytään laskentaperiaatteen. Kannustimien jälkeen kuvataan pääomamäärittely ja sille annettava kohtuullinen korvaus. Lopuksi esitetään yhtiön liikevaihtoon ja valvontajakson tuloksiin liittyvien rajoitusten toteutus.

Kohtuullisten rahoituskustannusten arvo lasketaan liikevaihdon ja vieraan pääoman kustannuksen (r_v) avulla.

Kohtuulliset rahoituskustannukset

$$RK(t) = r_v \cdot 10\% \cdot \text{Liikevaihto}(t) \quad (51)$$

Valvontamallissa on rahoituskustannuksille myös vaihtoehtoinen laskentatapa, mutta tässä kaikkiin yhtiöihin sovelletaan tätä sääntöä, koska se on pääsääntöisesti yhtiön kannalta tuottoisin tapa ja se on lisäksi yksinkertaista toteuttaa.

Investointikannustin, eli tasapoistot, $TP(t)$, lasketaan suoraviivaisesti jakamalla verkon jälleenhankinta-arvo, JHA , pitoajalla ja summaamalla yli verkkotyypin

$$\text{InvK}(t) = \sum_{\omega} \frac{1}{T_f^{\omega}} JHA^{\omega}(t) \quad (52)$$

Verkon pitoaika on tyypillisesti noin 40 vuotta, mutta älyverkolla (luku 6) selvästi vähemmän.

Toimitusvarmuuskannustimella, $ToimitusK(t)$, korvataan ennenaikaisten ilmaverkkokilometrien purkamisen aiheuttama taloudellinen haitta. Ennenaikainen purkaminen voi olla ainoa vaihtoehto toimitusvarmuuden parantamiselle aikataulussa. Tästä aiheutuva kustannus lasketaan purettujen verkonosien nykyarvona. Toteutusaikataulun pidentäminen kahdella valvontajaksolla vuoden 2021 lakimuutoksessa käytännössä poisti ennenaikaisen purkamisen tarpeen.

Ilmajohdojen ennenaikaisten purkujen aiheuttama arvon menetys (yritystaseessa kertapoisto, jolle $\beta_{tvk} = 1$)

$$ToimitusK(t) = \beta_{tvk} \cdot k^i \cdot \sum_{\tau} \rho_0(\tau) \cdot R_{purku}^i(t, \tau) \quad (53)$$

missä $\beta_{tvk} \in [0,1]$ määrittelee ennenaikaisen purun arvosta osan, joka hyväksytään kannustimeksi (esimerkkilaskelmissa 0,33), k^i on ilmajohdotkilometrin investointikustannus, $\rho_0(\tau)$ on ikäluokan τ arvokerroin (jäljellä olevan arvon osuus) ja $R_{purku}^i(t, \tau)$ on purettavien kilometrien määrä.

Tehostamiskannustin, $TehosK(t)$, liittyy muuttuvien (OPEX-) kustannusten määrään ja laatukannustin, $LaatuK(t)$, jakelun keskeytyksistä aiheutuvan haitan (KAH) määrään. Tehostamiskannustimen tarkoitus on kannustaa verkonhaltijaa toimimaan kustannustehokkaasti ja laatukannustimen tarkoitus on kannustaa jakeluverkon haltijaa saavuttamaan vähintään vertailuarvon mukainen toimitusvarmuustaso.

Näiden kannustimien arvo lasketaan rakenteeltaan samanlaisella epälineaarilla menetelmällä, jonka toteuttaminen laskentamallissa on teknisesti monimutkaista. Sen vuoksi varsinaiset laskentakaavat on siirretty liitteeseen. Seuraavaksi käydään läpi kannustimien periaatteellinen rakenne ja toiminta.

Kannustimen arvo määräytyy kustannuksen $C(t)$ (joko OPEX tai KAH) ja vertailuarvon $C_{ref}(t)$ erotuksena, jota kutsutaan tässä vertailuerotukseksi ja merkitään symbolilla $\Delta C(t)$. OPEX-kulujen vertailuarvo määräytyy sekä koko toimialalle että yritykselle asetetuista tehostamisvaatimuksista. KAH-tapauksessa vertailuarvon muodostaa kahden edellisen valvontajakson keskimääräinen KAH-arvo. Lähtökohtaisesti kannustimen arvo on sama kuin vertailuerotus. Kannustimen itseisarvoa kuitenkin rajoitetaan siten, että tehostamiskannustin saa olla enintään 20 % ja laatukannustin 15 % pääoman kohtuullisesta tuotosta. Laskentamenetelmä toimii siten seuraavalla tavalla.

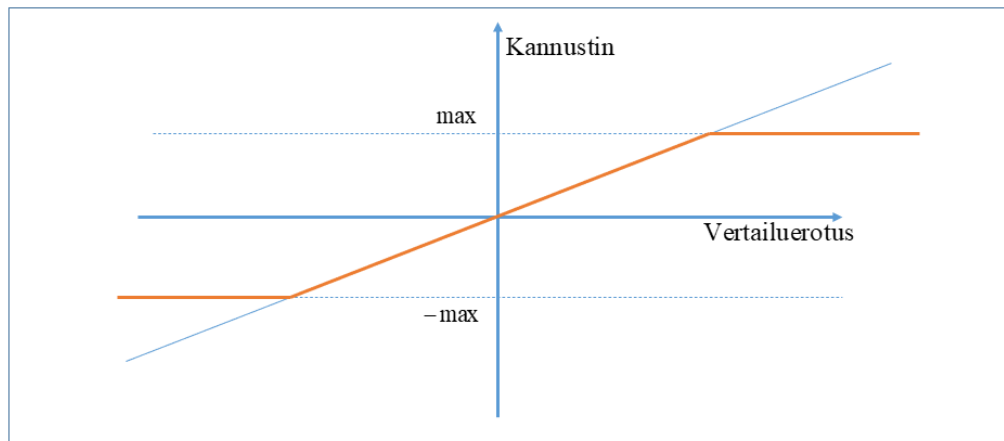
Ensin lasketaan vertailuerotuksen arvo

$$\Delta C(t) = C(t) - C_{ref}(t)$$

ja tätä arvoa verrataan asetettuihin rajoihin, joiden perusteella kannustin, $y(t)$, saa arvonsa:

$$\begin{aligned} \text{Jos } |\Delta C(t)| \leq \Delta C_{\max} \text{ niin } y(t) &= \Delta C(t) \\ \text{Jos } |\Delta C(t)| > \Delta C_{\max} \text{ niin } y(t) &= \begin{cases} \Delta C_{\max}, & \Delta C(t) \geq 0 \\ -\Delta C_{\max}, & \Delta C(t) < 0 \end{cases} \end{aligned}$$

Kuvana arvo määräytyy ehkä selvemmin, kuva 2.



Kuva 2. Tehostamis- ja toimitusvarmuuskannustimen (oranssi viiva) määrittäminen. Pystyakseli kuvaa kannustimen arvoa, ja vaaka-akseli vertailuerotuksen arvoa.

Kannustimen arvoksi tulee vertailuerotuksen arvo, kun sen arvo ei poikkea nolasta sallittua määrää enempää. Tehostamiskannustimelle pätee

$$TehosK(t) = C(t) - C_{ref}(t)$$

ja laatukannustimelle vastaavasti.

Jos kannustimen arvo yo. kaavalla laskien ylittää asetetut ääriarvot, niin kannustimen arvoksi asetetaan ylitetyn rajan mukainen arvo. Liitteessä on esitetty yksityiskohtaisesti, miten maakaapeloinnin lisääminen vaikuttaa vertailuerotuksen arvoon ja miten kannustimen epälinearisuuden voi toteuttaa optimointimallissa.

Pääoman kohtuullinen korvaus lasketaan valvontamallissa oman pääoman ja korollisen (tavallinen ja pääomalaina) vieraan pääoman summalle käyttäen pääoman keskikustannusta $wacc$.

Pääoman kohtuullinen korvaus, $PKK(t)$, lasketaan pääoman määrän, kantaluvun, ja sen keskikustannuksen, $wacc^7$, avulla valitulla kiinteällä oman ja vieraan pääoman suhteella $\varphi(t) = \varphi = \text{opo}/(\text{opo}+\text{vpo}) = \text{vakio}$. Pääomalajeilla on omat tuottovaatimuksensa ja ne yhdistetään painotetuksi keskikustannukseksi. $wacc_0$ edustaa normaalisti käytettävää keskikustannuksen laskukavaa. Valvontamallissa yhtiöveron kompensointi (hakasulkulausekkeen edessä oleva tekijä) tuo normaalista poikkeavan lisäkertoimen, arvoltaan 1,25, pääoman keskikustannuksen laskentaan.

$$wacc_0 = \varphi \cdot r_{OPO} + (1 - yvk) \cdot (1 - \varphi) \cdot r_{VPO}$$

$$wacc = \frac{1}{1 - yvk} \cdot [wacc_0]$$

$$wacc = \varphi \cdot \frac{r_{OPO}}{1 - yvk} + (1 - \varphi) \cdot r_{VPO}$$

(54)

missä r_{OPO} on oman pääoman kustannus ja r_{VPO} vieraan pääoman kustannus. Valvontamallissa pääomaosuudet on kiinnitetty seuraavasti: 60 % omaa ja 40 % vierasta pääomaa. Oman ja vieraan pääoman korkotasot lasketaan Energiaviraston valvontamallin dokumentin kuvaamalla tavalla. Laskentamallin kannalta korkotason alkuarvo ja sen muuttuminen yli ajan ovat oleellisia lähtötietoja.

⁷ Energiavirasto, Valvontajakson 2016-2020 menetelmät. Helsinki 2015.

Pääoman kohtuullinen korvaus kirjoitettuna pääomalajit huomioivaan muotoon on seuraava:

$$PKK(t) = rr(t) \cdot wacc \cdot [OPO^{VM}(t)] + (V_{koroll}(t) + POvelka(t)) \quad (55)$$

missä *yvk* kuvaa yhtiöveroa ja $rr(t)$ ⁸ korkotasojen muutosta yli ajan.

Rahavirtayhtälön viimeinen tekijä, tilikauden tulos, liittyy jaksotuloksen rajoitukseen ja se on seuraavan luvun aihe.

3.4 Valvontamallin asettamat rajoitukset

Valvontamalli rajoittaa yhtiön taloudellista tulosta asettamalla ylärajan niin liikevaihdon vuosittaiselle kasvulle kuin nelivuotisen valvontajakson oikaistulle tulokselle.

3.4.1 Liikevaihto

Valvontamallin mukaan liikevaihdon kasvu ei saa ylittää 8 % vuodessa. Se muotoillaan rajoitusyhtälönä seuraavasti.

Liikevaihdon kasvurajoitus

$$Liikevaihto(t + 1) - (1 + a) \cdot Liikevaihto(t) \leq 0 \quad (56)$$

missä *a* saa arvon 0,08.

3.4.2 Jaksotuloksen rajoittaminen

Tilikauden tulosta valvotaan valvontajaksoittain. Jakson aikana syntynyt ylijäämä, eli nollaa suurempi valvontajakson oikaistujen vuositulosten summa, on kompensoitava seuraavan nelivuotisjakson aikana samansuuruisella negatiivisella tuloksella. Vastaavasti, jakson aikana syntynyt tappio on sallittua kuroa umpeen seuraavan nelivuotisjakson aikana – mitään vaatimusta ei tälle ole.

Valvontamallin nelivuotisjaksot *j* muodostavan joukon *J*. Nelivuotisjaksoon *j* kuuluvat vuodet merkitään t_j ($t \in t_j$).

Valvontajakson tulos lasketaan tilikauden tulosten summana ja tulos on joko positiivinen, *WJ* (*j*), tai negatiivinen, *RJ* (*j*):

$$\sum_{t \in t_j} TKtulos(t) = WJ(j) - RJ(j) \quad (57)$$

$$WJ(j) \leq b(j) \cdot M \quad (58)$$

$$RJ(j) \leq (1 - b(j)) \cdot M \quad (59)$$

Binäärimuuttujalla *b(j)* varmistetaan, että vain jompikumpi jaksomuuttuja poikkeaa nolasta. *M* on suuri luku.

⁸ Valvontamallissa ei ole tätä tekijää, koska korko määrätään vuosittain, mutta laskentamallissa muutos määritellään lähtötietona koko tarkastelujaksolle.

Valvontamallin mukaan positiivinen jaksotulos voidaan kompensoida joko edellisen tai seuraavan jakson negatiivisella tuloksella. Negatiivista jaksotulosta voi käyttää sekä edellisen että seuraavan jakson positiivisen tuloksen tasapainottamiseen (osa negatiivisesta tuloksesta voi mennä edeltävän ja loppuosa seuraavan jakson kompensointiin). Kompensointi tehdään kahdessa vaiheessa, kaavat a ja b:

Jaksotuloksen ajallinen allokointi

$$WJ(j) = W_{nyt}(j) + W_{seur}(j) \quad (60)$$

$$RJ(j) = R_{nyt}(j) + R_{seur}(j) \quad (61)$$

Jakson j taseyhtälöön tulevat sekä edelliseltä jaksolta siirtyvä määrä että nykyjakson komponentti. Jaksotulos käytetään joko nykyisellä jaksolla edellisen jakson tuloksen kompensointiin, $W_{nyt}(j)$, tai se siirretään seuraavalle jaksolle, $W_{seur}(j)$ tai se jakautuu näiden kesken. Tase nolautuu tasapainottavilla tekijöillä q .

Jaksotulosten tase

$$[W_{seur}(j-1) - R_{seur}(j-1)] + [W_{nyt}(j) - R_{nyt}(j)] + q^{neg}(j) - q^{pos}(j) = 0 \quad (62)$$

Ensimmäinen hakasulkulauseke kuvaa edelliseltä jaksolta siirtyvän tuloksen, toinen nykyisen jakson tuloksen ja q -tekijät tasapainottavat tilanteen tarpeen mukaan.

Mahdollisimman hyvää tulosta tavoitteleva verkkoyhtiö pyrkii valvontamallin mukaiseen oikaistuun nollatulokseen. Se toteutuu verkkopalvelun hintaa nostamalla tai laskemalla. Positiivinen tulos joko neutraloi aiemman jakson negatiivisen tuloksen tai se kompensoi seuraavan jakson negatiivista tulosta. Kompensoimaton positiivinen poikkeama, $q^{pos}(j)$, ei ole sallittu, joten siihen liitetään kohdefunktiossa hyvin suuri kustannus.

Jaksotuloksen poikkeamaa negatiiviseen suuntaan ei valvontamalli rajoita. Yritystalouden kannalta verkkoyhtiön on kuitenkin täytettävä käyttäjän määrittelemät terveen talouden minimikriteerit. Nämä vaatimukset kohdentuvat kuvan 1b oikeanpuoleiseen, eli yritystalouden kassavirtaan.

4. Esimerkkitarcastelut: osa 1

Tässä luvussa tarkastellaan valvontamallin ja yritysmallin vuorovaikutusta esimerkkiyhtiöiden avulla. Toimitusvarmuuden parantaminen, joka on merkittävä investointiajuri, ei ole valvontamalliin sisältyvä asia, vaan lainsäätäjän asettama vaatimus verkkoyhtiöiden toiminnalle.

Ensimmäinen alaluku tarkastelee sitä, miten maakaapelikilometrien osuus vaikuttaa toimitusvarmuuden paranemiseen. Tämä on keskeinen selittäjä investointitoiminnan laajuudelle useimmissa yhtiöissä.

4.1 Laskentaesimerkkien taustaa

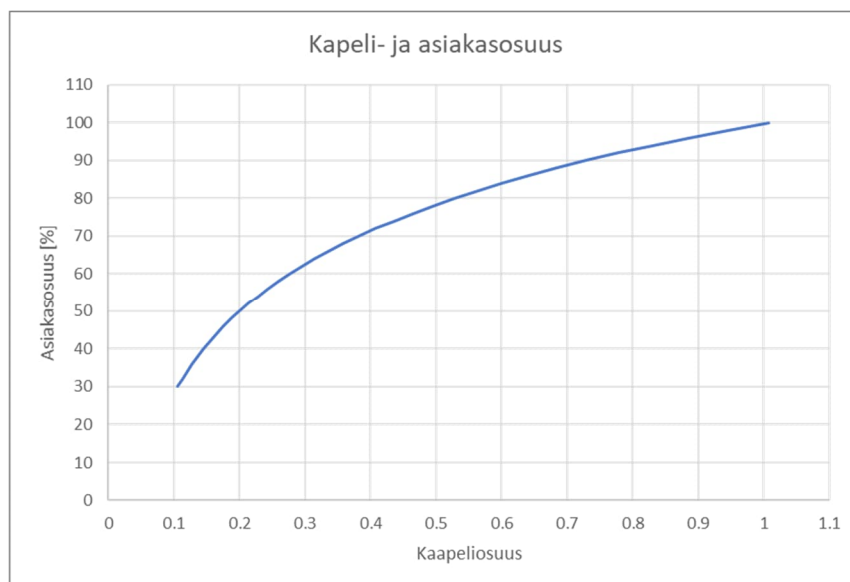
Merkittävä verkkoyhtiöiden toimintaan vaikuttava syy viimeisen vuosikymmenen aikana on ollut vaatimus sähkön toimitusvarmuuden parantamisesta. Myrskyvarmuus paranee, kun sähkö kulkee maakaapelissa ilmajohtojen sijaan. Paremmiin myrskyjä kestävästä jakeluverkon rakentaminen on kallista, eikä asiakkaiden lisäksi muita maksajia ole.

Tehostamis- ja toimitusvarmuuskannustimien tavoitearvot kuvataan liitteessä, kuku 11.1.3. Malli on toteutettu GAMS-ohjelmointiympäristössä ja ongelma ratkaistaan CPLEX-optimointiohjelmalla.

4.1.1 Toimitusvarmuuden parantaminen maakaapeloinnilla

Laki määrittelee toimitusvarmuustavoitteen sen mukaan, onko kyseessä haja-asutusalue vai taajama. Viimemainituilla alueilla toimitusvarmuusvaatimus on ankarampi. Toimitusvarmuus määritellään laissa katkojen enimmäispituutena. Mallissa tämä tavoite muotoillaan varman verkon osuutena koko verkosta. Tätä kuvataan termillä kaapeliosuus.

Valtaosa sähköverkkoyhtiöiden asiakkaista sijaitsee eri kokoisissa taajamissa. Mitä kauemmas taajamasta mennään, sitä vähemmän jokainen lisäkilometri tuo uusia asiakkaita sähköverkon piiriin. Puolet asiakkaista on kuvan 4 mukaan saavutettavissa 20 % kaapelointiosuudella. Kuva on periaatteellinen ja yhtiöt luonnollisesti eroavat toisistaan, mutta ilmiö koskee kaikkia yhtiöitä. Koska mallilaskelmissa tavoite on määriteltävä täsmällisesti, valitaan seuraavasti: Haja-asutusalueella toimitusvarmuustavoitteeksi valitaan 60 % asukasosuus maakaapeliverkossa. Se vastaa kuvan 3 mukaan noin 28 % kaapeliosuutta. Kaupungissa asukasosuuden on oltava noin 85 %, mikä vastaa noin 60 % kaapelointiosuutta.



Kuva 3. Asiakasmäärän ja kaapeloinnin suhde. Lähde: Partanen, Jarmo, Toimitusvarmuusvaatimusten täytäntöönpanoajan pidennyksen vaikutusanalyysi. 12/2019.

Kuvan 3 mukaista käyrää sovelletaan kaikkiin yhtiöihin. Käyrän yhtälöstä ratkaistaan joko kaapeliosuus y tai säävarman verkon asiakasosuus r sen mukaan, mitä haetaan.

$$y_r = b \cdot m^r \Leftrightarrow r = \frac{\ln\left[\frac{y_r}{b}\right]}{\ln[m]}$$

missä y = kaapeliosuus ja r = asiakasosuus. b ja m ovat vakioita.

Aikataulu muutoksen toteuttamiseksi on seuraava: kahden valvontajakson kuluttua (8 vuotta) on saavutettava vähintään puolet tavoitteesta ja koko tavoite on saavutettava viiden jakson eli 20 vuoden kuluessa. Yhtiöt, joiden toimitusvarmuus on jo vaaditulla tasolla, tekevät vain ylläpitoinvestointeja.

4.1.2 Kaapelointitavoitteen toteuttaminen

Uuden säävarman verkon rakennusvauhdille asetetaan yläraja

$$V(t + 1) - V(t) \leq a \cdot \Delta V \quad (63)$$

missä a on vakio ja ΔV toimitusvarmuusparannuksen edellyttämän varman verkon rakennusvauhti (km/a) tasaisen vauhdin taulukon mukaan (siis vaadittu kaapelimäärän lisäys jaettuna käytettävissä olevalla ajalla). Esimerkkilaskuissa on asetettu $a=3$.

Väliaikatavoite varman verkon kilometrimäärälle s_{VA} hetkellä t_{VA} .

$$V(t_{VA}) \geq s_{VA} \quad (64)$$

Esimerkkilaskelmissa vaaditaan, että puolet tavoitteesta on saavutettava kahden valvontajakson kuluessa, eli $t_{VA}=8$.

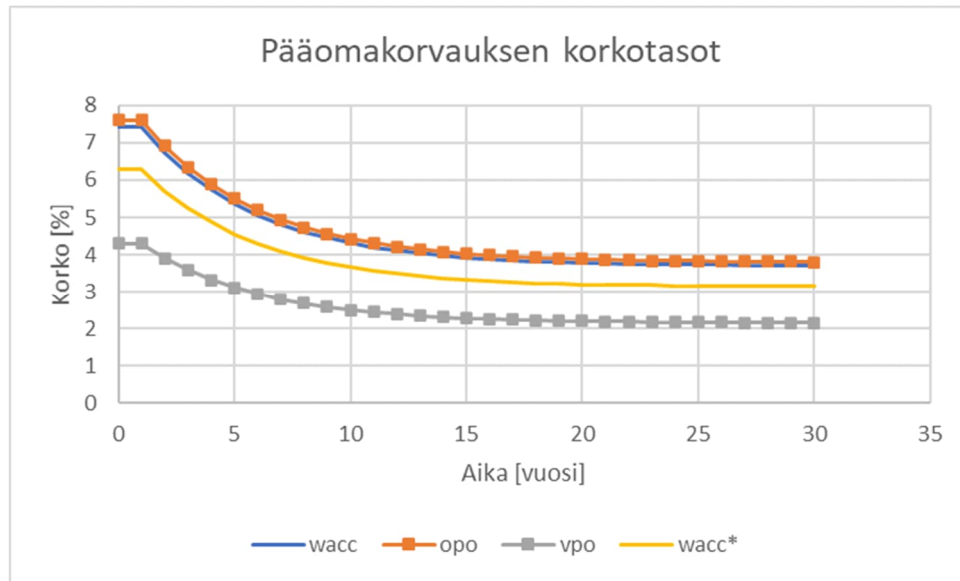
Siirtymäajan, t_1 , lopussa varman verkon pituuden s_1 on oltava

$$V(t_1) = s_1 \quad (65)$$

Tässä halutaan rajoittaa varman verkon rakentaminen asetettuun minimitilaan vertailun yksinkertaistamiseksi, minkä vuoksi yhtälö on muotoiltu yhtälönä eikä epäyhtälönä (\geq).

4.1.3 Lähtöolettamuksia korkotasoista

Seuraava kuva 4 esittää korkotasojen muutoksen esimerkkitapauksissa. Korkeudet tasoittuvat lähtötilanteeseen verrattuna, mikä luonnollisesti aiheuttaa eri tapauksien tulosten konvergenssia.



Kuva 4 Korkotasojen kehittyminen esimerkitapauksessa. Markkereilla merkityt korkotasot ovat varsinaiset lähtöarvot. wacc on nykymallin mukainen ko. lähtöarvoilla laskettu pääoman keski-kustannus ja sille vertailun vuoksi samalla 60/40-suhteella laskettu wacc* ilman yhtiöveron kompensointia (standarditapa). opo= oma pääoma; vpo= vieras pääoma.

Kehitys yli ajan lasketaan kertomalla korkojen alkuarvo funktiolla $rr(t)$:

$$rr(t) = \frac{1}{2} \left[1 + e^{\frac{(1-t)}{5}} \right], t \geq 1$$

Yhtälön tuottama koron kehitys vastaa Energiaviraston näkemystä jonkun vuoden takaa. wacc ja wacc* korkotasojen ero johtuu valvontamallin yhtiöveron kompensoinnista.

4.2 Liikevaihdon vuosittaisen vaihtelun vaimentaminen

Mallin lineaarisuudesta ja optimoivasta luonteesta johtuen verkkomaksut (liikevaihto) voivat muuttua vuodesta toiseen levottomasti. Verkkomaksujen epärealistista muutosta hillitään taloudellisin kannustimin, sakkofunktioin. Tämä sekä lisää realismia että helpottaa tulosten tulkintaa.

Muutoksia vaimennetaan kaksivaiheisesti: (i) valvontajakson sisällä rangaistaan siitä, jos liikevaihto poikkeaa jakson keskiarvosta; ja (ii) lisäksi rangaistaan siitä, jos liikevaihdon keskiarvo muuttuu valvontajaksosta toiseen. Rakente ei estä muutoksia, vaan tekee ne ”linjakkain”.

Liikevaihdon vaihtelun vaimentaminen valvontajaksolla

$$LV_{KA}(j) = \frac{1}{T_{jakso}} \sum_{t \in T_j} Liikevaihto(t) \quad (66)$$

$$LV_{KA}(j) - Liikevaihto(t_j) = LV_{pos}(t_j) - LV_{neg}(t_j) \quad (67)$$

$$LV_{diff}(j) = \sum_{t \in T_j} [LV_{pos}(t) + LV_{neg}(t)] \quad (68)$$

Kaava (63) kuvaa jakson keskiarvoliikevaihdon laskennan ja seuraava kaava soveltaa sitä jakson sisäiseen laskentaan. Viimeinen yhtälö summaa poikkeamat yhteen niiden sakottamista varten.

Jakson keskiarvoliikevaihdon, $L_{VKA}(t)$, vaihtelu voi kasvaa epärealistisen suureksi muutostilanteessa. Esimerkiksi, kun toimitusvarmuustavoite (maakaapeliosuustavoite) on saavutettu ja siirytään verkon kehittämisestä sen ylläpitoon, niin tulo-rahoitustarve (liikevaihto) voi pienentyä huomattavasti. Vaihtelua vaimennetaan asettamalla sakko jakson keskiarvoliikevaihdon vaihtelulle:

Verkkomaksujen keskiarvon muutos jaksosta toiseen

$$LV_{KA}(j+1) - LV_{KA}(j) = LV_{KA}^{pos}(j+1) - LV_{KA}^{neg}(j+1) \quad (69)$$

Muutokset huomioidaan kohdefunktiossa summaamalla yhtälön vasemman puolen termit ja kertomalla niitä muutokustannuksella. Kohdefunktioon otetaan vain positiivinen poikkeama, eli vain verkkomaksun nostot sanktioidaan.

4.3 Kohdefunktio

Kohdefunktiolla ohjataan yhtiön käyttäytymistä. Yrityksen tavoite on nettotuloksen maksimointi. Sen vuoksi nettotuloksen merkki on kohdefunktiossa negatiivinen. Samoin osinkojen maksulle voi halutessaan laittaa kannustinkertoimen α_{OS} , jos varallisuutta kertyy taseeseen epärealistisia määriä. Kaikki muut termit kohdefunktion termit, positiivinen jaksotulos, pääomitus, liikevaihdon muutosten vaimentaminen, saavat positiivisen kustannuskertoimen, jolloin yhtiö pyrkii niitä välttämään.

$$\begin{aligned} \text{Min } f = & - \sum_t \beta(t) \cdot \text{Nettotulos}(t) \\ & + \sum_t a_F^{pos} q^{pos}(t) \\ & + \sum_t a_K \cdot KPO(t) \\ & - \beta(T) \sum_t q(t) I(t) \\ & + v_1 \sum_j LV_{diff}(j) \\ & + v_2 \sum_j [LV_{KA}^{pos}(j+1)] \end{aligned} \quad (70)$$

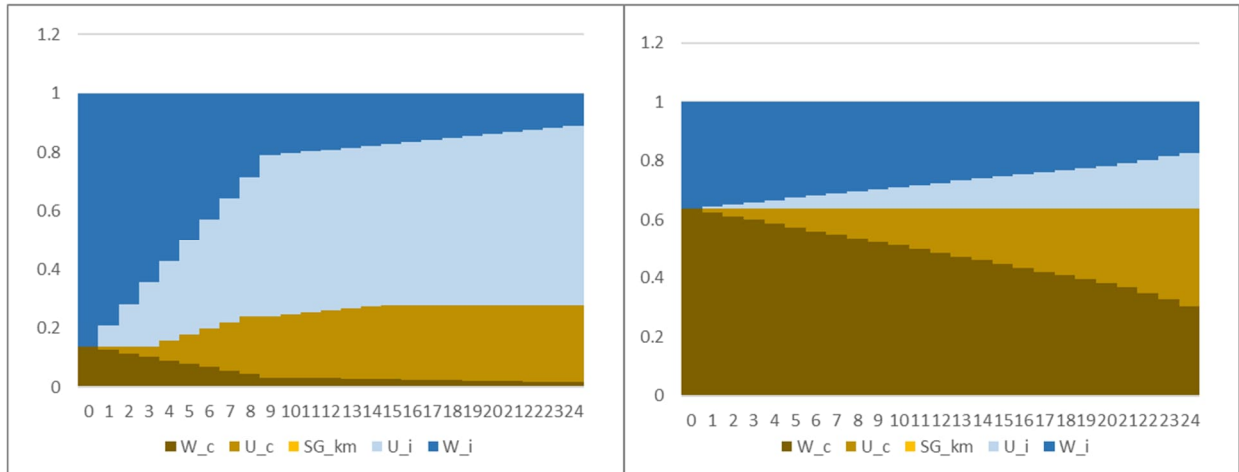
4.4 Esimerkkiyhtiöt

Esimerkkitarcasteluissa käsitellään kahta erilaista yhtiötä. Ensimmäinen on pienehkö haja-asutusalueen yhtiö, jolla on lähtötilanteessa hyvin alhainen maakaapeliverkon osuus. Vertailuyhtiönä on kaupunkiyhtiö, jonka toimitusvarmuus on jo tarvittavalla tasolla.

4.5 Sähköverkon kehittyminen

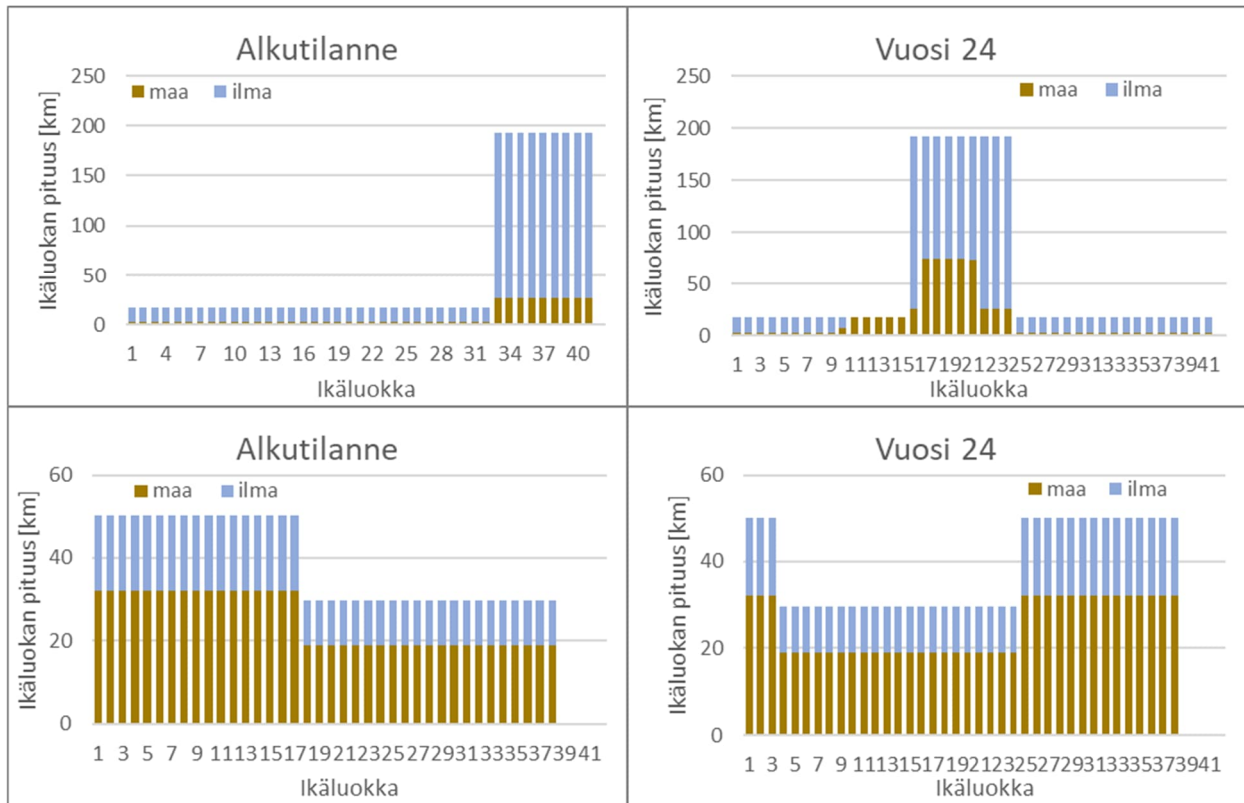
Sähköverkko muodostaa sähköverkkoyhtiön toiminnan perustan. Yhtiöiden vertailun helpottamiseksi maakaapeliosuus kiinnitetään tavoitemäärään tai, jos se ylittyy, niin silloin alkutilanteen osuus ylläpidetään.

Kahden esimerkkiyhtiön, toinen haja-asutusalueelta ja toinen kaupunkiympäristöstä, verkon kehittymistä esittää kuva 5.



Kuva 5. Verkon eri-ikäisten ja -tyyppisten verkonosien osuudet kahdessa esimerkkiyhtiössä yhtiöissä. U_i = uudet ilmajohtot; W_i = alkutilanteen ilmajohtot; U_c = uudet maakaapelit; W_c = alkutilanteen maakaapelit.

Kaupungissa, oikeanpuoleinen paneeli, toimitusvarmuutta ei ole tarvetta nostaa, mikä näkyy maakaapeleiden ja ilmajohtojen vakio-osuutena. Verkkoa ylläpidetään korvaamalla poistuvia verkkokilometrejä vastaavilla uusilla verkonosilla. Haja-asutusalueen yhtiössä on sen sijaan investoitava todella paljon: maakaapelointiin toimitusvarmuustavoitteen saavuttamiseksi ja ilmajohtoihin poistuvien johtokilometrien korvaamiseksi. Poikkeuksellisen voimakas muutos vanhojen ilmajohtojen poistumana selittyy verkon äärimmäisellä ikärakenteella, kuva 8 alla.



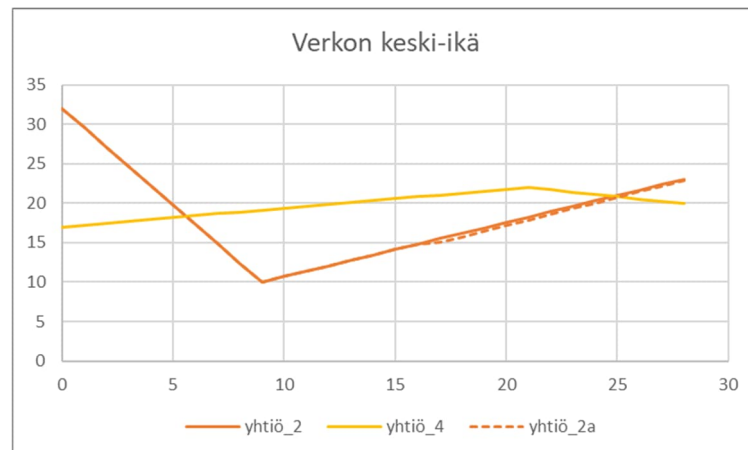
Kuva 6. Kuvan 5 verkkoyhtiöiden verkon ikäluokkarakenne alussa (vuonna 0) ja tarkastelujakson lopussa (vuonna 24).

Julkisten tietojen perusteella tiedetään, tai voidaan laskea, verkon pituus, pitoaika ja keski-ikä. Näiden tietojen pohjalta on laadittu mahdollisimman yksinkertainen ikäluokkajakauma kuvan 8 tapaan. Koska tietoa maakaapeleiden ja ilmajohtojen historiallisesta suhteesta ei ollut käytettävissä, niin on oletettu, että se on sama kaikissa ikäluokissa. Todellisuudessa tilanne ei liene kuvan 8 mukainen, mutta esitetty rakenne sopii tunnuslukuihin.

Pitoaika haja-asutusalueen yhtiön verkolla on 41 vuotta ja kaupunkiyhtiöllä 38. Haja-asutusalueen yhtiön verkko on rakennettu pääosin 9 vuoden aikana yli 30 vuotta sitten ja sen jälkeen vuosiluokkien pituudet ovat vain noin kymmenesosa intensiivisen rakennusjakson tasosta. Toimitusvarmuustavoitteen vaikutus investointitahtiin on vähäinen lisä, sillä verkon äärimmäinen ikäluokkarakenne aiheuttaa suurimman osan investointikulusta, kuva 11. Toimitusvarmuustavoite vain hieman lisää investointitaakkaa.

Kaupunkiyhtiön verkossa uudemmat ikäluokat ovat vanhoja pidempiä, joten kaupunki lienee viime aikoina kasvanut. Koska toimitusvarmuustavoite ei vaikuta investointeihin, niin investointitarve säilyy kohtuullisena lähes 20 vuotta, kunnes nyt keski-ikää nuoremmat verkkoikäluokat tulevat korvausvaiheeseen. Se tapahtuu tarkastelujakson lopussa.

Esimerkkiyhtiöiden verkon keski-ikä seuraa investointien toteutusta kuvan 7 mukaisesti.



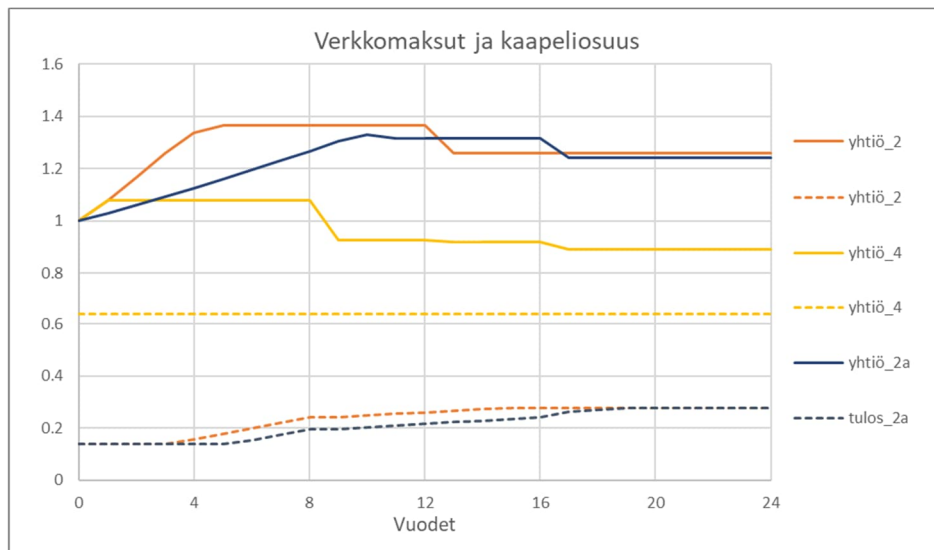
Kuva 7. Verkon keski-ikä tarkastelujaksolla. Yhtiö 2a on yhtiö 2, mutta erilaisella verkkomaksujen korotuspolitiikalla luvun 4.6 mukaisesti (kuva 8).

Yhtiö 2:n, haja-asutusalueen yhtiön, verkon keski-ikä putoaa nopeasti verkon ankaran uudistamisen ansiosta. Vuoden 9 jälkeen yhtiö siirtyy ylläpitovaiheeseen, jolloin verkon keski-ikä lähtee kasvuun. Kaupunkiyhtiö, yhtiö 4, on koko ajan ylläpitovaiheessa ja keski-ikä kasvaa, koska aina vuoteen 21 saakka poistuvat ikäluokat ovat keskimääräistä lyhyempiä ja uudistuminen on siten keskiarvoa hitaampaa. Vuoden 21 jälkeen verkkoikäluokat ovat vastaavasti keskiarvoa pidempiä, mikä selittää keski-ian alenemisen ko. vuoden jälkeen. Keski-ällä on merkitystä pääomakorvauksen kannalta, mikä onkin seuraavan luvun aihe.

4.6 Asiakkaan näkökulma

Liikevaihdon - myyntitulojen - suhteellinen suuruus kuvaa samalla verkkomaksun tason alkutilanteeseen verrattuna, koska luovutetun energiamäärän ei oleteta muuttuvan. Hintojen korotukselle valvontamallissa tekevät tilaa pääasiassa investointikannustin ja pääoman kohtuullinen korvaus. Ne reagoivat muutoksiin hitaasti, koska sähköverkko ja siihen sitoutunut pääoma ovat luonteeltaan muutoksia kumuloivia suureita. Yhden vuoden suurikaan investointimäärä ei jälleenhankinta-arvoa suuresti muuta, koska muutos jää väistämättä pieneksi koko verkon jälleenhankinta-arvoon verrattuna.

Asiakkaan näkökulmasta kiinnostavin seikka on verkkomaksujen kehittyminen, kuva 8.



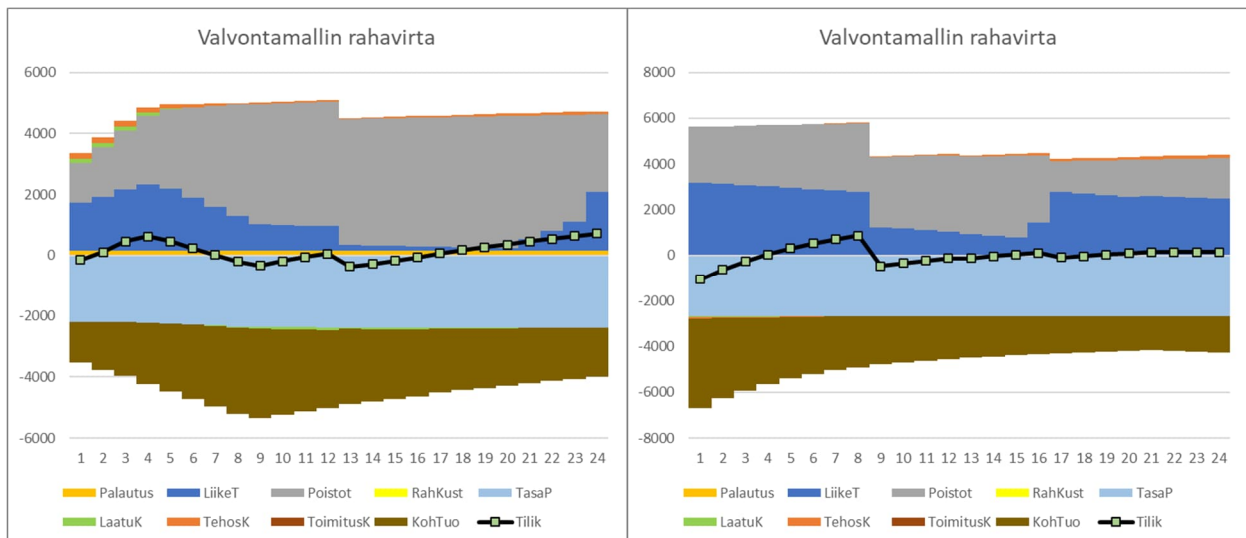
Kuva 8. Verkkomaksut suhteessa alkutilanteeseen (yhtenäinen viiva) eri tyyppisissä verkkoyhtiöissä. Kaapeliosuuden kehittyminen yli ajan (katkoviiva). Liikevaihdon (verkkomaksujen) tasomuutokset heijastavat yli- ja alijäämäisten valvontajaksojen vaihtelua.

Kuvan 8 mukaan kaupunkiyhtiössä (yhtiö 4) ei verkkomaksun korotusvaraa juuri ole (optimointi pitää huolen siitä, että korotusvara tulee käyttöön). Sen sijaan haja-asutusalueen yhtiöllä, yhtiö 2, hinta nousee 8 % vuotuista vauhtia kuusi vuotta, yhteensä lähes 40 % lähtötilanteeseen verrattuna. Koska näin suuri korotus voi olla vaikeaa läpiviedä ilman asiakaskunnassa syntyvää kritiikkiä, on tehty vaihtoehtoinen laskentaesimerkki, jossa vuotuinen korotus on asetettu enintään 3 % vuodessa. Verkkomaksu nousee samalle tasolle alkuperäisen tapauksen kanssa, mutta muutosjakso on pidempi. Hitaampi muutos helpottanee asiakaskunnan tilannetta, mutta huonontaa yhtiön taloudellista tilannetta, mikä on syynä siihen, että se toteutuu vain pakottamalla yhtiö siihen.

Kuvassa on katkoviivoin esitetty myös kaapeliosuuden kehittyminen. Kaupunkiyhtiössä osuus ei muutu, mutta haja-asutusalueen yhtiössä kaapeliosuus kasvaa nopeasti ennen puolen välin tavoitetta: puolet asiakaskunnasta on saatava varmemman verkon piiriin 8 vuoden kohdalla ja toinen puoli seuraavien kahden valvontajakson aikana. Kun verkkomaksun nousu rajoitetaan 3 % vuodessa, on investointitahti selvästi hitaampi. Suuremmin korotuksin toimitaan etupainotteisemmin.

4.7 Valvontamallin piirteitä

Valvontamallin rahavirran tarkastelu antaa hyvän yleiskuvan valvontamallin eri osien suhteellisesta merkityksestä, kuva 9. Valvontamallin rahavirta alkaa yrityksen liiketuloksesta, johon palautetaan poistot ja verkkovuokrat. Näin muodostetusta lähtötilanteesta vähennetään kannustimien arvot ja lopuksi vielä pääoman kohtuullinen korvaus. Lopputulokseksi saadaan tilikauden tulos. Esimerkkiyhtiöiden valvontamallirahavirrat tarkastelujaksolta on esitetty kuvassa 9.



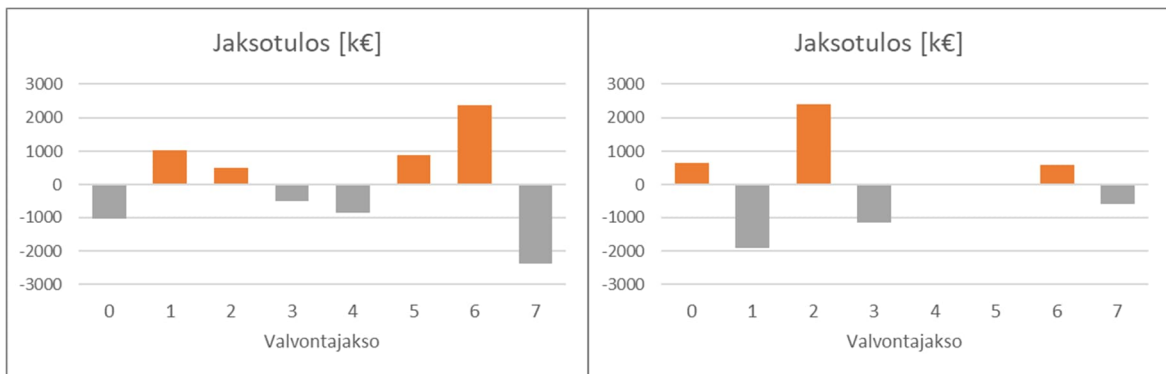
Kuva 9. Valvontamallin rahavirta esierkkiiyhtiöissä. Vasemmalla haja-asutusalueen yhtiö ja oikealla kaupunkiyhtiö. Selite: Palautus=verkkovuokra yms. liiketulokseen palautettava vakioerä; LiikeT= liiketulos; Poistot = yrityskirjanpidon mukaiset poistot; RahKust = rahoituskulut; TaasaP = investointikannustin; LaatuK = laatuKannustin; TehosK = tehostamiskannustin; ToimitusK = toimitusvarmuuskannustin; Koht_tuotto = pääoman kohtuullinen tuotto; Tilik = tilikauden tulos

Kun liiketulokseen palautetaan poistot ja muut järjestelyerät on rahavirran tulopuoli valmis. Osa kannustimista on positiivisella puolella, mikä tarkoittaa, että niiden arvo on vertailuarvoa suurempi. Se pienentää verkkomaksun nostomahdollisuutta, eli kannustimesta on yhtiön kannalta tullut sanktio. Kuvan 9 mukaan valvontamallin keskeinen tulopuolen tekijä liiketuloksen lisäksi on poistot ja menopuolella investointikannustin, tai tasapoistot, ja pääoman kohtuullinen korvaus. Molemmat menopuolen tekijät lasketaan verkon arvon perusteella: Investointikannustin verkon jälleenhankinta-arvon avulla ja pääomakorvaus verkon nykykäyttöarvon perusteella. Muut tekijät ovat kuvan 9 mukaan marginaalisia.

Investointikannustimen arvo pysyy käytännössä vakiona, mutta pääomakorvauksen⁹ suuruus muuttuu ajassa. Haja-asutusalueen yhtiön ankara investointiohjelma kasvattaa verkon nykykäyttöarvoa, koska verkkoon asennetaan uusia, entistä kalliimpia komponentteja. Sen vuoksi pääomakorvaus kasvaa. Kaupunkiyhtiön pääomakorvaus alenee lähtötilanteen arvosta, koska uusittavat verkkokilometrien ikäluokat ovat keskiarvoa lyhyempiä ja laadultaan entisen laisia. Tällöin verkon keski-ikä ja samalla nykykäyttöarvo pienenee.

Keskeinen sähköverkkoyrityksen monopoliaseman hyväksikäyttöä estävä piirre on valvontamallin jaksotuloksen rajoittaminen. Jaksotulos tarkoittaa neljän perättäisen vuoden tilikauden tulokseen summaa. Jos summa on positiivinen, niin verkkoyhtiön on hyvittävä se seuraavalla valvontajaksolla, ellei edeltävällä jaksolla ole tehty vähintään vastaavan suuruista negatiivista jaksotulosta, jolloin positiivista tulosta voidaan käyttää sen kompensoimiseen. Nollatulosta on suurin sallittu tulos, koska pääoman kohtuullinen korvaus huomioidaan jaksotuloksen laskennassa. Kuvassa 10 on esitetty yhtiöiden valvontajaksotulokset.

⁹ Pääomakorvaus sivuutetaan tässä, koska sitä käsitellään vaihtoehtoisia valvontamalliesityksiä vertailevassa luvussa yksityiskohtaisesti.

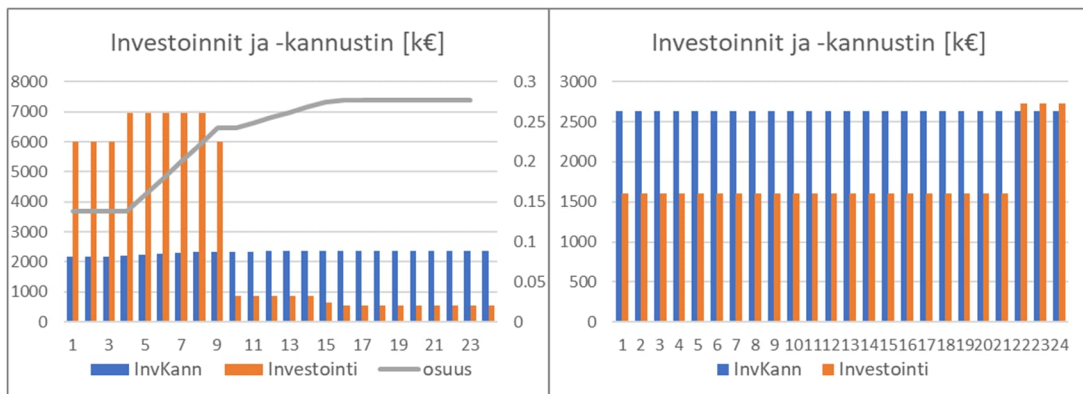


Kuva 10. Jaksotulos valvontajaksoittain. Vasen paneeli: haja-asutusalueen yhtiö, oikea paneeli: kaupunkiyhtiö.

Kuvan 10 valvontajakso 0 tarkoittaa arvioitua tarkastelujaksoa edeltävän jakson tulosta. Se on laskettu kertomalla vuoden 0 tilikauden tulos kahdella. Positiivisten tulosten kompensoinnissa on kuvan 10 mukaan selvä rytmi, joka vasemmassa paneelissa tarkoittaa positiivisen tuloksen kompensointia joko edeltävällä tai seuraavalla jaksolla. Oikealla jakson 2 positiivien tulos kompensoidaan osittain jakson 1 ja jakson 3 negatiivisilla tuloksilla.

Investointikannustin on kuvan 9 perusteella selkeästi merkittävin kannustin. Muut kannustimet ovat esimerkkiyhtiöissä vähämerkityksellisiä. Laatu- ja tehostamiskannustimille on annettu ylärajat, 15 % ja 20 %, pääoman kohtuullisesta korvauksesta. Vaikka ne olisivat ylärajoillaan, niin niiden merkitys olisi silloinkin kahden merkittävimmän tekijän rinnalla pienehkö, mutta ei merkityksetön.

Tarkastellaan investointikannustinta sen merkityksen vuoksi hieman tarkemmin.



Kuva 11. Investointien ja investointikannustimen vertailu. Vasemmalla haja-asutusalueen yhtiö ja oikealla kaupunkiyhtiö. osuus = kaapeliverkon osuus. Kaupunkiyhtiössä (oikea) ei kaapeliverkon osuus muutu.

Haja-asutusalueella ilmajohtoverkon uusiminen on selvästi suurin syy investointien suureen määrään. Toimitusvarmuuden parantaminen toteutetaan pääosin toisella valvontajaksoilla. Kun ylläpitovaihe koittaa, niin investoinnit jäävät selvästi kannustinta pienemmäksi.

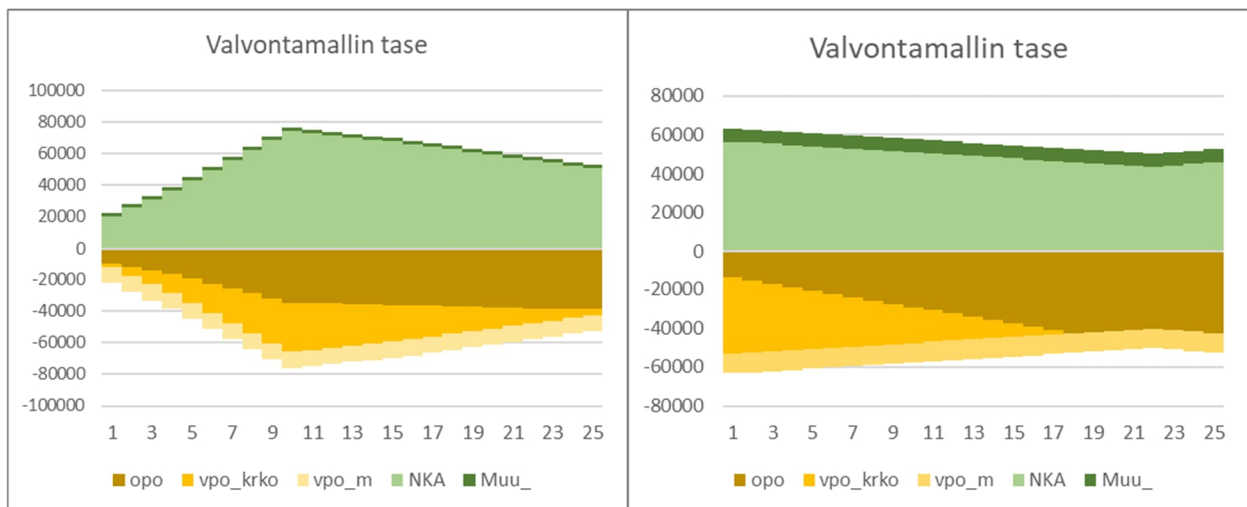
Investointikannustin, joka lasketaan verkon jälleenhankinta-arvon ja pitoajan perusteella, on hyvin loivaliikkeinen ja reagoi vain vähäisessä määrin investointimäärien muutoksiin.

Kannustimen ajatus on mahdollistaa verkkokomponenttien jälleenhankinta-arvon täysimääräinen poisto.

4.8 Sähköverkkoyhtiön tase

Sähköverkko muodostaa jakeluverkkoyhtiön keskeisen omaisuuserän. Valvontamalli määrittelee yrityksen verkko-omaisuuden tavanomaisesta yritystalouden kirjanpitoimenettelystä poikkeavalla tavalla. Valvontamallissa verkon arvo määräytyy sen laskennallisen nykykäyttöarvon, NKA, mukaan. Se lasketaan komponenttien hintataulukon ja ikäperusteisen arvonalennuksen mukaisesti. Verkon arvo yritystaseessa määräytyy todellisten investointien ja tehtyjen poistojen perusteella.

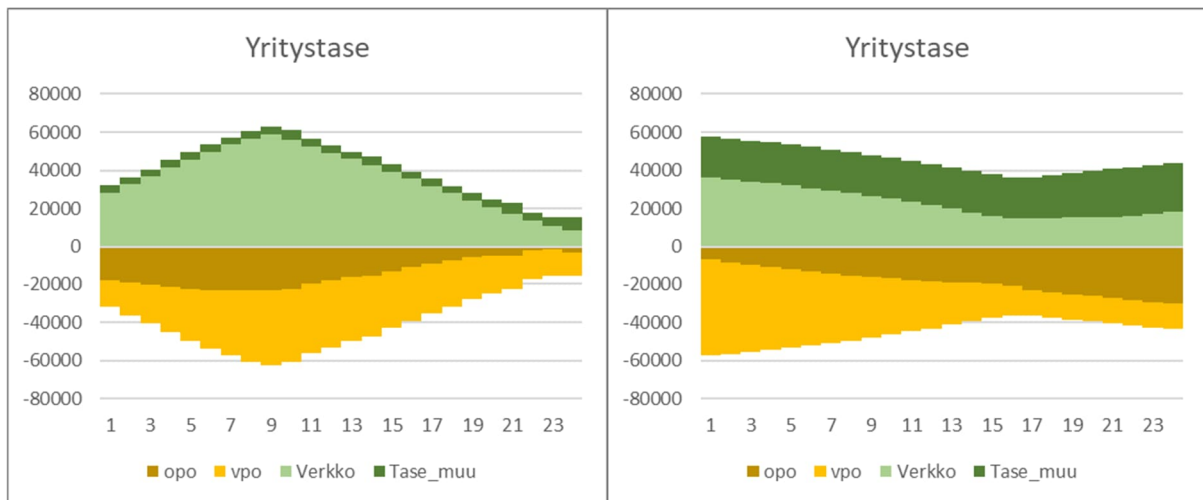
Seuraavassa jatketaan kahden verkkoyhtiön vertailua valvontamallin taseita käyttäen, kuva 12. Taseen rahoituspuoli, pääomat, on merkitty negatiivisiksi, jotta ne saadaan samaan kuvaan.



Kuva 12. Valvontamallin mukainen yhtiön oikaistu tase. Vasemmalla haja-asutusalueen yhtiö ja oikealla kaupunkiyhtiö. Selite: opo=oma pääoma; vpo_krko=korollinen vieras pääoma; vpo_m=muu vieras pääoma. NKA=verkon nykykäyttöarvo; Muu_ =taseen vakina pidettävä kalibrointierä.

Taseen loppusumma muodostuu lähes täysin verkon laskennallisesta nykykäyttöarvosta. Pääoman kohtuullinen korvaus lasketaan valvontamallin pääomaerittelyn perusteella. Korvaukseen oikeutetun pääoman määrä, kantaluku, muodostetaan korollisista veloista ja omasta pääomasta, joka saadaan taseen loppusumman ja vieraan pääoman erotuksena. Korkotaso, pääoman keskikustannus, jolla korvaus lasketaan, perustuu oletettuun pääomasuhteeseen, joka on 60 % omaa ja 40 % vierasta pääomaa. Näin tehdään riippumatta siitä, mikä yhtiön todellinen pääomarakenne on.

Vastaavat yrityksen kirjanpidon mukaiset taseet on esitetty kuvassa 13.

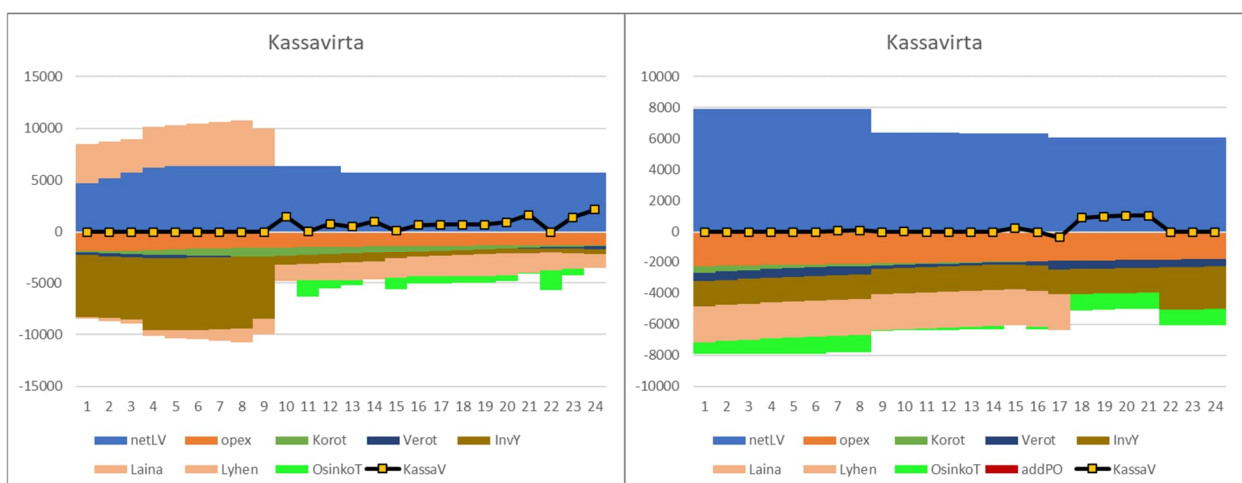


Kuva 13. Kirjanpidon mukaiset taseet. Vasemmalla haja-asutusalueen yhtiö ja oikealla kaupunkiyhtiö.

Kirjanpidon mukaiset taseet eroavat valvontamallin taseesta, vaikka molemmat perustuvat pääosin verkon arvoon. Koska verkko arvotetaan eri tavalla, myös taseen loppusummat eroavat. Kuvia 12 ja 13 vertailemalla voidaan todeta, että pääomarakenne kehittyy eri tavalla pääomajajien suhteessa on merkittävät erot tarkastelukauden aikana. Pääomakorvauksen kannalta ei valvontamallin kiinteitä pääomasuhteita sovellettaessa todelliset pääomasuhteet ole tärkeitä. Luvussa 6 tarkastellaan valvontamallille esitettyjä vaihtoehtoja, joissa pääomamäärät ja -suhteet yhdessä määräävät korvausmäärän..

4.9 Yritystalous

Valvontamallin rahavirralla rinnakkainen rahavirta on yritystalouden mukainen kassavirta, kuva 14.

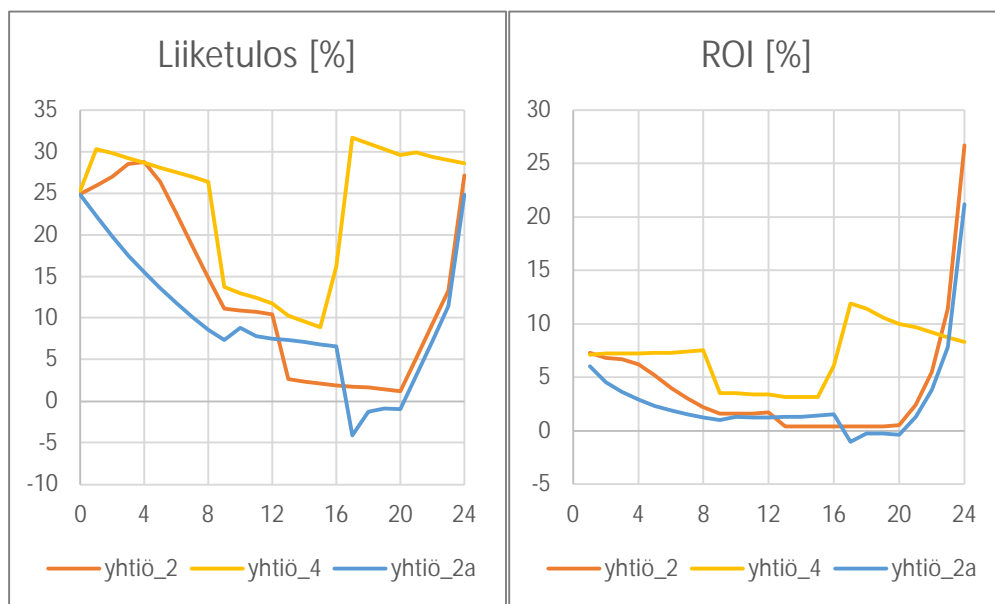


Kuva 14. Yrityksen rahavirta. Vasemmalla haja-asutusalueen yhtiö ja oikealla kaupunkiyhtiö. **Selite:** netLV =liikevaihto kalibrointitekijän vähennyksen jälkeen; opex= muuttuvat kulut; Korot =lainojen korot yhteensä; Verot = maksetut verot; InvY=investoinnit; Laina = ko. vuonna otettu laina; Lyhen = lainojen lyhennykset; OsinkoT= maksetut osingot; KassaV = vapaa kassa vuoden lopussa.

Haja-asutusalueen (vasen) kassavirrassa huomio kiinnittyy ensin merkittävään lainamäärään, jonka yhtiö tarvitsee laajan investointiohjelman rahoittamiseen. Kuvassa 14 lainat ja lainojen lyhennykset on merkitty samalla värillä, mutta sekaantumisen vaaraa ei ole, koska erät ovat eri merkkiset. Investoinneissa ja osingoissa on suurimmat vuosittaiset vaihtelut. opex-kuluissa on tuskin havaittavaa pientä alenemista ja lainanhoitokulut heijastavat lainakannan kokoa ja muutoksia. Vapaa kassavirta on käytännössä nolla koko tarkastelun ajan.

Kaupungin kassavirtaa hallitsee laskeva liikevaihto. Lasku johtuu verkon ikääntymisen aiheuttamasta arvon alentumisesta. Lainojen takaisinmaksun päättymisen jälkeen osinkojen maksu palaa alun korkealle tasolle.

Katsotaan vielä yhtiöiden kannattavuuden kehittymistä tarkastelujaksolla kahden indikaattorin avulla, kuva 15.



Kuva 15. Kannattavuuden indikaattorit. Selite, ks. kuva 8.

Porrasmaiset muutokset indikaattoreissa liittyvät verkkomaksujen muutoksiin, kuva 8, ja jaksotulosten järjestelyihin, kuva 10. Haja-asutusalueen yhtiön tilanne lähtee hurjaan nousuun tarkastelun lopussa, kun investoinnit on tehty, mutta verkkomaksut pysyvät korkealla tasolla. Verkkomaksun hitaampi nostotahti (yhtiö 2a) tuottaa tarkastelun alussa nopeampaa nosta (yhtiö 2) huonomman taloudellisen tuloksen, kuten oli oletettavaakin. Joidenkin indikaattorien muuttuminen negatiiviseksi on vain ohimenevä vaihe ennen lopun voimakasta nousua, joka johtuu raskaan investointiohjelman päättymisestä.

5. Valvontamalliin ehdotettuja muutoksia

Ehdotetut muutokset on kuvattu Energiaviraston julkaisussa "Selvitys jakeluverkkotoiminnan hinnoittelun ja toimitusvarmuuden valvonnasta" syksyltä 2020. Ehdotettujen muutosten alla olevat kuvaukset perustuvat tämän raportin kirjoittajan tulkintoihin, jotka saattavat poiketa ehdotusten tekijöiden tarkoittamista muutoksista.

Pääomakorvaus, pääoman kohtuullinen tuotto, lasketaan pääoman määrän (kantaluksi) ja korkotason tulona. Molemmat tekijät ovat yhtä tärkeitä lopputuloksen kannalta. Keskustelua on pääosin käyty korkotasosta ja vähemmälle huomiolle on jäänyt kantaluksi määritys. Tietääkseni vain LUT:n professori Collan¹⁰ on esittänyt, että nykyisen verkon nykykäyttöarvolle perustuvan kantaluksi sijaan tulisi käyttää verkon yritystaseen mukaista arvoa.

Nykyinen valvontamalli pitää pääomalajien suhdetta annettuna ja laskee pääomakorvauksen perusteella. Alla esiteltävien kahden muutosehdotuksen yhteinen piirre on yrityksen todellisen pääomarakenteen huomioiminen pääomakorvauksessa. Molemmat ehdotetut valvontamallimuutokset antavat enemmän korvausta omalle kuin vieraille pääomalle, eli ne sisältävät kannusteen oman pääoman määrän kasvattamiselle.

5.1 Järventausta

Tampereen teknisen yliopiston professorin Pertti Järventaustan kritiikki kohdistuu pääomarakenteen jäykkyyteen¹¹. Lausunnon mukaan kohtuullinen korvaus pitäisi laskea yrityksen todellisen pääomarakenteen mukaisesti, eikä nykyisen mallin mukaisella kiinteällä pääomasuhteella.

Lausunnossa ei kuitenkaan määritellä korvaukseen oikeutettua pääomaa, kantaluksi. Tässä tulkitaan lausuntoa siten, että kantaluksi käytetään nykyisen valvontamallin määritelmän mukaista pääomaa. Korkotaso määräytyy pääomalajin mukaan. Pääomaosuudet lasketaan yritystaseen perusteella. Laskentamallissa vaaditaan, että valvontamallin oman pääoman suhde pääomakorvauksen kantaluksiin on sama kuin yritystaseen oman pääoman suhde taseen loppusummaan.

Nimetään seuraavat muuttujat: $Kanta(t)$ on pääomakorvauksen kantaluksi, $J_{OPO}(t)$ on Järventausta-variaation oma pääoma ja $J_{VPO}(t)$ vastaava vieras pääoma. Tällöin voidaan kirjoittaa:

Pääomasuhde

$$\frac{OPO^Y(t)}{TaseY(t)} = \frac{J_{OPO}(t)}{Kanta(t)} \Leftrightarrow \frac{Kanta(t)}{TaseY(t)} = \frac{J_{OPO}(t)}{OPO^Y(t)} = \rho(t)$$

Pääomakorvaukselle voidaan kirjoittaa

$$Kanta(t) = Tase^{VM}(t) - v_{muu}^{VM} \quad (71)$$

$$Kanta(t) = J_{OPO}(t) + J_{VPO}(t) \quad (72)$$

$$J_{OPO}(t) = \rho(t) \cdot OPO_{pos}^Y(t) \quad (73)$$

Yhtälön (77) kerroin $\rho(t)$ on kantaluksi ja yritystaseen suhde

$$\rho(t) = \frac{Kanta(t)}{TaseY(t)} \quad (74)$$

Ratkaisu joudutaan hakemaan iteratiivisen menettelyn avulla (liite): Osuusparametrin arvo vakioidaan ja se pidetään vakiona optimoinnin ajan. Optimoinnin jälkeen lasketaan uusi arvo, joka vakioidaan jne., kunnes muutos kierroksesta toiseen on riittävän pieni.

¹⁰ Kauppalehti 17.4.2020

¹¹ Pertti Järventausta, Asiantuntijalausunto eduskunnan talousvaliokunnalle 10.6.2020

Pääomakorvauksen laskennan elementit ovat nyt kasassa, joten voidaan kirjoittaa:

Pääoman kohtuullinen korvaus, Järventausta (jtaus)

$$PKK(t) = r_{OPO} \cdot J_{OPO} + r_{VPO} \cdot J_{VPO} \quad (75)$$

Kaikki muu pysyy valvontamallissa - ja laskentamallissa - ennallaan. $r(t)$ kuvaa korkotason muutosta yli ajan.

5.2 Collan

LUT:n professori Collan kritisoi sekä sitoutuneen pääoman määrittelyä että tuottotasoa. Valvontamallissa pääoman kantaluuku on verkon laskennallinen nykykäyttöarvo. Collanin mukaan kohtuullinen tuotto pitäisi laskea verkon todellisen eli tasearvon perusteella. Myös yhtiön painotetun pääomakustannuksen (korkotason), $wacc$, laskentatavassa huomautettavaa: i) sen laskennassa on yrityksen tuloveroja kompensoiva elementti; ja ii) se perustuu oletukseen, että jokaisella yhtiöllä on sama pääomarakenne: 60 % omaa ja 40 % vierasta pääomaa.

Collan ehdottaa, että oman pääoman tuotto laskettaisiin todellisen tilanteen mukaan. Jos em. pääomarakenne on tavoitteena, niin tällöin oman pääoman 60 % osuuden tulee antaa korkein mahdollinen tuotto ja 60 % ylittävälle osuudelle annetaan vain vieraan pääoman tuotto. Tällöin puhtaasti velkarahalla operoivan yhtiön tuotto olisi alin mahdollinen ja se vastaisi vieraan pääoman tuottovaatimusta.

Ehdotuksen vaikutusten selvittämiseksi täytyy laskentamallia muuttaa joiltain osin. Pääomakorvauksen kantaluukuksi tulee nyt verkon tasearvo, joka valvontamallissa jakautuu omalle ja vieralle pääomalle samassa suhteessa kuin yritystaseessa. Korvausta maksetaan yllä määritellyllä tavalla.

Ensin lasketaan verkon arvon osuus yrityksen taseesta:

$$\rho(t) = \frac{Verkko(t)}{TaseY(t)} = \frac{Verkko(t)}{OPO_{pos}^Y(t) + VPO^Y(t)}$$

ja edetään kuten Järventausta-variaatioissa.

Pääomamäärät lasketaan seuraavasti: Valvontamallin taseelle pätee identiteetti, kun pääomat nimetään muuttujiksi G :

$$Tase^{VM}(t) = G_{oma}(t) + G_{vieras}(t) + C_{oma}(t) \quad (76)$$

missä $C_{oma}(t)$ tarkoittaa 60 % ylittävää oman pääoman määrää.

Valvontamallin pääomille pätee

$$G_{oma}(t) = \rho(t) \cdot OPO_{pos}^Y(t) \quad (77)$$

$$G_{vieras}(t) = \rho(t) \cdot VPO^Y(t) \quad (78)$$

$$G_{oma}(t) \leq \alpha \cdot Verkko(t) \quad (79)$$

$$Verkko(t) = G_{oma}(t) + G_{vieras}(t) + C_{oma}(t) \quad (80)$$

Kun oma, G_{oma} , ja vieras, G_{vieras} , pääoma tunnetaan, niin Collan-valvontamallin kohtuullinen korvaus lasketaan kaavalla

$$PKK(t) = rr(t) \cdot r_{OPO} \cdot G_{oma}(t) + rr(t) \cdot r_{VPO} \cdot [G_{vieras}(t) + C_{oma}(t)] \quad (81)$$

ja sitten jatketaan normaalisti valvontamallin muiden osien pysyessä ennallaan.

Liitteessä on esitetty, miten iterointi käytännössä tehdään.

5.3 Huomioita muutosehdotuksista

Collanin ja Järventaustan ehdotukset ovat samanlaisia siinä, että ne laskevat pääomakorvauksen pääomalajeittain ilman nykymallin oletusta oman ja vieraan pääoman suhteesta. Radikaali ero näiden kahden ehdotuksen välillä on pääomakorvauksen kantaluussa: Järventausta (näin tulkittuna) jatkaa nykyistä, verkon laskennalliseen nykykäyttöarvoon perustuvaa pääomamäärittelyä, kun taas Collan ehdottaa kantaluuksi yrityksen taseen mukaista verkon arvoa. Seuraavassa luvussa nähdään, mikä merkitys tällä erolla on.

Omalle pääomalle annettava suurempi korvaus luo yhtiölle kannustimen oman pääoman kasvattamiseen. Kun vapaa kassavirta on nolaa suurempi, taseen loppusumma kasvaa. Osinkoa yhtiö voi jakaa positiivisesta nettotuloksesta ja taseeseen kertyneestä rahavarallisuudesta. Jos voittovarot jäävät yhtiöön, kasvaa oman pääoman osuus ja sen mukana pääomakorvaus.

6. Esimerkkitarastelut: osa 2

6.1 Johdanto

Laskentamallilla tarkastellaan, miten asiakkaan maksamat verkkomaksut kehittyvät ja miten yhtiöiden taloudellinen tilanne kehittyy pitkällä aikavälillä eri valvontamalliversioita sovellettaessa.

Valvontamallikohtaiset lyhytnimet, joita jatkossa käytetään, ovat

1. vama: Nykyinen valvontamalli
2. jtaus: Järventausta-variaatio
3. collan: Collan-variaatio

Pääomakorvauksen korkotasot nykyisessä valvontamallissa lasketaan kaavan (53) perusteella. Nykymallissa käytetään kiinteää pääomasuhdetta ja jtaus-mallissa yrityksen kirjanpidon mukaista muuttuvaa suhdetta. Niin Järventausta- kuin Collan-mallissa yhtiöveron kompensointi jätetään pois, joten korkotasot ovat alemmat. Nykymalli käyttää pääoman keksikustannusta, mutta tässä pääomakorvauksen laskenta muotoillaan kaikille tapauksille yhteneväisesti vertailun selkiyttämiseksi. Lähtökohtana on vama-mallin pääoman keskikustannuksen yhtälö, jossa on yritysveron neutralointi (korkotasot kerrotaan tekijällä $1/(1-yvk)$):

$$wacc = \varphi \cdot \frac{r_{OPO}}{1 - yvk} + (1 - \varphi) \cdot r_{VPO}$$

Sijoitetaan alkutilanteen korkotasot, $r_{OPO} = 7,61 \%$, $r_{VPO} = 4,27 \%$ ja *yvk* (yhtiöverokanta) = 20 % yllä olevaan yhtälöön, jolloin *wacc* arvoksi saadaan 7,42 %. Tätä korkotasoa sovelletaan vama-mallissa niin omalle kuin vieraalle pääomalle.

Pääomakorvauksen korkotasot:

1. vama: $wacc = 7,42 \%$, $wacc = 7,42 \%$
2. jtaus: $i_{OPO} = 7,61 \%$, $i_{VPO} = 4,27 \%$
3. collan: $i_{OPO} = 7,61 \%$, $i_{VPO} = 4,27 \%$

Seuraavaksi esitetään tuloksia kahdesta verkkoyhtiöstä, joihin molempiin on sovellettu kolmea erilaista valvontamallia. Yhtiö 1 on maakunnallinen verkkoyhtiö, jonka kaapeliosuuden kasvattamistarve on kohtuullinen. Yhtiö 2 on myös maakunnallinen yhtiö, jolla on tuntuvasti suurempi tarve nostaa myrskyvarman verkon osuutta.

Tavallinen tapa tutkia muutosten vaikutuksia on tehdä se ilman dynaamista mallia ns. poikittais-analyysinä, samaan tapaan kuin tässäkin raportissa tehdään *opex*-kulujen mallinnuksessa: yhdellä ajanhetkellä tarkastellaan jokaista kohdejoukon jäsentä ja oletetaan, että nykyinen vaihtelu yritysten välillä kattaa myös tulevaisuuden mahdolliset tilanteet. Poikittaisanalyysistä puuttuu kuitenkin dynamiikka, joka syntyy varastoituvien suureiden aiheuttamasta sopeutumisjäykkyydestä.

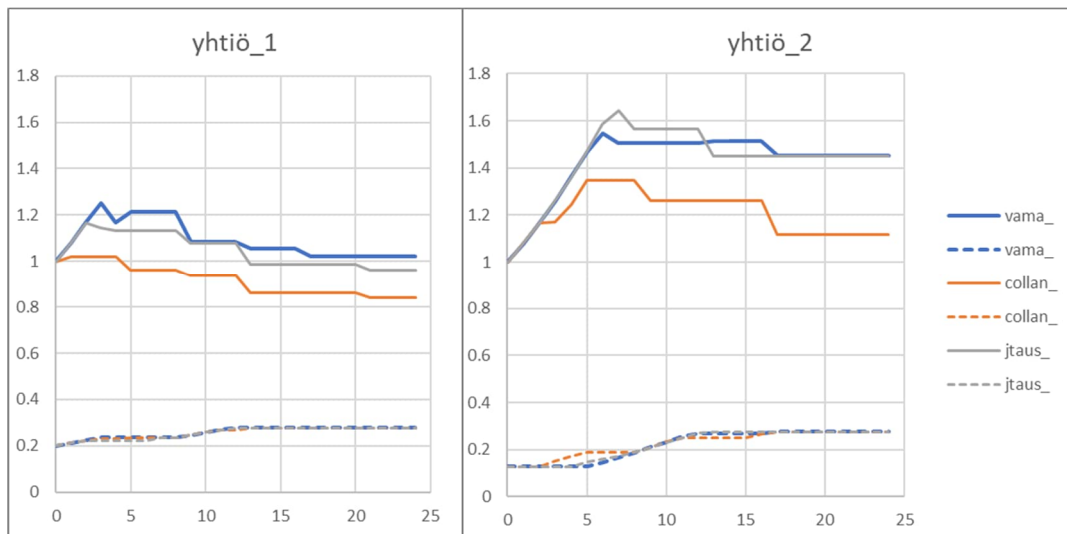
Pääomarakenne, joka tarkoittaa korvaukseen oikeutetun pääoman määrää ja sen jakautumista omaan ja vieraaseen pääomaan, vaikuttaa vaihtoehtoisissa valvontamalleissa korvauksen määrään. Sen vuoksi se on yksi keskeinen raportointisuure ja valvontamalleja erottava tekijä.

Vähintään yhtä merkittävä asia kuin verkkoyhtiön talous on asiakkaan osa eri valvontamalleja sovellettaessa: Kuinka korkeaksi voi verkkomaksu nousta? Tämä on niin mielenkiintoinen kysymys, että tulosten purkaminen aloitetaan siitä.

6.2 Asiakkaan näkökulma

Liikevaihdon - tai myyntitulojen - muutos kuvaa verkkomaksun tason alkutilanteeseen verrattuna, koska luovutetun energiamäärän ei oleteta muuttuvan. Hintojen korotukselle valvontamallissa tekevät tilaa pääasiassa investointikannustin ja pääoman kohtuullinen korvaus. Ne ovat hitaasti muuttuvia suureita.

Asiakkaan näkökulmasta kiinnostavin seikka on verkkomaksujen kehittyminen, kuva 16.



Kuva 16. Verkkomaksut suhteessa alkutilanteeseen (yhtenäinen viiva) ja kaapeliosuuden kehittyminen (katkoviiva).

Maakaapeloinnin puolivälin tavoite vuoden 8 kohdalle on asetettu kiinteäksi ja samoin koko siirtymäkauden tavoite vuodelle 20 on esimerkkilaskelmissa kiinnitetty alarajalleen vertailun helpottamiseksi.

Kuvan 16 mukaan yhtiön 1 verkkopalvelun hinnassa korotusmahdollisuus on huomattavasti pienempi kuin yhtiön 2 tapauksessa. Hinnat nousevat ensin maksimaalista 8 %:n vauhtia ja tasaantuvat sitten valvontamallin piirteitä heijastaen. Järventausta-variaatio ja nykymalli tuottavat lähellä toisiaan olevia tuloksia Collan-version erottuessa näistä. Kehityskulku on kaikissa tapauksissa rakenteeltaan samanlainen, mutta verkkomaksun tasot poikkeavat toisistaan. Valvontajakson muutos erottuu verkkomaksun porrasmuutoksena.

Yhtiössä 2 verkkomaksu nousee reilusti, mutta collan-variaatiossa selvästi vähemmän kuin kahdessa muussa. Kuvan 16 maksujen nousu aiheuttaisi varmasti julkisen polemiikin, mutta mallilaskelmissa ei huomioida muuta kuin nettotuloksen maksimointi valvontamallin rajoitukset. Mallilaskelmien tarkoitus on tuoda esiin valvontamallin suomat mahdollisuudet yhtiön voiton tavoittelulle, tai sen kyky rajoittaa monopoliaseman hyväksikäyttöä. Verkkoyhtiö voi todellisuudessa valita valvontamallin sallimaa korotusta pienemmän korotuksen, mutta se ei ole tämän tutkimuksen kannalta kiinnostava toimintatapa: tässä verrataan valvontamalleja toisiinsa ja arvioidaan asiakkaan osaa verkkoyhtiön pyrkiessä parhaaseen mahdolliseen tulokseen, jonka eri valvontamallit sallivat.

Järventausta-variaatiossa verkkomaksut nousevat nykymalliinkin korkeammaksi, mutta ne asettuvat samoiksi muutosvaiheen jälkeen. Nykymallin ja Collan-variaation ero tarkastelujakson lopussa on luokkaa 30 prosenttiyksikköä. Ero on merkittävä.

Yhtiön tulos ja asiakkaan osa ovat kolikon kaksi puolta: yhtiöiden menestys syntyy asiakaskunnan maksuista. Seuraavassa tarkastellaan yhtiöiden taloudellista tilannetta eri valvontamallien alaisuudessa.

6.3 Pääomakorvaus eri mallien mukaan

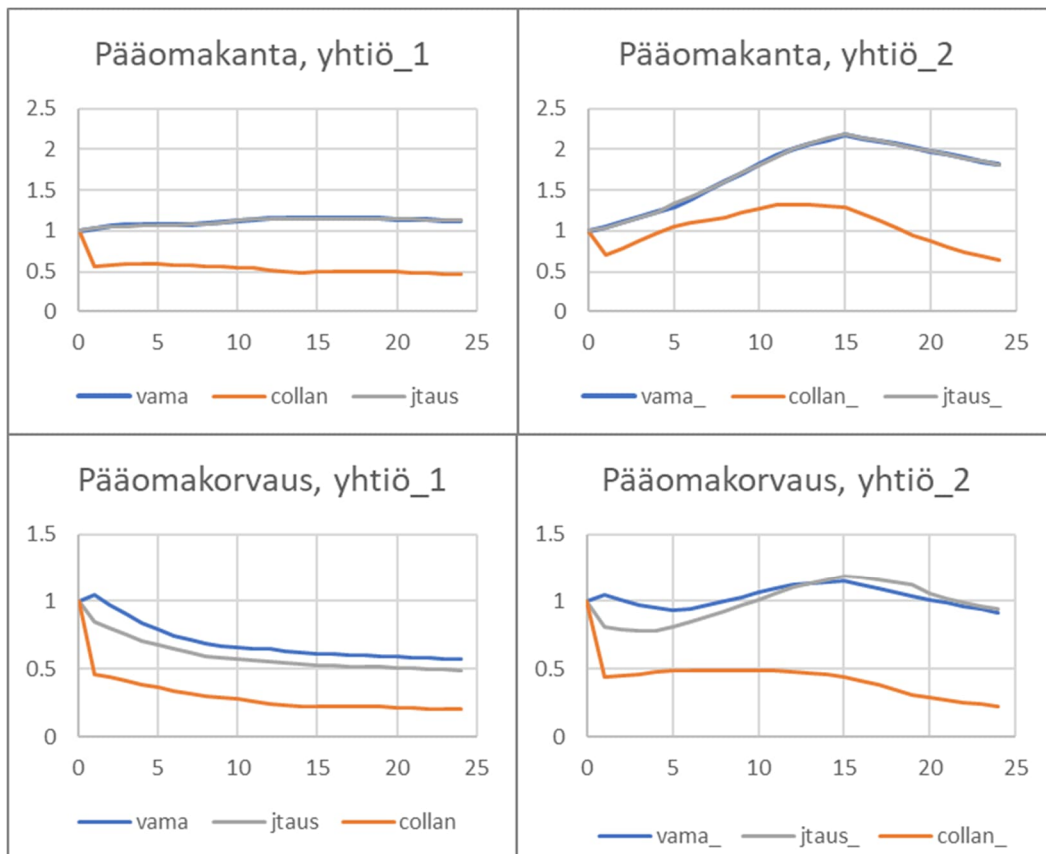
Nykymalli (vama) antaa korvausta pääomalle kiinteällä 60/40 -pääomasuhteella (oma/vieras) käyttämällä pääoman keskikustannusta $wacc$. Korvauksen taso perustuu yhtiön oikaistuun taseeseen ja sen perusteella määräytyvään oman ja vieraan pääoman määrään. Oman pääoman lisäksi korvausta saavat vieraaseen pääomaan kuuluvat korolliset velat ja pääomalainat.

jtaus-variaatioissa pääomakorvauksen määrittävä kantaluku on vama-mallin mukainen, mutta siitä poiketen pääomakorvaus perustuu yritystaseen pääomaosuuksiin, eikä oletetulle kiinteälle suhteelle. Myös korkotaso on alempi, koska yhtiöverokompensaatiota ei sovelleta.

collan-variaatioissa pääomakorvaus lasketaan sähköverkon tasearvolle käyttäen yritystaseen mukaisia pääomaosuuksia¹². Oman pääoman määrä valvontamallissa lasketaan kertomalla kantaluku yritystaseen oman pääoman osuudella. jtaus-variaatiosta tämä eroaa paitsi kantaluvun määrittelyssä, myös siinä, että oman pääoman korvaukselle on 60 % yläraja. Sen ylittävältä osuudelta annetaan vieraan pääoman kustannusta vastaava korvaus, vaikka oman pääoman osuus olisi 100 %. Näin realisoituu se, että valittu 60 % on tavoitearvo. Kaikki muut piirteet on pidetty nykymallin mukaisina.

Pääomakorvauksen määrää vertaillaan tarkastelemalla em. kahta yhtiötä, joihin sovelletaan kolmea pääomakorvauksen laskentatapaa. Tapauksia on siten yhteensä kuusi. Laskentaa varten tarvitaan pääomakorvauksen kantaluku (pääomakanta), oman pääoman osuus ja korkotaso (esitetty kuvassa 6). Tulos on esitetty kuvassa 17.

¹² Mikael Collanin lausunto Eduskunnan talousvaliokunnalle 8.6.2020.

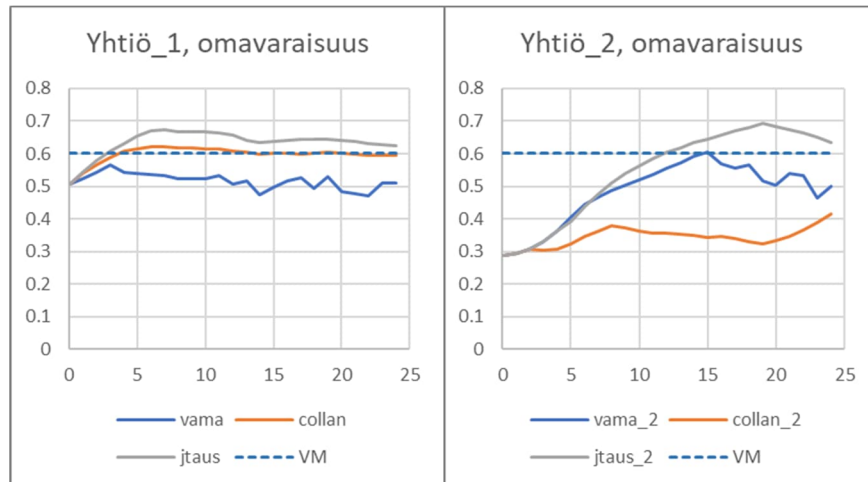


Kuva 17. Pääomakorvauksen kantaluku ja korvauksen määrä suhteessa lähtötilanteeseen. Korkotasojen kehitys yli ajan on esitetty aiemmin kuvassa 6.

Kuvan 17 ylin rivi kertoo, että nykymallin ja Järventausta-variaation kantaluvut ovat käytännössä samat, mikä ei sinänsä ole ihme, sillä niiden perustasa on sama, verkon nykykäyttöarvo NKA. Collan-tapauksen kantaluku, verkon yritystaseen mukainen arvo, on yhtiössä 1 noin puolet nykymallin vastavasta ja yhtiössä 2 noin kolme neljäsosaa. Valvontamallista riippumatta kantaluku kasvaa yhtiössä 2 suuren investointiohjelman vuoksi, kun taas yhtiössä 1 se pysyy suhteellisen vakaana samasta syystä.

Kuvan 17 alemmassa rivissä vama ja jtaus-tapausten korvausero heijastaa suoraan korkoeroja. Yhtiön 1 tapauksessa korvausero pienenee korkotasojen laskun myötä, mitään muuta ei tapahdu. collan-variaatio kulkee huomattavasti alempana, mutta mitään dramaattista ei tapahdu valvontamallien välillä. Yhtiön 2 tapaus on tässä suhteessa kiinnostavampi. jtaus-tapausten pääomakorvaus saavuttaa ja ylittää vama-mallin korvauksen ja selitys on pääomasuhteiden muutos (kuva 18). Ero collan-tapausten ja vama-/jtaus-tapausten välillä vain kasvaa ajan kuluessa.

Seuraava kuva, kuva 18, esittää tarkemmin oman pääoman osuuden kehittymisen tarkastelujaksolla.



Kuva 18. Omavaraisuusaste yhtiössä 1 (vasen) ja yhtiössä 2 eri valvontamallitapauksissa. VM tarkoittaa nykyisen valvontamallin olettaa oman pääoman osuutta.

Yhtiössä 1 sekä jtaus- että collan-valvontamallit reagoivat pääomarakennekannusteeseen ja oman pääoman osuus nouseekin nopeasti. jtaus-valvontamallissa suurempi osuus tuottaa aina enemmän, mutta collan-versiossai 60 % on tässä määritelty korkean tuoton yläraja. Korvauksen määrittelyero näkyy selvästi myös omavaraisuudessa. Yhtiön 2 collan-tapauksessa verkkoyhtiön omavaraisuus ei kunnolla pääse nousuun ennen kuin investointiohjelma päättyy, sillä alun yrityksen jälkeen oman pääoman osuus palaa lähes alkutilanteen tasolle suursta velanottotarpeesta johtuen. vama- ja jtaus-tapausten ero vuoden 15 jälkeen johtuu erilaisesta osingonjakopolitiikasta.

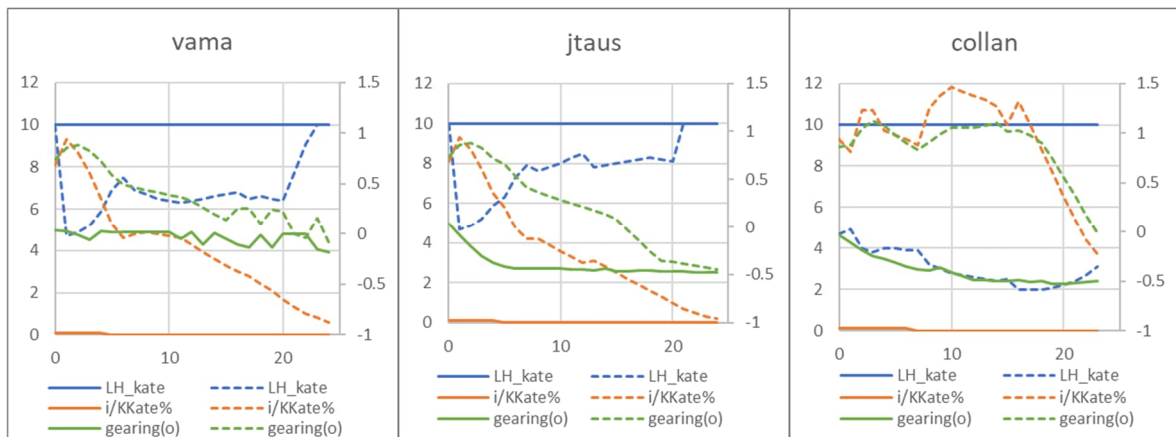
6.4 Sähköverkkoyhtiön talous

Tässä tarkastellaan verkkoyhtiöiden talouden kehittymistä eri valvontamalleja sovellettaessa.

6.4.1 Rahoitustilanne

Rahoitustilanteelle asetetut rajoitukset, korkojen osuus käyttökatteesta, lainanhoitokate ja nettovelkaantuneisuus, estävät kaikkein epärealistisempien tulevaisuuksien toteutumisen. Nettovelka saadaan vähentämällä korollisista veloista taseen rahavarat.

Esimerkkilaskelmissa on sovellettu seuraavia raja-arvoja: neljä vuotta (yhden valvontajakson kuluttua) toimitusvarmuustavoitteen saavuttamisen jälkeen lainanhoitokatteen tulee olla vähintään kaksi ja korot eivät saa ylittää 30 % osuutta käyttökatteesta (verojen jälkeen). Gearing-rajoite eli nettovelkaantumisen on pysyttävä alle 4:n (eli käytetään tässä indikaattorina eikä rajoitteena). Lainanhoitokatteen ja korkojen rajoitus vasta pitkällä tulevaisuudessa perustuu siihen, että ankaran investointivaiheen aikana velan määrän sallitaan kasvaa, koska on näkymä, että velkataakasta toivutaan rivakasti.



Kuva 19. Rahoitustilanteen indikaattorit. Selite: LH_kate = lainanhoitokate; i/KKate% = korot käyttökatteesta [%]; gearing = nettovelkaantumisaste (oikeanpuoleinen asteikko). Yhtenäiset viivat = Yhtiö 1; katkoviivat = Yhtiö 2.

Korkojen osuus käyttökatteesta on kaukana asetetusta ylärajasta, 30 %. Collan-tapaus erottuu muista, mutta korkojen kustannusosuudet pysyvät kuitenkin maltillisina. Tähän vaikuttaa korkotason yleinen mataluus.

Lainanhoitokatteen maksimiarvo tulostuksessa on 10, mikä selittää käyrien kulun yhtiön 1 tapauksissa. Yhtiössä 2 lainanhoitokulut ovat selvästi muita suuremmat, mutta vain collan-tapaus kohtaa minimiksi asetetun arvon 2 ja ylittää sen ennen tarkastelujakson päättymistä.

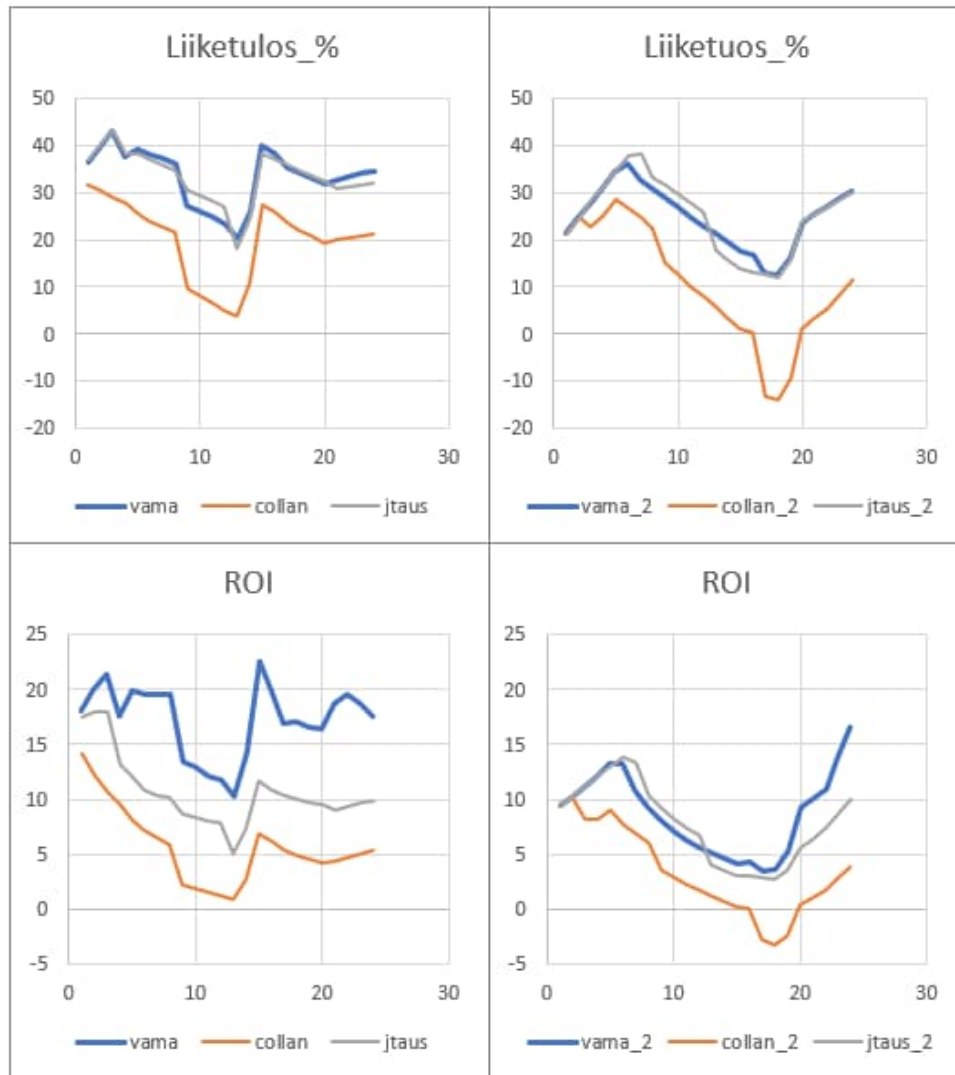
Nettovelkaantumisasteella mitattuna tyydyttävän tilanteen ylärajana pidetään noin arvoa 1^{13} . Kaikissa kuvan 19 tapauksissa tämä raja alittuu.

6.4.2 Kannattavuus

Yhtiön kannattavuutta kuvataan seuraavassa kahdella indikaattorilla, jotka ovat liike-tulos osuutena liikevaihdosta, Liik_% ja sijoitetun pääoman tuotto, ROI_%. Liike-tulos lasketaan vähentämällä myyntitulosta (liikevaihdosta) muuttuvat kulut ja poistot ja saatu tulos jaetaan liikevaihdolla. Liike-tulosprosentin avulla voidaan vertailla yritysten operatiivista kannattavuutta erilaisten velvontamallien alaisuudessa. Liike-tulos ei sisällä rahoituskuluja, eikä siten erottele velkaista ja velatonta yritystä, mistä lisämääre operatiivinen. Liike-tuloksella on katettava mm. rahoituskulut, verot ja voitonjako, joten, mitä pääomavaltaisempi yritys, sitä korkeamman tulee liike-tulosprosentin olla. Negatiivinen liike-tulosprosentti kertoo yrityksen liiketoiminnan operatiivisista vaikeuksista¹⁴. Yli 15 % tulosta pidetään yleisesti hyvänä arvona, kuva 20.

¹³ Alma Talent, Tunnuslukuopas: www.almatalent.fi

¹⁴ Alma Talent, Tunnuslukuopas: www.almatalent.fi

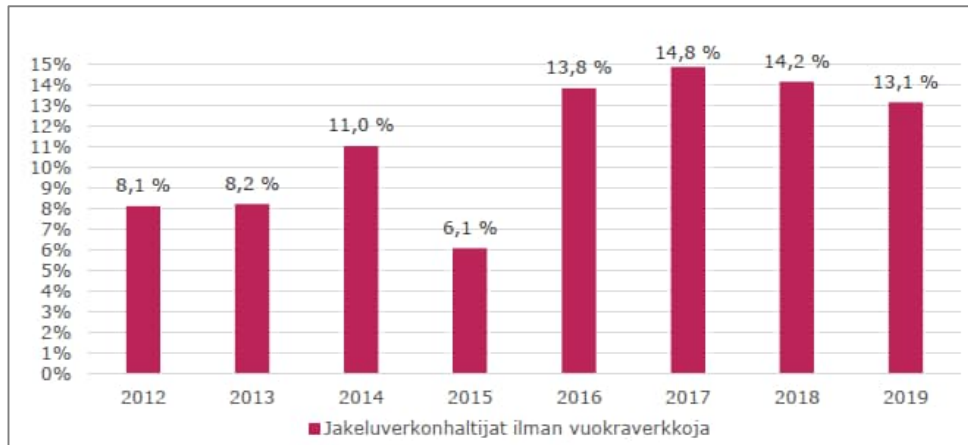


Kuva 20. Yrityksen kannattavuuden indikaattorit. Vasemmalla yhtiö 1 ja oikealla yhtiö 2.

Kuvan 20 liiketulosprosentin heilahtelut johtuvat joko liikevaihdon, kuva 16, tai poistojen tai niiden molempien muutoksista. Yhtiön 1 liiketuloskäyrän monttua vuoden 10 tienoilla selittää liikevaihdon (verkkomaksun) aleneminen. Se taas on riippuvainen jaksotulosten optimoinnista. Liiketuloksen hienoinen nousu alussa vaihtuu laskuun johtuen siitä, että verkkomaksujen nousu alkaa ennen investointien ja niihin liittyvien poistojen kasvua. Kun vanhat poistot loppuvat noin vuonna 15, ponnahtaa liiketulosprosentti askelmaisesti ylöspäin.

Yhtiössä 2 tapahtuu samat muutokset kuin yhtiössä 1, mutta vähän suuremmin vaihteluiin. collan-tapauksessa indikaattorit painuvat negatiivisiksi ennen kuin suunta muuttuu investointivaiheen päättyessä.

Verrataan vielä kuvan 20 yhtiöiden sijoitetun pääoman tuottoa verkkoyhtiöiden keskimääräisiin arvoihin vastaavalta ajanjaksolta, kuva 21.



Kuva 21. Sähkön jakeluverkonhaltijoiden keskimääräinen sijoitetun pääoman tuotto prosentti laskettuna kirjanpidon tasearvoilla vuosina 2012–2019. (EV, 2020)

Kuvan 21 mukaan vuosien 2016-2019 keskimääräinen sijoitetun pääoman tuotto on vaihdellut 13 % ja 15 % välillä. Kuvan 20 tulokset vastaavat hyvin toteutuneita arvoja.

6.5 Tulosten pohdintaa

Collan-variaatio tuottaa asiakkaan kannalta selvästi myönteisemmän lopputuloksen. Se tarkoittaa, että alempia verkkomaksuja kaikissa (myös julkaisemattomissa) tapauksissa kuin nykyisiä soveltaen. Tämä johtuu pääomakorvaukseen oikeutetun sitoutuneen pääoman määrän (kantaluvin) määrittelystä: Collan ehdottaa yrityksen kirjanpidon mukaista pääomaa nykyisen (ja Järventausta-variaation) mukaisen verkon laskennallisen nykykäyttöarvon sijaan.

Järventausta- ja Collan-variaatiot eroavat nykyisestä valvontamallista siinä, että ne eivät kiinnitä oman ja vieraan pääoman suhdetta, vaan antavat sen muuttua niin kuin se yrityksen kirjanpidossa muuttuu. Koska omalle pääomalle annetaan vierasta pääomaa suurempi korvaus, on aito kannustin lisätä oman pääoman määrää. Laskentatulosten mukaan yhtiöt myös näin tekevät.

Collan-valvontamallia ei voi suoraan soveltaa vuokraverkoin toimivaan yhtiöön. Näitä yhtiöitä on vain murto-osa kaikista verkkoyhtiöistä, joten se ei muodostane kestäväää perustetta ehdotuksen hylkäämiseen. Vaikea kuvitella, ettei tähän jotain ratkaisua voisi löytyä.

7. Toimitusvarmuuden tuottaminen toisin

7.1 Johdanto

Olisiko mahdollista parantaa toimitusvarmuutta joillain muilla keinoilla kuin maakaapeleilla ja millaisia vaikutuksia sillä olisi verkkoyhtiön talouteen ja asiakkaiden verkkomaksuihin? Vastauksia haetaan olettamalla, että vaihtoehtoisin (älyverkko- eli SG-) teknologioin voidaan tuottaa maakaapeleihin verrattavissa oleva toimitusvarmuus poikkeavalla kustannustasolla ja -rakenteella. Kustannusrakenne tarkoittaa investointikustannusten ja muuttuvien kulujen (opex) osuutta kokonaiskustannuksista. Muuttuvia kuluja tuottavia ratkaisuja verrataan saman pitoajan ja saman kokonaiskustannuksen tuottaviin investointivaihtoehtoihin. Ne muodostavat muuttuvien kustannusten vaihtoehdolle vertailutapauksen.

Ilmajohdoverkko toimii maakaapeliverkon luotettavuudella, kun sitä täydennetään älyverkkoteknologioiksi nimetyin menetelmin. Ne eroavat maakaapeli-investoinnista huomattavasti lyhyemmällä pitoajallaan. Yhden elinkaaren kuluttua yhtiö voi kyseisellä verkko-osuudella ylläpitää samaa toimitusvarmuutta uusimalla lyhytkestaisen toimitusvarmuusinvestoinnin tai varmistaa toimitusvarmuus pitkälle tulevaisuuteen asentamalla maakaapelin.

Kun kulutuksen kasvu maakaapeliverkossa ylittää nykyverkon kapasiteetin, on sitä täydennettävä rinnakkaisella maakaapelilla. Entä, jos lisäkaapelin sijaan sovellettaisiin kuormien ohjausta tms. teknologiaa? Tämä tilanne muodostaa taajamaympäristössä verkkoteknologioiden välisen kilpailutilanteen. Koska mallilaskelmissa energian kulutus oletetaan vakioksi, tehdään vertailu siten, että ikääntyvä, poistoon menevä maakaapeliverkko korvataan älyverkolla uuden maakaapelin sijaan.

Toimitusvarmuutta parantavien, mutta muuttuvia kuluja tuottavien toimenpiteiden yhdenvertainen käsittely investointikuluja synnyttävien toimenpiteiden kanssa on mahdollista vain täydentämällä nykyistä valvontamalli sopivin osin. Muutosten toimivuutta verrataan vastaavan hintaiseen ja pitoajaltaan samaan investointikuluja tuottavaan teknologiaan. Vertailun tuloksena muodostuu älyverkkoteknologialle kustannusyläraja. Sen jälkeen on syytä pohtia, onko olemassa teknologioita, jotka hinnaltaan ja ominaisuuksiltaan täyttävät asetetut vaatimukset.

7.2 Valvontamallin täydentäminen

Valvontamalli kannustaa muuttuvien kulujen vähentämiseen tehostamiskannustimella, mikä on perusteltua, mutta kokonaistaloudellisuutta edistävilta muuttuvia kuluja synnyttäviltä toimenpiteiltä kannustin puuttuu. Seuraavassa hahmotellaan menetelmä, jolla toimitusvarmuutta parantavat ja muuttuvia kuluja tuottavat teknologiat nostetaan investointikuluja tuottavien toimenpiteiden rinnalle samanveroisiksi vaihtoehtoiksi. Täsmällisesti menetelmä määritellään seuraavassa luvussa. Menetelmälle tehdään laskennallisia testejä esimerkkiosioissa.

Valvontamallissa verkosta tehdyt poistot korvataan investointikannustimella, joka lasketaan verkon jälleenhankinta-arvon ja pitoajan perusteella. Muuttuville kuluille laaditaan vastaavanlainen menettely. Se tarkoittaa, että ensin neutraloidaan valittujen toimenpiteiden opex-kulut rahavirrasta (samaan tapaan kuin poistoille tehdään) ja sen jälkeen lisätään kannustin, joka perustuu muuttuvista kuluista muodostettuun jälleenhankinta-arvoa vastaavaan tekijään. Lisäksi tarvitaan tehostamiskannustimen muutos, jottei se estä tavoiteltujen toimenpiteiden kannattavuutta. Se toteutetaan lisäämällä tehostamiskannustimen sallittuihin opex-kuluihin tarkasteltavien toimenpiteiden muuttuvat kulut, jolloin niiden vaikutus tehostamiskannustimessa häviää, mutta muiden opex-kulujen käsittely jatkuu entiseen tapaan. Sallittuihin opex-kuluihin saa kuitenkin lisätä kuluja enintään vertailukustannusten (ks. alla) verran. Jos tämä kuluerä ylittyy, niin ylittävää osaa koskee sama sanktiomenettely kuin sallittujen kulumäärän ylittäviä muuttuvia kuluja yleensäkin. Yllä kuvatut muutokset koskevat vain valvontamallia. Niin poistot kuin älyverkon muuttuvat kustannuksetkin huomioidaan täysimääräisinä yhtiön rahavirrassa.

Muuttuvia kuluja tuottavan toimenpiteen jälleenhankinta-arvo ("investointi") muodostetaan suoraan: Toimenpiteillä on tietty elinkaari (esim. ostopalvelusopimuksen pituus), joka kuvaa, kuinka pitkään toimenpidettä toteutetaan. Toimenpiteen vuosikuluerät summataan yli elinkaaren. Kulut lasketaan vertailuhinnan - ei syntyvien kustannusten - perusteella. Tämä vastaa hinnaston käyttöä investointitarkastelussa. Eri vuosina aloitettuja toimenpiteitä tarkastellaan erillisinä, valitun mittaisina sopimuskausina. Jokainen vuosi, jolla muuttuvia kuluja synnyttävä toimenpide on käytössä, huomioidaan jälleenhankinta-arvon laskennassa. Toteutus on sama kuin jälleenhankinta-arvon laskenta verkkoinvestoinneissa. Yrityksen kirjanpidossa kaikki kulut huomioidaan sellaisena kuin ne ovat.

7.3 Älyverkon talous

SG (Smart Grid, älyverkko) -verkkokomponenttien kustannuksen lisäksi sen kannattavuuteen vaikuttaa valvontamallin muut kannustimet ja rajoitukset. Kannattavuutta täytyy sen vuoksi arvioida yhtiökohtaisesti valvontamalli huomioiden.

Kaikkien ratkaisujen toteutuskustannuksia kuvataan investointikuluna kilometriä kohden. Muuttuvia kustannuksia synnyttäville ratkaisuille ekvivalentti-investointi muodostetaan summaamalla toimenpiteen elinikäiset vuosikulut yhteen.

7.3.1 Komponenttihinnaston soveltaminen älyverkkoihin

Valvontamallissa investoinnit arvotetaan komponenttihinnaston avulla. Älyverkon toimenpiteille ei tarvitse laatia omaa hinnastoa, kun olemassa olevaa hinnastoa ja muita valvontamallin rakenteita sovelletaan alla kuvattavalla tavalla.

Toimitusvarmuuden vertailukustannusta – maakaapeliverkon kustannuksista johdettu kilometri-kustannusta – merkitään symbolilla k_V . Sen arvo vaihtelee yhtiökohtaisesti ja sen mukaan, tarkastellaanko ilmajohtoverkon varmistamista vai kaapeliverkon korvaamista. Jos älyverkko toteutetaan ilmaverkkoa varmentamalla, niin silloin vertailukustannus on maakaapeliverkon ja ilmajohtoverkon erotus. Jos älyverkko korvaa maakaapeliverkon kokonaan, niin silloin vertailukustannus on maakaapeliverkon kustannus.

Vertailukustannus [€/km] ilmajohtoa varmentavassa tapauksessa on

$$k_V = \text{kaapelikustannus} - \text{ilmajohtokustannus}$$

ja maakaapelia uusittaessa

$$k_V = \text{kaapelikustannus}$$

Kun kahden teknisesti erilaisen menetelmän toimitusvarmuuden parantamisen kustannusten nykyarvot valitulla tarkasteluajanjaksolla ovat samat, niin vaihtoehdot ovat saman arvoiset. Valvontamalli toimii vuosiarvoin, joten tarkastellaan kustannussamuutta vuosiannuiteettien avulla. Jos maakaapelin pitoaika on 40 vuotta ja SG-tekniikan 10 vuotta, niin SG-tekniikkaan on investoitava neljä kertaa 10 vuoden välein, jotta sillä päästään samaan toiminta-aikaan. Kun näiden neljän investoinnin nykyarvo on sama kuin maakaapeli-investoinnin nyt, niin toimenpiteet ovat saman arvoiset. Tällöin valvontamallin määrittelemä verkkomaksujen ylärajan tulee olla sama.

Lyhytkestoinen investointi tuottaa saman vuosikustannuksen kuin maakaapeli-investointi, kun niiden vuosiannuiteetit ovat samat (S merkitsee verkkokilometrien määrää ja h sekä k kustannusta per kilometri):

$$a(T_{SG}^f, i) \cdot I_{SG}(t) = a(T^f, i) \cdot I(t)$$

$$a_{SG} \cdot h_{SG} S(t) = a_0 \cdot k_0 S(t)$$

$$h_{SG} = \frac{a_0}{a_{SG}} k_0 = r_{SG} k_0$$

missä $a()$ on annuiteettikerroin, indeksi SG viittaa lyhyemmän pitoajan tekniikkaan ja 0 vertailutapaukseen. Jos siis maakaapelin pitoaika on 40 vuotta, SG-tekniikan teknistaloudellinen pitoaika 10 vuotta ja korkotasona käytetään 5 %, niin vuosikustannukset ovat samat, jos SG-

tekniikan hankintakustannus on 45 % vastaavasta vertailuinvestoinnin kustannuksesta, ts.
 $r_{SG} = 0.45$.

Annuiteettikerroin lasketaan tavalliseen tapaan seuraavasti:

$$a_{SG} = \frac{i}{1 - (1 + i)^{-T_{SG}^f}}$$

Jälkeenpäin suoritettujen jaksollisten maksujen (opex-kulujen) nykyarvo saadaan laskemalla
 $y = 1/a_{SG}$.

Jos SG-tekniikan vuosikustannus koostuu kokonaan muuttuvasta kulusta, esimerkiksi varavoimapaalvelun 10 vuoden ostosopimuksesta, niin vuosittainen sopimusmaksu tulkitaan investoinnin annuiteetiksi. Esimerkiksi 5 % korolla ja 10 vuoden pitoajalla y saa arvon 7,72, eli 100 yksikön vuosimaksu kymmenen vuoden ajan on nykyarvoltaan 772. opex-kuluvirta vastaa siis 772 suuruista tarkasteluhetkellä tehtävää investointia.

On syytä pitää erillään kaksi asiaa: i) eri pituisten investointien vuosikustannusten vertailu: lyhytikäinen SG-investointi verrattuna pitkäkestoiseen maakaapeli-investointiin; ja ii) muuttuvia kuluja tuottavan SG-ratkaisun vertailu investointikuluja tuottavaan SG-ratkaisuun. Ensimmäinen tapaus hoituu r_{SG} -parametrilla, kuten yllä tehtiin, ja jälkimmäinen tapaus tarvitsee a_{SG} -parametria sillä opex-kuluja tuottavan SG-ratkaisun vuosikustannus kilometriä kohti lasketaan kertomalla vastaavan kokonaiskustannuksen tuottavan SG-investoinnin vuosiannuiteettina. Se sievenee edelleen maakaapelivaihtoehdon vuotuisiksi kilometrikustannuksiksi seuraavasti:

$$h_{SGX}(t) = a_{SG} h_{SG} = a_{SG} \cdot r_{SG} k_0 = a_0 \cdot k_0$$

Mikä tahansa kolmesta oikeanpuoleisesta lausekkeesta soveltuu jatkotarkasteluun.

7.3.2 Älyverkkokilometrit

Verkon kuvauksessa, luku 2, verkkokilometrit kuvataan ikäluokkamallilla. Ilma- ja maakaapeli-verkolla on vain yksi kilometrihinta, molemmilla omansa yhtiökohtaisesti. Älyverkkokilometrille määritellään useampi hintataso ja jokaiselle hintaportaalle g määritellään soveltamisen maksimipituus. Porraskuvauksen avulla on mahdollista arvioida hinnan vaikutus soveltamisen laajuuteen.

Hetkellä t rakennetut uudet älyverkkokilometrit ovat jompaakumpaa tai molempia kustannustyyppiä k , $k=\{I, V\}$, kilometrejä hintaportailla g :

$$U_{SG}(t) = \sum_g \left(U_{SG}^I(t, g) + U_{SG}^V(t, g) \right), \quad (82)$$

missä yläindeksi viittaa kustannustyyppiin.

Tarkasteluhetkellä käytössä oleva verkon pituus lasketaan hintaportaittain eri ajankohtina käytönotetuista verkkokilometreistä $U()$:

$$S_{SG}^k(t, g) = \sum_{\tau} \theta(t, \tau) U_{SG}^k(\tau, g) \quad (83)$$

Parametri $\theta(t, \tau)$ kuvaa hetkellä τ käyttöön otettujen älyverkkokilometrien $U_{SG}^j(\tau, g)$ tilaa hetkellä t . $\theta(t, \tau)$:n arvo on yksi, kun ajanhetkellä τ asennettu verkkokilometri on käytössä hetkellä t , muulloin se on nolla.

Rakennetut verkkokilometrit toteutuvat eri hintaisina sen mukaan, miten laajasti teknologioita voi soveltaa ja miten olosuhteet vaikuttavat kustannuksiin. Älyverkon kustannusportaille määritellään suurin mahdollinen kilometrimäärä, erikseen kummallekin kustannustyyppille k :

$$S_{SG}^k(t, g) \leq B^k(g) - B^k(g - 1) \quad (84)$$

Yläraja on voimassa jokaisena ajanhetkenä, minkä vuoksi sitä ei sovelleta investointiin U , vaan muuttuun S , joka sisältää vain ajanhetkellä t käytössä olevat kilometrit.

Älyverkkokilometrien määrä ajanhetkellä t on eri hintaportaiden verkonpituuksien summa.

$$V_{SG}(t) = \sum_g \left(S_{SG}^I(t, g) + S_{SG}^V(t, g) \right), \quad (85)$$

missä $S_{SG}^j(t, g)$ on vuonna t rakennettu tyypin k kustannuksia (= investointeja, I , tai muuttuvia kuluja, V) aiheuttava hintaportaan g älyverkkokilometrien määrä. $V_{SG}(t)$ viittaa samannimiseen muuttuun kaavassa (5).

7.3.3 Kustannusten implementointi

Toimenpiteiden toteutuksen eri hintaiset vaihtoehdot erotellaan indeksillä g . Kullakin hintatasolla g on sille ominainen sovelluspotentiaali, jota merkitään $B(g)$, kuva 22. Hinta suhteessa vertailuhintaan kuvataan toimenpiteen toteutushintaa kuvaavalla tekijällä $\psi(g)$.

Kustannuserien erottelua varten on otettava käyttöön indeksi $j \in J$. Joukkoon J kuuluvat jäsenet, $J = \{Y, V, VM\}$, ovat järjestyksessä yrityksen investointiin liittyvä hinta, muuttuvien kustannusten vuosihinta ja valvontamallin mukainen hinta. Aiemmissa luvuissa korkotasot ovat muuttuneet ajan myötä. Tässä sovelletaan samaa korkojen ajallista kehitystä, minkä vuoksi myös vertailutaukukseen ja siitä riippuvien teknologiahintojen tasot kehittyvät ajassa. Näin siitä huolimatta, että perusratkaisujen, eli maakaapeleiden ja ilmajohtojen hintojen ennakoidaan säilyttävän reaalisen tasonsa.

Valvontamalli arvioi SG-teknologioita vertailuhinnan avulla huomioimalla eri pituiset toimintaajat:

$$h_{SG}^{VM}(t) = k_0 \cdot r_{SG}(t) \quad (86)$$

Koska vertailuhinta perustuu komponenttihinnastoon, niin myös yllä määritelty vertailuhinta perustuu siihen. Mitään uutta hinnastoa ei tarvitse perustaa tässä käsiteltäville teknologioille.

Kilometrikustannus määritellään erikseen muuttuville kuluille (yläindeksi X) ja investoinneille (Y):

$$h_{SG}^X(t, g) = \psi(g) \cdot k_0 \cdot a_0(t) \quad (87)$$

$$h_{SG}^Y(t, g) = \psi(g) \cdot \varphi \cdot h_{SG}^{VM}(t) \quad (88)$$

Hintakertoimella $\psi(g)$ luodaan kuva 22:n mukainen porrastus ja φ huomioi hinnaston ja todellisen investoinnin eron, kuten aiemminkin.

Verkon jälleenhankinta-arvo (JHA), investointikannustimen kantaluksi, lasketaan SG-verkkokilometrien mukaisena valvontamallin hinnoilla arvoitettuna:

$$JHA_{SG}^l(t) = \sum_g h_{SG}^{VM}(t) \cdot S_{SG}^l(t, g) \quad (89)$$

Yllä oleva kaava pätee investoinneille, kun vain muuttuvia kuluja tuottaville toimenpiteille vastaava kaava on (91). Pelkästään opex-kuluja synnyttävälle toimenpiteille tämä tarkoittaa koko sopimuksen tai toimenpiteen elinkaaren nykyarvoista kustannusta, joka tulkitaan investoinniksi.

Investointikannustin lasketaan jälleenhankinta-arvon perusteella tavalliseen tapaan:

$$InvKann_{SG}^j = \frac{1}{T_{SG}^f} \cdot JHA_{SG}^j(t) \quad (90)$$

Investointikustannuksia tuottaville toimenpiteille ($j=l$) tarvitaan seuraavat kolme yhtälöä, joissa huomioidaan investoinnin pitoaika.

Hetken t investointikulujen määrä valvontamallissa

$$K_{SG}^l(t) = \sum_g h_{SG}^{VM}(t) \cdot U_{SG}^l(t, g) \quad (91)$$

Älyverkkokomponenttien nykykäyttöarvo

$$NKA_{SG}^l(t) = \sum_{l=0}^t \gamma(t, l) \cdot K_{SG}^l(l) \quad (92)$$

Älyverkkoinvestoinnin nykykäyttöarvo perustuu valvontamallin hinnaston mukaisiin kuluihin. Parametri $\gamma(t, l)$ on ikääntymisellä modifioitu $\theta(t, l)$ -parametri.

Verkkoyhtiön todellinen investointikulu

$$I^Y(t) = \sum_g h_{SG}^Y(t, g) \cdot U_{SG}^l(t, g) \quad (93)$$

on osa yhtiön rahavirtaa muiden investointien tapaan.

Vain muuttuvia kuluja tuottavien toimenpiteiden ($j=V$) vuosittaiset opex-kulut lasketaan vuosikuluhinnalla – ja samalla tämä arvo tulkitaan investointia vastavaksi jälleenhankinta-arvoksi (kaava (90)):

$$OPEX_{SG}(t) = JHA_{SG}^V(t) = \sum_{\tau, g} h_{SG}^X(\tau, g) \cdot \theta(t, \tau) U_{SG}^V(\tau, g) \quad (91)$$

Tehostamiskannustimen sallittuihin vuosikuluihin lisätään toteutuvat opex-kulut, mutta vain siltä osin kuin ne alittavat vertailuhinnalla lasketut vuosikulut. Tämä toteutetaan seuraavin yhtälöin:

$$C_{SG}(t) \leq OPEX_{SG}(t) \quad (94)$$

$$C_{SG}(t) \leq \sum_g k_0 a_0(t) S_{SG}^V(t, g) \quad (95)$$

Eli pienempi yhtälöiden oikeanpuolen arvoista määrittää sallittuihin opex-kuluihin lisättävän tekijän arvon tehostamiskannustimen arvoa laskettaessa. Jos toteutuvat opex-kulut ylittävät valvontamallin vertailukustannuksen, niin ylittävältä osalta kuluja käsitellään kuten muitakin muuttuvia kuluja.

7.3.4 Muutokset valvontamallissa

Rahavirtayhtälöön lisätään älyverkon opex-kulujen palautus, $OPEX_{SG}(t)$ (joka vastaa investoinnin poistoja), jonka jälkeen yhtälö saa seuraavan muodon:

$$\begin{aligned} & Liiketulos(t) \\ & + Palautus \\ & + Poistot(t) \\ & + OPEX_{SG}(t) \\ & - RK(t) \\ & - TP(t) \\ & + LaatuK(t) \\ & + TehosK'(t) \\ & - ToimitusK(t) \\ & - PKK(t) \\ & = TKtulos(t) \end{aligned} \quad (96)$$

Yllä olevassa yhtälössä on toteutettu tehostamiskannustimen täydennys sallituin opex-kuluihin $C_{SG}(t)$. Tämä täydennys on tehtävä, jotta muuttuvien kulujen käsittely on yhdenvertainen investointien kanssa. Tätä uutta kannustinta merkitään $TehosK'(t)$:

$$TehosK'(t) = C(t) - [C_{ref}(t) + C_{SG}(t)] \quad (97)$$

Investointikannustimessa huomioidaan SG-investoinnit muiden verkkoinvestointien tapaan. Muilta osin valvontamalli säilyy entisellään.

8. Esimerkkitarkastelut: osa 3

8.1 Tapaukset

Tavoitteena on selvittää, millä hinnalla älyverkkosovellukset ovat kilpailukykyisiä maakaapeliratkaisuun verrattuna ja miten älyverkkosten soveltaminen vaikuttaa verkkomaksuihin. Erityinen mielenkiinto kohdistuu muuttuvia kustannuksia tuottaviin ratkaisuihin ja niiden kilpailukykyyn vastaavan hintaisiin investointivaihtoehtoihin verrattuna.

Älyverkon toteuttamisen kannattavuutta tarkastellaan varioimalla hintaa, pitoaikaa ja kustannusrakennetta. Varman verkon osuus muuttuu kaikissa tapauksissa samalla tavalla.

SG-verkon pitoaikoina käytetään 5, 10 ja 20 vuotta. Sovelluspotentiaali kuvataan osuutena säävarmasta verkosta ja kuvan 22 hintaportaat määrittelevät kunkin portaan hinnan suhteessa vertailuhintaan. Potentiaali ja hinnat muunnetaan yhtiökohtaisiksi numeroarvoiksi yhtiötä kuvaavan datalla.

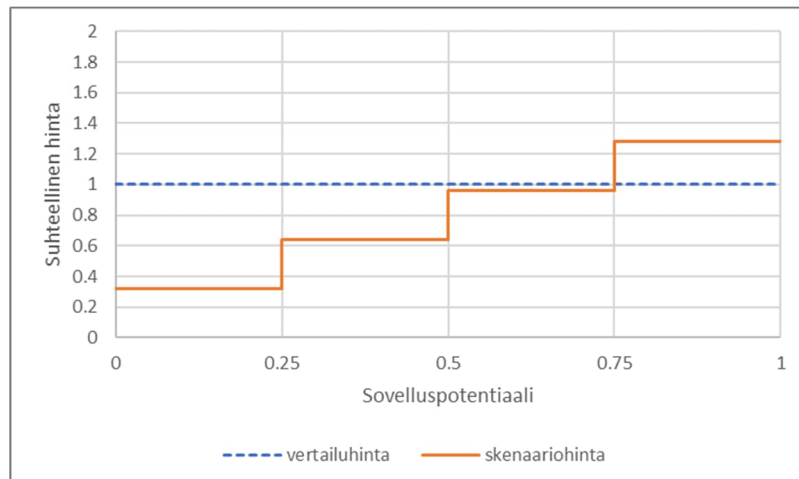
8.2 Lähtötiedot

Verkkokilometrin hinta kahdelle esimerkkilaskelmissa tarkasteltavalle esimerkkiyhtiölle on esitetty taulukossa 1. Alimmalla rivillä on älyverkolle laskettu vertailuhinta ilmajohtojen varmentamisessa (maakunta) ja maakaapelia korvattaessa (kaupunki). Hintataso vastaa vuoden 2016 tasoa.

Taulukko 1. Laskentatarkastelun perustiedot.

| Vertailukustannus | maakunta | kaupunki | |
|-------------------|----------|----------|-------|
| kaapelihinta | 59 | 158 | k€/km |
| ilmajohtohinta | 34 | | k€/km |
| h_{vrt} | 25 | 158 | k€/km |

Vertailukustannus kaupungissa on kuusinkertainen maakuntaan verrattuna. Mallilaskelmissa oletetaan, että eri hintaisten älyverkkoratkaisujen suhteellinen kustannus, eli tekijän $\psi(g)$ arvo, ja soveltamismahdollisuus määräytyy kuvan 22 mukaisesti.

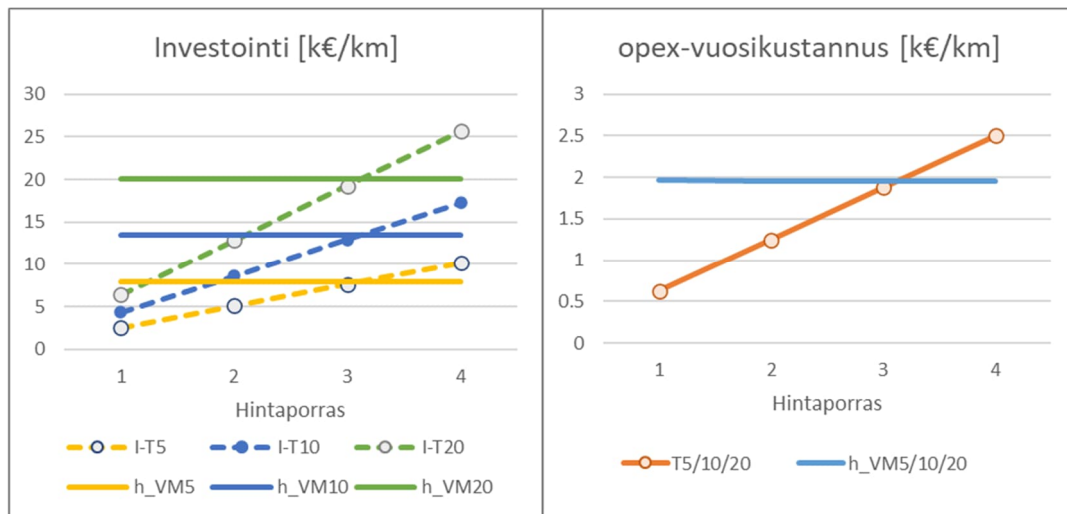


Kuva 22. Älyverkon sovelluspotentiaali hintaportaittain. Hinta määriteltynä osuutena vertailuhinnasta (h_{vrt}) ja potentiaali osuutena mahdollisesta sovelluslaajuudesta. Skenaariohinnassa on huomioitu yrityskustannuskerroin 0,8.

Investointikannustimen arvo on riippumaton kustannuslajista (investointi- tai opex-kulu), kun sekä yksikköhinta että pitoaika ovat samat. Mutta verkkoyhtiön kannalta ratkaisut eivät ole samanarvoisia, koska kustannuslajit käsitellään yhtiön rahavirrassa eri tavalla. Sen vuoksi tarkastellaan tilannetta valvontamallin ja yhtiötalouden muodostamassa kokonaisjärjestelmässä.

8.3 Tulosten hintatausta

Tarkastellaan teknologioiden soveltamista valvontamallin hintojen avulla. Kuvan 22 suhteelliset hinnat muuttuvat sovelluskohteissa absoluuttisiksi arvoiksi kuvan 23 mukaisesti.



Kuva 23. Toimenpiteiden käyttöönottoon liittyvät hinnat ilmajohton varmennustapauksessa. Hinnat on laskettu kuvan 22 perusteella. Selite, vasen: I-T5 = investointivaihtoehto, pitoaika 5 vuotta; h_VM5 = vertailuhinta pitoajalle 5 vuotta; oikea: T5/10/20 = älyverkon vuotuinen kilometrikustannus pitoajoille 5, 10 ja 20 vuotta; h_VM5/10/20 = vertailuhinta eri pitoajoille.

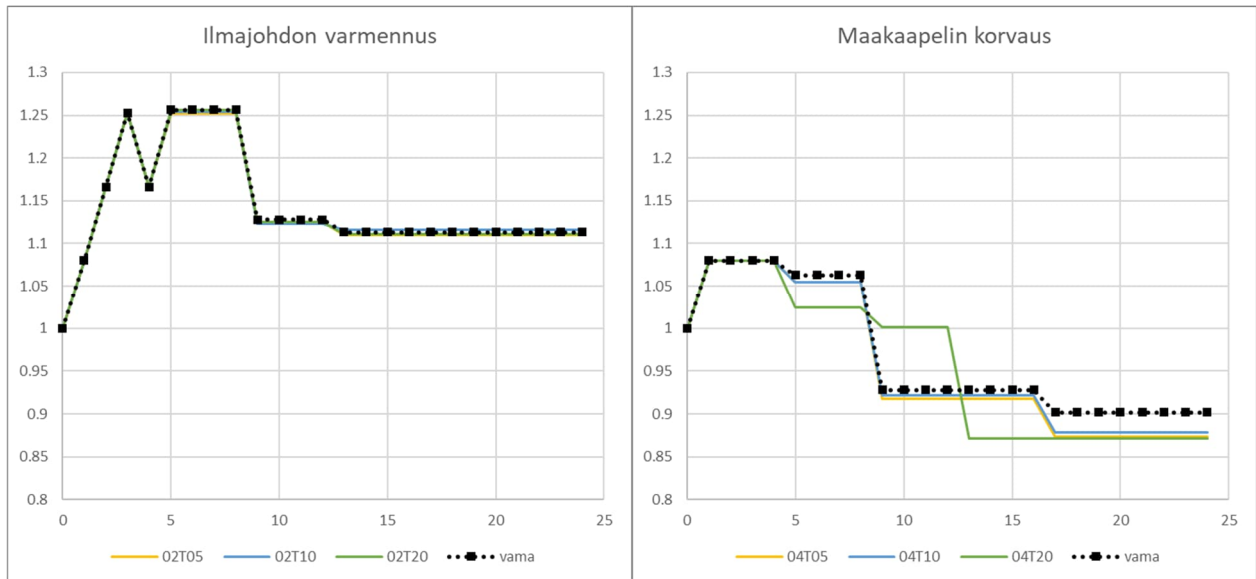
Kaavan (84) mukaan vertailuhinta muuttuu pitoajan mukaan ja kuvan 23 vasemman paneelin h_VM-suorat kuvaavat näitä tasoja ilmajohton varmennustapauksessa. Markkerit esittävät kuvan 22 mukaisten hintaportaiden tason ja katkoviivat vain liittävät ne samaan tapaukseen. Kuvan 23 hinnat esittävät saman informaation absoluuttisina arvoina suhteellisen sijaan.

Kuvan 23 hintaisia teknologioita kannattaa mallilaskelmien mukaan soveltaa kuvien 25 ja 26 laajuudessa. Mutta onko olemassa kuvan 26 hintatasoista (hintataso 2016) tekniikkaa ja ratkaisuja, joita voitaisiin soveltaa, kuten tulokset osoittavat?

8.4 Verkkomaksut ja teknologian kilpailukyky

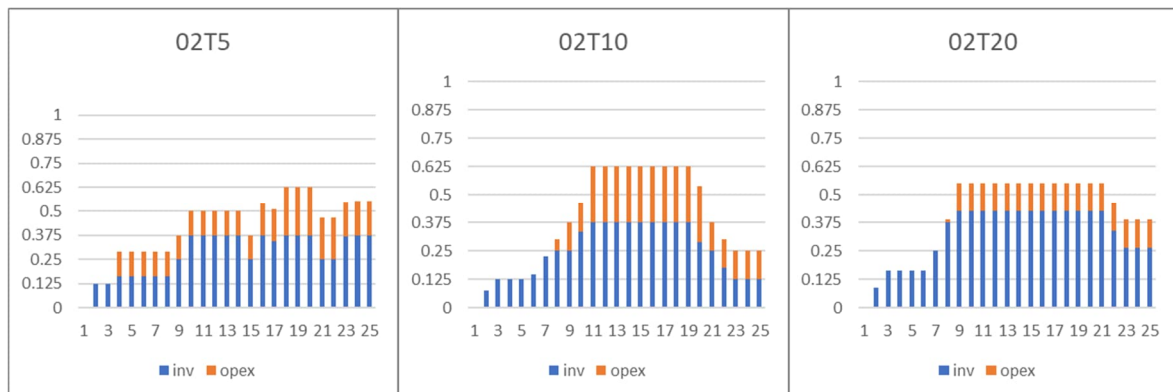
Verkkomaksujen kehittyminen ilmajohtojen varmentamisessa ja maakaapelin korvauksessa selviää kuvasta 24.

Ilmajohton korvaaminen älyverkoin ei aiheuta mitään verkkomaksumuutoksia. Älyverkkoa toteutetaan kuvan 25 kuvaamassa laajuudessa, koska se on yhtiölle kannattavaa. Kaupungissa älyverkkoteknologioita sovelletaan kuvan 25 mukaan suunnilleen samassa laajuudessa kuin maakunnassa ja nyt asiakkaatkin hyötyvät muutokset jossain määrin.



Kuva 24. Verkkomaksun kehittyminen ilman älyverkkosovelluksia ja niiden kanssa. Vasemmalla maakuntayhtiö (ilmajohdon korvaus) ja oikealla kaupunkiyhtiö (maakaapelien korvaus). Selite: 02T05 = ilmajohtotapaus, pitoaika 5 vuotta; 04T20 = maakaapelitapaus, pitoaika 20 vuotta; vama = tapaus ilman älyverkkoteknologioita.

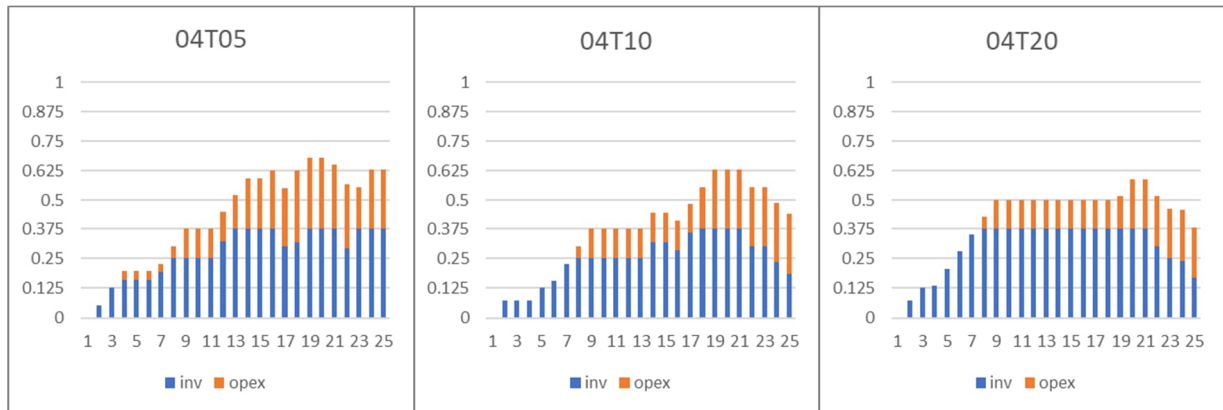
Älyverkkoteknologioiden soveltaminen ei asetettujen rajoitusten vuoksi nosta verkkomaksuja. Täältä osin tavoite on saavutettu, mutta sovelluslaajuus paljastuu vasta seuraavasta kuvasta, kuva 25.



Kuva 25. Ilmajohdojen korvaus älyverkkoteknologioin. Selite: inv = vain investointikuluja tuottavat toimenpiteet; opex = vain muuttuvia kuluja tuottavat toimenpiteet. Molempien toimenpide-luokkien sovelluslaajuus on puolet koko sovelluspotentiaalista. Kumpikin kustannuslaji jakautuu neljään kustannusportaaseen yhden hintaportaan yltäessä 0,125 osuuteen koko sovelluspotentiaalista.

Kuvan 25 mukaan investointitekologioita sovelletaan kolmen hintaportaan laajuisesti, oli pitoaika mikä vain. Tulos on uskottava, sillä kuvan 22 perusteella investointivaihtoehto on silloin edullisempi kuin vertailuhinta. Vain muuttuvia kuluja tuottavia teknologioita sovelletaan vähemmän ja pitoajalla on merkitystä siten, että lyhyempi pitoaika johtaa hieman suurempaa sovellusosuuteen. Vain investointivaihtoehto kasvattaa verkon nykyarvoa, joka on pääomakorvauksen perusta (kantaluksi).

Mahdollisuus korvata maakaapeliverkko älyverkkoteknologioin johtaa kuvan 26 mukaiseen kehityskulkuun.



Kuva 26. Maakaapelin korvaaminen älyverkkoteknologioin. Selite: kuten kuva 25.

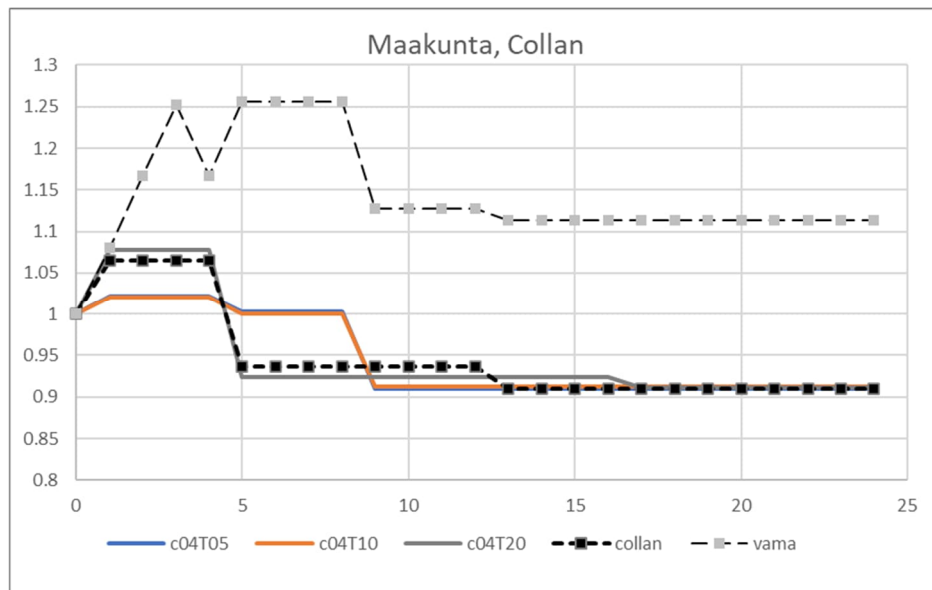
Kaupungissa (maakaapelitapauksessa) varman verkon osuus ei kasva, eli soveltaminen etenee nopeimmillaankin ikääntymisen tahdissa. Haja-asutusalueen ilmajohtotapauksessa, kuva 25, vaatimus varman verkon osuuden kasvusta antaa mahdollisuuden nopeampaankin muutokseen. Tarkastellun yhtiön kannalta se ei kuitenkaan osoittautunut kannattavaksi. Muuttuvien kulojen teknologiat saavat suunnilleen saman sovellusosuuden ja, kuten aiemminkin, vertailuteknologiaa edullisemmat (kolme alinta porrasta kummassakin kustannuslajissa) investointivaihtoehdot toteutetaan. Tulos ei yllätä, mutta vahvistaa laskentamallin toimivan uskottavasti.

Investointivaihtoehdon muuttuvia kuluja tuottavaa ratkaisua parempi menestys liittyy kahteen asiaan: ensiksi, valvontamallissa vain investoinnit nostavat verkon arvoa ja siten pääomakorvausta (mahdollisuutta nostaa verkkomaksua) ja toiseksi, yrityksen rahavirrassa muuttuvat kulut ja investoinnit ovat erityyppisiä kuluja, joilla on erilaiset vaikutukset taloudelliseen tulokseen. Vaikka toimenpiteiden kulut ovat vuositasolla tarkastellen täsmälleen samat, niiden taloudellinen merkitys on kuitenkin erilainen.

Muuttuvien kustannusten teknologiat eivät ole kilpailukykyisiä ilman vuosikuluja aggregoimalla muodostettua investointikannustinta.

8.5 Älyverkko Collan-mallissa

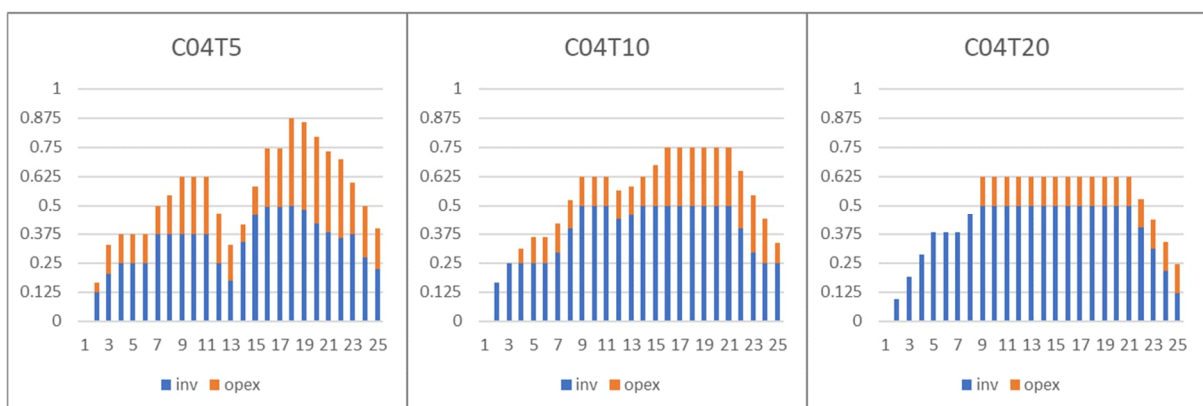
Tarkastellaan vielä kahden kuvan verran älyverkkojen kannattavuutta maakuntayhtiössä collan-valvontamallin tapauksessa soveltaen asiakkaan osan varmistamaa vertailuhintalaskentaa.



Kuva 27. Älyverkkoteknologiat maakuntayhtiössä Collan-mallia soveltaen ja vertailu vama-malliin. Selite: c04T/05/10/20 = collan-mallin mukainen verkkomaksu älyverkkosten soveltamisesta pitoajalla 5/10/20 vuotta; collan = collan-malli ilman SG-teknologioita; vama = vama-malli ilman SG-teknologioita.

Verkkomaksujen ajallinen kehitys muuttuu, mutta maksujen määrä yli ajan säilyy älyverkoja soveltaen. Mahdollisuus saada tulosta aiemmin kuin myöhemmin on arvokas ja sitä mahdollisuutta yhtiö käyttää. Yhtiön nettotulos paranee 1,5 % älyverkon soveltamisen ansiosta. Jos älyverkko on toteutettavissa analysissä käytetyin hinnoin, niin yhtiö voi sen kannattavasti toteuttaa.

Kustannuslajin vaikutus soveltamiseen noudattaa aiemmin kuvattuja tapauksia, kuva 28.



Kuva 28. Älyverkkoteknologioiden käyttöönotto collan-valvontamallia sovellettaessa.

Investointivaihtoehto saavuttaa hieman suuremman sovellusalueen, jopa hintaportaan neljä teknologiaa on käytössä. Muuttuvien kustannusten tapaukset toistavat aiempia tuloksia, joissa lyhyt kiertoaika tekee teknologioista kannattavia.

8.6 Joitain huomioita

Tässä luvussa on toimitusvarmuutta parantavat, mutta muuttuvia kustannuksia synnyttävät toimenpiteet nostettu investointikuluja synnyttävien toimenpiteiden vertaiseksi tekemällä muutama muutos nykyiseen valvontamalliin. Toimitusvarmuutta parantavien toimenpiteiden vaikutus tehostamiskannustimeen on neutraloitu ja sen lisäksi on muodostettu ekvivalentti investointikannustin, jotta tilanne olisi mahdollisimman yhdenvertainen investointivaihtoehtojen kanssa. Muutosten toimivuutta on testattu vertaamalla nykyarvoltaan samojen, mutta kustannuslajeiltaan vastakkaisten toimenpiteiden soveltamismahdollisuuksia erityyppisissä verkkoyhtiöissä.

Investointikustannuksia tuottavat toimenpiteet ovat yleisesti ottaen kannattavampia, eli niitä sovelletaan laajemmin kuin muuttuvia kuluja tuottavia toimenpiteitä. Syitä ovat ainakin seuraavat: Valvontamallissa muuttuvien kulujen toimenpiteet eivät lisää verkon nykykäyttöarvoa (koska verkkoon ei investoida), joten pääomakorvauksen kantaluku jää investointivaihtoehtoa pienemmäksi, ja yritystaloudessa investoinnit (poistoina, korkomaksuina) vaikuttavat mm. verojen määrään, toisin kuin muuttuvat kulut, jotka ovat vain kuluja.

Todelliset toimenpiteet aiheuttavat jossain suhteessa molempia kustannuksia. Niiden vaikutus voidaan arvioida kuvaamalla investoinnin käytöstä syntyvät muuttuvat kulut luvussa kuvatulla tavalla. Toimenpiteiden vaikutusta vertailtiin verkon tyyppillisen eliniän mittaisella jaksolla. Lyhyen pitoajan toimenpiteiden suurin vaikutus ja hyöty tulee kuitenkin tilanteissa, jossa vallitsee suuri epävarmuus tulevasta. Tällöin lyhytaikainen toimenpide antaa mahdollisuuden odottaa joitain vuosia tilanteen selkiytymistä. Tämän kaltainen joustavuus voi yhtiölle olla hyvin arvokas, jos sen avulla voidaan välttää suuri ja turhaksi paljastuva investointi.

9. Loppupäätelmiä

Analyysin tulosten kannalta on oleellista, että tarkastelun kohde rajataan tavalla, joka mahdollistaa kohdejärjestelmän eri osien vuorovaikutusten tutkimisen sisällökkäällä tavalla. Tässä rajaus on tehty siten, että malli kuvaa sekä valvojan että valvottavan - valvontamallin ja yrityksen (kuva 1b) - samassa kokonaisuudessa asiakkaan osaa unohtamatta. Sähköverkkoyhtiö kuvataan nettotulosta maksimoivana toimijana.

Tärkeä piirre kohdejärjestelmässä - ja laskentamallissa - on sen dynaaminen luonne. Dynamiikka syntyy jäykkyydestä, hitaasti sopeutuvista suureista. Esimerkkejä näistä ovat velan määrä ja sähköverkon rakenne. Tietyllä hetkellä tehdyt poikkileikkausanalyysit eivät tavoita dynaamisen ongelman todellista, yli ajan tapahtuvan kehityksen luonnetta ja niiden perusteella tehdyt päätelmät voivat olla harhaisia.

Yrityksen maksimoiva toimintatapa paljastaa valvontamallin ominaisuudet yrityksen pyrkiessä käyttämään valvontamallin piirteet edukseen äärimmäisyyksiin asti. Tämä ominaisuus antaa mahdollisuuden testata ja verrata erilaisia valvontamalliversioita. Kun yhtiöitä ja valvontamalliversioita käsitellään johdonmukaisesti samalla tavalla, voidaan vertailevan lähestymistavan avulla perustellusti kuvata valvontamallivaihtoehtojen piirteitä: mitkä asiat ovat vähämerkityksellisiä, mitkä taas suuria ja merkittäviä ja mihin suuntaan vaikuttavia. Oleellista tällaisessa vertailussa on vaihtoehtojen väliset erot, eivät niinkään laskettujen suureiden absoluuttiset arvot tai tasot.

Ehdotettuja valvontamalliversioita tutkittaessa Collan-variaatio osoittautui asiakkaiden kannalta johdonmukaisesti parhaaksi: verkkomaksut jäivät selvästi nykyistä ja Järventausta-variaatiota alemmas. Keskeinen syy tähän on pääomakorvaukseen oikeuttavan sitoutuneen pääoman määrittely. Collan-variaatioissa kantaluvuksi on otettu yrityksen kirjanpidollinen verkon arvo, kun

se kahdessa muussa tapauksessa perustuu verkon laskennalliseen nykykäyttöarvoon. Luonnollisesti yrityksen taloudelliset tunnusluvut ovat tällöin heikommät kuin nykyistä valvontamallia sovellettaessa.

Raportissa on käsitelty myös toimitusvarmuuden tuottamisen kannattavuutta myös muilla tavoin kuin maakaapeloinnein eri valvontamallitapauksissa. Muuttuvia kuluja synnyttävien ja toimitusvarmuutta parantavien ratkaisujen kannattavuus nostettiin investointivaihtoehtojen rinnalle suhtautumalla näiden toimenpiteiden muuttuviin kustannuksiin samoin kuin investointeihin. Muutokset mahdollistavat muuttuvia kustannuksia synnyttävien toimenpiteiden toteuttamisen kannattavasti. Toimitusvarmuuden tuottaminen älyverkkosovelluksin osoittautui yhtiölle kannattavaksi, jos ne voidaan toteuttaa vastaavan vaikutuksen tuottavista investointikustannuksista johdettua vertailuhintaa edullisemmin. Asiakkaan osa on tässä muutoksessa neutraali: verkkomaksut eivät nousseet eivätkä laskeneet muutoksen seurauksena.

Mallilaskelmissa esimerkkiyhtiöt reagoivat kannusteisiin uskottavasti tarkasteltiinpa nykyistä valvontamallia tai ehdotettuja vaihtoehtoisia ratkaisuja. Tulosten perusteella laadittu malli soveltuisi työkaluksi suunnitteluvaiheessa olevien kannusteisiin ja rajoituksiin hahmoteltujen muutosten vaikutusten selvittämiseen. Myös verkkoyhtiön investointivaihtoehtojen tai muiden suunniteltujen toimenpiteiden taloudellinen vertailu on mallin mahdollinen sovellusalue – varsinkin, jos verkkokuvausta tarkennetaan juuri kyseisen yhtiön erityispiirteet paremmin huomioivaksi.

10. Lähdeviitteet

1. Forsström, Juha, Sähköverkkoyhtiön kustannusrakenneneutraali valvontamalli. VTT-R-00517-19, Espoo 2019.
2. Lilja, Emmi, Profitability of the Finnish electricity distribution operators during the years 2014-2019, LUT 2020.
3. Kuluttajat maksavat satoja miljoonia euroja sähkönsiirron "fiktioinvestoinneista" – Kaikki tämä on pois ostovoimasta. Kauppalehti 17.4.2020.
4. Mikael Collanin lausunto Eduskunnan talousvaliokunnalle 8.6.2020.
5. Partanen, Jarmo, Toimitusvarmuusvaatimusten täytäntöönpanoajan pidennyksen vaikutusanalyysi. 12/2019.
6. Valvontamenetelmät neljännellä 1.1.2016-31.12.2019 ja viidennellä 1.1.2020-31.12.2023 valvontajaksolla. Energiavirasto. Helsinki 2015.
7. Selvitys sähkön jakeluverkko toiminnan hinnoittelun ja toimitusvarmuuden valvonnasta. Energiavirasto, 3.11.2020. Helsinki 2020.
8. Järventausta, Pertti, Asiantuntijalausunto eduskunnan talousvaliokunnalle. 10.6.2020.
9. Kohtuullisen tuoton laskenta 2016-2019_(excel). Ladattavissa osoitteesta:
<https://energiavirasto.fi/hinnoittelun-valvonta>

11. Liitteet

11.1 Laatu- ja tehostamiskannustin

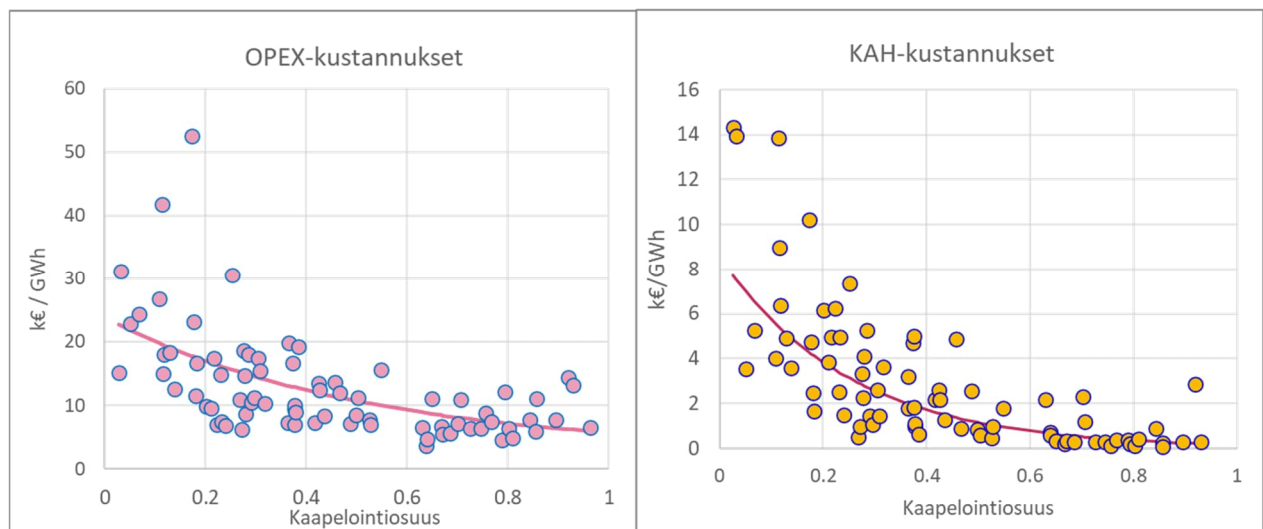
Valvontamalli ei ota kantaa siihen, miten opex- tai KAH-kuluihin (keskeytyksistä aiheutuva haitta) voidaan vaikuttaa. Tilastojen mukaan (ks. Forsström, 2019), näiden kulujen ja kaapeliverkon osuuden välillä on selvä yhteys. Tätä tilastollista yhteyttä käytetään alla olevan kuvauksen perustana. Ensin kuvataan, miten opex- ja KAH-kulut muuttuvat maakaapeloinnin myötä ja sen jälkeen esitetään, miten kannustimen arvo lasketaan. Alkuarvojen laskenta on esitetty tätä käsillä olevaa raporttia edeltävässä raportissa VTT-R-00517-19.

11.1.1 Ominaiskustannus

Varman verkon laajeneminen vaikuttaa epälineaarisesti vikatilanteiden määrään, kestoon ja verkon muuttuviin kustannuksiin. Laatu- ja tehostamiskannustimen arvo muuttuu kaapeloinnin tai vastaavien (ilmajohtoverkon siirtäminen tien viereen jne.) luotettavuutta edistävien ja huoltotoimien vähenemiseen johtavien toimenpiteiden toteuttamisen myötä.

Keskeytyksistä Aiheutuva Haitta, KAH, ja operatiiviset kustannukset, OPEX (Operational Expenses) lasketaan samalla funktiolla ja ero kustannuslajien välillä toteutetaan parametriarvoilla.

Laatu- ja tehostamiskannustimen arvon laskenta perustuu toimitettuun energiamäärään suhteutettujen KAH- ja OPEX-kulujen arvoon. Näiden ominaiskustannusten avulla yhtiöitä voidaan vertailla toisiinsa. Vuoden 2016 tilastojen mukaan tilanne oli seuraava, kuva L1.



Kuva L1. Ominaiskustannukset yhtiöittäin. Punainen käyrä on aineistoon sovitettu kuvaaja. OPEX-kulut vaihtelevat noin 5 €/MWh – 50 €/MWh yhden vuoden aineistossa. Laskennalliset KAH-kulut puolestaan jäävät alle 14 €/MWh. Punaiset käyrät kuvaavat keskimääräisen tilanteen.

Kustannukset alenevat epälineaarisesti säävarman verkon laajentuessa. Kullekin yhtiölle laaditaan yksilöllinen, eksponentiaalisesti laskeva ominaiskustannusfunktio. Kuvaan piirretyt käyrät kuvaavat keskiarvoista kehitystä. Yhtiökohtainen kuvaaja kulkee datapisteen ja 100 % kaapelointia vastavan tavoitepisteen kautta seuraavalla tavalla.

Muuttuvat kustannukset, $OPEX(t)$, alenevat eksponentiaalisesti, eli ominaiskustannusfunktio voidaan kirjoittaa

$$c(r, t) = \eta(t) \cdot a \cdot e^{k(r-r_0)}$$

missä r on kaapelointiosuus, r_0 on kaapeliosuus alkutilanteessa, a on alkutilanteen ominaiskustannus [€/MWh] ja k parametri. Aikaparametri huomioi ajan mukana (automaattisesti) tapahtuvan tehostumisen ja se on muotoa

$$\eta(t) = (1 - \varepsilon)^{t-1}$$

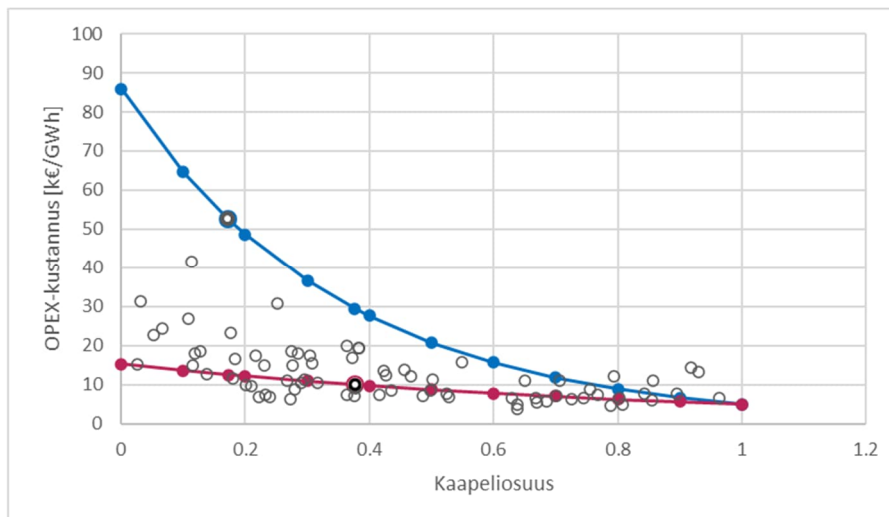
eli vuosittain kustannusten oletetaan alenevan ε verran. ε saa sopivan pienen arvon, esimerkiksi 1,5 %.

a :lle saadaan arvo lähtötiedoista ($c(r_0, t_0) = \eta(t_0) \cdot a \cdot e^{k(r_0-r_0)} = a$) ja k :lle johdetaan lauseke

$$k = \frac{1}{r_1-r_0} \cdot \ln\left(\frac{c(r_1, t)}{a}\right)$$

Valitaan kustannukselle päätepisteessä $r_1=1$ tavoitearvo ja sen jälkeen k :n laskeminen on suoraviivaista. Parametrit asetetaan yhtiön ja kustannuslajin mukaisesti.

Seuraava kuva L2 (data kuten kuvassa L1 aiemmin) esittää, miten OPEX-kustannus mallilaskelmissa kahdessa esimerkkiyhtiössä maakaapeloinnin edetessä. KAH-kustannukselle laaditaan samanlainen yhtiökohtainen funktio.



Kuva L2. Esimerkki sovitetuista OPEX-funktioista. Vahvennetun reunaviivan pisteet ovat käyräsovitteen alkuperäisiä datapisteitä. Viivalla yhdistetyt täytetyt pisteet ovat laskennallisesti tuotettuja (kuvaavat kaapeloinnin vaikutusta), muut pisteet ovat alkuperäistä dataa. Kuvaan on ominaiskustannusfunktiolla tuotettu arvot myös ”taaksepäin”, aina kaapelittomaan tilanteeseen saakka.

Molempien yhtiöiden OPEX-kulujen oletetaan päätyvän arvoon 5 eur/MWh, kun kaapelointiosuus on 100 %. Jos alkutilanteen ominaiskustannus on joko alle 6 €/MWh tai alkutilanteen kaapeliosuus ylittää 60 %, niin tällöin oletetaan, että ominaiskustannuksen tavoitearvo on 20 % alempi kuin sen nykyinen arvo. KAH-kuluille laaditaan vastaavanlaiset yhtiökohtaiset kustannusfunktiot.

11.1.2 Kaapeliosuus ja ominaiskustannusfunktio

Mallissa ym. kustannusfunktiot kuvataan paloittain lineaarisella funktiolla. Verkkokilometrit jaetaan kymmeneen yhtä suureen osaan, segmenttiin, ja kussakin osassa vaikutusten oletetaan

olevan lineaarisia: ominaiskustannus lasketaan ominaiskustannusfunktion avulla tarkasti 10 % verkkopituuden askelein. Näiden pisteiden välissä kustannusmuutos oletetaan lineaariseksi.

Kaapeliosuuden kasvattamisen hyöty pienenee, mitä pidemmälle säävarman verkon rakentaminen etenee. Säävarman verkon rakentaminen toteutetaan segmenttien tehokkuusjärjestyksessä. Tämä järjestys toteutetaan mallissa seuraavien rajoitusyhtälöiden avulla. Yhtälöt takaavat, että kaapelit rakennetaan edullisuusjärjestyksessä ja kaapeliosuus joko pysyy ennallaan tai kasvaa.

Myrskyvarman verkon, $S^v(t)$, laajeneminen

$$S^v(t) = \Delta S \cdot \sum_s x(t, s) \quad (\text{L.1})$$

$$b_x(t, s) \geq b_x(t, s + 1) \quad (\text{L.2})$$

$$x(t, s) \leq b_x(t, s) \quad (\text{L.3})$$

$$x(t, s) \geq b_x(t, s + 1) \quad (\text{L.4})$$

$$x(t, s) \geq b_x(t - 1, s) \quad (\text{L.5})$$

$$\Delta S = \frac{S}{N_s}, \quad s = \{1, \dots, N_s\} \quad (\text{L.6})$$

$b_x(t, s)$ on binäärimuuttuja ja *aktiivisuusindikaattori* segmentille s , kun taas $x(t, s)$ on vastaavien segmenttien reaaliarvoinen *aktiivisuusmuuttuja*, jonka arvo kuuluu välille $[0, 1]$.

Yhtälöiden (L.1) - (L.4) mukaan $x(t, s)$:n arvo poikkeaa nolasta tai ykkösestä vain viimeisessä aktiivisessa segmentissä. Kaava (L.5) varmistaa, että varma verkko ei lyhene ajan kuluessa. Kaava (L.6) kertoo, että segmenttejä on N_s kappaletta, jolloin yhden segmentin pituus on $1/N_s$ osa verkkoa. Segmentit aktivoituvat ensimmäisestä segmentistä alkaen.

Alkutilanteen KAH- ja OPEX-kulujen ja kaapeliosuuden perusteella konstruoidaan yhtiökohtaiset marginaaliset kustannusvähenemät, $mc(s) (\leq 0)$, kummallekin kustannusfunktiolle omansa.

Kustannusfunktion muoto on sama KAH- ja OPEX-kuluille:

$$c(t) = E^Y \cdot c_0 \cdot \eta(t) \cdot \left[1 + \sum_s mc(s) \cdot x(t, s) \right] \quad (\text{L.7})$$

c_0 on ominaiskustannus lähtötilanteessa ja E^Y toimitettu energia vuodessa ja $\eta(t)$ on (automaattinen) toiminnan tehostuminen. OPEX-kuluille se voi olla esim. 1 % vuodessa ja KAH-kulujen ei oleteta muuttuvan ilman investointeja, joten tämä funktio saa KAH-kulujen tapauksessa arvon 1.

11.1.3 Kannustin

Kannustimen arvo määräytyy kustannuksen ja tavoitearvon erotuksena. OPEX-tapauksessa tarvitaan tehostumisen sisältämä aikasarja, joka voi yksinkertaisesti olla esim. alenema r_c -prosenttia vuodessa. Tässä oletetaan, että tavoitearvoon on sulautettu sekä alan yleinen että yhtiökohtainen tehostamisvaatimus.

OPEX-kulujen vertailuarvo

$$C_{ref}(t) = c_0 \cdot (1 - r_c)^t \quad (\text{L.8})$$

KAH-tapauksessa tavoitearvon muodostaa kahden edellisen jakson keskimääräinen KAH-arvo (muuttuja). Keskiarvo lasketaan tavalliseen tapaan.

Jakson KAH-keskiarvo

$$C_{kah}(j) = \frac{1}{T_{jakso}} \sum_{t \in T_j} C_{kah}(t) \quad (L.9)$$

KAH-kulujen vertailuarvo

$$C_{ref}(t_j) = \frac{1}{2} [C_{ref}(j-2) + C_{ref}(j-1)] \quad (L.10)$$

missä t_j on jaksoon j kuuluvat vuodet.

Kannustimen arvolle on määritelty ylä- ja alarajat: tavoitearvon ja kustannuksen erotuksella on suurin kannustimena huomioitava arvo, joka on joko 15 % (KAH) tai 20 % (OPEX) kohtuullisesta tuotosta. Kannustimen periaatteellinen rakenne on siis seuraava ($y(t)$ on kannustimen arvo hetkellä t):

$$\Delta C(t) = E_0^Y \cdot c(t) - C_{ref}(t)$$

$$\text{Jos } |\Delta C(t)| \leq \Delta C_{MAX} \text{ niin } y(t) = \Delta C(t) \text{ muutoin } y(t) = \begin{cases} \Delta C_{MAX}, & \Delta C(t) \geq 0 \\ -\Delta C_{MAX}, & \Delta C(t) < 0 \end{cases}$$

Koska $c(t)$ on ominaiskustannus, niin sitä on kerrottava vuotuisella luovutetulla energiamäärällä E_0^Y (oletettu vakioksi) vuosikulun arvon laskemiseksi. Jos vertailuarvo C_{ref} on suurempi kuin toteutuva kustannus, niin kannustin saa negatiivisia arvoja, mikä yhtiön kannalta on hyvä asia: se antaa mahdollisuuden korkeampaan verkkomaksuun.

Simulointimallissa kannustimen arvon laskenta toteutetaan suoraviivaisesti if-then-else -rakenteella, mutta paloittain lineaarisessa optimointimallissa tämän epälineaarisen funktion toteutus on monin verroin hankalampaa. Alla kuvataan, miten kannustimen arvo pidetään sallituissa rajoissa laskemalla ensin sen arvo suoraviivaisesti ja huomioimalla sitten ylä- ja alarajat vähentämällä tai lisäämällä siihen rajat ylittävä erä.

Kannustimen arvo lasketaan kustannuksen ja vertailuarvon erotuksena:

$$C(t) - C_{ref}(t) = W(t) - R(t) \quad (L.11)$$

$$W(t) \leq M \cdot b(t) \quad (L.12)$$

$$R(t) \leq M \cdot (1 - b(t)) \quad (L.13)$$

missä alaindeksi ref viittaa kustannuksen vertailuarvoon. Jos erotus on positiivinen, niin $W(t)$ saa nolasta poikkeavan arvon, ja negatiivisen erotuksen tapauksessa $R(t)$ on nolasta poikkeava. $b_r(t)$ on binäärimuuttuja ja M on iso luku.

Kannustimen nolasta poikkeava arvo on joko positiivinen tai negatiivinen, mutta se saa olla enintään tietty osa kyseisen vuoden kohtuullisesta tuotosta, jota merkitään alla $\rho \cdot PKK(t)$. Tehostamiskannustimelle raja kulkee 20 prosentissa ($\rho = 0.2$) ja laatukannustimelle 15 prosentissa. Yli menevä osa vähennetään kannustimen arvosta. Ennen vähentämistä määritellään binäärimuuttujien väliset relaatiot:

Binäärimuuttujien suhteet (positiivisille ja negatiivisille poikkeamille pätee)

$$b(t) \geq b_W(t) \quad (L.14)$$

$$1 - b(t) \geq b_R(t) \quad (L.15)$$

Vähennettävän ylityksen määrä

$$W(t) - \rho \cdot PKK(t) = W_{pos}(t) - W_{neg}(t) \quad (L.16)$$

$$W_{pos}(t) \leq M \cdot b_W(t) \quad (L.17)$$

$$W_{neg}(t) \leq M \cdot (1 - b_W(t)) \quad (L.18)$$

Lisättävän alituksen määrä

$$R(t) - \rho \cdot PKK(t) = R_{pos}(t) - R_{neg}(t) \quad (L.19)$$

$$R_{pos}(t) \leq M \cdot b_R(t) \quad (L.20)$$

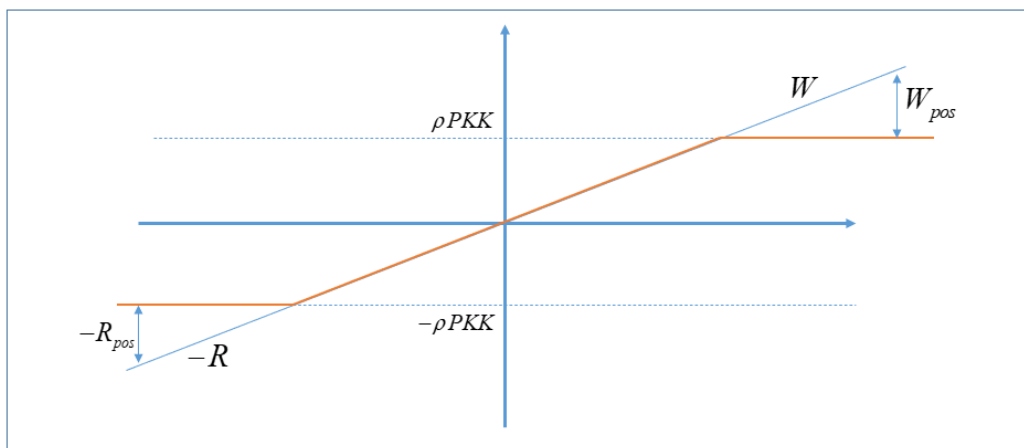
$$R_{neg}(t) \leq M \cdot (1 - b_R(t)) \quad (L.21)$$

Kannustimen arvo

$$Kann(t) = [W(t) - W_{pos}(t)] - [R(t) - R_{pos}(t)] \quad (L.22)$$

Mallissa muuttuja $Kann(t)$ korvautuu muuttujalla $ToimitusK(t)$ tai $Tehostamisk(t)$ tilanteen mukaan muun rakenteen pysyessä muuttumattomana.

Kuva L3 esittää, miten kannustimen arvo määräytyy yllä käytetyin merkinnöin.



Kuva L3. Tehostamis- ja toimitusvarmuuskannustimen (oranssi viiva) laskenta.

Kannustimen arvo on ensisijaisesti erotuksen arvo, josta vähennetään tai siihen lisätään tarvittaessa korjaussuure.

11.2 Osuuksien laskeminen iteroimalla

Yrityksen tase muodostuu verkon arvosta ja rahavaroista ynnä vakiona pysyvistä kiinteistä osista. Collan-variaatioissa on määritettävä verkon osuus yritystaseen loppusummasta. Se muuttuu, jos yritystaseen muut elementit eivät muutu samassa suhteessa kuin verkon arvo. Järventausta-variaatioissa on määritettävä, miten pääomakorvauksen kantaluku suhtautuu yritystaseen loppusummaan. Kumpaakaan tapausta ei voi ratkaista kerralla, mutta molempiin ongelmiin voidaan soveltaa alla esitettyä lähestymistapaa.

Verkon taseosuus $\rho(t)$ ratkaistaan iteratiivisesti (merkitään iteraatiokierroksen laskuria yläindeksillä k). Ensimmäisellä iteraatiokierroksella sijoitetaan kaikkien ajankohtien alkuarvoksi alkutilanteen suhde

$$\frac{Verkko_0}{TaseY_0} = \rho_0 = \rho^{k=1}(0)$$

Optimoinnin jälkeen lasketaan suhteen uusi arvo kullekin tarkasteluvuodelle

$$y(t) = \frac{Verkko(t)}{TaseY(t)} \quad (\text{L.23})$$

ja sen perusteella päivitetään suhteen arvo seuraavalle iteraatiokierrokselle:

$$\rho^k(t) = \rho^{k-1}(t) + \beta (y(t) - \rho^{k-1}(t)). \quad (\text{L.24})$$

Kriteerimuuttuja ε määritellään seuraavasti:

$$\varepsilon = \max_t \left\{ \left| 1 - \frac{\rho^k(t)}{\rho^{k-1}(t)} \right| \right\}$$

Iteraatiota toistetaan, kunnes lopetuskriteeri,

$$\varepsilon \leq \varepsilon_X \quad (\text{L.25})$$

täyttyy. Esimerkkilaskelmissa on käytetty arvoa $\varepsilon_X = 0,05$. β -kertoimelle voi käyttää arvoa 0,5.