

OLLI VILPPO

Liikenneviraston ratajohtoverkkotoiminnan velvoitteet ja mahdollisuudet avoimilla sähkömarkkinoilla



Olli Vilppo

Liikenneviraston ratajohtoverkkotoiminnan velvoitteet ja mahdollisuudet avoimilla sähkömarkkinoilla

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 59/2013

Kannen kuva: Juha-Matti Vilppo

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-317-607-2

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Olli Vilppo: Liikenneviraston ratajohtoverkkotoiminnan velvoitteet ja mahdollisuudet avoimilla sähkömarkkinoilla. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 59/2013. 75 sivua ja 3 liitettä. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-607-2.

Avainsanat: rautatiet, sähkömarkkinat, taseanalyysi, ratajohtoverkko, Erex

Tiivistelmä

Diplomityön tavoitteena on ollut luoda Liikennevirastolle uusi toimintamalli ratajohtoverkon taseselvitykseen. Uutta mallia tarvitaan rautateiden kilpailun avautumisen myötä. Myös vapaiden sähkömarkkinoiden toiminta ratajohtoverkossa tulee mahdollistaa. Taustatietoina mallille käsitellään ensin Liikenneviraston hallinnoimaa ratajohtoverkkoa sähkönkäytön näkökulmasta. Nord Pool -sähköpörssin ja sähkömarkkinoiden toimintaa kuvataan myös yleisellä tasolla. Tämän jälkeen käsitellään ratajohtoverkkoa keskittyen mittarointiin ja taseselvitykseen. Tähän liittyen Energiavirastolta pyydettiin lausuntoa ratajohtoverkon erityispiirteistä taseselvityksessä. Energiavirasto päätyi lausunnossaan rinnastamaan ratajohtoverkon kiinteistön sisäiseksi sähköverkoksi, mikä tarkoittaa sitä, että Liikennevirasto ei harjoita luvanvaraista sähköverkkotoimintaa.

Taseselvityksessä Liikenneviraston rooli mittauksen järjestämisessä ja tiedonvaihdossa osapuolien välillä noudattaa jakeluverkonhaltijan roolia. Tässä työssä luotava uusi tuntipohjainen taseselvitysmalli perustuukin pitkälti julkisissa jakeluverkoissa käytettyyn malliin. Tuntipohjaisen mallin edellytyksenä on kulutuspisteiden mittarointi etäluettaviksi. Liikenneviraston kulutuspisteiden mittaroinnin uudistaminen on jo käynnissä. VR:n kaluston mittarointi on hitaampaa ja sen aikataulua ei ole vielä määritetty. Siirtymävaiheessa sen kulutuspisteet voivat sisältyä verkon jäännöstaseeseen.

Verkon häviösähkön hankinta ja muiden sähkön siirrosta aiheutuvien kuluerien periminen verkon käyttäjiltä kuuluvat verkonhaltijan tehtäviin. Tätä varten työssä käsitellään hinnoittelumallia sähkönsiirrolle, kun huomioidaan vain siirrosta aiheutuneet välittömät kustannukset ja taseselvitysjärjestelmän kustannukset.

Mittaustiedon koonti ja siirron kustannusten jakaminen tapahtuvat Erexissä. Erex-järjestelmään pitää tehdä joitain muutoksia, ennen kuin se voidaan ottaa käyttöön taseselvityksessä. Esimerkiksi osapuolikohtaiset mittaustiedot pitää lähettää Erexistä myös sähkönmyyjille ja tasesähköyksikölle. Lähitulevaisuudessa todennäköisesti tapahtuva sähkön yhteispohjoismaisten vähittäismarkkinoiden syntyminen tuo muutoksia verkonhaltijalle erityisesti taseselvityksen sanomaliikenteeseen.

Rautatieyritykset voivat seurata omaa kulutustaan Erexin avulla ja parantaa kalustonsa energiatehokkuutta. Energiatehokkuusajattelu motivoi rautatieyrityksiä kaluston mittarointiin myös taloudellisesti. Myös Liikenneviraston vaihteenlämmitysten energiatehokkuutta on mahdollista parantaa uuden tarkemman mittaustiedon avulla.

Olli Vilppo: Skyldigheterna och möjligheterna som gäller Trafikverkets kontaktledningsnätverksamhet på en öppen elmarknad. Trafikverkets undersökningar och utredningar 59/2013. 75 sidor och 3 bilagor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-607-2.

Sammandrag

Målet med detta diplomarbete var att skapa en ny verksamhetsmodell åt Trafikverket för balansavräkningen i kontaktledningsnätet. En ny modell behövs då järnvägstrafiken öppnas för konkurrens. Det bör också skapas förutsättningar för den fria elmarknaden att verka i kontaktledningsnätet. Som bakgrundsinformation för modellen behandlas först elanvändningen i kontaktledningsnätet som administreras av Trafikverket. Elbörsen Nord Pool och elmarknadens verksamhet beskrivs också på ett allmänt plan. Därefter behandlas kontaktledningsnätet med fokus på mätning och balansavräkning. För detta ombads Energimyndigheten att ge sitt utlåtande om kontaktledningsnätets särdrag i balansavräkningen. I sitt utlåtande likställde Energimyndigheten kontaktledningsnätet med ett elnät som endast används för skötseln av en fastighets interna elleveranser, vilket betyder att Trafikverket inte idkar tillståndspliktig elnätverksamhet.

I balansavräkningen följer Trafikverkets roll distributionsnätinnehavarens roll vad gäller anordnande av mätningar och informationsutbyte mellan parterna. I det här arbetet grundar sig den nya timbaserade balansavräkningsmodellen i stor utsträckning på modellen som använts för offentliga distributionsnät. Förutsättningen för att en timbaserad modell ska fungera är att förbrukningspunkternas mätare kan fjärravläsas. Mätningssystemet för Trafikverkets förbrukningspunkter håller redan på att förnyas. Processen för mätning med VR:s tåg går långsammare och tidsplanen för den har ännu inte slagits fast. Under övergångsperioden kan dennas förbrukningspunkter inkluderas i nätets utjämningsberäkning.

Det hör till nätinnehavarens uppgifter att upphandla förlustelen i nätet och att ta ut avgifter av nätanvändarna för övriga kostnadsposter som uppkommit till följd av elöverföringen. I den här rapporten används en prissättningsmodell för elöverföring som bara beaktar de omedelbara kostnaderna för överföringen och kostnaderna för balansavräkningssystemet.

Sammanställningen av mätdata och kostnadsfördelningen för överföringen sker i Erex. Det borde göras en del ändringar i Erex-systemet, innan det kan tas i bruk i balansavräkningen. Till exempel borde parternas specifika mätningsdata skickas från Erex också till elförsäljarna och till balanskraftenheten. Inom den närmsta framtiden kommer det sannolikt att uppstå en samnordisk detaljmarknad för elförsäljning som för med sig ändringar för nätinnehavaren, i synnerhet i fråga om meddelandefrafiken för balansavräkningen.

Järnvägsföretagen kan följa med sin förbrukning med hjälp av Erex och förbättra sin materiels energieffektivitet. Energieffektivitetstänkandet är också en ekonomisk motivering för järnvägsföretag att förse sin materiel med mätare. Det är också möjligt att förbättra energieffektiviteten för Trafikverkets växeluppvärmning med hjälp av nya noggrannare mätdata.

Olli Vilppo: The obligations and possibilities of the Finnish Transport Agency's railway electricity grid in the open electricity markets. Research reports of the Finnish Transport Agency 59/2013. 75 pages and 3 appendices. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-607-2.

Abstract

The topic of this Thesis has been to create a new imbalance settlement model for railway electricity grid. The work is done to the Finnish Transport Agency (FTA). A new model is needed because the competition is opening up in the railways and also it should be possible for different parties to buy their electricity freely. First for the background knowledge the railway electricity grid is described and also Nord Pool Spot and the functions of electricity markets are depicted in a general level. After this the railway electricity grid managed by FTA is addressed concentrating on measurements and imbalance settlement. Energy Authority ruled that FTA's railway electricity grid is considered as an inner network of a real estate and no network operator license is required.

In the imbalance settlement the role of FTA is similar in measurement activities and in information exchange between parties as the role of distribution network operator in the public grid. The FTA's new model stated here is mainly based on how the distribution system operator conducts an imbalance settlement. Hourly settled model calls for new measurement devices that can be read remotely. FTA has started metering of its energy consumption points but VR (current train operator) proceeds slower with its trains. In the transition period VR's consumption can be included in the remaining balance.

FTA will start to charge railway undertakings an electricity transmission charge. The principles and suggestions of this pricing are presented in this work. The pricing is based on the costs of the railway grid's electricity losses, the other energy transmission related direct costs and the imbalance settlement system costs.

The gathering of measurement data and electricity transmission cost allocation will take place in Erex after the new model has been taken into usage by FTA. At first some changes have to be made to Erex that allow third party access. For example the party related measurement data should be sent from Erex to the electricity retailers and to the Imbalance Settlement Responsible. In the near future the Nordic retail markets will most probably merge and this will change the used message formats.

Railway undertakings (RUs) can improve their energy efficiency by tracking consumption with Erex. This should motivate RUs to energy measurement unit installations. Also FTA can improve energy efficiency of the switch heatings with the new hourly measured data.

Esipuhe

Liikenneviraston rataverkko on muuttumassa monitoimijaympäristöksi. Sen myötä myös sähköjakelun hallinta ja kulutuksen seuranta on järjestettävä uudella tavalla. Tässä tekniikan kandidaatti Olli Vilpon diplomityössä on selvitetty Liikenneviraston velvoitteita ja mahdollisuuksia, kun sähköä siirretään ratajohtoverkossa useammalle rautatieyrityksille, jotka voivat hankkia käyttämänsä energian avoimilta sähkömarkkinoilta.

Selvitys on tehty Tampereen teknillisessä yliopistossa ja rahoittajana on toiminut Liikennevirasto. Työn ohjaamiseen ovat osallistuneet professorit Pertti Järventausta ja Petri Suomala TTY:ltä ja TkT Jari Viitanen Liikennevirastosta.

Helsingissä joulukuussa 2013

Liikennevirasto

Sisällys

TERMIT JA MUUTTUJAT SEKÄ NIIDEN MÄÄRITELMÄT	9
1 JOHDANTO	13
1.1 Työn tavoitteet ja rajaukset.....	13
1.2 Tutkimusmenetelmät.....	14
2 RATAJOHTOVERKKO JA SÄHKÖNSYÖTTÖ.....	15
2.1 Ratajohtoverkoston yleiskuvaus.....	15
2.2. Syöttöasemat	17
2.3 Ratajohtoverkon kulutuspiisteet.....	17
2.4 Energian takaisinsyöttö jarrutuksessa	18
2.5 Verkon loisteho ja yliaallot	18
2.6 Verkon häviöt	19
3 SÄHKÖMARKKINAT.....	22
3.1 Fyysinen markkina	22
3.2 Finanssimarkkinat.....	22
3.3 Sähkön hintakehitys	23
3.4 Vihreät sertifikaatit	24
3.5 Tasehallinta ja säätösähkömarkkinat.....	25
3.6 Tasesähkökauppa.....	26
3.6.1 Tuotantotasesähkö	26
3.6.2 Kulutustasesähkö.....	26
3.7 Tasehierarkiamalli ja avoimien toimitusten ketju.....	27
3.7.1 Jakeluverkon taseselvitys	27
3.7.2 Tasevastaavan taseselvitys.....	28
3.7.3 Valtakunnallinen taseselvitys	28
4 LIIKENNEVIRASTON ROOLI RATAJOHTOVERKONHALTIJANA	29
4.1 Rautateiden taseselvitykseen vaikuttavat tahot ja viranomaismääräykset	30
4.2 Mittarointi	31
4.2.1 Veturien ja junien mittarien omistus ja hallinta	32
4.2.2 Veturien ja junien mittarien vaatimukset	33
4.2.3 1500 V ulkoliitäntäsyöttöjen mittarointi.....	33
4.2.4 Liikenneviraston oman kulutuksen mittarointi.....	34
4.3 Liikenneviraston hallinnoiman rataverkon sähkötase.....	35
4.3.1 Nykyinen malli	35
4.3.2 Uusi malli.....	35
4.4 Ratajohtoverkon kulutusennusteet ja tehotasapaino.....	37
4.4.1 Ratajohtoverkon avoin toimittaja.....	37
4.4.2 Kulutusennusteet	38
4.5 Suomen ja muiden pohjoismaiden sähkömarkkinoilla käytettävä sanomaliikenne ja tiedonsiirto.....	40
4.5.1 Sanomavälitys	40
4.5.2 Tiedonsiirto	41
4.5.3 Liikenneviraston vastuulle kuuluvan mittaustiedon sanomavälitys ja tiedonsiirto	41
4.6 Nordic Balance Settlement ja sanomavälitys	42
4.7 Erex	45

4.7.1	Erot muihin ERESS-jäsenmihin	45
4.7.2	Erex-järjestelmän käyttö muissa jäsenmaissa.....	46
4.7.3	Erex-järjestelmän suunniteltu käyttö Suomessa.....	47
4.7.4	Erex-järjestelmän kustannukset	48
4.8	Sähkön siirron hinnoittelu	49
4.8.1	Hinnoittelu menetelmänä	49
	Hinnoittelu sähköverkoissa ja ratajohtoverkossa.....	50
4.8.2	Jakeluverkkotoiminnalle asetetut velvoitteet siirron hinnoittelulle	51
4.8.3	Direktiivin 2012/34/EU hinnoitteluperiaatteita rataverkonhaltijalle ...	51
4.8.4	Ratamaksu	52
4.8.5	Kustannusten kohdentamisen periaatteet asiakkaille sähköverkkotoiminnassa	52
4.8.6	Ratajohtoverkon siirtotuotteeseen sisällytettävät kustannukset.....	52
4.8.7	Ratajohtoverkon siirtotuotteen komponentit.....	54
4.8.8	Kustannusten kohdistaminen tuotteen eri komponentteihin	54
4.9	Energia-avaimet.....	58
4.10	Mittaustiedon arviointi ja korjaus.....	60
5	MITTAUSTIEDON HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET	62
5.1	Mittaustiedon luovutus rautatieyrityksille.....	62
5.2	Rautatieyritysten motivointi energiansäästöön	62
5.3	Mittaroinnin vaikutus Liikenneviraston kulutukseen.....	65
5.3.1	Liikenneviraston energian hinnan muodostuminen	65
5.3.2	Vaihteenlämmitysten säätö- ja ohjausjärjestelmät	66
5.3.3	Energian kulutuksen seurannan hyödyntäminen	67
5.4	Verkostosuunnittelu.....	67
5.4.1	Sähkökatkon tunnistus ja GPS-paikannus	68
6	YHTEENVETO	69
	LÄHTEET	71

Termit ja muuttujat sekä niiden määritelmät

$\cos \varphi$	Tehokerroin.
$\mathcal{E}_{\text{mittari}}$	Energiamittarin suhteellinen virhe.
f_h	Harmonista yliaaltovirroista riippuva häviökerroin ratajohtoverkon häviöihin liittyen.
f_q	Loistehosta riippuva häviökerroin ratajohtoverkon häviöihin liittyen.
f_{qka}	Toimijakohtainen häviökertoimien f_q keskiarvo.
f_{tot}	Häviökerroin, joka huomioi sekä loistehon että harmonisten yliaaltojen vaikutuksen ratajohtoverkossa.
h_p	Kaikille toimijoille yhteinen häviöenergian perushinta.
k	Särökerroin.
P_{t+}	Liikkuvan kaluston ottama pätöteho.
Q_{t+}	Liikkuvan kaluston ottama loisteho.
THD_I	Total harmonic distortion, liikkuvan kaluston aiheuttama virran harmoninen särö.
I_h	Harmonisten yliaaltovirtojen neliöllinen keskiarvo
I_t	Perustaajuuden tehollisvirta.
$f_{qka} \cdot h_p$	Toimijakohtainen häviöenergian hinta (snt/kWh).
Avoin sähköntoimitus	Sähköntoimitus, jossa sähkönmyyjä toimittaa asiakkaalleen tämän kaiken sähkön tarpeen.
Avoin toimittaja	Jokaisella sähkömarkkinoiden osapuolella ja verkonhaltijalla on oltava yksi avoin toimittaja, joka tasapainottaa ko. toimijoiden sähkötaseen.
DCS	Data Collection System. Tiedonkeräilypalvelin, johon mittautustieto lähetetään junasta.
DHS	Data Handling System. Junassa oleva tietojärjestelmä, johon mittautustieto ensin tallennetaan.
DSO	Distribution System Operator, Jakeluverkonhaltija.
ebIX	European forum for energy Business Information eXchange on Ediel Nordic Forumin työn jatkaja. EbIX kuvaukseen perustuvat sanomat voivat käyttää, joko EDIFACT-tai XML-kielioppia.
Elspot	Nord Poolin Elspot on markkinapaikka seuraavan vuorokauden fyysisille sähkökaupoille (day-ahead) .
Elspot FIN	Nord Poolin Elspot-markkinoilla määräytyvä hinta Suomen tarjousalueelle (aluehinta). Eroaa Nord Poolin systeemihinnasta verkon pullonkauloista johtuen.
Elbas	Nord Poolin Elbas on markkinapaikka Elspotin jälkeiselle fyysisille sähkökaupoille (intra-day).
EDIFACT	Electronic Data Interchange for Administration, Commerce and Transport, EDIEL-sanomissa käytetty kielioppi.
EDIEL	Electronic Data Interchange in Electricity, sanoma- ja tiedonvaihdomäärittely, joka noudattaa EDIFACT-kielioppia.

Ediel Nordic Forum	Vuonna 1995 peustettu järjestö joka laati standardoituja Ediel-sanomaliikenteen implementointi oppaita.
Energia-avain	Raideliikenteessä erityyppiselle kalustolle voidaan määritellä energian keskimääräinen kulutus. Energia-avaimessa tulisi huomioida ainakin junatyypin, massa, ajonopeus ja pysähdystaajuus.
ERESS	European partnership for railway energy settlement system, Eurooppalainen yhteenliittymä rautateiden taseselvitystä varten.
Erex	ERESSin hallinnoima taseselvitysjärjestelmä.
EVN-numero	Electronic Vehicle Number. Kalustokohtainen tunnistenumero.
Jakeluverkon haltija	Verkonhaltija, jolla on hallinnassaan jakeluverkkoa tai suurjännitteistä jakeluverkkoa ja joka harjoittaa luvanvaraista sähköverkkotoimintaa tässä verkossa.
Jäännöstase	Jäännöstase saadaan, kun verkon rajapistemittauksista on vähennetty osapuolien mittaroitu tuntikohtainen kulutus ja verkon häviöt.
Kiinteistön sisäisen sähköverkon haltija	Kiinteistönhaltija, jonka on järjestettävä sähköenergian mittaus kiinteistön sisäisessä verkossa siten, että asiakkaalla on oikeus hankkia sähkönsä vapailta markkinoilta. Ei edellytä sähköverkkolupaa.
Kuormituskäyrä	Tietyn, samalla tavalla sähköä käyttävistä asiakkaista muodostetun asiakasryhmän, keskimääräisen kuluttajan vuotuinen sähkönkäyttö esitettynä tunti tunnilta.
LIIKE	Ratakapasiteetin hallinnan tietojärjestelmä.
MSCONS	Metered Services Consumption Report, sanomaa käytetään toteutuneiden mitattujen kulutusarvojen välittämiseen osapuolten välillä.
NES	Nordisk Elkraftteknisk Samarbete, Rautateiden pohjoismainen sähkövoimatekniikan yhteistyö.
Pistehinnoittelu	Samahintaperiaate. Siirretty matka ei saa vaikuttaa sähkönsiirtomaksuun verkonhaltijan maantieteellisesti yhtenäisen verkon alueella.
Rajapistemittaus	Kahden sähköverkon rajalla oleva mittaus, jonka tunnarvoa käytetään sähkötaseiden selvittämisessä.
Systemihinta	Nord Poolin Elspot-markkinoilla määräytyvä hinta, jossa verkon fyysistä siirtokykyä ei huomioida. Hinta määräytyy tehtyjen osto- ja myyntitarjousten perusteella.
Sähkömarkkinaosapuoli	Sähkökaupan osapuoli, jolla on kiinteitä sähköntoimituksia tai mitattua toimitusta kantaverkossa, alueverkossa tai useammassa kuin yhdessä jakeluverkossa.
Säätösähkökauppa	Aktivoidusta säätötarjouksesta syntyy Fingridin ja säätävän osapuolen välille säätösähkökauppa.

Säätösähkömarkkinat	Tehotasapainon ylläpitämiseksi tarvittava "työkalu", jonne säätökykyisen kapasiteetin haltijat voivat jättää säätötarjouksia vapaasta säätökapasiteetistaan. Suomen säätösähkömarkkinat ovat osa pohjoismaisia säätösähkömarkkinoita.
Tasehallinta	Tasehallinnalla tarkoitetaan koko valtakunnan tai yksittäisen sähkömarkkinaosapuolen sähkön tuotannon ja kulutuksen välisen tehotasapainon ylläpitoa.
Tasepalvelusopimus	Fingridin ja tasevastaavan välinen sopimus, jossa sovitetaan tasevastaavan avoimiin sähköntoimituksiin liittyvistä sopimuspuolien oikeuksista ja velvollisuuksista sekä ehdoista, joilla tasevastaava voi osallistua säätösähkömarkkinoille.
Taseselvittäjä	Osapuoli, joka osallistuu jonkin sähköverkon osan tai sähkökaupan osapuolen sähkötaseen selvittämiseen ja välittää muille taseselvittäjille niiden taseselvityksessä tarvitsemia tietoja.
Tasesähkö	Osapuolen tunnin aikana syntyneen tasepoikkeaman kattamiseen käytettävä sähköenergia, jonka osapuolen avoin toimittaja toimittaa kyseiselle osapuolelle avoimella toimituksella. Tasesähkön määrä saadaan selville valtakunnallisen taseselvityksen perusteella.
Tasesähkökauppa	Fingridin ja tasevastaavien välistä kauppaa, jota käydään tasevastaavien tasepoikkeamien kattamiseksi.
Tasevastaava	Tasevastaavaksi kutsutaan sähkömarkkinoiden osapuolta, jolla on voimassa oleva tasepalvelusopimus Fingridin kanssa. Toisin sanoen osapuolen avoin toimittaja on Fingrid.
Tasevastuu	Vastuu siitä, että sähkökaupan osapuolen tuotanto ja hankinta kattavat tämän kulutukset ja sähkön toimitukset kunkin tunnin aikana. Kaikki sähkökaupan osapuolet ovat tasevastuullisia.
Toimitusvelvollinen myyjä	Jos myyjällä on sen jakeluverkonhaltijan vastuualueella, johon sähkönkäyttöpaikka kuuluu, huomattava markkinavoima ja käyttöpaikka on varustettu enintään 3x63A pääsulakkeella tai käyttöpaikkaan ostetaan sähköä enintään 100 000 kWh vuodessa, on myyjällä toimitusvelvollisuus käyttäjää kohtaan.
TPA	Third Party Access, ratajohtoverkon avaaminen vapaille sähkömarkkinoille.
TMS-validointi	Traffic Management System-validointi. Junien energiamittareiden lähettämän datan validointi tapahtuu vertaamalla sitä liikenteen hallintajärjestelmän tuottamaan dataan.
UTILTS	Utility Time Series Message, aikasarjatietosanoma käytetään mittausten, ennusteiden ja hintojen, ja niihin liittyvien teknisten ja hallinnollisten tietojen välittämiseen markkinaosapuolten välillä. Käytössä mm. Erex-järjestelmässä ja Ruotsin sähkömarkkinoilla.

Verkon avoin toimittaja	Osapuoli, jolla on tasevastuu tietyistä sähköverkosta pois lukien muiden osapuolten avoimet toimitukset ko. verkossa. Jakeluverkoissa ns. toimitusvelvollinen myyjä.
Verkon tasevastaava XML	Verkon avoimen toimittajan tasevastaava. Extensible Markup Language. Kielioppi, jolla tiedon merkitys voidaan kuvata tiedon sekaan. XML-kieltä käytetään formaattina tiedon välitykseen järjestelmien välillä.
YTE	Yhteentoimivuuden tekninen eritelmä. Rautateiden EU-tason yhteentoimivuusdirektiivin mukaisesti hyväksytyjä eritelmiä. Technical Specification of Interoperability (TSI).

1 Johdanto

Kilpailun asteittainen avaaminen rautateillä mahdollistaa uusien rautatieyritysten toiminnan Suomen rataverkolla. Jos uuden liikennöitsijän veturit tai junat ovat sähkökäyttöisiä, pitää niiden energian kulutus pystyä määrittämään. Tavaraliikenteen kilpailu avattiin jo vuonna 2007, mutta sähkökäyttöisiä vetureita ei vielä ole ilmaantunut kilpailuun VR-yhtymän kanssa. Henkilöliikenteessä lähiliikenne avautuu kilpailulle vuonna 2018. VR:n kaukoliikenteen yksinoikeutta jatkettiin vuoden 2024 loppuun asti vuoden 2013 aikana.

Liikennevirasto toimii rautatieinfrastruktuurin ja ratajohtoverkon haltijana. Ratajohtoverkko on erillisverkko ja poikkeuksellinen siinä mielessä, että liikkuvan kaluston kulu- tuspisteet vaihtavat paikkaansa verkossa. Energiavirastolta pyydytyssä lausunnossa ratajohtoverkko katsottiin lainsäädännöllisesti kiinteistöryhmän sisäiseksi sähköver- koksi. (Dnro 1013/410/2013)

Vaikka ratajohtoverkko ei olekaan viralliselta nimikkeeltään jakeluverkko ja Liikenne- virasto ei näin ollen ole jakeluverkon haltija, on Liikenneviraston rooli taseselvityksessä jakeluverkon haltijan roolin mukainen. Sillä on vastuu taseselvityksestä ja energian mittauksesta ratajohtoverkossa. Ratajohtoverkon uuden taseselvitysmallin tarkoituk- sena on, että rataverkon sähköenergian käyttäjät voivat ostaa energiansa vapailta säh- kömarkkinoilta haluamaltaan sähkönmyyjältä.

Liikenneviraston sähkönhankinta tapahtuu osana valtion sähkön hankintaa Hanselin (valtion yhteishankintayksikkö) kilpailuttaman ja valitseman sähkönmyyjän kautta. Myös sähköjohdannaissuojaukset ja vihreät sertifikaatit tulevat Hanselin valitseman meklarin kautta. Uuden mallin myötä Liikenneviraston ostamaan sähköön lasketaan mukaan koko ratajohtoverkon häviösähkö. Häviösähkön ja muut sähkön siirrosta ja sähkön käytön selvityksestä syntyneet kustannukset Liikennevirasto perii verkon käyt- täjiltä sähkön siirtomaksussa.

1.1 Työn tavoitteet ja rajaukset

Tämän diplomityön tavoitteena on määritellä Liikennevirastolle ratajohtoverkon tase- selvitysmalli, joka mahdollistaa rautatieyritykselle haluamansa sähköntoimittajan va- linnan. Työn tavoitteena on myös määritellä Liikenneviraston tehtäväkenttään kuulu- valle sähkön siirrolle hinnoittelumalli, joka jakaa kustannukset syrjimättömästi ra- tajohtoverkon käyttäjien välille.

Aluksi diplomityön luvussa 2 esitellään ratajohtoverkkoa sähkön käytön näkökulmasta ja tämän jälkeen luvussa 3 sähkömarkkinoiden toimintaa ja tasesähkökauppaa ylei- sesti. Luvussa 4 työn painopiste siirtyy taseselvityksen toteutukseen ratajohtover- kossa ja sen järjestämisessä huomioon otettaviin seikkoihin.

Uusi taseselvitysjärjestelmä on samalla energiatehokkuutta palveleva järjestelmä ja lu- vussa 5 käsitellään etäluettavan energiamittauksen tuomia potentiaalisia hyötyjä. Kaikkien ratajohtoverkon käyttäjien intresseissä on tehostaa energian käyttöä ja uusi tarkempi energian mittaus tulisi ottaa osaksi osapuolien omia energiatehokkuuden hallinta- ja johtamisjärjestelmiä.

Liikenneviraston vuosittainen sähkön kulutus pitää sisällään 25 kV:n ratajohtoverkon kautta ostetun energian lisäksi julkisista jakeluverkoista toimitetun energian. Tämä työn tarkastelun piiriin kuuluu vain ratajohtoverkossa siirretty energia.

1.2 Tutkimusmenetelmät

Ratajohtoverkon taseselvitysmallin määrittelyssä tutkimusaineistoon sisältyvät sähkömarkkinalainsäädäntö ja sitä täydentävät asetukset ja ohjeet. Mallin määrittelyssä hyödynnetään erityisesti jakeluverkoissa tapahtuvaa taseselvityskäytäntöä. Lainsäädännöllisten puitteiden pitää täytyä ja samalla ratajohtoverkon taseselvitysmallista on tarkoitus tehdä mahdollisimman yksinkertainen ja toimiva.

Tutkimusaineistoon sisältyy toisaalta myös Liikenneviraston ja sen palveluntuottajien laatimia selvityksiä ratajohtoverkosta ja verkon kulutuspisteistä sekä taseselvitysohjelmisto Exexiin liittyviä dokumentteja. Niiden avulla malli linkittyy paremmin myös käytäntöön.

Sähkön siirron hinnoittelujärjestelmän luonnissa otetaan huomioon ratajohtoverkkoa koskevat regulatiiviset rajoitukset hinnoittelulle. Kustannusten kohdentamisen lähtökohtana verkon käyttäjille ovat pistehinnoittelu, aiheuttamisperiaate ja yksinkertaisuusperiaate.

Työn aikana Liikennevirasto pyysi Energiavirastolta virallista lausuntoa ratajohtoverkokotoiminnan luvanvaraisuudesta. Samalla Energiavirastolta tiedusteltiin tarkentavien kysymysten avulla ratajohtoverkon taseselvityksen eroavaisuuksista jakeluverkon taseselvitykseen. (Dnro 1013/410/2013) Lausunnon linjaukset yksinkertaistavat ratajohtoverkon taseselvitysmenettelyä.

Tutkimukseen liittyi osallistuminen Oslossa 9.12.2013 järjestettyyn työpajaan. Työpajassa keskusteltiin tulevista yhteispohjoismaisista vähittäismarkkinoista ja tarvittavista muutoksista Exex-ohjelmistossa, jotka mahdollistavat ratajohtoverkon avaamisen vapaille sähkömarkkinoille.

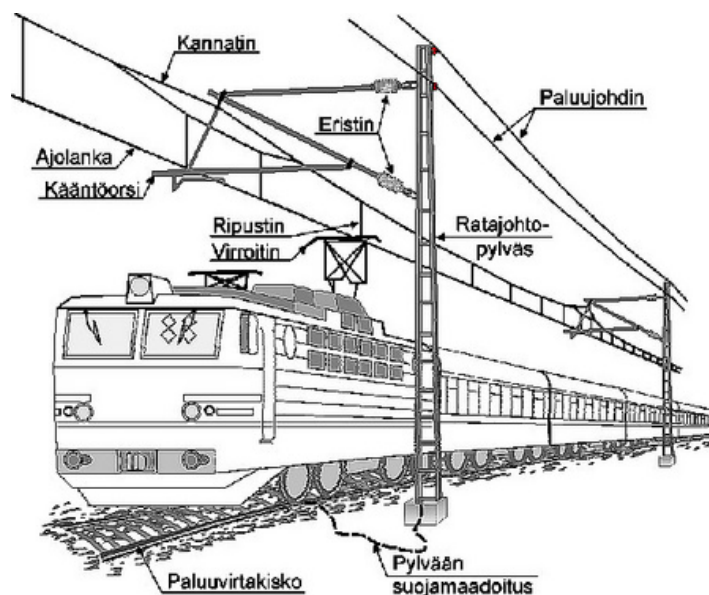
Pienessä osassa tämän työn tutkimusaineistosta hyödynnetään myös sähköpostin välityksellä tapahtuneita asiantuntijahaastatteluja. Nämä liittyvät Liikenneviraston palvelun tuottajien toimintoihin, joista ei ollut kirjallista dokumenttia saatavilla.

2 Ratajohtoverkko ja sähkösyöttö

2.1 Ratajohtoverkoston yleiskuvaus

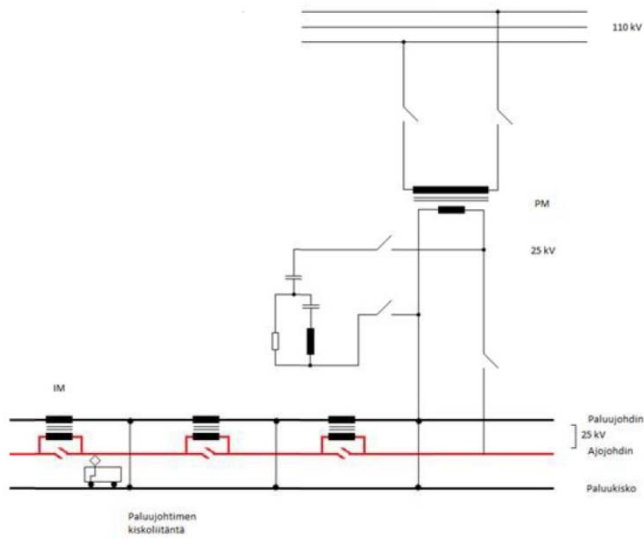
Liikenneviraston hallinnoimasta noin 6000 kilometrin rataverkosta 53 % on sähköistettyä rataa. Suomessa sähköisen raideliikenteen käyttämä jännite on 25 kV ja taajuus 50 Hz. Tanskassa on käytössä samanlainen järjestelmä kuin Suomessa. Ruotsissa ja Norjassa käytetään 15 kV:n ja 16 2/3 Hz:n järjestelmää. Venäjällä on käytössä Suomeen rajoittuvassa rataverkossa 3 kV:n tasasähköjärjestelmä.

Suomessa on käytössä kaksi ratajohdon sähkösyöttöjärjestelmää 1x25 kV ja 2x25 kV. Liikkuvan kaluston kannalta järjestelmillä ei ole eroa, sillä kaluston käyttämä jännite on aina 25 kV. Veturi liittyy ajojohtimeen sen katolla olevan virroitimen avulla. Kun virta on kulkenut veturin virtapiirien läpi, se menee paluuvirtakiskoon, josta se ohjataan takaisin ylös paluujohtimeen. (Rato 5)



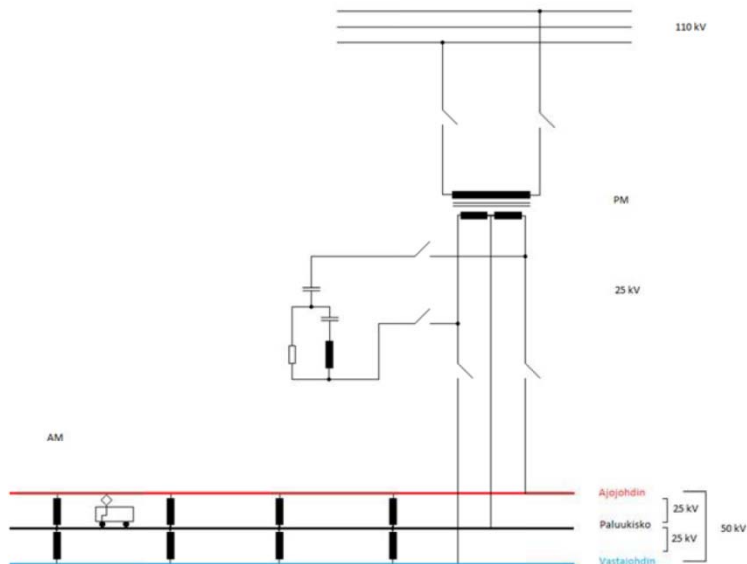
Kuva 1. Sähköistetyin radan 1x25kV järjestelmä. (Liikennevirasto 2013a)

Suomessa yleisemmin käytetty järjestelmä on 1x25 kV. Syöttöaseman 110/25 kV päämuuntajan toision toinen napa kytketään paluujohtimeen ja toinen napa ajojohtimeen katkaisijan kautta. Paluuvirran ohjaamiseen paluujohtimeen käytetään imumuuntajia. Imumuuntajan ensiö on kytketty sarjaan ajojohtimen kanssa ja toisio sarjaan paluujohtimen kanssa. (Reponen 2013) Tätä on havainnollistettu kuvassa 2.



Kuva 2. Sähköistetyr radan 1x25 kV järjestelmä, sähkökaavio. (Reponen 2013)

2x25 kV:n järjestelmä on käytössä väleillä Rovaniemi–Kemijärvi, Kerava–Lahti, Murto-mäki–Talvivaara, Kontiomäki–Vartius, Oulu–Kontiomäki, Oulu–Rovaniemi, Tuomioja-Raaha ja Tuomioja–Hirvineva. 2x25 kV:n järjestelmässä päämuuntajan toisiossa on kaksi 25 kV:n käämiä sarjassa (kuva 3). Niiden välipiste on kytketty paluujohtimeen. Toinen käämi on kytketty ajojohtimeen ja toinen vastajohtimeen. Paluuvirran ohjaukseen paluujohtimeen käytetään säästömuuntajia. Säästömuuntajissa on kaksi käämiä, jotka on kytketty sarjaan ajojohtimen ja vastajohtimen välille ja niiden keskipiste on kytketty paluujohtimeen. 2x25 kV:n järjestelmä mahdollistaa pitemmät syöttöasema-välit. Siirretty virta on pienempi syöttöaseman ja säästömuuntajan välillä samalla veturiteholla, koska jännite ajojohtimen ja vastajohtimen välillä on 50 kV.



Kuva 3. Sähköistetyr radan 2x25 kV järjestelmä, sähkökaavio. (Reponen 2013)

2.2. Syöttöasemat

Ratajohtoverkkoa syötetään 82 syöttöaseman kautta. Syöttöasemista 38 on liitetty muuntajan välityksellä 21 alueelliseen 110 kV verkkoon ja loput 44 Fingridin 110 kV kantaverkkoon. Ratajohtoverkkoon tuleva ja sieltä lähtevä energia mitataan rajapistemittauksissa syöttöasemilla, myös loisteho mitataan. Syöttöjärjestelmä on mitoitettu ennustetun liikenteen suurimman määrän mukaan. Tehon tarpeesta riippuen käytetään joko 7,5 MVA tai 12,5 MVA suurtehomuuntajia. Raskailla tavarajunilla ratajohtoverkon syöttökyky on rajoittava tekijä junien nopeuden suhteen. Jos samalla syöttöosuudella on liian monta junaa, saattaa verkon jännite laskea tai jopa katketa järjestelmän ylikuormituttua. Ajojohtimen jännitteen sallittu vaihteluväli on määritelty CENELECin (European Committee for Electrotechnical Standardization) standardissa. Jännitteen alin hetkellinen arvo saa olla 17,5 kV ja pysyvä alin arvo 19,5 kV. Jännitteen ylin hetkellinen arvo saa olla 29,5 kV ja pysyvä ylin arvo 27,5 kV. (EN 50163:2004) Ajojohtimen jännite vaihtelee normaalisti 22,5–29 kV:n välillä. Se on yleensä noin 27,5 kV silloin, kun juna ei kulje. (Rejlers 2012) Syöttöasemilla on vikatilanteiden varalta 110 V tasasähköjärjestelmä akustoineen, josta syötetään suojareleitä, katkaisijoiden ohjauslaitteita ja kaukokäyttölaitteita. Liitteestä 1 on nähtävillä rataverkon ja syöttöasemien maantieteellinen sijainti.

2.3 Ratajohtoverkon kulutuspisteet

Tällä hetkellä ratajohtoverkon sähkön kulutus jakaantuu VR:n ja Liikenneviraston välille. VR:n osuus oli vuonna 2012 noin 660 GWh ja Liikenneviraston noin 91 GWh. VR:n energian kulutuspisteet ovat verkossa sijaintiaan vaihtavia vetureita ja junia. VR:n kalusto koostuu tällä hetkellä sähkövetureista Sr1 (109 kpl) ja Sr2 (46 kpl) ja sähkömoottorijunista Sm1 (37 kpl.), Sm2 (50 kpl), Sm3/Pendolino (18 kpl), Sm4 (30 kpl), Sm5/Flirt (32 kpl) ja Sm6/Allegro (4 kpl). Vanhoista paikallisjunista Sm1 ja Sm2 ollaan lähivuosina luopumassa. Lisäksi VR on tilaamassa ainakin 80 uutta sähköveturia Siemensiltä korvaamaan lähivuosina käytöstä poistuvia Sr1-vetureita. Ensimmäiset näistä vetureista tulevat liikenteeseen vuonna 2017.

Veturien ja junien sähkönkulutus vaihtelee ja riippuu monesta tekijästä. Näitä tekijöitä on käsitelty luvussa 4.9. Kulutus on kuitenkin ”megawatti-luokkaa”. Esimerkiksi Pendolinon maksimiteho on 4 MW ja keskimääräinen tuntikulutus on n. 2 MWh. (Iikkanen & Koskinen 2013) Sr1:n maksimiteho on 3 MW ja Sr2:n 6 MW. (Rejlers)

Liikenneviraston kulutuspisteet liittyvät rataverkon infrastruktuuriin ja sen turvallisen toiminnan varmistamiseen. Liikenneviraston merkittävin kulutus koostuu vaihteenlämmityksistä. Tämän lisäksi on akselinlaskentalaitteita, joilla tarkistetaan rataosuudelle menneiden ja sieltä tulleiden vaunujen määrä. Myös tunnelien ja niiden salaojien lämmityksien sähkönsyöttö on otettu rataverkosta. Tämän lisäksi 21 vanhaa asemarakennusta oli kiinnitetty ratajohdoverkkoon vuonna 2012. Rakennuksia on irrotettu verkosta viime vuosina, koska ne eivät suoraan liity sähköiseen raideliikenteeseen.

Ratapihoilla on ratajohtoverkkoon kytkettyinä 1500 V ulkoliitäntäkeskuksia, joilla voidaan siirtää sähköä suoraan liikkuvan kaluston 1500 V pistorasioihin. Niitä käytetään etupäässä vaunujen seisontalämmitykseen. Myös liikkuvan kaluston huolto- ja säilytysalustoissa on 1500 V liitäntäkeskuksia. Liikennevirasto omistaa ratapihat, mutta suu-

rimman osan 1500 V liitäntäkeskuksista omistaa edelleen VR vuonna 1995 tehdyn infrastruktuurin jaon perusteella. Näitä 1500 V liitäntäkeskuksia käsitellään tarkemmin luvussa 4.2.3. VR:n saadessa kilpailijan pitäisi myös tälle rautatieyritykselle mahdollistaa vaunujen seisontalämmitys.

2.4 Energian takaisinsyöttö jarrutuksessa

Uudempi liikkuva kalusto pystyy jarruttaessaan syöttämään tehoa takaisin verkkoon. Tähän ryhmään kuuluvat raskas sähköveturi Sr2 ja sähkömoottorijunat Sm3 (Pendolino), Sm4 (kaupunkijuna), Sm5 (Flirt) ja Sm6 (Allegro). Takaisinsyöttö verkkoon Sr2:lla on keskimäärin 9 % verkosta otosta. (Rejlers 2012) Flirtillä takaisinsyötön osuus on yli 30 %, parhaimmillaan jopa 39 % otosta. (Stadler 2013)

Takaisin syötettäessä ajolangan jännite nousee hetkellisesti. Norjassa ja Ruotsissa tämä tuottaa ongelmia suhteellisesti heikommilla 15 kV:n ja 16 2/3 Hz:n verkoilla. Siellä on tavallista estää jännitteen nousua yli sallittujen rajojen ottamalla samanaikaisesti loistehoa verkosta. Se on mahdollista ohjaamalla takaisinsyöttävää nelikvadrantti-suuntaajaa. (Buhrkall 2006) Suomessa tällainen käyttö ei kuitenkaan ole tavallista.

2.5 Verkon loisteho ja yliaallot

Suuntaajien avulla ohjataan ja käytetään sähkömoottoreita. Tasavirtakäytöissä tehoa säädetään muuttamalla jännitettä ja vaihtovirtakäytöissä muuttamalla taajuutta ja jännitettä.

Vanhempi VR:n vetokalusto (Sr1, Sm1 ja Sm2) on tasavirtakäyttöistä. Niissä on puoliksi ohjattu tasasuuntaussilta, eli ohjattu puoli on tyristori ja ohjaamaton diodi. Kuormanana on tasasähkömoottori, joka on suuri induktanssi. Moottori ja suuntaaja tarvitsevat loistehoa rataverkosta. Esimerkiksi Sr1:n ottamat loisvirta ja pätövirta ovat suunnilleen yhtä suuret. Puoliksi ohjatulla tasasuuntaussillalla ei voida syöttää tehoa takaisin verkkoon jarrutettaessa ja jarrutusenergia muutetaan lämmöksi junan lämmitysvastuksissa. (Rejlers 2012)

Loistehon kulutus pyritään kompensoimaan syöttöasemien yhteydessä olevien loistehoa tuottavien kondensaattorien avulla, jolloin loistehoa ei jouduta juurikaan ottamaan 110 kV:n verkosta. Loisteho sykkii siis sähkömoottorin induktanssin ja kompensointikondensaattorin kapasitanssin välillä. Kantaverkkoyhtiö ja alueverkkoyhtiöt laskuttavat loistehon käytöstä, jos se ylittää sallitut rajat. Näin voi käydä siinä tapauksessa, että kompensointikondensaattorit eivät toimi kunnolla.

Uudemmassa sähkövetokalustossa on vaihtosähkömoottorit ja täysin ohjatut suuntaajat, joiden avulla tehokerroin saadaan lähelle 1:tä eli verkosta otettu teho on pääosin pätötehoa. Myös takaisinsyöttö verkkoon on mahdollista. Takaisinsyötössä voi syntyä yliaaltoja verkkoon.

Suuntaajat ovat epälineaarisia kuormia ja ne aiheuttavat yliaaltovirtoja. Yliaaltovirat voivat olla harmonisia eli taajuudeltaan 50 Hz:n monikertoja, mutta myös ei-harmonisia esiintyy. Yliaaltovirrat kasvattavat verkon jännitesäröä ja siten heikentävät sähkön laatua ja aiheuttavat häviöitä. Syöttöasemilla on yliaaltosuodattimet, joiden tarkoitus

on parantaa sähkön laatua, verkon energiatehokkuutta ja vähentää verkkokomponenttien räsytystä. (Reponen 2013)

2.6 Verkon häviöt

Häviöiden muodostumisen mahdollisimman tarkka arviointi on tärkeää energian käytön ja kustannusten jakamiseksi oikein. Tämä korostuu, kun siirrytään uuteen jäännöstaseeseen perustuvaan tasemalliin, kun koko kalustoa ei ole vielä mittaroitu. Uutta tasemallia on käsitelty luvussa 4.3.2 ja siirtokustannusten kohdentamista on käsitelty luvussa 4.8.

Jakeluverkon häviöt koostuvat tyhjäkäyntihäviöistä ja kuormituksesta riippuvasta häviöstä. Tyhjäkäyntihäviöt koostuvat päämuuntajien ja syöttöasemien suodattimien häviöistä ja syöttöasemien lämmitysenergiasta. Niiden on arvioitu olevan n. 1,5 % verkon kulutuksesta. (VR Rata 2009)

Kuormituksesta riippuvat häviöt tarkoittavat sähkönsiirtoverkossa tapahtuvia häviöitä, kun tehoa siirretään kuormalle. Kuormituksesta riippuviin häviöihin vaikuttaa erityisesti kuorman ottama teho, joten veturin tai junan ottama teho ja saman syöttöasemavälän liikenteen määrä vaikuttavat häviöihin. Jakeluverkon jännitteen pysyessä samana virta kasvaa tehon suhteessa kaavan (1) mukaisesti. Tämä virta aiheuttaa rataverkon resistanssissa häviöt kaavan (2) mukaisesti.

$$P=UI \quad (1)$$

$$P_{\text{häv}}=RI^2 \quad (2)$$

Esimerkki 1. Kuormituksesta riippuvat häviöt.

Tehdään tässä esimerkissä oletus, että kuormituksesta riippuvat häviöt ovat 4 MW:n syöttöteholla 2 % eli $4 \text{ MW} \cdot 0,02 = 80 \text{ kW}$, tällöin 3 MW:n syöttöteholla kuormitushäviöt ovat $(\frac{3}{4})^2 \cdot 80 \text{ kW} = 45 \text{ kW}$ ja häviöprosentti on $45 \text{ kW} / 3 \text{ MW} = 1,5 \%$

Tärkeä komponentti häviöitä arvioitaessa on myös kaluston tehokerroin. Tehokerroin kertoo, kuinka paljon loistehoa veturi tai juna ottaa työtä tekevän pätötehon lisäksi. Loistehon siirto kasvattaa verkon häviöitä. Koska pätöteho mitataan aina, voidaan siitä tehokerroimen avulla laskea todelliset häviöt siirtoverkossa.

Tehokerroin on pätövirran ja näennäisvirran suhde. Tämä näennäisvirta aiheuttaa verkon häviöt. Kuten jo todettiin, häviöt riippuvat virran toisesta potenssista. Kun halutaan selvittää näennäisvirran aiheuttaman häviön suhde pätövirran aiheuttamaan häviöön, on niiden suhde myös neliöllinen kaavan (3) mukaisesti. (NES 2011)

$$f_q = \frac{1}{(\cos \varphi)^2} = 1 + \left(\frac{Q_{t+}}{P_{t+}} \right)^2 \quad (3)$$

missä

f_q = häviökerroin, näennäisvirran aiheuttaman häviön suhde pätövirran aiheuttamaan häviöön

$\cos \varphi$ = tehokerroin

Q_{t+} = veturin ottama loisteho

P_{t+} = veturin ottama pätöteho

Esimerkki 2. Tehokertoimesta riippuvat häviöt.

Tehtään tässä esimerkissä oletus, että kaluston keskimääräinen tehokerroin on 0,8. Nyt 4 MW resistiivisen kuorman (tehokerroin 1) 2 %:n häviö jaetaan tehokertoimen neliöllä eli $80 \text{ kW}/0,8^2=125 \text{ kW}$. Prosentuaalinen tehohäviö on $125 \text{ kW}/4 \text{ MW}=3,1\%$. 3 MW:n syöttötehoilla tehohäviö on $45 \text{ kW}/0,8^2=70,3 \text{ kW}$ tai laskemalla kuten edellä $(\frac{3}{4})^2 * 125 \text{ kW}=70,3 \text{ kW}$ ja tällöin häviöprosentti on $70,3 \text{ kW}/3 \text{ MW}=2,3\%$.

Myös harmoniset yliaallot aiheuttavat ylimääräisiä häviöitä ja niiden lisävaikutusta voidaan kuvata kaavojen (4) ja (5) avulla saadulla kertoimella f_h . (NES 2011)

$$f_h = 1 + THD_I^2 = 1 + \frac{k^2}{1 - k^2} \quad (4)$$

missä

k = särökerroin (yhtälö 5)

THD_I (total harmonic distortion) = veturin tai junan aiheuttama virran harmoninen särö

$$k = \sqrt{\frac{I_h^2}{I_1^2 + I_h^2}}, \quad (5)$$

missä

I_h = harmonisten yliaaltovirtojen neliöllinen keskiarvo $I_h^2 = I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2$ (RMS)

I_1 = perustaajuuden tehollisvirta

Ratajohtoverkon kuormitushäviöiden määrittämien ei ole yksinkertaista, koska junan nopeus ja paikka vaihtuvat koko ajan. Tarkkaan tulokseen pääsemistä vaikeuttaa liikennemäärien vaihtelu ja lisäksi sama liikenne voi aiheuttaa erilaisen kuormituksen eri vuodenaikoina. Selvityksessä (VR Rata 2009) ratajohtoverkon häviöitä oli laskettu 13 esimerkkisyöttöaseman virtojen perusteella. Selvityksen tuloksena kuormitusvirran keskimääräiseksi häviöprosentiksi saatiin 2,4 %. Selvityksessä todettiin, että tarkempiin tuloksiin pääsemiseksi liikennettä pitäisi simuloida siihen soveltuvalla ohjelmistolla. Taulukko 1 sisältää selvityksessä lasketut kuormitustehosta riippuvat häviöt. Laskeissa juna oli syöttöalueen keskellä 8,75 km etäisyydellä syöttöasemasta ja syöttö-

asemilla oli 1 MVar yliaaltosuodatin loistehon kompensointia ja harmonisten yliaaltojen suodatusta varten. Taulukko 1:n arvot ovat suuntaa antavia. Teoreettisesti tarkasteltuna tehokertoimien 1 ja 0,8 suhde pitäisi olla kuitenkin yhtälön 3 mukainen.

Taulukko 1. Häviöprosentin vaihtelu tehokertoimen ja tehon suhteen. (VR Rata 2009)

Teho[MW]	Tehokeroin 0,8 Häviöprosentti [%]	Tehokerroin 1 Häviöprosentti [%]
0,5	0,34	0,21
1	0,69	0,43
2	1,44	0,86
4	3,12	1,76
8	8,2	3,7

3 Sähkömarkkinat

3.1 Fyysinen markkina

Pohjoismaissa sähkön tukkukauppaa käydään Nord Pool -sähköpörssissä. Sähköpörssi on avoin, keskitetty ja neutraali markkinapaikka. Sen Elspot-markkinoilla sähkölle määritetään hinta seuraavan vuorokauden jokaiselle tunnille. Markkinaosapuolet toimittavat suljetut osto- ja myyntitarjoukset kullekin tunnille. Sähkön tukkukunnaksi määräytyy kullakin ajanhetkellä se hinta, jolla kysyntä ja tarjonta kohtaavat. Tämä tukkumarkkinahinta vastaa muuttuvia kustannuksia kaikkein kalleimmasta tuotantomuodosta, joka tarvitaan sähkön kysynnän kattamiseen. Kaikella käytettävällä tuotannolla on siis sama asema ja hinta riippumatta tuotantotavasta. Menettelyllä varmistetaan, että tuotantomuotoja käytetään alkaen edullisemmasta.

Pohjoismaissa on käytössä aluehintamekanismi. Nord Pool laskee systeemihinnan koko alueelle ja tämän lisäksi aluehinnat, jotka saattavat erota systeemihinnasta siirtoverkon rajoituksista johtuen. Koko Suomelle on sama aluehintaa siirtoverkon hyvästä kunnosta johtuen. Esimerkiksi Norjassa on viisi, Ruotsissa neljä ja Tanskassa kaksi eri tarjousaluetta, joiden hinta voi poiketa toisistaan. Nord Poolin markkina-alueeseen kuuluvat Suomi, Ruotsi, Norja, Tanska, Viro, Latvia ja Liettua. Lisäksi Pohjoismaista on siirtoyhteyksiä Saksaan, Puolaan, Hollantiin ja Venäjälle. Euroopan unionin päämääränä on luoda yhteiset sisämarkkinat sähkölle. Tätä kehitystä hidastaa kuitenkin riittämätön sähkön siirtoverkko. Siirtoverkon kehittämiseksi on monia suunnitelmia.

Elbas-markkinat toimivat Elspot-kaupankäynnin jälkimarkkinana, niillä kauppaa voidaan käydä tulevan tai meneillään olevan vuorokauden tunneille aina seuraavan tunnin sähkötoimitukseen asti. Elbas-kauppaa käydään, jos kulutus- tai tuotantoennusteissa tapahtuu viime hetken muutoksia.

Fyysisten markkinoiden viimeisessä kaupankäynnissä järjestelmävastaava (Fingrid Oy) tasapainottaa käyttötunnin aikaisen tuotannon ja kulutuksen säätösähköllä. Toimijat osallistuvat pohjoismaisille säätösähkömarkkinoille samoin kun spot-markkinoille.

Sähkökauppaa voidaan käydä myös pörssin ulkopuolella OTC-markkinoilla (over the counter) eli kahdenvälisillä sopimuksilla osapuolten välillä. Tällöin osapuolet huolehtivat itse kaupan vakuuksista. Sähköpörssissä pörssi vaatii kaupan osapuolilta aina vakuudet ja toimii selvitystalona. (Nord Pool 2013) (Partanen et al. 2012)

3.2 Finanssimarkkinat

Sähköjohdannaisten avulla sähkön hinta ja toimitusmäärä voidaan sopia määräytyksi ajaksi eteenpäin. Niiden pääasiallinen tarkoitus on riskitason muokkaaminen. Finanssijohdannaisiin ei sisälly fyysistä sähkön toimitusta vaan ne toteutetaan nettoarvon tilityksenä. Nettoarvo lasketaan sopimushinnan ja tarkasteluhetken Elspot systeemihinnan erotuksena. Johdannaiskauppaa käydään Nasdaq OMX Commodities -finanssimarkkinoilla. Kauppaa käydään futuuri-, forward- ja optiosopimuksilla sekä aluehintatuotteilla (CfD). Niidenkin hinnat määräytyvät kysynnän ja tarjonnan kohdatessa.

Futuuri- ja forward- sopimuksilla sähkön hinta, volyymi ja toimitusaika kiinnitetään sopimusta tehtäessä. Futuureissa sopimusperiodi on päivä tai viikko, forwardeissa kuukausi, vuosineljännes tai vuosi. Aluehintatuotteella (CfD, Contract for Difference) voidaan kattaa se osa suojauksesta, joka jää avoimeksi systeemihinnan erotessa aluehinnasta.

Optiot ovat sopimus tulevaisuudessa tehtävästä kaupasta. Optiot velvoittavat ainoastaan option myyjää, joka veloittaa tarjoamastaan optiosta preemion. Optioita on kahta tyyppiä, osto-optio (call option) ja myyntioptio (put option). Osto-option ostajalla on oikeus ostaa kohde-etuus sovittuun hintaan ja myyntioption ostajalla on oikeus myydä kohde-etuus sovittuun hintaan. Nasdaq OMX Commodities – pörssissä optiot ovat eurooppalaisia sähköoptioita, eli ostaja voi toteuttaa optionsa ainoastaan niiden päättymispäivänä. Eurooppalaisessa sähköoptiossa kohde-etuutena käytetään forward-sopimusta. (Nord Pool 2013) (Partanen et al. 2012)

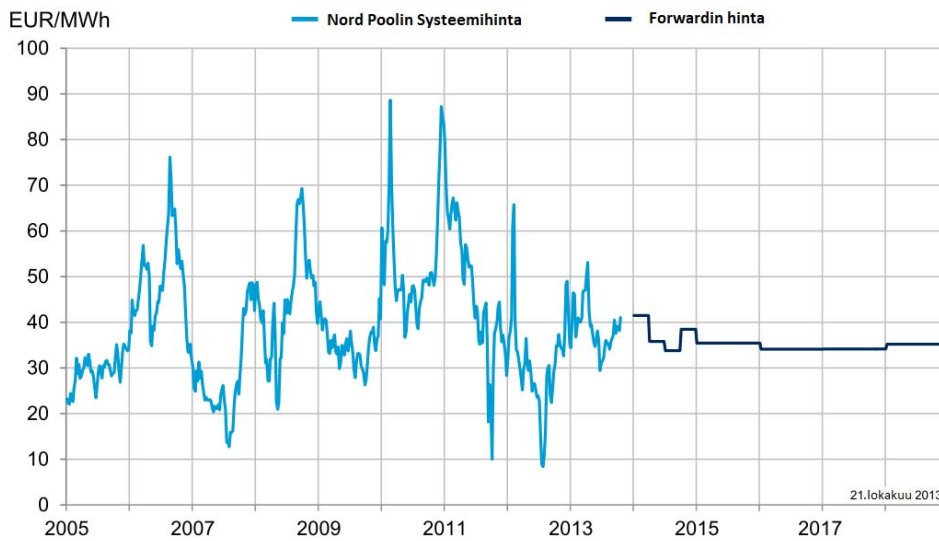
3.3 Sähkön hintakehitys

Sähkön pörssihintaan pohjoismaissa vaikuttaa erityisesti hydrobalanssin eli pohjoismaisten vesivarantojen tilanne. Hydrobalanssin suuruus taas riippuu sademääristä. Vesivoima on muuttuvilta kustannuksiltaan edullisinta, joten runsas vesivoiman tuotanto laskee hintoja. Myös raaka-aineiden kuten esimerkiksi kivihiilen hinnan muutos vaikuttaa kivihiilivoimaloiden tuotannon muuttuviin kustannuksiin ja näkyy siten myös sähkön pörssihinnassa.

Euroopan Unionissa on käytössä hiilidioksidin päästöoikeusjärjestelmä, jonka tarkoituksena on, että päästöjä vähennetään siellä, missä se on edullisinta. Päästöoikeuksien hinta vaikuttaa myös sähkön pörssihintoihin, koska se tekee hiilidioksidipäästöjä aiheuttavilla tuotantomuodoilla tuotetusta sähköstä kalliimpaa. Tällä hetkellä päästöoikeuksista on ylitarjontaa ja niiden hinta liikkuu vain 5 €/tonni tasossa. Yrityksille jaettavien ilmaisten päästöoikeuksien määrää saatetaan kuitenkin rajoittaa, jolloin tällä olisi sähkön hintoja nostava vaikutus. Tähän liittyen EU:ssa on käsiteltyä niin sanottu back loading –direktiivi.

Ulkolämpötilat vaikuttavat lämmitystarpeeseen ja esimerkiksi kylmät pakkasjaksot lisäävät sähkön kysyntää. Myös taloudellisen aktiviteetin lisääntyminen nostaa sähkön kysyntää ja siten myös hintoja. Kulutushuippujen aikainen sähkön kysyntä joudutaan tuottamaan paitsi kalliilla myös tehottomalla kapasiteetilla, jolloin myös negatiivinen ilmastovaikutus korostuu.

Sähköforwardien hinta on markkinoiden kysynnän ja tarjonnan kohtaamisesta johtuen tämän hetkinen paras arvio tulevasta hintakehityksestä. Kuvasta 4 voidaan nähdä, että sähkön hinnan oletetaan pysyvän maltillisena tulevina vuosina. Sähköforwardien hinnat ovat tällä hetkellä eli lokakuussa 2013 vuosituote 2014 osalta noin 38 €/MWh, vuosituote 2015 osalta noin 36 €/MWh ja vuosituote 2016 osalta noin 35 €/MWh. Myös forwardien hinta heilahtelee edellä kuvattujen tekijöiden ennusteiden muuttuessa.



Kuva 4. Sähkön historiallinen systeemihinta Nord Poolissa ja forwardien hinnat NASDAQ OMX Commodities -pörssissä (Fortum 2013)

Suomen hinnan oletetaan olevan systeemihintaa korkeampi vuoden 2014 ja 2015 osalta noin 4,5 €/MWh, sillä se on aluehintatuotteiden SYHEL 14 ja SYHEL 15 hinta tällä hetkellä. Koska forwardien ja aluehintatuotteiden hinnat heilahtelevat, riippuu suojauksen ajankohdasta, mihin hintaan sähkön hinta onnistutaan suojaamaan. Tyypillinen lähestymistapa on kasvattaa suojausten määrää vähitellen hinnan täyttäessä asetetut tavoitteet. Avoin positio on sähkön kuluttajalle sitä pienempi, mitä suurempi osa sähköhinnasta on suojattuna kulutukseen nähden. (NASDAQ OMX Commodities)

3.4 Vihreät sertifikaatit

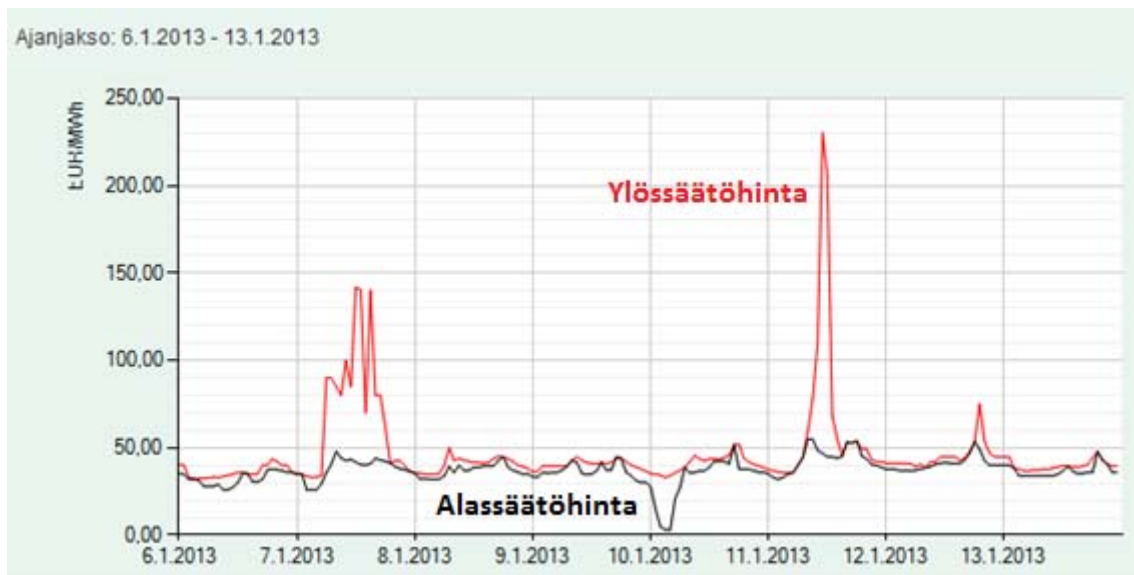
Uusiutuvia energialähteitä on tuettu perinteisesti vero-, investointi- ja erilaisin suurin tuin. Vihreät sertifikaatit ovat tukimuoto uusiutuville energiamuodoille, joita ostamalla kuluttaja tukee vihreää sähköä. Sähkön tuottajat myyvät sähköä normaalisti markkinoille, mutta uusiutuvista energialähteistä muodostuva energian tuotanto tuottaa lisäarvoa vihreinä sertifikaatteina, joita voidaan myydä eteenpäin (1 MWh=1 sertifikaatti). Monet EU-maat ovat ottaneet sertifikaattijärjestelmän käyttöön. Esimerkiksi Ruotsissa kuluttajien on ostettava tietty prosenttiosuus vihreällä sähköllä tuotettua energiaa. Suomessa sertifikaattien osto on vapaaehtoista. Suomen valtio on tehnyt periaatepäätöksen, että uusiutuvilla energioilla tuotetun sähkön osuus on valtiohallinnon ostamasta sähköstä vähintään 30 % vuonna 2010 ja vähintään 60 % vuonna 2015. (VNP 2009) Sertifikaattien hankinnalla ei ole kovin suurta vaikutusta Suomen valtion sähkön hankinnan kustannuksiin, koska tarjontaa on reilusti enemmän kuin kysyntää. Hanselin ostamat sertifikaatit vuodelle 2014 maksoivat 0,12 €/MWh (Kuokkanen 2014).

3.5 Tasehallinta ja säätösähkömarkkinat

Sähkön hankinnassa ja myynnissä kulutusta pyritään ennustamaan mahdollisimman tarkasti. Ennusteita käytetään myös sähkön tuotantosuunnitelmissa. Ennusteet eivät kuitenkaan koskaan toteudu sellaisinaan ja tuotannon ja kulutuksen välille voi syntyä ali- tai ylijäämää. Valtakunnallisen tehotasapainon ylläpitämiseksi tuotannon ja kulutuksen pitää kuitenkin aina olla tasapainossa. Tunnin sisäisestä tehotasapainosta vastaa Fingridin tasesähköyksikkö, joka käy sähkökauppaa Ruotsin ja Norjan tasesähköyksiköiden kanssa. Lisäksi automaattisena primäärisäätönä alle 0,1 Hz taajuuspoikkeamalla aktivoituu taajuudensäätöreserviä. Yhteispohjoismaisten taajuusohjattujen käyttöreservien määrä on sovittu maiden järjestelmävastaavien välisellä käyttösopimuksella, josta Fingridin velvoite on noin 140 MW. Häiriötilanteiden varalle on myös olemassa häiriöreservejä, jotka aktivoituvat isommalla taajuuspoikkeamalla ja nopeita häiriöreservejä, jotka koostuvat irtikytkettävistä kuormista ja kaasuturbiinikapasiteetista.

Normaalissa käyttötilanteessa myös sekundaarisäätö tapahtuu ennen kuin taajuuspoikkeama ylittää 0,1 Hz. Sekundäärisäädöllä tasesähköyksikkö tilaa manuaalisen säädön säätösähkömarkkinoille osallistuvilta toimijoilta. Säätökykyisen kapasiteetin haltijat voivat tarjota kapasiteettiaan säätösähkömarkkinoille. Edellytyksenä on, että niiden tehon muutos on todettavissa reaaliaikaisesti. Tarjoukset annetaan Fingridille viimeistään 45 minuuttia ennen käyttötuntia. Tarjous sisältää tarjotun määrän ja hinnan. Minimitarjous on 10 MW ja se pitää olla toteutettavissa 15 minuutin sisällä tilauksesta. Ylössäätö tarkoittaa tuotannon lisäystä tai kulutuksen vähentämistä eli ylössäädössä resurssin haltija myy sähköä Fingridille. Alassäätö tarkoittaa tuotannon vähennystä tai kulutuksen lisäystä eli resurssin haltija ostaa sähköä Fingridiltä. Ylössäätöhinnaksi tulee kalleimman säätösähkömarkkinoilla kyseisellä tunnilla käytetyn ylössäätötarjouksen hinta, kuitenkin vähintään Nord Poolin Suomen aluehinta (Elspot FIN). Alassäätöhinnaksi tulee halvimmalla kyseisellä tunnilla säätösähkömarkkinoilla käytetyn alassäätötarjouksen hinta, kuitenkin enintään Elspot FIN.

Kuvasta 5 voidaan nähdä ylös- ja alassäätöhintojen vaihtelua. Ylössäätöhinta voi kohota korkeaksi tai alassäätöhinta jäädä matalaksi, mikä heijastuu suoraan myös tasesähkön kustannuksiin. Säätösähkömarkkinoiden pohjalta tasesähköyksikkö muostaa tasesähkön osto- ja myyntihinnat. (Fingrid 2013a) (Partanen et al. 2012)



Kuva 5. Säätosähkön hinta tammikuussa 2013. (Fingrid 2013a)

3.6 Tasesähkökauppa

Tasesähkökauppaa käydään Fingridin tasesähköyksikön ja tasevastaavien välillä. Tasesähkö hinnoitellaan nykyisen yhteispohjoismaisen mallin mukaan erikseen tuotantotasesähkölle ja kulutustasesähkölle. Osapuolien tasesähkön määrä määritetään taseselvityksessä.

3.6.1 Tuotantotasesähkö

Tuotantotasesähkölle käytetään kaksihintajärjestelmää. Tasesähköyksikkö ostaa tasevastaavalta tuotantotasepoikkeaman ylimääräisen energian tuotantotasesähkön ostohinnalla. Ostohinta on alassäätohintaa tai Elspot FIN-hinta silloin, jos käyttötunti on määritelty ylössäätotunniksi tai säätöä ei ole tehty.

Tasevastaavan tuotantotaseen ollessa alijäämäinen, myy tasesähköyksikkö sille tuotantotasesähköä. Tuotantotasesähkön myyntihinta on ylössäätohintaa tai Elspot FIN-hinta silloin, jos käyttötunti on määritelty alassäätotunniksi tai säätöä ei ole tehty.

Täten tuotantotasesähkön hinta on tasevastaavalle aina kalliimpi tai vähintään yhtä suuri kuin Elspot-markkinoilta ostettu. Tuotannon ennusteet kannattaa siis tehdä mahdollisimman tarkasti. Tuotantotaseen tasesähkölle ei kohdisteta erillistä volyyminmaksua, mutta kaikelle toteutuneelle tuotannolle kohdistetaan 0,21 €/MWh tasepalvelun tuotantomaksu. (Fingrid 2013a)

3.6.2 Kulutustasesähkö

Kulutustasesähkölle käytetään yksihintajärjestelmää. Tasesähköyksikkö ostaa tasevastaavilta ylimääräistä sähköä samaan hintaan kuin myy sitä tasevastaaville. Tasevastaava myy ylijäämäenergiaansa tasesähköyksikölle, jos sen kulutus on ollut arvioitua pienempää ja ostaa energiaa, jos kulutus on arvioitua suurempaa. Jos käyttötunnilla on tapahtunut enemmän ylössäätoä, kulutustasesähkön hinta on ylössäätohintaa. Jos käyttötunnilla on tapahtunut enemmän alassäätoä, kulutustasesähkön hinta on alassäätohintaa. Elspot FIN hintaa käytetään, jos säätöä ei ole tapahtunut.

Periaatteessa sähkönmyyjälle on kulutustaseessa edullista olla myyjä ylösääötön- nilla ja ostaja alassääötönilla. Taloudellisen hyödyn tavoittelu ennusteita säätämällä ei ole kuitenkaan sallittua. Myyjää veloitetaan ennustamaan kulutustasettaan mah- dollisimman tarkasti. Lisäksi etukäteen ei voida tietää, onko käyttötunti alas- vai ylös- sääötötunti. Kulutustasesähkön kustannuksiin lisätään päälle Fingridin perimä volyyymi- maksu, joka on 0,5 €/MWh. Kaikesta toteutuneesta kulutuksesta maksetaan lisäksi 0,35 €/MWh tasepalvelun kulutusmaksu. (Fingrid 2013a)

3.7 Tasehierarkiamalli ja avoimien toimitusten ketju

Taseselvityksen avulla selvitetään sähkökaupan osapuolien toteutunut kulutus ja han- kinnat sekä toimitukset ja tuotanto. Taseselvitys perustuu hierarkkiseen taseselvitys- malliin ja avointen toimitusten ketjuun. Jokaisella toimijalla on yksi avoin toimittaja ja osapuolen avoin toimittaja on aina ketjussa tasoa ylempänä. Sähkömarkkinaosapuolen tasepoikkeama tasapainotetaan sen avoimen toimittajan toimittamalla tasesäh- köllä. Tätä on havainnollistettu kuvassa 6. Ketjun ylimpänä on Fingridin tasesähköyksikkö, joka huolehtii valtakunnallisesta tehtasapainosta. Tasesähköyksikkö on tase- vastaavien avoin toimittaja. Tasevastaavalla voi olla verkkoja ja markkinaosapuolia avoimessa toimituksessa. Markkinaosapuolilla voi edelleen olla verkkoja tai osapuolia avoimessa toimituksessa. Kaikki ketjussa tasevastaavan alla olevat osapuolet kuuluvat tasevastaavan toimintavastuuseen. Esimerkki avointen toimitusten ketjusta: Tasesäh- köyksikkö-tasevastaava-sähkömarkkinaosapuoli, joka on jakeluverkon avoin toimit- taja. (Fingrid 2013a)



Kuva 6. Avointen toimitusten ketju. (Fingrid 2013a)

3.7.1 Jakeluverkon taseselvitys

Taseselvitys alkaa sähkön toimitusta seuraavana päivänä. Tällöin jakeluverkonhaltija toimittaa verkon alustavat osapuoli- ja tuntikohtaiset summatoimitustiedot tasesäh- köyksikölle ja käyttöpaikkakohtaiset mittaustiedot sähkön myyjille. Jakeluverkon

taseselvitys sulkeutuu 14 päivän sisällä, joten tietojen toimittaminen on mahdollista vielä tämän ajan. Tavoitteena on, että jakeluverkon käyttöpaikat olisivat etäluettavia ja tuntimitattuja. Kaikki yli 3x63A käyttöpaikat ja tuotantokohteet on pitänyt vaihtaa tuntimittauksen piiriin viimeistään vuoden 2010 loppuun mennessä. Vuoden 2014 alusta vähintään 80 % kaikista verkonhaltijan käyttöpaikoista pitää olla tuntimittauksen piirissä (ET 2010). Jakeluverkoissa osa käyttöpaikoista on vielä varustettu perinteisillä mittareilla. Perinteisillä mittareilla varustetut käyttöpaikat arvioidaan asiakasryhmäkohtaisten kuormituskäyrien avulla, jos asiakas on kilpailuttanut sähkötoimituksensa. Toimitusvelvollisen myyjän perinteisellä mittarilla varustetut käyttöpaikat sisältyvät jäännöstaseeseen, joka saadaan, kun jakeluverkkoon toimitetusta sähköstä vähennetään tuntimittauksen ja muiden myyjien tyyppikuormituskäyrämenettelyn piiriin kuuluvat kohteet sekä jakeluverkonhaltijan häviöenergia. Kuormituskäyräkohteiden määrä vähenee jatkuvasti tuntipohjaisten mittarien asennusten myötä. (Fingrid 2013a) (Partanen et al. 2012)

Raideliikenteessä kuormituskäyrien käyttö ei ole realistinen vaihtoehto. Sen sijaan erityyppisille kalustoille on muodostettu energia-avaimia. Niitä on suunniteltu käytettävän tulevassa taseselvityksessä varakeinona, jos veturin mittaustietoja ei pystytä lukemaan esimerkiksi mittarin vikaantumisen tai tietoliikenneongelmien seurauksena. Energia-avaimia käsitellään myöhemmin lisää luvussa 4.9.

3.7.2 Tasevastaavan taseselvitys

Fingridin tasesähköyksikkö välittää verkonhaltijalta saamansa osapuolien summatoimitustiedot myyjien tasevastaaville sekä verkon tasevastaavalle. Tasevastaava järjestää taseselvityksen ja siihen liittyvän tiedonvaihdon avointen toimitusten osalta.

Tasevastaava laskee saamistaan tiedoista tasevastuuseensa kuuluvien osapuolten sähkötaseet, jossa se ottaa huomioon taseselvitettävien markkinaosapuoliensa kiinteät ja avoimet toimitukset. Toimijakohtaiset sähkötaseet tasevastaava välittää taseselvitettävälle osapuolilleen. Myyjät saavat siis kulutuksen summatiedot tasevastaavaltaan ja kulutuspaikkakohtaiset tiedot verkonhaltijalta. Näiden tietojen tulisi täsmätä.

Tasevastaavan taseselvityksessä käytetään hyväksi verkkojen rajapistemittauksia, sekä osapuolten mitattuja summatoimitustietoja verkkoihin. Näiden lisäksi tasevastaava selvittää omat toimituksensa (avoin toimitus, tuotanto- ja kulutustiedot). Taseselvitys aloitetaan heti toteumatietojen saavuttua ja tasevastaava raportoi selvitetävän kuukauden lopulliset tiedot viimeistään kuukauden kuluessa Fingridille. Fingridin tasepalvelun käyttö maksaa tasevastaavalle 200 €/kk. (Fingrid 2013a) (Partanen et al. 2012)

3.7.3 Valtakunnallinen taseselvitys

Fingridin tasesähköyksikkö selvittää valtakunnallisen sähkötaseen. Siitä selviää Fingridin tasepoikkeama tasevastaavien välillä ja Suomen tasepoikkeama muiden maiden välillä. Fingrid selvittää tasevastaavan tuotanto- ja kulutustaseen tasepoikkeamat tasevastaavan toimittamien tietojen perusteella. Fingrid raportoi selvitetävän kuukauden lopulliset tiedot viimeistään puolentoista kuukauden jälkeen. (Fingrid 2013a)

4 Liikenneviraston rooli ratajohtoverkonhaltijana

Ratajohtoverkko eroaa julkisista jakeluverkoista sen poikkeuksellisen luonteen vuoksi. Rataverkko on erillisverkko, johon liittyäkseen rautatieyrityksellä pitää olla siihen lupa. Lisäksi radan käyttö edellyttää erillistä ratamaksua. Vanhan sähkömarkkinalain (386/1995) nojalla Energiavirasto päätyi siihen, että ratajohtoverkko rinnastetaan kiinteistöryhmän sisäiseen sähköverkkoon ja että erillistä verkkolupaa tai edes siitä haettavaa vapautusta ei tarvita.

Syyskuun alussa 2013 voimaan tulleen uuden sähkömarkkinalain (588/2013) aiheuttamista mahdollisista muutoksista pyydettiin myös kannanottoa Energiavirastolta. Energiavirasto katsoi 8.11.2013 päivätyssä lausunnossaan, että Liikenneviraston verkon sähkönjakelussa on edelleen kyse kiinteistöryhmän sisäisestä sähkönjakelusta ja verkkolupaa ei edellytetä. (Dnro 1013/410/2013)

Osa sähkömarkkinalainsäädännön säädöksistä koskee vain jakeluverkon haltijan jakeluverkkoa, eikä kiinteistöryhmän sisäistä sähköverkkoa. Liikenneviraston tapauksessa päätöksiin vaikuttavat myös rautatielaki ja rautateiden yhteentoimivuussäännökset. Tällaisia seikkoja ovat muun muassa ratajohtoverkon sähkön siirron hinnoittelu ja veturien mittarien omistuskysymys.

Vaikka ratajohtoverkko ei olekaan viralliselta nimikkeeltään jakeluverkko ja Liikennevirasto ei näin ollen ole jakeluverkon haltija, on Liikenneviraston rooli taseselvityksessä jakeluverkon haltijan roolin mukainen. Koska ratajohtoverkko ulottuu monen eri paikallisen jakeluverkonhaltijan alueelle ja mittauspisteet vaihtavat paikkaa, eivät liikkuvan kaluston mittauspisteet voi tehdä erillistä verkkosopimusta paikallisen jakeluverkkoyhtiön kanssa. Näin ollen vastuu taseselvityksestä ja mittauksesta jää Liikennevirastolle kiinteistöverkon haltijana. (Dnro 1013/410/2013)

Kyetäkseen toimimaan verkonhaltijan roolissa taseselvityksessä Liikennevirasto liittyi ERESSiin vuoden 2013 alusta. ERESS on eurooppalainen rataverkon ja sen infrastruktuurin haltijoiden yhteenliittymä. ERESS-jäseniä ovat tällä hetkellä Banedanmark (Tanska), Infrabel (Belgia), Jernbaneverket (Norja), Trafikverket (Ruotsi) ja Liikennevirasto (Suomi). Lisää rataanfranhaltijoita, maista kuten Itävalta, Sveitsi tai Hollanti, saattaa liittyä lähitulevaisuudessa. ERESS:in päämaja sijaitsee Oslossa. ERESS on voittoa tavoittelematon organisaatio ja sen tehtävänä on ylläpitää ja kehittää rautatieliikenteen taseselvitysjärjestelmää, jonka nimi on Exex. Ennen jäseneksi liittymistä Exexiä on mahdollista testikäyttää kaksi vuotta. Exexillä on myös osakasmaiden ulkopuolisia yksityisiä rautatieyrityksiä asiakkaina. Ne hyödyntävät Exexiä parantaakseen energiatehokkuuttaan. (ERESS 2012)

Liikennevirasto liittyminen ERESSiin sanan mukaisesti jälkijunassa on pitkälti selitettävissä Suomen rajat ylittävän liikenteen vähäisyydellä. Ainoastaan Allegro-juna kulkee Helsinki-Pietari väliä. Muissa ERESS-maissa rajat ylittävä liikenne on huomattavasti yleisempää ja sähkön käytön selvittämiseksi rataverkonhaltijoiden välillä on ollut tarvetta. Toisaalta näissä maissa rautatieyritys ei voi vielä ostaa sähköään vapailta markkinoilta, vaan rataverkonhaltijat ostavat energian yhdeltä toimittajalta ja laskuttavat taseselvityksen mukaan yrityksiä energiasta ja siirrosta.

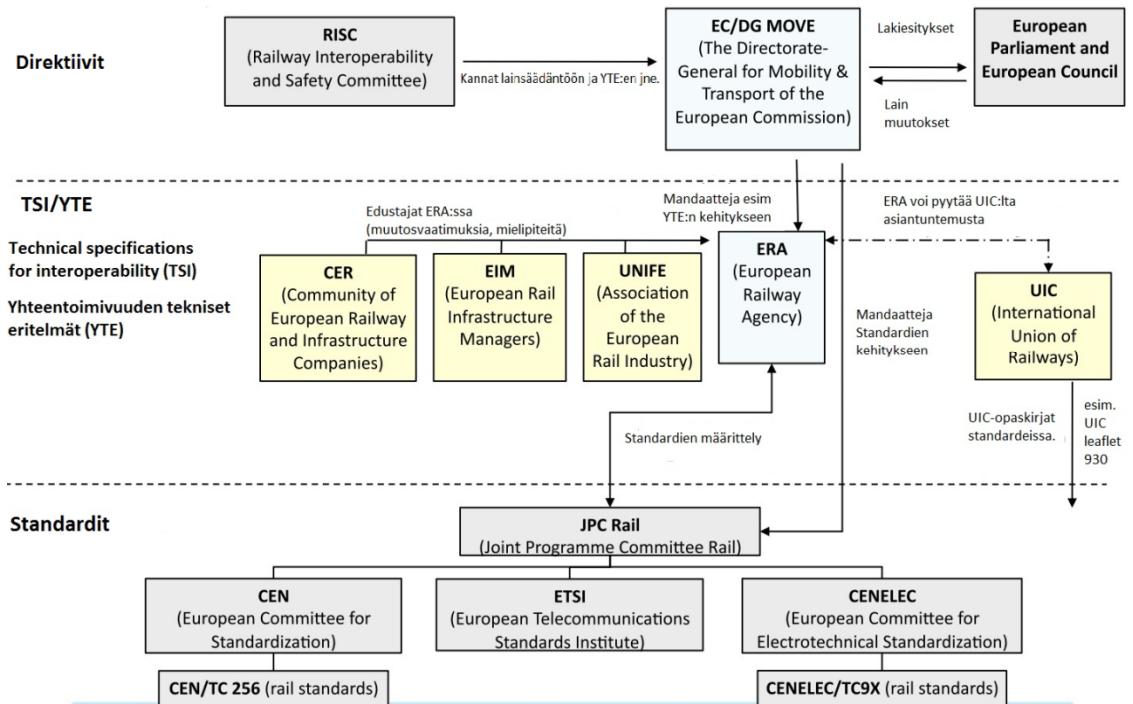
Suomessa Erex-järjestelmä otetaan käyttöön tässä työssä esitellyn uuden taseselvitysmallin myötä. Uusi malli mahdollistaa rautatieyritykselle sähkönmyyjän kilpailuttamisen ja energian oston vapailta sähkömarkkinoilta.

Luvussa 4.1 annetaan aluksi kokonaiskuva eri tahoista, jotka ovat osana rautateiden ja sähkömarkkinoiden sääntelyprosessia. Luvussa 4.2 käsitellään raideliikenteen energian mittauslaitteita ja niiden vaatimuksia. Luvussa 4.3 käsitellään rataverkon kulutuksen ennustamista ja tehotasapainoa. Luvussa 4.4 esitellään uusi taseselvitysmalli. Luvussa 4.5 kuvataan sanomaliikennettä eri sähkömarkkinaosapuolien välillä. Luvussa 4.6 luodaan katsaus yhteispohjoismaisiin vähittäismarkkinoihin tähtäävän Nordic Balance Settlement -projektiin (NBS) ja siihen mitä vaikutuksia tulevilla muutoksilla on Liikenneviraston rooliin jakeluverkonhaltijana ja tiedonvälitykseen sähkömarkkinoiden suuntaan. Luvussa 4.7 tarkastellaan Erexia lähemmin. Luvussa 4.8 pureudutaan sähkön siirtohinnoitteluun. Luvussa 4.9 käsitellään energia-avainten käyttöä ja luvussa 4.10 mittaustiedon korjausta.

4.1 Rautateiden taseselvitykseen vaikuttavat tahot ja viranomaismääräykset

EU:n periaatteisiin kuuluvat vahvasti sisämarkkinoiden vapaa kilpailu ja palveluiden vapaa liikkuminen jäsenvaltiosta toiseen. Kuvassa 7 on kuvattu rautateiden sääntelyprosessien kulkua ja siihen osallistuvia tahoja Euroopan Unionissa. Taustalla ovat luodut direktiivit, joista seuraavat yhteentoimivuuden tekniset eritelmät (YTE) ja standardit. Suomessa Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi vastaa liikennejärjestelmän viranomaistehtävistä, ja sen asiantuntijat ovat mukana työryhmissä, joiden esitysten pohjalta EU-tason säädökset implementoidaan myös Suomen lakiin.

EU:ssa DG Energy on direktoraatti, joka laatii energiaindikaattorit. Vapaan kilpailun edistämiseen pyritään myös sähkömarkkinoilla. Energiavirasto on Suomen kansallinen viranomainen energia-asioissa. Verkonhaltijan taseselvityksen järjestämiseen Suomen sähkömarkkinoilla on annettu kansallisia lakeja ja asetuksia ja ohjeita. Nämä pitävät sisällään mittalaitteen, etäluennan ja mittaustiedon hallinnan, tiedonvälityksen ja taseselvityksen etenemisen.



Kuva 7. Rautatieliikenteen sääntelyyn osallistuvat tahot Euroopassa. (Infrabel 2011)

Uusi sähkömarkkinalaki 588/2013 valmistui syksyllä 2013. Vanhaan sähkömarkkinalakiin 386/1995 tehtiin päivityksiä erityisesti Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin ”Sähkön sisämarkkinoita koskevista yhteisistä säännöistä 2009/72/EY” pohjalta. Tämän lisäksi on Mittalaitelaki 707/2011, joka keskittyy mittaukseen ja Energiapalvelulaki 1211/2009, joka määrää energiemarkkinoilla toimivien yritysten velvollisuudesta edistää asiakkaidensa energian tehokasta käyttöä.

Valtioneuvoston asetus sähköntoimituksesta ja mittaamisesta 66/2009 ts. ”mittausasetus” ja Työ- ja elinkeinoministeriön asetus sähköntoimituksen selvitykseen liittyvästä tiedonvaihdosta ts. sanomaliikenneasetus (809/2008) ovat sähkömarkkinalakia täsmentäviä säädöksiä.

Energiateollisuus ry (ET) on energia-alan elinkeino- ja työmarkkinapoliittinen etujärjestö. Se edustaa yrityksiä, jotka tuottavat, hankkivat, siirtävät ja myyvät sähköä, kaukolämpöä ja kaukojäähdytystä sekä tarjoavat niihin liittyviä palveluja. Energiateollisuus ry on laatinut alan käytäntöjä yhtenäistäviä ohjeita mittaustiedon hallintaan ja sanomavälitykseen. Näitä ovat ”Sähkömarkkinoiden käytännön menettelyohjeet III” ja ”Tuntimittauksen periaatteet”, ”Sanomaliikenteen menettelyohjeet” ja ”Ediel sanomavälityksen yleiset ohjeet”.

4.2 Mittarointi

Kaikkien Liikenneviraston omien kulutuspisteiden muuttaminen etäluettaviksi on aloitettu ja mittaroinnin odotetaan olevan valmis vuoden 2014 loppuun mennessä. VR:n kalustoon etäluettavien energiamittareiden asennusta ei ole vielä aloitettu ja lähivuosina poistuvaa kalustoa (Sm1, Sm2 ja Sr1) ei välttämättä edes mittaroida. Flirteissä, Allegrossa ja Sr2:ssa on valmiiksi energiamittarit, mutta ne eivät ole etäluettavia ei-

vätkä standardin mukaisia. Jos jo olemassa olevia mittareita halutaan käyttää taseselvityksessä, niihin pitäisi ainakin rakentaa tuntimittaustiedon keräävä ja lähettävä ominaisuus. Toinen vaihtoehto on asentaa kokonaan uudet standardin mukaiset laitteet. Veturien ja junayksiköiden mittarien standardin mukaisia vaatimuksia käsitellään kohdassa 4.2.2. Etupäässä vaunujen esilämmitykseen käytettävien 1500 V -ulkoliitäntäsyöttöjen mittaroinnin toteutusta ei ole vielä ratkaistu ja tätä pohditaan luvussa 4.2.3.

4.2.1 Veturien ja junien mittarien omistus ja hallinta

Sähkömarkkinalainsäädännön mukaan jakeluverkonhaltija asennuttaa mittarit kaikkiin kohteisiin, omistaa ja huoltaa niitä ja on vastuussa myös tiedonsiirtoyhteyksistä. Mittalaitteiden hankinta, asennus, huolto ja mittaustiedonhallinta on mahdollista tilata myös ulkopuoliselta palvelun tarjoajalta, mutta vastuu mittalaitteista ja mittauksesta säilyy jakeluverkonhaltijalla. (ET 2010)

Sähkömarkkinalain 71§:n mukaan kiinteistöverkon ollessa kyseessä kiinteistön haltijalla on vastuu sähkön mittauksesta. Mittaus tulee toimittaa siten, että loppukäyttäjällä on mahdollisuus vaihtaa sähkön toimittajaa halutessaan. Kiinteistöverkkoon liittyneet asiakkaat eivät ole jakeluverkkoon liittyneitä asiakkaita ja vastuu mittauksen järjestämisestä ei ole paikallisella jakeluverkon haltijalla, eikä mittareiden omistuksesta näin säädetä sähkömarkkinalaissa.

Sähkömarkkinalain 72§ pykälän mukaan kiinteistön haltijan on huolehdittava siitä, että loppukäyttäjällä on mahdollisuus tehdä sähköverkkosopimus, jossa sähköntoimitus tapahtuu jakeluverkonhaltijan jakeluverkon kautta. Tällöin loppukäyttäjälle tulee luovuttaa oikeus kiinteistöverkon käyttöön niin, että myös loppukäyttäjän voidaan katsoa olevan jakeluverkkoon liittynyt asiakas.

Energiavirastosta kysyttiin näkemystä veturien mittareiden omistuksesta. Energiaviraston virallinen kanta oli pykälien 71§ ja 72§ perusteella: ”Mikäli jokaista mittauspistettä ei käsitellä omana käyttöpaikkana, jolla on oma verkkosopimus paikallisen jakeluverkonhaltijan kanssa, ovat mittaukset kiinteistöverkon haltijan vastuulla, jolloin niiden omistussuhde ei määräydy sähkömarkkinalainsäädännön säännösten mukaisesti.” (Dnro 1013/410/2013)

Lausunnon perusteella sille, että rautatieyrittäjä omistaa mittarit, ei ole Liikenneviraston verkossa estettä. Viimeisimmässä ”Veturit ja matkustajavaunut”-yhteentoimivuuden teknisessä eritelmässä on suosituksena, että veturit varustettaisiin jo valmistusvaiheessa standardin mukaisella mittarilla. Tällöin mittarin omistajuus kytkeytyisi luontevasti veturin omistukseen (IU-LOC_PAS_TSI 2013).

Vetureihin tai juniin asennettavien mittareiden omistuksessa ja hankinnassa on erilaisia käytäntöjä ERESS-jäsenien keskuudessa. Tanskassa ja Ruotsissa rataverkonhaltijat ostavat ja omistavat energiamittarit. Mittarien kustannus veloitetaan rautatieyrittäjältä hallinnointikuluna määritellyllä aikataululla. Norjassa rautatieyrittäjät ostavat mittarit, mutta omistus on Norjan rataverkonhaltijalla. Belgiassa rautatieyrittäjä ostaa energiamittarit ja myös omistaa ne. Kaikissa näissä maissa rautatieyrittäjä ostaa kuitenkin itse tarvittavat kaapelit ja antennit. (ERESS 2011)

4.2.2 Veturien ja junien mittarien vaatimukset

Hankittavien mittarien tulee täyttää CENELECin määrittelemä "Railway applications - Energy measurement on board trains" -standardi EN 50463:2012.

Standardin mukaan mittalaitteen tulee koostua kolmesta toiminnosta, jännitemittauksesta, virtamittauksesta ja näiden perusteella toteutettavasta energian laskennasta. Mittalaitteen tulee mitata veturin kuluttama ja jarrutettaessa sen verkkoon takaisin tuottama energia. Vaihtovirran ollessa kyseessä mittarin tulee mitata sekä pätö- että loisenergiat molempiin suuntiin. Veturin mittarin suhteellinen virhe lasketaan kaavalla (6). Mittarin suhteellinen virhe $\varepsilon_{\text{mittari}}$ ei saa ylittää referenssioloissa 1,5 % pätöenergialle ja 3 % loisenergialle. Energiamittarille on määritelty standardissa myös 4 eri tarkkuusluokkaa 0,2R, 0,5R, 0,75R ja 1,0R. (EN 50463-2:2012)

$$\varepsilon_{\text{mittari}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{jännitemittaus}}^2 + \varepsilon_{\text{virtamittaus}}^2 + \varepsilon_{\text{energianlaskenta}}^2} \quad (6)$$

Junassa (on board) pitää olla myös tietojärjestelmä (Data Handling System, DHS), johon mittaukset tallennetaan. Energian kulutus tallennetaan junassa olevaan tietojärjestelmään 5 minuutin välein. Energia pitää tallentaa delta-arvoina, eli kuinka paljon energiaa on käytetty 5 minuutin periodilla. Tämän lisäksi kulutustiedot voidaan tallentaa myös indeksi-arvoina eli kumulatiivisena energian käyttönä. Energia-arvot tallennetaan pätöenergialle (kWh) ja loisenergialle (kVAh). Mittausdatan pitää sisältää myös aikaleiman, paikkatiedon, kulutuspuheen numeron ja datan laatuun viittaavat tiedot, jotka ovat "mitattu", "epävarma" ja "ei dataa". Kyseisistä mittaustiedoista muodostetaan energianlaskutuksen tietokanta. Ne tulee säilyttää tietojärjestelmän tietokannassa vähintään 60 päivää. Energiamittaukseen voidaan sisällyttää myös muuta dataa, mutta se ei saa haitata pakollisten tietojen välitystä. (EN 50463-3:2012)

Junassa olevasta tietojärjestelmästä data lähetetään maassa olevalle tiedonkeruupalvelimelle (Data Collection System, DCS). Tähän voidaan vielä tällä hetkellä käyttää eri tiedonsiirtotapoja kuten esimerkiksi GSM-verkkoa ja FTP-protokollaa. (EN 50463-4:2012)

4.2.3 1500 V ulkoliitäntäsyöttöjen mittarointi

Vaunut kytketään 1500 V ulkoliitäntäkeskuksiin (ulkoliitäntäposteihin) esilämmitykseen ilman veturia. Liitäntäkeskuksia ei ole erikseen mittaroitu. Muuntaja-aseilla, joista liitäntäkeskusten 1500 V:n syöttö tulee, on kuitenkin energian mittaus, mutta se ei ole etäluettava. Tällä hetkellä kulutettu energia on kaikki VR:n kulutusta. Jos kuitenkin uusi kilpaileva rautatieyrittäjä alkaisi käyttää 1500 V liitäntäkeskuksia VR:n lisäksi, tulisi näiden liittymäpisteiden energian kulutus selvittää ja käyttäjä tunnistaa laskutuksessa. Tähän pitäisi pystyä määrittämään keino.

Verkon energiatehokkuuden kannalta olisi myös erittäin tärkeää, että vaununlämmitysenergia mitattaisiin, jos VR saa kilpailijan. Tällöin rautatieyrittäjä saisi suoran taloudellisen kannustimen suunnitella järkevän esilämmitysajan vaunuillensa. Verkonhaltija on energiapalvelulain nojalla velvollinen parantamaan asiakkaidensa energiatehokkuutta.

Yksittäisen vaunun seisonalämmitysteho vaihtelee ja keskiarvo on noin 30 kW. Yhteen keskukseen liitetyssä vaunuletkassa voi olla esimerkiksi 20 vaunua. Tällöin yhteisteho olisi jo 0,6 MW. Tämä on merkittävä kulutus ja sillä, esilämmitetäänkö vaunuja tunti vai useita tunteja, on merkitystä. Muuntaja-aseman teho on yleensä 1 MVA ja yhteen muuntajaan on liitettynä 5–6 ulkoliitäntäkeskusta. Ulkoliitäntäkeskuksia on ratajohtoverkossa noin 200.

Yksinkertaisin ratkaisu mittaroinnin osalta olisi, että kaikilla rautatieyrityksillä olisi omat liitäntäkeskuksensa. Tällöin asennettavien energiamittareiden ei tarvitsisi tunnistaa käyttäjää. Norjassa selvitettiin aiemmin siitä, miten rautatieyritykset käyttävät vaununlämmitysliitäntäkeskuksia. Yleinen tapa oli, että rautatieyritykset käyttivät yleensä vain tiettyjä liitäntäkeskuksia ja suurin osa oli käyttämättöminä. Kokemuksena oli myös, että rautatieyritykset lämmittävät vaunujaan mieluummin ajolangan ja veturin kautta. Tämä myös rekisteröi kulutuksen veturin mittariin. Norjassa lämmityspisteiden kulutusta ei päädytty mittaroimaan erikseen ja laskutus hoidetaan aikaperusteisesti sen mukaan kuinka kauan vaununlämmityskeskuksia käytetään. Vaununlämmityskeskuksen käyttöä pitää erikseen anoa. (Krogstad & Gulbrandsen 2013)

Tällaista toimintamallia voitaisiin mahdollisesti käyttää myös Suomessa. Menettelyssä eri rautatieyrityksillä olisi kuitenkin hyvä olla ratapihoilla omat raiteensa, mutta niitä ei välttämättä ole riittävästi. Toinen mahdollisuus olisi, että kaikille rautatieyrityksille rakennettaisiin omat rinnakkaiset vaununlämmityskeskuksensa. Tämäkään ei tunnu järkevältä varsinkin, jos rautatieyrityksiä tulee useita.

Teknisesti paras ratkaisu olisi, jos näiden kulutuspisteiden käyttäjä kyettäisiin tunnistamaan mittarin ohjelmistossa ja siitä lähetettäisiin tieto verkonhaltijalle syötön alettua ja loputtua. Nämä tiedot verkonhaltija lähettäisi taseselvityksessä edelleen rautatieyritysten sähkönmyyjille. Sähkönkäytön fyysinen paikka olisi sama, mutta taseselvitysjärjestelmässä nämä käyttöpaikat voitaisiin nimetä erillisiksi paikoiksi käyttäjän mukaan. Tämä olisi yksinkertaisempaa kuin joka kerta vaihtaa käyttöpaikkaan liittyvää sähkönmyyjää. Tällä menettelyllä käyttötunnin sisäinen vaihto ei aiheuttaisi ongelmia taseselvityksessä.

Energiamittareissa on usein kaukokäyttöreleet ja käyttäjän tunnistautuessa ja lopettaessa nämä releet voitaisiin automaattisesti kytkeä päälle ja pois verkonhaltijan toimesta. Energiamittariin pitäisi myös kehittää ohjelmisto, joka muuttaa taseselvitysjärjestelmään lähetettävän käyttöpaikkanumeron tunnistetun käyttäjän mukaan. Tunnistus voisi tapahtua esimerkiksi kännykällä tai sirullisella kortilla. Tunnistuksessa voitaisiin mahdollisesti hyödyntää myös vaunuissa jo olevia RFID-tunnisteita. RFID-tunnistuksesta sähköautoille on tekeillä standardi ISO 15118-1:2013 "Road vehicles -- Vehicle to grid communication interface".

4.2.4 Liikenneviraston oman kulutuksen mittarointi

Liikenneviraston omia kulutuspisteitä on ratajohtoverkossa noin 550. Joulukuussa 2013 etäluettavia Iskra-mittareita oli Pohjois-Suomessa 17 kpl ja ne oli jo liitetty mitauspalveluun. Etäluentavalmiudella olevia Landis+Gyr-mittareita on tällä hetkellä noin 90 kpl ja niihin on hankittu tiedonsiirtomodulit, joita ollaan asentamassa. Kunnossapitäjä asentaa modulit mittariluennan yhteydessä ja testaa tiedonsiirtoyhteyden mitauspalveluun. Loppujen mittarien hankinta kilpailutetaan.

4.3 Liikenneviraston hallinnoiman rataverkon sähkötase

4.3.1 Nykyinen malli

Nykyisessä mallissa palveluntuottaja jakaa syöttöasemien summakulutustiedot VR:n ja Liikenneviraston kulutukseen. Myös verkon häviöt on jaettu prosentuaalisesti, siten että Liikenneviraston aiheuttama häviö on 3,3 % sen kulutuksesta. VR:n ja Liikenneviraston suhteelliset kulutusarviot perustuvat aiempiin vuosiin. Tietyt vaihteenlämmitysmuuntajat käydään lukemassa aina kuukausittain alueellisten kuukausiprofiilien muodostamiseksi. Arviot tarkentuvat, kun kaikki vaihteenlämmitysten ja rakennusten mittarit luetaan kaksi kertaa vuodessa manuaalisesti. Tiedot välitetään energian myyjälle, jona toimii Energia Myynti Suomi Oy (Vantaan Energia toimittajana ennen 1.9.2013). VR-yhtymällä on omasta energian käytöstään oma sopimuksensa ja hintansa. Liikenneviraston hinta määräytyy valtion hankintayksikön Hanselin tekemän sopimuksen perusteella.

Lisäksi palveluntuottaja läpilaskuttaa verkkoon kytkettyjen rakennusten käyttäjiä, joiden energia toimitetaan Liikenneviraston sopimuksella. Jos rakennuksella on ulkopuolinen vuokralainen, energian toimittamisesta aiheutuneet kustannukset peritään vuokrassa. Rakennusten laskutukseen sisältyvät siirron ja energian lisäksi palveluntuottajan rakennuksista tekemät sähköveroilmoitukset tullille kuukausittain, sähkövero ja huoltovarmuusmaksu.

Fingridin ja alueverkkoyhtiöiden verkkopalvelumaksut ja oman työnsä palveluntuottaja laskuttaa osapuolilta käytetyn energian suhteessa.

4.3.2 Uusi malli

Kilpailun avaaminen raideliikenteessä ja rautatieyritysten energian ostovoimailta sähkömarkkinoilta edellyttää uutta taseselvitysmallia. Malli on rakennettu julkisessa sähköjakeluverkkotoiminnassa käytetyn pohjalta.

Uudessa mallissa Liikennevirasto toimii verkonhaltijan roolissa. Häviöenergioita ei voida enää ajatella prosenttiosuutena sähkökulutuksesta. Verkonhaltijan on hankittava sähköverkon häviöenergia sekä sen käyttöä palveleva varavoima avointen, syrjimättömien ja markkinapohjaisten menettelyiden mukaisesti. (Sähkömarkkinalaki 588/2013 4.luku 23§). Jatkossa Liikennevirasto laskuttaa häviöenergian rautatieyrityksiltä siirtomaksussa ja häviöenergian toimittaja on siten myös Liikenneviraston sähkötoimittaja. Siirron hinnoittelua on tarkasteltu enemmän luvussa 4.8.

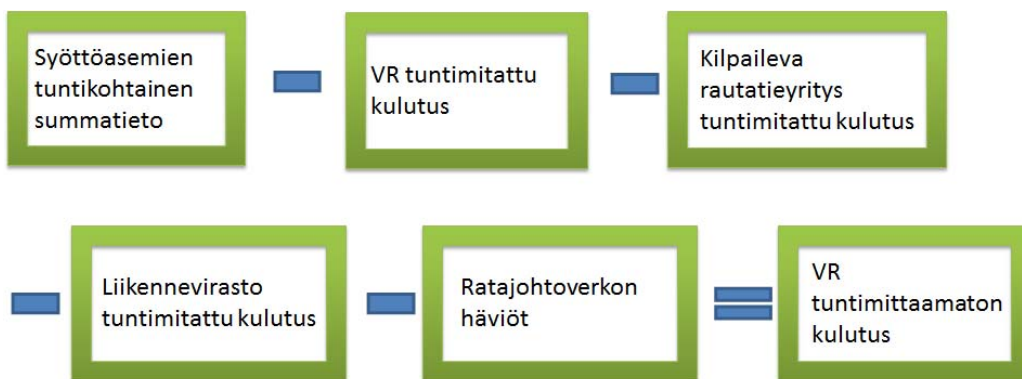
Liikenneviraston kulutusasteet, kuten vaihteenlämmitykset ja rakennukset ovat helpommin mittaroitavissa etäluettaviksi kuin VR:n koko kalusto. VR:n koko kaluston mittarointi voidaan toteuttaa asteittain, koska mittarin asentamiseen tarvitaan huolto-oseisokkia veturille. Asteittainen lähestymistapa vastaa rautatiejärjestelmän yhteentoinivuutta koskevan tavoitteen erityistarpeita. (EU 2008/57/EY)

Jos rataverkkoon liittyy muita rautatieyrityksiä, niiltä edellytetään etäluettavien tuntimittareiden asennusta. Myös VR:n uuteen kalustoon energiamittarit tulee asentaa ennen liikennöinnin aloittamista.

Jakeluverkon haltijalla on velvollisuus järjestää taseselvitys omassa jakeluverkossaan. Liikenneviraston kiinteistöverkon tapauksessa voidaan soveltaa vastaavaa mallia. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että Liikenneviraston on määritettävä jokaisen sähkömyyjän myynti tuntitasolla ratajohtoverkossa. Ratajohtoverkon taseselvitys voidaan toteuttaa seuraavasti:

1. Mitataan syöttöasemilla rataverkkoon syötetty teho summaamalla tuntienergiat kaikkien 82 syöttöaseman sähköasemamittauksista.
2. Määritetään kilpailun piirissä olevien tuntimitattujen rautatieyritysten tuntienergiat. Välituloksena saadaan eri rautatieyritysten tuntimitatut kulutukset myyjittäin jaoteltuna.
3. Määritetään Liikenneviraston omien kulutuspisteiden tuntimitatut energiat.
4. Määritetään ratajohtoverkon häviöt.
5. Kokonaissähkökäytöstä (kohta 1) osiot 2-4 vähentämällä saadaan VR:n tuntimitaamaton sähkökulutus eli niin sanottu jäännöstase.

Kun osiot 3 ja 4 summataan, välituloksena saadaan Liikenneviraston toimittajan sähkömyynti. VR:n kokonaiskulutus saadaan summaamalla VR:n tuntimitattu kulutus ja kohta 5 (tuntimitaamaton). Uutta mallia on havainnollistettu vielä kuvassa 8.



Kuva 8. Ratajohtoverkon uusi sähkötasemalli.

Malli selkeytyy, kun myös VR:n koko kulutus on mittaroitu. Silloin kokonaishäviöenergia voidaan selvittää vähentämällä verkon kokonaiskulutuksesta Liikenneviraston ja eri rautatieyritysten kuluttamat energiat. Verkon kokonaishäviöiden määrää (kohta 4) ei enää tarvitse arvioida laskennallisesti.

Häviöiden laskennallinen arvio tehdään luvun 2.6 periaatteiden mukaisesti laskemalla yhteen tyhjäkäyntihäviöt ja kuormituksesta aiheutuneet häviöt. Kuormituksesta aiheutuvat häviöt voidaan laskea syöttöasemittain. Tässä yhteydessä voidaan käyttää aina samaa keskimääräistä tehokerrointa, koska kokonaishäviöiden arvioinnissa ei ole järkevää erotella millaista kalustoa kullakin syöttöasemavälillä on käyttötunnilla liikenteessä.

Uudessa mallissa osapuolien välinen maksuliikenne muuttuu nykyisestä. Ratajohtoverkon sähkökäyttöön liittyvät osapuolet ja niiden välinen laskutus uudessa mallissa on havainnollistettu kuvassa 9.



Kuva 9. Ratajohtoverkon osapuolien välinen maksuliikenne.

4.4 Ratajohtoverkon kulutusennusteet ja tehotasapaino

4.4.1 Ratajohtoverkon avoin toimittaja

Fingridin taseselvitysinformaation verkot -luettelossa ratajohtoverkon tunnus on VR0000, joka tulee käsitteestä VR:n syöttöverkko. Tällä hetkellä koko rataverkon sähkönmyyjänä toimii yksi yhtiö, Energia Myynti Suomi Oy, joka on myös verkon avoin toimittaja ja tasevastaava. (Fingrid 2013b) Ratajohtoverkon avointen toimitusten ketju nykytilanteessa on havainnollistettu kuvassa 10.



Kuva 10. Ratajohtoverkon avointen toimitusten ketju nykytilanteessa.

Julkisilla jakeluverkoilla normaalisti useampi sähkönmyyjä myy sähköä verkkoon. Jakeluverkoilla pitää olla aina niin sanottu toimitusvelvollinen myyjä, joka on samalla verkon avoin toimittaja. Tämä toimitusvelvollinen myyjä on jakeluverkossa määräävässä markkina-asemassa oleva myyjä. Toimitusvelvollisen myyjän tulee toimittaa sähkömarkkinalain velvoittamana sähköä julkisilla hinnoilla niille alle 3 x 63 A sulakkeen kuluttajille, jotka eivät ole kilpailuttaneet sähkötoimitustaan. Energiaviraston mukaan ratajohtoverkkoon ei sovelleta kiinteistöverkkona sähkömarkkinalain toimitusvelvollista myyjää ja avointa toimittajaa koskevia säännöksiä (Dnro 1013/410/2013).

Kaikilla rautatieyritysten ja verkonhaltijan sähkönmyyjillä pitää olla kuitenkin sähkön avoimet toimittajat. Ne tasapainottavat avointen toimitusten ketjunsä avulla kyseessä olevien toimijoiden sähkötaseet, kuten luvussa 3.7 kuvattiin. Liikenneviraston sähkönmyyjän tulee huolehtia myös ratajohtoverkon häviösähköstä. Näin ollen se voi useamman myyjän tapauksessa toimia nimikkeeltään ratajohtoverkon avoimena toimittajana, vaikka toimitusvelvollisuuden piiriin kuuluvia asiakkaita ei olekaan verkossa ja siten perinteisessä mielessä verkko ei tarvitse avointa toimittajaa.

4.4.2 Kulutusennusteet

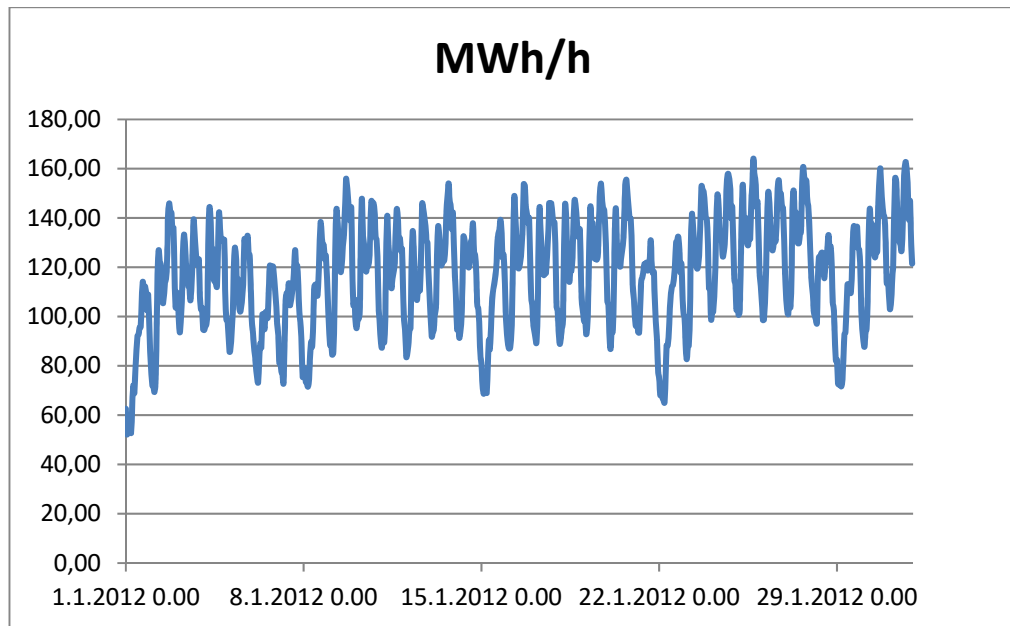
Taseselvityksen valmistuttua tasevastaavat vyöryttävät tasesähköstä aiheutuneet kustannukset tasevirhettä aiheuttaneille myyjille. Nämä kustannukset myyjä veloittaa epäsuorasti asiakkaaltaan, sillä tasesähkön kustannukset sisältyvät myyjän sähkönhinnan päälle lisäämään marginaaliin. Jos tasehallinta on toimivaa, mahdollistaa se alemman marginaalin. Tarkempi tasehallinta auttaa sähkönmyyjää Elspot-hankinnan suunnittelussa ja ohjaa myös Elbas-markkinoilla tapahtuvaa kaupankäyntiä vielä ennen käyttötuntia, jos vuorokauden sisällä muutoksia käyttötunnin ennusteisiin tulee. Ratajohtoverkon kulutusennusteet perustuvat Energia Myynti Suomi Oy:llä tällä hetkellä lämpötilaennusteisiin ja toteutuneisiin kulutuksiin. Junavuorojen peruuntumisista ei tule ilmoituksia Energia Myynti Suomelle. (Tikkanen 2013)

Rautatieyritysten sähkönmyyjän tasehallintaa varten ennusteita voitaisiin ajatella kehitettävän huomioimaan liikennöitsijöiden aikataulut. Tällä hetkellä VR:n aikataulut ja kulutus eivät aikataulujen osalta poikkea kovin paljon toteutuneista kulutuksista ja ennustaminen onnistuu historiatietojen avulla. Junavuorojen peruuntumisista voitaisiin silti informoida myös VR:n sähkönmyyjää mahdollisimman ajoissa. Jos ilmoitus tulee ennen käyttötuntia, voi sähkönmyyjä vielä tasapainottaa energiatasettaan Elbas-markkinoilla.

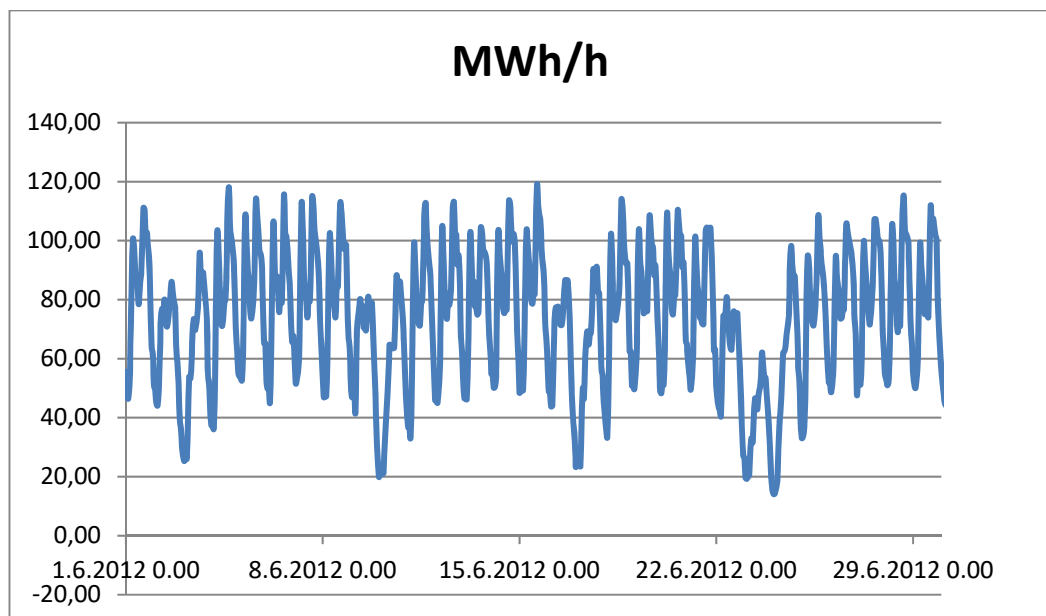
Jos ratajohtoverkkoon tulee uusi, esimerkiksi sähköistä tavaraliikennettä harjoittava toimija, jonka aikataulut eivät ole säännöllisiä, pitää sen sähkönmyyjän ennustaa kulutusta yksittäisten tiedossa olevien junavuorojen perusteella. Peruuntunut junavuoro voi olla prosentuaalisesti näkyvä osa sähkönmyyjän energiatasetta, jos kyseessä on pieni sähkönmyyjä. Tällaisessa tapauksessa myyjä voisi myös edellyttää ilmoituksen tekemistä.

Liikenneviraston kulutuksen tapauksessa, jos vaihteenlämmitysten ohjausta optimoidaan ottamaan huomioon esimerkiksi aiempaa enemmän lumisateita, kuten luvussa 5.3 on esitetty, pelkkä lämpötila ei enää kerro niiden kulutuksesta riittävästi. Tällöin kulutusennusteiden teko muuttuu haastavammaksi ja myyjänkin kannattasi huomioida lumisadetilanne ainakin jollain tasolla.

Kuvassa 11 nähdään tammikuun 2012 kulutuksen vaihtelu koko rataverkossa. Kuvasta 12 on nähtävillä kulutuksen vaihtelu kesäkuussa. Kesäkuun kulutus on tammikuun kulutusta selvästi matalampi johtuen siitä, että vaihteenlämmitykset eivät ole päällä ja kulutus ei siten riipu enää juurikaan lämpötiloista vaan lähinnä junaliikenteestä. Kulutus riippuu selvästi myös vuorokauden ajasta. Se on korkeampaa päivällä ja yöksi se laskee selvästi kuten kuvien 11 ja 12 säännöllisistä piikeistä nähdään. Uuden Vuoden yön ja juhannuksen liikenteen vähäisyydet näkyvät myös selvästi matalampana kulutuksena.



Kuva 11. Ratajohtoverkon tuntikohtainen kulutus tammikuussa 2012 syöttöasemilta mitattuna. (Vantaan Energia 2012)



Kuva 12. Ratajohtoverkon tuntikohtainen kulutus kesäkuussa 2012 syöttöasemilta mitattuna. (Vantaan Energia 2012)

4.5 Suomen ja muiden pohjoismaiden sähkömarkkinoilla käytettävä sanomaliikenne ja tiedonsiirto

4.5.1 Sanomavälitys

EDI-tiedonsiirto (Electronic Data Interchange) tarkoittaa kahden sovelluksen välistä tiedonsiirtoa sovitulla tavalla. Suomen sähkömarkkinoilla on käytössä EDIEL (Electronic Data Interchange in Electricity) sanoma- ja tiedonvaihtomäärittely. Se on Pohjoismaisen Ediel Forumin kehittämä. Ediel-sanomat on standardoitu ja niiden kielioppi noudattaa EDIFACT-standardia (Electronic Data Interchange for Administration, Commerce and Transport). Sen avulla sähkömarkkinaosapuolet välittävät sähkökauppa- ja taseselvitystietoja toisilleen. Sanomat ovat määrämuotoisia ja ne on määritelty implementointi-oppaissa. Suomessa käytetyt sanomatyypit ovat seuraavat:

- MCONSON, Metered Services Consumption Report. Sanomaa käytetään toetuneiden mitattujen kulutusarvojen välittämiseen osapuolten välillä.
- DELFOR, Delivery Schedule Message. Sanomaa käytetään ennakoilmoitusten ja ennustusteiden lähetyksessä osapuolten välillä.
- PRODAT, Product Data Message. Sanomaa käytetään loppukäyttäjän käyttöpaikka- ja sopimustietojen välittämiseen. Sanomaa käytetään jakeluverkonhaltijan ja myyjän välillä.
- CONTRL, Acknowledgement / Rejection Advice Message. Sanomaa käytetään osapuolten välisten sanomien syntaksin kuittaukseen. Se kertoo vain, että sanoma on ehyt ja se on otettu vastaan.
- APERAK, Application Error and Acknowledgement Message. Sanomaa käytetään osapuolten välisenä sovellustason kuittausanomana. Se kertoo, onko sanomassa ollut tieto tullut oikealle vastaanottajalle ja onko sisältö liiketoimintaprosessin kannalta järkevää.

EbIX (European forum for energy Business Information eXchange) on jatkanut Ediel Forumin työtä Ediel-sanomien kehityksessä ja implementointioppaiden ylläpidossa. EbIX-kuvaukset määrittelevät ainoastaan sanomien sisällön ja ne voivat käyttää joko EDIFACT- tai XML-kielioppia (Extensible Markup Language) (ebIX 2008). XML on kielioppi, jolla tiedon merkitys voidaan kuvata tiedon sekaan. EbIX:in työ on viime vuosina keskittynyt yhä enemmän yhteisten liiketoimintaprosessien ja tiedonvaihtomallien kehitykseen ja XML-dokumentteihin.

Pohjoismaiden välillä on eroja käytetyissä sanomatyypeissä. Ruotsissa käytössä olevat UTILTS-sanomat (Utility Time Series Message) on laadittu uudemman ebIX-kuvauksen mukaisesti ja ne käyttävät EDIFACT-standardia. Sanomaa käytetään mittauksen, ennusteiden ja hintojen, ja niihin liittyvien teknisten ja hallinnollisten tietojen välittämiseen markkinaosapuolten välillä. Norjassa käytetään myös UTILTS-sanomia, mutta myös MCONSON:ia. (N.TSOs 2011) (UTILTS 2008)

4.5.2 Tiedonsiirto

Suomessa pääasiallinen tiedonsiirtotapa EDI-sanomille on FTP (File Transfer Protocol). Sanomat lähetetään tekstitiedostoina markkinaosapuolelta toiselle käyttäen EDIEL-operaattoreita, jotka reitittävät sanomia toimijoiden kesken. Jokaisella toimijalla on yksi osoite, jonne voi toimittaa ja jolta voi ottaa vastaan sanomat. (Segerstam 2013)

Muissa pohjoismaissa käytetään yleisesti SMTP-protokollaa eli sähköpostia. Tanskassa on käytössä data-hub. Data-hub on web-pohjainen rajapinta, jolla voidaan kerätä, jakaa ja käyttää tietoa osapuolten kesken. (N.TSOs 2011)

4.5.3 Liikenneviraston vastuulle kuuluvan mittaustiedon sanomavälitys ja tiedonsiirto

Liikenneviraston omien kulutuspisteiden tiedon siirtäminen mittauspalveluun tapahtuu GSM-modeemin avulla ja GPRS-tiedonsiirtotekniikalla (General Packet Radio Service). GPRS on GSM-verkossa toimiva pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu. (Rejlers Oy 2013)

Liikkuvan kaluston energian mittaustiedot pitää lähettää ensin junassa olevasta tiedonkeräysyksiköstä keräilypalvelimelle. Tämän tiedonsiirtoprotokollan ja sanomaformaatin määrittely on vielä avoin kohta yhteistoimivuuden teknisessä eritelmässä (ENE TSI 2013). Määrittelyn pitäisi valmistua viimeistään kahden vuoden sisällä siitä, kun kyseinen yhteentoimivuuden tekninen eritelmä on hyväksytty (ENE TSI 2013). Tämä yhteen toimivuuden tekninen eritelmä hyväksyttäneen vuoden 2014 aikana. Määrittelyn valmistumisen jälkeisiin mittauksiin pitää käyttää siinä valittua protokollaa.

VR:n ei ole järkevää viivyttää mittaroinnin aloittamista, vaikka protokollaa ei ole vielä vahvistettu. Junan ja keräilypalvelimen välisestä protokollan muutoksesta syntyvät kustannukset ovat suhteessa Exerin käytöstä jo parissa vuodessa saatavaan hyötyyn pieniä (katso luku 5.2). Keräilypalvelimelta tiedot lähetetään edelleen taseselvitysjärjestelmä Exeriin FTP:llä ja UTILTS-sanomilla.

Jos Liikennevirasto ottaisi Exerin heti käyttöön taseselvityksen osalta, Exeriin tarvittaisiin myös MSCONS-sanomien lähetys ja vastaanotto. Exeristä tasesähköyksikölle ja sähkönmyyjille lähetettävä tieto tulee olla Suomen sähkömarkkinoilla käytetty MSCONS-sanoma. Jos rautatieyrityksellä on vain yksi sähkönmyyjä, rautatieyrityksen kulutuksen summatiedon lähettäminen myyjälle riittää laskutukseen, mutta on myös mahdollista, että myyjä haluaa käyttöpaikkakohtaisen mittausdatan ymmärtääkseen paremmin energiataseensa muodostumista. Ratajohtoverkon rajapistemittaustietojen luennan syöttöasemilla hoitaa Liikenneviraston palveluntuottaja. Tähän käytetään myös MSCONS-sanomia ja nämä tiedot pitäisi lähettää tulevaisuudessa myös Exerjärjestelmään. Sanoma-asetuksen mukaan jokainen toimija on velvollinen varmistamaan lähettämiensä sanomien yhteensopivuuden sekä kykynsä vastaanottaa standardien mukaisia sanomia Suomen sähkömarkkinoilla. (809/2008 14§)

Suomen sanomaliikennejärjestelmä on kuitenkin muuttumassa yhteispohjoismaiseksi. Tätä varten on seuraavassa luvussa tarkasteltu NBS-projektin (Nordic Balance Settlement) etenemistä. Liikenneviraston taseselvitysjärjestelmän ylösajossa ja Erexin tehtävissä muutoksissa olisi järkevää, jos sanomaliikenne voitaisiin suoraan tehdä tulevaisuudessa käytettävään formaattiin. Toisaalta MSCONS-sanomamuunnos ei maksa kovin paljoa ja Erex-järjestelmän käyttöönottoa ei kannata hidastaa tästä syystä.

4.6 Nordic Balance Settlement ja sanomavälitys

Osana NBS-projektia Suomen, Ruotsin ja Norjan kantaverkkoyhtiöt ovat päättäneet edetä hankkeessa, jonka tavoitteena on kantaverkkotason ja tarjousalueiden välisen taseselvityksen harmonisointi. Mallissa on uusi yhteispohjoismainen taseselvitysryhmä, jolle ulkoistetaan taseselvityksen operatiivinen hoitaminen. Vastuu Suomen taseselvityksestä säilyy silti jatkossakin Fingridillä osana sen järjestelmävastuuta.

Muutoksen läpiviennin jälkeen tiedonvaihtomalli ja termien määrittely muuttuvat jonkin verran. Uutta mallia ei esitellä tässä työssä kovin tarkasti, koska kaikkia yksityiskohtia ei ole vielä sovittu ja vain muutokset, jotka koskevat verkonhaltijan toimintaa, ovat tämän työn kannalta keskeisiä.

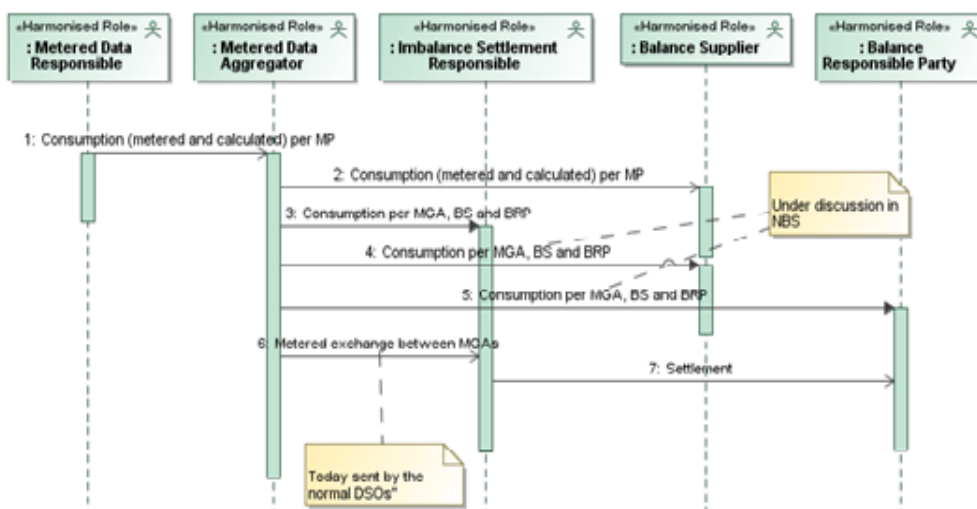
Verkkoyhtiön osalta tärkein muutos on siinä, että se lähettää mittausdatan, jonka se ennen lähetti Fingridin tasesähköyksikölle, yhteispohjoismaiselle taseselvitysryhmälle. Lähetysten aikaikkuna muuttuu myös 13 kalenteripäivään. Mittausdata lähetetään edelleen päivittäin, mutta alustavien tietojen lähetys tapahtuu 2 päivän sisällä. (NBS 2013c) Yhteispohjoismainen tasesähköyksikkö voi tiedon vastaanotettuaan alkaa suorittaa taseselvitystä ja kaikki pohjoismaiset tasevastaavat asioivat kyseisen tasesähköyksikön kanssa.

Tähän liittyen NEG (Nordic Ediel Group) on laatinut liiketoimintamallin, joka ottaa huomioon kaikki mahdolliset roolit, joita taseselvitykseen osallistuvilla osapuolilla voi olla. Roolit huomioidaan myös sanomaliikenteessä vastaanottajien ja lähettäjien yksilöinnissä. Verkonhaltijan roolit on lihavoitu luettelossa. Erilaisia rooleja ovat muun muassa (NBS 2013a):

- Yhteispohjoismainen tasesähköyksikkö (Imbalance Settlement Responsible, ISR), joka selvittää tasesähkön määrän
- Tasevastaava (Balance Responsible Party, BRP), joka vastaanottaa toimijakohtaisen summamittaus-tiedon ja käyttöpaikkakohtaisen mittausdatan laskuttaakseen taseentuottajaa.
- Sähkönmyyjä (Balance Supplier, BS), joka saa käyttöpaikkakohtaisen tiedon verkon käyttäjistä ja laskuttaa heitä.
- Markkinaoperoija (Market operator, Nord Pool Spot), joka määrittää aluekohtaiset pörssihinnat ja välittää yhteispohjoismaiselle tasesähköyksikölle Elspot- ja Elbas-markkinatiedot.
- **Mittausdatan kerääjä (Metered data aggregator)**, joka kerää mittausdatan yhteen ja lähettää summatoimitustiedot yhteispohjoismaiselle tasesähköyksikölle (verkonhaltija).
- **Mittausdatasta vastaava toimija (Metered data responsible)** (verkonhaltija).

- Kantaverkkoyhtiö (System operator), joka toimittaa lopulliset aikatauluja verkon aktivoitujen reservien tiedot Yhteispohjoismaiselle tasesähköyksikölle.
- Sähkön vähittäismyyjä (Trader)
- Osapuoli, jolla on sopimus kuluttaa sähköä verkosta tai tuottaa sähköä verkkoon. (Party Connected To Grid)

Kuvan 13 sekvenssidiagrammi kertoo verkonhaltijan tai sen palveluntuottajan sanomavälityksen NBS-mallissa. Kuten kuvasta nähdään, on myös mahdollista, että mitaustieto pitää lähettää lisäksi taseen tuottajien tasevastaaville, mutta tästä ei ole vielä tehty lopullista päätöstä. Kuvan lyhenne per MP (metering point) tarkoittaa mittarikohdasta kulutusta, MGA (Metering Grid Area) tarkoittaa verkonhaltijan rajapistemittausten rajaamaa verkkoa ja DSO (Distribution System Operator) verkonhaltijaa. Muut käytetyt lyhenteet voi löytää yllä olevasta listasta.



Kuva 13. Verkonhaltijan lähettämä mitaustieto eri osapuolille NBS-mallissa. (Nesvik 2013)

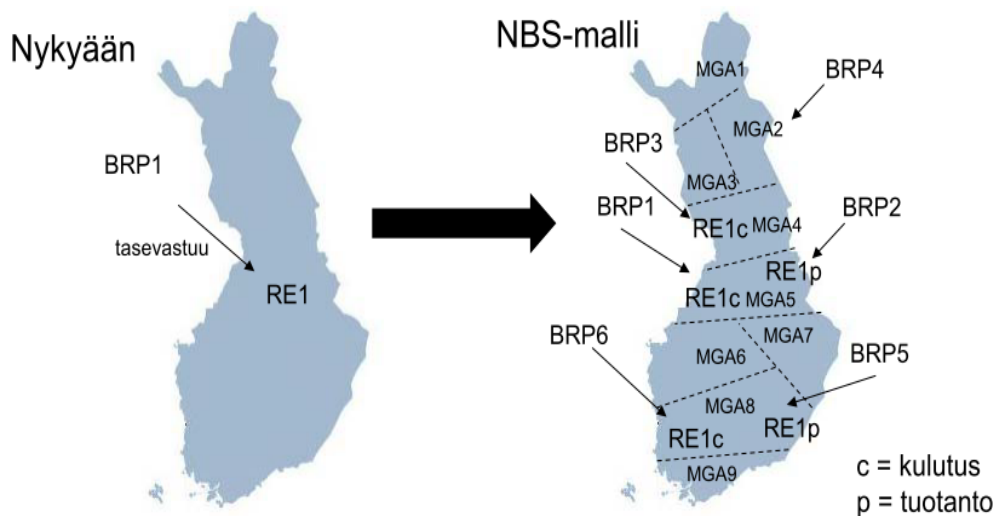
NBS hankkeen edetessä myös sanomavälitys pitää harmonisoida. Suunnitelmien mukaan kansalliset EDIEL-sanomat vaihdetaan ENTSO-E/XML-formaattiin tukkumarkkinoilla, ennusteissa ja toimitussuunnitelmissa ja ebIX-kuvaukseen mitaustietojen raportoinnissa. (NBS 2013a) ENTSO-E (European Network Transmission System Operators for Electricity) on kantaverkkoyhtiöiden maidenvälisessä sanomaliikenteessä jo käytetty formaatti. ENTSO-E noudattaa XML-kielioppia.

EDIFACT oli johtava kielioppi sähköisen datan vaihdossa 1990-luvulla. Tämän jälkeen XML on ottanut johtopaikan. Internetissä yleisin tiedonsiirtoprotokolla on HTTP ja tiedonvaihdossa informaation pakkaaminen tapahtuu XML-kieliopilla.

NBS-projektissa ebIX-kuvaukseen perustuvat sanomat toteutetaan lähes varmasti XML-kieliopilla, koska yleinen tietoliikennealan kehitys tukee tätä. Mitaustietojen kerääjän lähettämät sanomat myyjille, yhteispohjoismaiselle tasesähköyksikölle ja rajapistemittausten osalta naapuriverkkoyhtiöille ovat tällöin kaikki samaa tyyppiä ebIX/XML (E31, E44). Liitteessä 2 on nähtävillä tämän sanoman sisältö. (NBS 2013b)

NBS-mallin tiedonsiirtoprotokollan määrittely on vielä auki. Mahdollisia vaihtoehtoja ovat FTP, SMTP ja MADES. MADES (Market Data Exchange Standard) on ENTSO-E:n kehittämä verkkopalvelupohjainen standardi dokumenttien vaihtoon. Sen etuna ovat sanomien salaus ja tehokas pakkaaminen. XML-sanoman koko on noin viisi kertaa EDIFACT-sanoman koko. (Statnett)

NBS-malli hajauttaa myös tasevastaavien vastuita. Nykytilanteessa yhdellä sähkömyyjällä (Retailer, RE) on Suomessa aina yksi tasevastaava (BRP). NBS-mallissa yhdellä myyjällä voi olla eri tasevastaava eri verkkoalueilla. Myös tuotannolle ja kulutukselle voi olla eri tasevastaavat. Nykytilannetta ja NBS-mallia on selvennetty kuvassa 14.



Kuva 14. NBS mallissa sähkömyyjällä voi olla eri tasevastaava eri verkkoalueilla. (NBS 2013c)

Tässä diplomityössä tehdyn tulkinnan mukaan ratajohtoverkkoa pidetään omana verkkoalueenaan (MGA). Tulkinta pohjautuu siihen, että sähkömarkkinalain mukaan kiinteistöverkkoon liittyneet asiakkaat eivät ole jakeluverkkoon liittyneitä asiakkaita, jos loppukäyttäjä ei tee erillistä liittymissopimusta paikallisen jakeluverkkoyhtiön kanssa ja siihen, että Liikennevirasto verkonhaltijana tekee myös oman taseselvityksensä ja sen verkko on rajattu rajapistemittauksin. Tällöin verkkoalue ei vaihtuisi kaluston liikkuessa ja rautatieyrityksen sähkömyyjän tasevastaava ei voisi vaihtua, vaikka ratajohtoverkkoa syöttävä asema ja siihen liitetty 110 kV:n suurjännitteisen jakeluverkonhaltija vaihtuisi. Tulkinnan oikeellisuus on hyvä vielä varmistaa Energiavirastolta, kun NBS-malli on otettu käyttöön.

NBS-mallissa mittaustietoon tulee liittää hinta-alue ja verkkoalue. Exex-ohjelmistossa on tämä toiminto jo olemassa. Allokaatio perustuu mittaustiedon GPS-koordinaatteihin. Suomi on kuitenkin aina samaa hinta-alueita. Jos myös ratajohtoverkko on samaa verkkoaluetta, ei mittaustietoa tarvitsisi jakaa koordinaattien mukaan.

Nordic Energy Regulator-järjestö (NordREG) on asettanut tavoitteen, että uutta järjestelmää aletaan testata jo 2015 vuoden alusta ja siihen siirryttäisiin lokakuussa 2015 Suomen, Ruotsin ja Norjan osalta. (ERESS/TPA 2013) NBS-projektin on tarkoitus johdattaa lopulta yhteispohjoismaisiin sähkön vähittäismarkkinoihin.

4.7 Erex

Erex-järjestelmä otetaan käyttöön ratajohtoverkon taseselvityksen osalta vasta, kun vanhasta taseselvitysmallista on päätetty luopua. Valmius uuteen malliin siirtymiseen on olemassa, kun Liikenneviraston kulutuspisteet on mittaroitu etäluettaviksi ja on kehitetty tapa, jolla tiedot lähetetään sähkömarkkinoille Erex-järjestelmästä. Sysäyksen uuteen malliin siirtymiseen antaa viimeistään uuden rautatieyhtiön liittyminen ratajohtoverkkoon.

Liikkuvan kaluston energian kulutuksen seurannan osalta Erexia voidaan jo hyödyntää. Tällä hetkellä ainoastaan yksi Sr1- ja Sr2-veturi on mittaroitu ja ne lähettävät kulutustietonsa Erexiiin. Vetureita ja junia liitetään Erexiiin sitä mukaa, kun niitä on mittaroitu.

Liikenneviraston liittymissopimuksessa ERESSiin tavoitteeksi asetettiin, että ainakin 80 % Suomen veturi- ja junakalustosta olisi mittaroituna 1.1.2017 mennessä ja 100 % 1.1.2023 mennessä. Mittaroinnin eteneminen riippuu kuitenkin VR:n aikataulusta.

4.7.1 Erot muihin ERESS-jäsenmaihiin

Muiden ERESS-jäsenmaiden Erex-järjestelmän käyttö eroaa tällä hetkellä oleellisesti Liikenneviraston aikomasta käytöstä. Muiden jäsenmaiden infranhaltijat toimivat myös energian myyjinä rautatieyhtiöille ja käyttävät Erexia myös energiankäytön laskutukseen. EU-säädökset velvoittavat kuitenkin myös muita EU-jäsenmaita avaamaan ratajohtoverkkonsa vapaille sähkömarkkinoille. Tästä käytetään usein nimitystä Third Party Access (TPA). (ERESS 2010b) Muiden ERESS-maiden rautatieyhtiöt eivät kuitenkaan ole ainakaan vielä ilmaisseet halukkuuttaan oman energiantoimittajansa valintaan. Sähkönsopimusten neuvottelu ei kuulu heidän ydinliiketoimintaansa. Rautatieyhtiöiden pääasiallisena huolena on tuotu esiin kilpailukykyisen hinnan saaminen, koska rautateiden tasesähkön kustannukset saattavat nostaa myyjän marginaaleja. (ERESS/TPA)

Muissa ERESS-jäsenmaissa ratajohtoverkon kilpailulle avautumisen lähtökohtana on, että rataverkonhaltija jäisi näissä maissa edelleen niin sanotuksi toimitusvelvolliseksi myyjäksi. Se myisi sähkön rautatieyhtiölle, jos rautatieyhtiö ei halua ostaa sähköä vapailta sähkömarkkinoilta. Näin ei ole tarkoitus menetellä Liikenneviraston verkossa ja kaikki osapuolet ostavat sähkönsä vapailta sähkömarkkinoilta omilla sopimuksillaan. Liikennevirasto laskuttaa rataverkon käyttäjiä ainoastaan energian siirrosta. Siirtohinnoista (luku 4.8) voidaan asettaa Erexiiin, jolloin järjestelmä laskee osapuolikohtaisen sähkön siirron laskutuksen valmiiksi ja lähettää tiedon Liikenneviraston laskutusjärjestelmään.

Liikenneviraston taseselvitystä Erexissä helpottaa oleellisesti myös se, että Suomen alue on aina samaa Nord Poolin hinta-alueetta. Mittaustietoa ei tarvitse allokoida sen mukaan, millä hinta-alueella juna on liikkunut. Junat eivät myöskään liiku Suomesta muiden Nord Pooliin kuuluvien maiden ratajohtoverkkoihin. Mittaustiedon tuonnissa Erexiiin on hyvä huomioida myös Suomen tunnin aikaero muiden jäsenmaiden käyttämään Keski-Euroopan aikaan.

4.7.2 Erex-järjestelmän käyttö muissa jäsenmaissa

Rataverkonhaltijat Jernbaneanverket, Trafikverket ja Banedanmark ovat tehneet puitesopimuksen energiamittareista ja junassa olevasta tietojärjestelmästä Elster EnergyICT:n kanssa. Rautatieyritykset voivat ostaa niitä suoraan tai ne veloitetaan hallinnointikuluina myöhemmin, kuten luvussa 4.2.1 todettiin. EIServer on Elster EnergyICT:n toimittama tiedonkeräilypalvelin, johon Elster EnergyICT:n mittarit lähettävät tiedot junista. ERESS hallinnoi EIServeriä. EIServerillä data validoidaan ennen kuin se lähetetään Erexiiin käyttäen UTILTS-sanomia. EIServeriä voidaan myös käyttää kahden suuntaiseen kommunikointiin junassa olevan mittarin kanssa, jos mittarin ohjelmistoa tarvitsee päivittää tai sen vikaantumista selvittää. EIServer ja junassa oleva energiamittari muodostavat yhdessä älykkään mittarijärjestelmän. Erexin taseselvitysjärjestelmässä data, jota ei ole kyetty validoimaan EIServerillä, korvataan junatyypeille arvioituilla energia-avaimilla (Norja ja Ruotsi kWh/bruttotonnikilometri ja Tanska kWh/km). Tämä ei ole automaattinen prosessi Erexissä, vaan tietojen syöttö vaatii käyttäjän huomiota

Toinen vaihtoehto rautatieyritykselle on käyttää omaa riippumatonta tiedonkeräilypalvelinta, johon se kerää kootusti mittaustietonsa. Tällöin data lähetetään tiedonkeräilypalvelimelta Erexiiin käyttäen UTILTS-sanomia. Sanoma menee ensin Erexin Exchange-moduliin, jossa datalle suoritetaan yleinen validointi. Tämä yleinen validointi ja UTILTS-sanomat on kuvattu UIC leaflet 930:ssa (UIC 930). Exchange modulissa dataa ei korjata (poikkeuksena lyhytaikainen sijaintitieto), mutta data merkitään, jos se ei läpäise validointia. Erex Exchange-moduulin validointitoimintoja ollaan kehittämässä, koska riippumattomien keräilypalvelinten käytön ennakoidaan kasvavan ja painopistettä EIServerin datan validoinnissa halutaan vähentää.

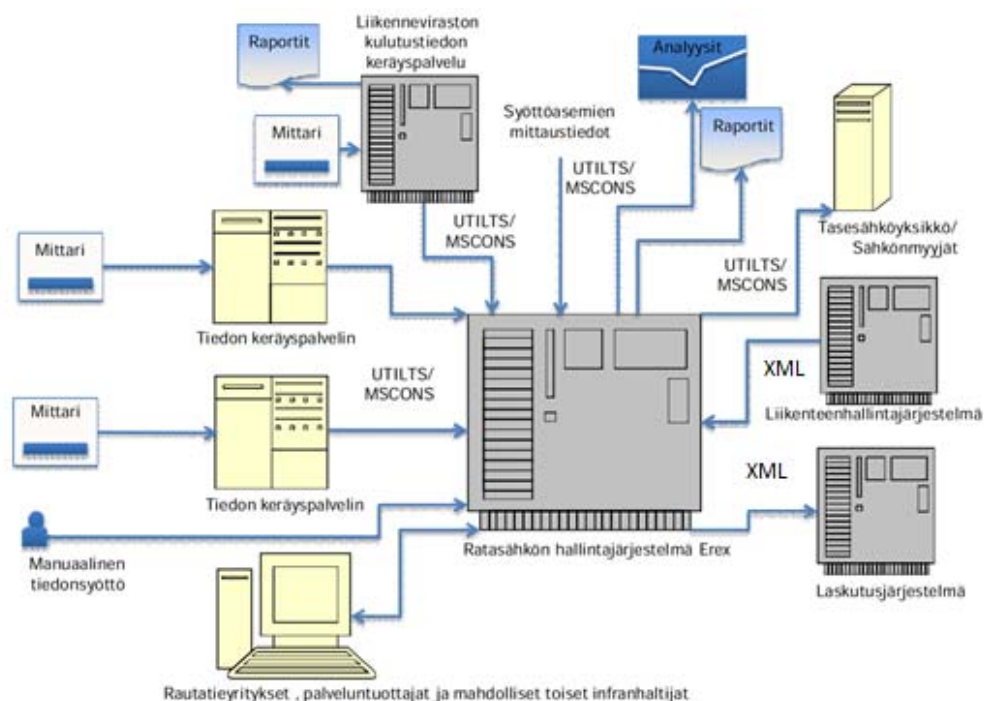
Exchange-moduulista data menee Erexin taseselvitysjärjestelmään. Belgian tapauksessa Erexin taseselvitysjärjestelmässä mittaustiedolle tehdään TMS-validointi. Siinä käytetään heidän oman liikenteen hallintajärjestelmänsä (Traffic Management System) tuottamaa dataa. Tässä prosessissa TMS-dataan ja siitä laskettua energia-avainta verrataan mittarin lähettämään dataan. Eri parametrien vertailun pitää pysyä määriteltyn raja-arvojen päässä toisistaan, jolloin mittarin lähettämä data läpäisee validoinnin. TMS-data tuodaan Erexiiin käyttämällä XML-kielioppia ja verkkopalvelua (ERESS 2010). Belgiassa rautatieyritykset hallinnoivat ja omistavat käyttämänsä keräilypalvelimet. Infrabellilla ei ole oikeuksia niiden käyttöön. Infrabel on kuitenkin vastuussa mittaustiedon oikeellisuudesta. Käytäntö on, että Infrabel vahvistaa datan oikeellisuuden sen läpäistessä TMS-validoinnin.

Jos mittaustietoja puuttuu, Erex lähettää Belgian rautatieyritykselle automaattisen pyynnön tarkistaa puutteet. Vasta, jos mittaustietoa ei saada vaaditussa aikaikkunassa tai data ei läpäise validointia, korvataan se TMS-datan pohjalta lasketulla energia-avaimella. TMS-datan käyttö validoinnissa on havaittu toimivaksi menettelyksi. Ja myös Virgin Rail Isossa Britanniassa käyttää sitä. Esimerkiksi Norjassa se ei ole käytössä, koska heidän TMS-järjestelmänsä sisältämä tieto ei ole vielä riittävää validointiprosessiin.

Tällä hetkellä ERESS tutkii myös mahdollisuutta, miten energiadata voitaisiin lähettää suoraan junassa olevasta (on board) tietojärjestelmästä Erexiiin (ERESS 2013a). Tulevaisuudessa tämä voisi olla tehokkain toimintatapa, koska rautatieyritys ei enää tarvitsi erillistä tiedonkeräilypalvelinta.

4.7.3 Erex-järjestelmän suunniteltu käyttö Suomessa

Liikenneviraston kulutuspuisteiden luennasta ja tiedonsiirrosta vastaavaksi palveluntuottajaksi valikoitui Rejlers Oy. Mittauspalvelu sisältää myös syöttöasemien mittaus-tiedonsiirron. Sopimus on voimassa vuoden 2018 loppuun asti. Palveluntuottaja kerää mittaustiedot Liikenneviraston omalle tiedonkeräilypalvelimelle. Ennen kuin Erex on otettu taseselvityksen osalta käyttöön ja niin kauan kuin ratajohtoverkossa on vain yksi myyjä, riittää, että palveluntuottaja lähettää syöttöasemien tuntikohtaisen summatie-don tasesähköyksikölle. Sähkönmyyjälle se lähettää lisäksi Liikenneviraston tuntikoh-taisen summakulutustiedon, jotta VR:n ja Liikenneviraston kulutukset voidaan erottaa laskutuksessa. Erexin käyttöönoton jälkeen palveluntuottaja lähettää kulutuksen sum-matietona Erexiiin, josta mittaustieto välitetään sähkömarkkinoille. Liikenneviraston omaa käyttöpaikkakohtaista kulutusta on mahdollista tarkastella omalla tiedonkeräi-lypalvelimellä. Kuvaan 15 on koottu Erex-järjestelmän suunniteltu käyttö Suomessa.



Kuva 15. Erex-järjestelmän suunniteltu käyttö Suomessa.

Erexiiin jo testikäytössä kytketyissä Sr1 ja Sr2 vetureissa on Elster EnergyICT:n toimit-tamat LEM-sähköenergiamittarit ja niihin liitetyt tiedontallennusjärjestelmät WebRTU Z1-Rail. (Rejlers 2012) Elster EnergyICT:n tiedontallennusjärjestelmä lähettää mittari-kohtaisen datan eteenpäin EIserverille, jossa data validoidaan. Jatkossa on kuitenkin mahdollista, että VR hankkii koko kalustoonsa mittarit ja tiedontallennusjärjestelmät joltain toiselta valmistajalta, kun se on ensin kilpailuttanut vaihtoehdot. Tällöin VR hankkii myös oman keräilypalvelimen, jonka kautta tiedot lähetetään Erexin Exchange-moduuliin mittarikohtaisesti. Muita tällä hetkellä Erexiiin lähetettäviä tiedonkeräilypal-velimia ovat esimerkiksi Saphymon Gaia- ja Far Systemsin Far-palvelin.

Uuden rautatieyrityksen tullessa Suomen rataverkolle on sillä lähtökohtaisesti etäluettavat mittarit jo valmiiksi vetureissaan. Jos näin ei ole, voi Liikennevirasto konsultoida niiden hankinnassa ja asennuksessa ennen liikennöinnin aloittamista. Helpoin tapa on tilata mittarit Elster EnergyICT:ltä, jolloin uusi rautatieyritys ei tarvitse omaa keräilypalvelintä.

Liikennevirastolle ja rautatieyrityksille annetaan myös internetpohjaiset tunnuksot Erexiiin, joilla osapuolet voivat seurata omaa energian kulutustaan. Luvussa 5 on käsitelty energian käytön seurannan tuomia potentiaalisia säästöjä.

LIIKE-järjestelmä

LIIKE on ratakapasiteetin hallinnan tietojärjestelmä. Sen käyttäjiä ovat mm. liikenteenohjaajat, aikataulusuunnittelijat eri organisaatioissa ja radanpidon töiden suunnitteluun osallistuvat tahot.

Suunnitelman mukaan myös LIIKE-järjestelmästä saatava kalustokohtainen tieto tuotaisiin Erex-järjestelmään. Tähän on tarkoitus käyttää samanlaista menettelyä kuin luvussa 4.7.1 kuvatussa Belgian tapauksessa. Tätä varten LIIKE-järjestelmään pitää vielä lisätä kalustokohtainen UIC/ERA:n määrittelemä EVN-numero (European Vehicle Number), jolloin tiedot osataan yhdistää vastaavaan kulutukseen. Tällä hetkellä LIIKE-järjestelmässä näkyy vain aikataulun mukainen junan numero. Kun EVN-numero on saatu LIIKE-järjestelmään (tavoite vuoden 2014 aikana), Liikenneviraston aikomuksena on testata LIIKEn toimivuutta TMS-validoinnissa.

4.7.4 Erex-järjestelmän kustannukset

ERESSin neljännesvuosittain jäsenilleen laatimassa tilanneraportissa Erex-järjestelmän kehittämiseen ja käyttöön liittyvät kustannukset jaetaan investointikustannuksiin ja operatiivisiin kustannuksiin. Operatiiviset kustannukset on jaoteltu vielä erikseen. Ne koostuvat EIserversiin liittyvistä operatiivisista kustannuksista (Operational cost metering and data collection), Erexin yhteisistä operatiivisista kustannuksista (Operational cost Erex) sekä jäsenmaalle tai asiakkaalle mahdollisesti syntyvistä erillisistä osapuolikohtaisista operatiivisista kustannuksista. (ERESS 2013b)

Investointikustannukset

Investointikustannukset jaetaan jäsenmaiden kesken tasan. Vuonna 2013 arvioidut investointikustannukset olivat noin 770 000 € ja Liikenneviraston osuus tästä oli viidesnes 154 000 €. (ERESS 2013b) Erex olisi hyvä saada kattavaan käyttöön mahdollisimman nopeasti, koska vuosittaisia Erex-investointikustannuksia joudutaan jo maksamaan. VR:n kaluston mittarointia tulisi kiirehtiä.

EIserversiin liittyvät operatiiviset kustannukset

EIserversiin liittyvät operatiiviset kustannukset jaetaan EIserversiin liitettyjen Elster EnergyICT:n toimittamien energiamittareiden lukumäärän mukaan. Kustannukset sisältävät mittareiden hallinnan, tiedon keräyksen, validoinnin EIserversillä, vikojen selvityksen ja tiedon lähettämisen Erexiiin. Vuoden 2013 arvio näistä kustannuksista oli noin 265 000 €. Toisen kvartaalin lopussa EIserversiin oli liitettynä 663 mittarointia vetokalustoyksikköä (Gulbrandsen). Kustannuksia oli jakamassa 758 energiamittaria,

sillä joissain junissa on useampi mittari. Määrä on kasvussa, sillä Energy ICT:ltä tilattujen vielä asentamattomien mittarien määrä oli samaan aikaan noin 400 kappaletta. Suurin osa uusista Elster EnergyICT:n –mittareista asennetaan Ruotsin ja Norjan rautatieyrityksille. (ERESS 2013a)

Erexin yhteiset operatiiviset kustannukset

Erexin yhteiset operatiiviset kustannukset jakavat kaikki Erexiiin liittyneet tahot, jäsenet, testikäyttäjät ja muut yksityiset asiakkaat kuten Virgin Rail -rautatieyrittäjä Isossa Britanniassa. ERESSin ohjausryhmän kokouksessa on linjattu, että jakoperusteena jäsenmaalle on koko juna- ja veturikaluston määrä. Määrä ei riipu siitä kuinka paljon jäsenen kalustoa on mittaroituna. Erexiiä käyttäville yksityisille yrityksille ja testikäyttäjille jakoperusteena on niiden Erexiiin liitetyn kaluston määrä. (Gulbrandsen)

Liikennevirastolle on annettu siirtymäaika Erexin käyttöönotossa, sillä kalustoa ei ole vielä mittaroitu. Siirtymäaikana Erexin yhteisten operatiivisten kustannusten laskutus on kevennettyä. Vuoden 2017 alkuun asti kustannusten kohdentaminen tapahtuu mittaroidun kaluston määrän mukaan. Tämän jälkeen näiden kustannusten kohdentamisperusteeksi muuttuu 80 % koko Liikenneviraston rataverkossa olevasta kalustosta. Jos vuoteen 2017 mennessä kalustosta on jo mittaroituna yli 80 %, on kohdentamisperusteena kuitenkin mittaroidun kaluston määrä. Vuoden 2023 alusta kohdentamisperusteena on 100 % kalustosta. Järjestelyllä on samalla luotu aikataululliset tavoitteet kaluston mittaroinnille.

Vuoden 2013 arvio Erexin operatiivisista kustannuksista oli noin 1 250 000 €. (ERESS 2013b) Vuoden 2013 toisen kvartaalin lopussa näitä kustannuksia oli jakamassa 3028 yksikköä. Arvioitu yksikkökustannus on näin ollen noin 410 €/yksikkö.

Erexiiin liittyneiden yksiköiden määrä on tasaisessa kasvussa. Vuoden 2013 ensimmäisellä kvartaalilla yksiköitä oli 2952. Luku nousi Norjan ja Belgian vetokaluston määrän kasvun myötä. Uusien maiden liittyessä jäseniksi yksikkömäärä voi nousta kerralla paljonkin. ERESS arvioi operatiivisten yksikkökustannusten laskevan merkittävästi tulevina vuosina. ERESSin ennuste vuodelle 2015 operatiivisten kustannusten suuruudeksi on noin 740 000 €. Vetokaluston kokonaismäärän arvioidaan samalla kasvavan 4929:ään. Tämä tarkoittaisi vain noin 150 € yksikkökustannusta. (Gulbrandsen 2013)

Osapuolikohtaiset kustannukset

ERESS laskuttaa myös erikseen jäseniään, jos kyseisen maan rautatieyrityksen mittareissa on havaittu ongelmia ja korjaamiseen on tarvittu erillisiä toimenpiteitä. Norjassa ERESS tekee myös markkinointityötä maan rautatieyrityksille ja tämä laskutetaan erikseen Norjan rataverkon haltijalta. (Gulbrandsen 2013)

4.8 Sähkön siirron hinnoittelu

4.8.1 Hinnoittelu menetelmänä

Yrityksen hinnoittelussa tuotteitaan voidaan teoreettisesti nimetä kolme erilaista lähestymistapaa. Ne ovat kustannussuuntautunut hinnoittelu, kilpailusuuntautunut hinnoittelu ja markkinasuuntautunut hinnoittelu. Kirjallisuudessa näitä käsitellään monesti kilpailevina hinnoittelumenetelminä. Yleensä yhtiön pitää kuitenkin ottaa kaikki

kolme näkökulmaa huomioon, jotta hinnoittelu takaa parhaan taloudellisen tuloksen. General Motorsin pääjohtaja teki samanlaisen päätelmän jo vuonna 1958 vertaamalla hinnoittelua kolmijalkaan (Alfred 1972). Kustannussuuntautuneessa hinnoittelussa keskitytään yritykselle tuotteesta tai palvelusta aiheutuviin kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin sekä kapasiteetin käyttöasteeseen. Kilpailusuuntautuneessa hinnoittelussa hinnan asetannan lähtökohtana on kilpailijoiden hintataso. Markkinasuuntautuneessa hinnoittelussa hinnoittelu tapahtuu kysynnän ja asiakkaiden tuotteesta tai palvelusta kokeman arvon perusteella. (Wihinen 2012)

Markkinarakenne vaikuttaa hinnoitteluun. Yleisesti on olemassa neljä erilaista rakennetta: täydellinen kilpailu, monopolistinen kilpailu, oligopoli ja monopoli. Nämä eroavat ostajien ja myyjien määrässä, tuotteen suhteellisessa ainutlaatuisuudessa ja markkinoille tulon ja poistumisen helppoudessa. Monopolissa markkinoille tulon raja-aidat ovat niin korkeat tai tuote on niin uniikki, että vain yksi yhtiö myy tuotetta markkina-alueella. Tällainen markkina-asema antaa yhtiölle mahdollisuuden asettaa hinnan halumalleen tasolle. Monopolitoiminnassa hinnoittelun kohtuullisuudesta eivät huolehdi kysynnän ja tarjonnan lait kuten luokittelun toisen ääripään täydellisen kilpailun tapauksessa. Yleensä tämä ei kuitenkaan tarkoita monopolissakaan sitä, että kuluttaja ostaa tuotetta, jos sen hinta on asetettu liian korkeaksi. Monopolin heikkoutena voidaan myös pitää sitä, että kilpailun puute ei automaattisesti ohjaa tehokkaaseen toimintaan monopoliyhtiössä. (Hansen 2006)

Hinnoittelu sähköverkoissa ja ratajohtoverkossa

Monopolia kutsutaan luonnolliseksi silloin, kun taloudellisesti tehokkain tila saavutetaan yhdellä toimijalla ja samanaikaisesti uuden toimijan markkinoille tulo ei ole kannattavaa (Mosca 2008). Sähköverkkotoiminta katsotaan yleisesti luonnolliseksi monopoliksi. Verkkoinfrastruktuurin rakentamiskustannukset ovat niin korkeita, että rinnakkaisia verkkoja ei kannata rakentaa. Luonnollisen monopolin määrittelyn täyttävälle liiketoiminnalle vapaa kilpailu ei ole toimiva hinnan sääntelymekanismi, koska kilpailu aiheuttaa toimijoiden yksikkökustannusten nousun (Knight et al.2010). Kokemusten mukaan toimilupaan perustuva monopoli on kustannustehokkain toimintamalli sähköverkoissa (Filippini 1998).

Suomessa sähkön jakeluverkot ovat pääosin yksityisessä tai paikallisen kunnan omistuksessa olevia monopoleja. Myös rautatiet voidaan nimetä luonnolliseksi monopoliksi tietyllä maantieteellisillä alueilla, koska rautateiden rakentaminen on markkinoille tulon osalta kallista. Ratajohtoverkko ja rataverkko ovat Liikenneviraston hallinnoimia ja siten valtion omistamia luonnollisia monopoleja.

Sähkö on nyky-yhteiskunnassa välttämättömyshyödyke. Monopolistisessa asemassa oleva jakeluverkonhaltija voisi pyytää sähkön siirrosta korkeitakin hintoja, jos hinnoittelua ei olisi erikseen säännelty laissa kohtuulliseksi. Jakeluverkkotoiminnan laskennallista voittotasoa ja operatiivisia kuluja säännellään tiukasti erikseen Energiaviraston toimesta. Energiaviraston valvonta ei kuitenkaan ulotu ratajohtoverkkoon, koska Energiavirasto ei edellyttänyt Liikennevirastolta verkkolupaa (Dnro 1013/410/2013). Energiaviraston valvontamethodiikka käsitellään kuitenkin lyhyesti luvussa 4.8.2, jotta muodostetaan käsitys jakeluverkkotoiminnan kohtuullisesta hinnoittelusta.

Rataverkonhaltijan asettamien maksujen suuruus on erikseen säänneltyä. Rautatiepuolen direktiivi 2012/34/EU antaa ohjeistuksia rataverkonhaltijan hinnoitteluperiaatteista ja määrää myös sääntelyelimestä, joka valvoo raideliikenteen hinnoittelua (luku 4.8.3).

Sääntelystä johtuen sähkön siirron hinnoittelussa ja rataverkonhaltijan asettamissa maksuissa kustannussuuntautunut hinnoittelu on määräävä lähestymistapa.

4.8.2 Jakeluverkkotoiminnalle asetetut velvoitteet siirron hinnoittelulle

Jakeluverkkotoiminta vaatii aina Energiaviraston myöntämän luvan. Jakeluverkon sähkön siirtohinnoittelua ohjaa sähkömarkkinalaki ja sen noudattamista valvoo Energiavirasto. Energiaviraston valvontamodiikka kohdistuu verkkoyhtiön suurimpaan sallittuun liikevaihtoon. Liikevaihtoon saavat sisältyä verkon jälleenhankinta-arvosta määritetyt tasapoiot, historialliset operatiiviset kustannukset ja niihin liittyvä tehostamislisä ja verkkoon sitoutuneesta pääomasta laskettu sallittu tuotto. Valvontamodiikkaan on myös sisällytetty sähkön laatu- ja luotokannustin, verkon investointikannustin ja innovaatiokannustin, jotka nostavat sallittua liikevaihtoa. Kilpailun puuttuessa tehostamislisällä ja kannustimilla pyritään luomaan olosuhteet, joilla verkonhaltijan kannattaa panostaa myös toiminnan kehittämiseen. Valvontamodiikkaa päivitetään neljän vuoden sykleissä saatujen kokemusten perusteella. Valvonta on luonteeltaan jälkikäteistä. (Energiavirasto 2014)

4.8.3 Direktiivin 2012/34/EU hinnoitteluperiaatteita rataverkonhaltijalle

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/34/EU yhtenäisestä eurooppalaisesta rautatiealueesta on annettu 21.11.2012 ja se tuli voimaan 15.12.2012. Sen mukaan sähkönsiirtolaitteiden käyttö kuljetusvirran saamiseksi sisältyy rautatieyrityksille tarjottavissa palveluissa vähimmäiskäyttömahdollisuuksiin. Direktiivin 31 artiklan mukaan: ”Vähimmäiskäyttömahdollisuuksista perittävät maksut on vahvistettava niiden kustannusten perusteella, jotka aiheutuvat suoraan junaliikenteen harjoittamisesta.” Lisäksi 31 artiklassa todetaan, että infrastruktuurimaksuihin voidaan kuitenkin sisällyttää myös rautatieyritysten liikennöintiä ohjaavaa hinnoittelua, jos kyseessä on kapasiteetin niukkuus ja tästä johtuva ylikuormitus määriteltynä aikoina tai ympäristövaikutukset. Direktiivin 31 artiklassa todetaan myös, että ennen päivämäärää 16.6.2015 komissio hyväksyy toimenpiteitä, joilla vahvistetaan yksityiskohtaisesti säännöt junaliikenteen harjoittamisesta suoraan aiheutuvien kustannusten laskemiseksi.

Direktiivin 32 artikla sisältää lisäksi poikkeuksen hinnoittelussa markkinoiden sen salissa: Jäsenvaltio voi periä rataverkonhaltijalle aiheutuneet kustannukset rautatieyritykseltä myös täysimääräisesti toimivien, läpinäkyvien ja ketään syrjimättömien periaatteiden perusteella, taaten kuitenkin samalla rautatiealan markkinasegmenttien parhaan mahdollisen kilpailukyvyn. Näitä markkinasegmenttejä pitää olla ainakin kolme: tavaraliikenne, julkisia palveluhankintoja koskevan sopimuksen puitteissa harjoitettava henkilöliikenne ja muu henkilöliikenne.

Rataverkonhaltijan asettamien maksujen tulee olla julkisia ja ketään syrjimättömiä. Rautateiden kansallinen sääntelyelin Trafissa valvoo niiden tasapuolisuutta Direktiivin 2012/34/EU periaatteiden mukaisesti. Rautatieyrityksellä on oikeus hakea muutosta sääntelyelimeltä, jos se kokee tulleen kohdelluksi epäoikeudenmukaisesti hinnoittelussa. (Direktiivi 2012/34/EU)

4.8.4 Ratamaksu

Suomessa vuonna 2013 noin 10 % ratainfrastruktuurin kustannuksista on sisällytetty rautatieyrittäjiltä erikseen kerättävään ratamaksuun. Ratamaksu koostuu perusmaksusta, rataverosta ja investointiverosta. Ratamaksun perusmaksun suuruus on säädetty liikenne- ja viestintäministeriön asetuksessa (1084/2009). Ratamaksua vastaan rautatieyrittäjä saa oikeuden käyttää raideverkkoa ja liittyä ratajohtoverkkoon. Ratamaksun määräytymisperusteena on bruttotonnikilometri. Perusmaksu on tavaraliikenteelle 0,135 senttiä/bruttotonnikilometri ja henkilöliikenteelle 0,1308 senttiä/bruttotonnikilometri. Siihen sisältyy myös ympäristövaikutuksia kuvaava komponentti ja siksi ratavero on pienempi sähkövetoiselle (0,05 senttiä/bruttotonnikilometri) kuin dieselvetoiselle kalustolle (0,1 senttiä/bruttotonnikilometri). Investointivero on lisäksi käytössä uudella Kerava-Lahti rataosuudella (0,5 senttiä/bruttotonnikilometri). Direktiivin 2012/34/EU mukaan myös päätösvalta ratamaksusta kuuluu Liikennevirastolle. Tähän liittyen uutta rautatielakia ollaan tekemässä ja se pyritään saamaan eduskuntaan syksyllä 2014 ja voimaan kesällä 2015.

4.8.5 Kustannusten kohdentamisen periaatteet asiakkaille sähköverkkotoiminnassa

Sähkömarkkinalaki toteaa, että maantieteellisesti yhtenäisen verkon alueella siirrossa on noudatettava pistehinnoittelua eli siirtohintaa on sama samantyyppisille asiakkaille riippumatta siirretystä matkasta. Näin kaikkia käyttäjiä kohdellaan lähtökohtaisesti syrjimättömästi. Hinnoittelujärjestelmän suunnittelu lähteekin pistehinnoittelun eli samahintaperiaatteen oletuksesta.

Muilta osin perusperiaatteena hinnoittelun kohtuullisuudelle on, että kustannukset kohdistetaan asiakkaalle käyttämällä aiheuttamisperiaatetta. Aiheuttamisperiaate tarkoittaa, että laskentakohteeseen liitetään vain sellaisia kustannuksia ja tuottoja, joita se aidosti aiheuttaa (Suomala et. al 2011). Sähkön siirrossa jokaiselle asiakkaalle ei lasketa erillisiä hintoja, vaan samantyyppisille asiakasryhmille lasketaan omat aiheuttamisperiaatteen mukaiset keskimääräiset tariffinsa. Järjestelmän luonnissa ja kustannusten kohdentamisessa tarvitsee käyttää aina myös yksinkertaisuusperiaatetta. Tällöin järjestelmä on helppo ymmärtää ja mittaamisen kustannukset eivät muodostu tarpeettoman suuriksi.

Viime vuosina kustannusten jaottelussa eri asiakasryhmien välille on lisääntynyt myös markkinahintaisuusperiaatteen käyttö. Tämä tarkoittaa omien asiakasryhmäkohtaisten hintojen vertailua muiden samanlaisten verkkoyhtiöiden hinnastoihin ja hintojen asettamista vastaavalle tasolle. Kaikkien jakeluverkkojen hinnastot ovat helposti saatavilla Energiaviraston sivuilta ja suuret erot naapuriyhtiöiden välillä voivat aiheuttaa epäreiluuden tunnetta kuluttajissa. Tästä johtuen joissain verkkoyhtiöissä aiheuttamisperiaatteen mukaisia hintoja lasketaan tietyistä ajoittain (Pantti 2010). Jos kuluttaja tekee tutkintapyynnön Energiavirastolle hinnoittelun kohtuullisuudesta, pitäisi aiheuttamisperiaatteen mukaisesti kohdistetut kustannukset kuitenkin pystyä osoittamaan.

4.8.6 Ratajohtoverkon siirtotuotteeseen sisällytettävät kustannukset

Sähkön siirtomaksua luotaessa tulee ensin ottaa kantaa laajuusongelmaan, mitkä kustannukset huomioidaan asiakailta perittävässä siirtotuotteessa. Ensimmäisenä lähtökohtana on se, että maksujen perintä pysyy direktiivin 2012/34/EU sallimissa rajoissa. Toisena lähtökohtana on aikaisempi kustannusjako Liikenneviraston ja VR:n välillä.

Kustannukset luokitellaan yleisesti välittömiin ja välillisiin. Välittömät kustannukset voidaan kohdistaa suoraan laskentakohteelle. Välilliset kustannukset syntyvät sellaisten tuotannontekijöiden käytöstä, joiden yhteys valmistettavaan tuotteeseen on etäisempi. Kustannukset voidaan jaotella myös kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin. Muuttuvina pidetään yleisesti kustannuksia, jotka muuttuvat lyhyellä aikavälillä toiminta-asteen myötä ja kiinteinä niitä, jotka eivät muutu lyhyellä aikavälillä. (Suomala et al 2011) Enemmistö muuttuvista kustannuksista on välittömiä ja enemmistö kiinteistä kustannuksista on välillisiä, mutta suoraa yhteyttä kustannusluokkien välillä ei ole olemassa.

Direktiivin 2012/34/EU tarkoittamia junaliikenteestä suoraan aiheutuvia kustannuksia ei ole vielä komission taholta vahvistettu. Suoraan aiheutuvat kustannukset viittanevat kuitenkin välittömiin tai muuttuviin kustannuksiin. Sähkön siirtotoiminnan tapauksessa välittömät kustannukset ovat samalla myös muuttuvia kustannuksia ja välilliset kustannukset kiinteitä kustannuksia.

Vaihteenlämmityssähköä ei peritä siirtomaksussa, koska sitä on pidetty Liikennevirastolle kuuluvana kulutuksena. Käytännön muuttaminen edellyttäisi uutta sopimusta kustannusjaottelusta osapuolten välillä. On kuitenkin huomattavaa, että Liikenneviraston maksama vaihteenlämmityssähkö on junaliikenteestä aiheutuva välitön kustannus, koska vaihteen pitää olla toimintakunnossa, jos junia kulkee. Toiminta-asteen suuruus (junien määrä) ei kuitenkaan vaikuta vaihteenlämmityksen kustannuksiin, joten vaihteenlämmityksen kustannukset eivät ole määrittelyn mukaan muuttuvia kustannuksia. Liikennevirasto pyrkimyksenä ei ole tehdä voittoa siirtotoiminnalla. Tarkoituksena on, että siirtohinnoittelulla katetaan sähkön siirrosta aiheutuvat osapuolikohtaiset välittömät kustannukset ja taseselvityksen järjestämisestä aiheutuvat osapuolten välille jaetut kokonaiskustannukset. Välillisiä ratajohtoverkon investointikustannuksia, ylläpito-kustannuksia tai rahoituskustannuksia ei ole tarkoitus sisällyttää rautatieyrityksiltä perittävään siirtomaksuun, vaan ne huomioidaan ratamaksussa. Taseselvitykseen liittyy välillisiä hallinnointikuluja. Nämä kustannukset sisällytetään myös siirron hinnoitteluun, koska ilman näitä toimintoja koko kustannusjaottelua ei voitaisi edes tehdä ja toimijat eivät voisi ostaa sähköään vapailta sähkömarkkinoilta. Nämä kustannukset syrjäyttävät mittareiden manuaalisen luvun ja sen pohjalta tehdyn energian jaon kustannukset nykyisessä mallissa. Myös Energiaviraston päätöksessä todettiin, että ratajohtoverkon mittaus tulee järjestää siten, että toimijoilla on oikeus hankkia sähkönsä vapailta markkinoilta ja että: ”Kiinteistönhaltijan on järjestettävä sähköenergian mitaus, mutta se voi laskuttaa näiltä toimijoilta ne kohtuulliset kustannukset, jotka mitauksesta aiheutuvat.” (Dnro 1013/410/2013)

Eri maissa on erilaisia tulkintoja direktiivin 2012/34/EU sallimasta hinnoittelusta. Bulgarian rataverkonhaltija on tulkinnut direktiiviä siten, että junaliikenteestä suoraan aiheutuviin sähköenergian siirron kustannuksiin kuuluisivat myös koko ratajohtoverkon kustannukset sisältäen rakentamis- ja ylläpito-kustannukset ”full network cost” ja kohtuullinen tuotto (Mironova 2013). Investointi- ja ylläpito-kustannukset ovat lähtökohteisesti siirtotoiminnan välillisiä ja kiinteitä kustannuksia, joten tulkinta voidaan kyseenalaistaa. Toki nämäkin kustannukset johtuvat suoraan junaliikenteestä, jos tarkasteluperiodi on riittävän pitkä. Bulgarian rataverkonhaltijan tulkinta vaikuttaisi olevan enemmän linjassa jakeluverkkotoiminnan sähkön siirron hinnoittelun kanssa.

Yleisesti laskentatoimen kirjallisuudessa on paljon keskustelua siitä, mitä kustannuksia tuotteille pitäisi järkevässä kustannussuuntautuneessa hinnoittelussa kohdentaa. Esimerkiksi Baxter ja Oxenfeldt ovat julkaisussaan sitä mieltä, että lähes kaikki kustannukset johtuvat viime kädessä tuotteista ja ne voidaan kohdistaa tuotteille merkityksellisesti (Baxter & Oxenfeldt 1961).

4.8.7 Ratajohtoverkon siirtotuotteen komponentit

Julkisessa jakeluverkkotoiminnassa siirtotuotteita on yleensä useita, joiden väliltä kuluttaja voi valita. Siirtotuote koostuu ainakin kahdesta hintakomponentista, perusmaksusta (€/kk) ja energiamaksusta (snt/kWh). Tehopohjaisilla tuotteilla on lisäksi tehomaksu, joka liittyy käyttäjän huipputehoon (€/kW,kk), (€/kvar/kk). Tehomaksu liittyy lähinnä verkon investointikustannuksiin, koska jakeluverkko suunnitellaan sen suurimman tehokapasiteetin mukaan. Moni verkkoyhtiö tarjoaa myös aikatuotteen, jolloin siirron energiamaksu on alhaisempi yöllä (klo 22-7) kuin päivällä ja kausituotteen, jolloin siirto on kalliimpaa talvella kuin muulloin. Myös aikatuote ja kausituote liittyvät verkon mitoittamiseen ja etupäässä investointikustannuksiin. Hinnoittelua kannattaa usein käyttää kulutuksen ohjaamiseen. Varsinkin erilliset yö- ja päivätariffit voivat merkittävästi tasata verkon kuormitusta ja samalla alentaa verkkotoiminnan kustannuskäyrää (Filippini 1998).

Tämän työn ehdotuksessa ratajohtoverkkoon tarjotaan vain yksi siirtotuote, koska rautatieyrityksiä on vähän ja niiden kulutus on samantyyppistä. Tämän siirtotuotteen hinnoitus muodostuu perusmaksusta ja energiamaksusta, lisäksi kolmanneksi komponentiksi otetaan toimijakohtainen kalustosta riippuva häviöenergiomaksu. Erillistä yö- ja päivähinnoittelua ei sisällytetä siirtomaksuun, koska ratajohtoverkon investointikustannuksia ei kerätä siirtomaksussa. Jos esimerkiksi liikennöintiä halutaan ohjata enemmän yöajalle, voitaisiin se huomioida ratamaksussa, jonne investointikustannuksia kohdennetaan. Kausituotteen muodostaminen on perusteltua, koska ainakin Fingridin kantaverkon kulutusmaksu on kaksinkertainen talviaikana (1.11-31.3) verrattuna muuhun aikaan. Ratajohtoverkon siirron energiamaksulle voitaisiin määrittää erilliset talviaika ja muu aika -komponentit.

4.8.8 Kustannusten kohdistaminen tuotteen eri komponentteihin

Kustannusten kohdentamiseen eri hintakomponentteihin ei ole viranomaispohjaisia ohjeita, joten jakeluverkonhaltija saa toteuttaa kohdentamisen haluamallaan, perustellulla tavalla (Partanen et al.2012). Kustannukset jaetaan osapuolille noudattamalla pistehinnoittelua, aiheuttamisperiaatetta ja yksinkertaisuusperiaatetta. Hinnoittelun määrityksessä eri osa-alueiden kustannukset kohdistetaan tuotteen eri komponenteille. Ensin erotellaan siirron välittömät kustannukset ja taseselvityksen kustannukset omiksi kustannuspaikoikseen. Nämä ratajohtoverkon siirtotoiminnan kustannuspaikat ovat:

- verkkopalvelumaksut (Fingridin ja alueverkkoyhtiöiden keskimääräiset siirtomaksut)
- häviösähkö (hankitun häviösähkön kustannus ja häviösähkön määrä, joka pitää aluksi arvioida)
- mittarien luenta ja laskutus (Erexin operatiiviset kustannukset, EIserveriin liittyvät kustannukset)
- hallinnointikustannukset eli koko taseselvitystoiminnasta aiheutuneet muut välilliset kustannukset (Erexin vuosittaiset investointikustannukset, Rejlersin syöttöasemien mittaustiedon välitys)

Taseselvitykseen liittyy myös sellaisia kustannuksia, kuten mittarien hankinta, jotka toimijat maksavat itse ja niitä ei kohdisteta siirtomaksuun. Seuraavissa kappaleissa kustannuspaikat kohdistetaan siirtotuotteen eri komponentteihin. Välittömien kustannusten kohdentaminen siirtotuotteelle on yksinkertaista, koska jakoperuste on selvä. Jakoperusteesta seuraa myös mihin komponenttiin kustannus kohdistetaan. Taseselvityksen välillisille kustannuksille järkevä jakoperuste pitää määrittellä.

Perusmaksu

Luvussa 4.7.3 esitellyt ERESSin Liikennevirastolta perimät Erexin operatiiviset kustannukset liittyvät mittarien luennan ja laskutuksen kustannuksiin. Nämä energian käytöstä riippumattomat kustannukset on luontevaa kohdistaa perusmaksuun. Aluksi maksut riippuvat ratajohtoverkon mittaroidun kaluston määrästä ja vasta asteittain koko sähkökäyttöisen kaluston määrästä luvun 4.7.3 periaatteiden mukaisesti. EIserveriä hyödyntävälle kalustolle tulee määrittää korkeampi perusmaksu, joka on suoraan EIserverin käyttöön liittyvän ennustetun mittarikohtaisen maksun verran suurempi. ERESS laatii ennusteen kyseisistä kuluista neljännesvuosittain (ERESS 2013a).

Liikenneviraston kulutus viedään Erexiiin summatietona ja tästä Erex ei veloita erikseen, joten Liikenneviraston ei tarvitse olla jakamassa Erexin operatiivisia kustannuksia.

Siirron energiamaksu

Verkkopalvelumaksut riippuvat suoraan siirretystä energiamäärästä. Verkkopalvelumaksut kohdistetaan energiamaksuun ja jakoperusteena on käyttöpaikoille siirretty energia. Vuoden 2013 hinnaston mukaan Fingridin kantaverkkopalvelumaksu koostuu kulutusmaksusta 3,94 €/MWh talviaikaan ja 1,97 €/MWh muuna aikana, kantaverkosta ottomaksusta 0,9 €/MWh ja kantaverkkoon antomaksusta 0,7 €/MWh. Kulutusmaksu kohdistetaan asiakkaan liittymispisteen takaiselle sähköenergian kulutukselle. Antoja ottomaksu kohdistetaan asiakkaan liittymispisteen kautta siirtyvälle energialle. (Fingrid 2013a)

Vantaan Energialta saatujen syöttöasematietojen perusteella junien takaisinsyötön seurauksena vuonna 2012 n. 2,5 % energiasta siirtyi takaisin kantaverkkoon. Tämä osuus pitää huomioida kokonaiskustannusten syntymisessä, mutta takaisinsyöttöä ei ole järkevää erotella siirron hinnoittelussa yksinkertaisuusperiaatteeseen vedoten.

Fingridin kantaverkkoon on liitettyä 44 syöttöasemaa 82 syöttöasemasta. Osa syöttöasemista on yhteydessä paikallisten alueverkkoyhtiöiden suurjännitteisiin jakeluverkkoihin. Alueverkkoyhtiöiden perimät verkkopalvelumaksut näiden liittymispisteiden kautta siirtyvälle energialle ovat korkeampia kuin Fingridin. Lisäksi Liikennevirasto omistaa itse noin 100 kilometriä 110 kV suurjännitteistä jakeluverkkoa, kun joillekin syöttöasemille on pitänyt rakentaa oma erillinen verkkoyhteys. Fingridin ja alueverkkoyhtiöiden perimistä maksuista voidaan määrittää keskiarvo aiempien vuosien suhteellisten siirtomäärien ja nykyisten maksujen perusteella. Vuonna 2010 koko vuoden keskiarvoinen verkkopalvelukustannus oli 5,23 €/MWh ratajohtoverkon kulutukselle. (Uusitalo 2010) Tämä laskelma on saatu jakamalla kaikki vuoden verkkopalvelumaksut ratajohtoverkon kulutuksella. Tässä laskelmassa ei ole huomioitu omaa suurjännitteistä jakeluverkkoa. Jos omia aiheuttamisperiaatteeseen perustuvia laskelmia tämän verkon siirron hinnoittelusta ei haluta tehdä, se voidaan ottaa huomioon laskelmissa käyttämällä markkinahintaperiaatetta eli tämän siirron kustannus voidaan rinnastaa muiden alueverkkoyhtiöiden keskiarvohinnastoon.

Taseselvityksestä johtuvat hallinnointikulut ovat välillisiä kustannuksia. Ne kohdistetaan yleisesti jakeluverkko toiminnassa joko perusmaksuun tai energiamaksuun. Mitä isompi siirron energiamaksukomponentin osuus on, sitä paremmin se edistää omalta osaltaan energiatehokkuutta. Koska hallinnointikulut eivät muutu energiansiirron suhteessa, voitaisiin ne kohdistaa myös perusmaksuun. Tällöin kuitenkin jakoperusteen määrittely ja valinta muodostuvat hankaliksi. Jos jakoperusteena olisi veturien lukumäärä, tuntuisi epäreilulta jakaa hallinnointikustannukset veturien lukumäärän mukaan, koska tällöin Liikennevirasto ei osallistuisi taseselvityksen hallinnointikustannusten jakamiseen. Myös nykyisessä kustannusjaossa hallinnointikustannukset on jaettu energian käytön suhteessa.

Näiden seikkojen perusteella paremmalta ratkaisulta tuntuisi hallinnointikustannusten kohdistaminen energiamaksuun. Tähän voidaan käyttää hallinnon yleiskustannuslisää. Yleiskustannuslisä on lisäyslaskennassa välillisten kustannusten kohdistamisessa yleisesti käytetty termi. Yleiskustannuslisä voidaan määrittää jakamalla vuotuiset hallinnointikulut vuotuisella käyttöpaikoille siirrettyllä energiamäärällä, jolloin saadaan hallinnon yleiskustannuslisä (€/MWh). Tällöin myös Liikennevirasto osallistuisi kustannusten jakamiseen.

Kun hallinnointikulut kohdistetaan energiamaksukomponenttiin, pitää hinnastoa laadittaessa hinnaston voimassaolon aikaperiodin (esim. vuosi) kokonaisenergiankäyttö ennustaa etukäteen. Jos energiankäyttö on arvioitu yläkanttiin esimerkiksi rautatieyritysten parantuneen energiatehokkuuden takia, siirtohinnoittelulla ei kateta kaikkia hallinnointikuluja. Taseselvityksen hallinnointikustannukset (energiankäytöstä riippumattomat) ovat suhteessa verkkopalvelukustannuksiin (energian käytöstä suoraan riippuvat) kuitenkin pienet, joten virheet ennusteissa eivät aiheuta kovin suurta virhettä tariffiin. Tämä alijäämä voidaan hyvittää seuraavan aikaperiodin siirtohintoja laadittaessa.

Häviöenergiamaksu

Häviöenergiamaksua määritettäessä tärkein askel on koko verkon häviöiden mahdollisimman tarkka arviointi. Ennen kuin koko liikkuva kalusto on mittaroitu, Liikenneviraston pitäisi päästä häviöprosenttien määrästä sopimukseen VR:n kanssa. Häviösähkön kokonaismäärän arvioiminen väärin vaikuttaa mallissa VR:n mittaroimattoman kaluston muodostamaan jäännöstaseen osuuteen. Kun koko verkon häviöt on arvioitu, ne voidaan jakaa eri rautatieyritysten ja Liikenneviraston välille. Liikenneviraston pitää myös siirtohinnoitusta laatiessaan arvioida häviöiden vuotuinen kustannus. Arviota helpottaa se, että hinta on suojattu lähes kokonaisuudessaan määrätyleiselle tasolle Hanselin kautta (luku 5.3.1). Esimerkki 3:ssa on laskettu häviöiden kustannusten muodostumisen periaate.

Esimerkki 3. Häviöiden vuotuisten kustannusten arviointi

Oletetaan, että rataverkon keskimääräiset häviöt ovat 5 %. Vuotuinen syöttöasemilla laskettu verkosta otto on noin 770 GWh ja anto noin 19 GWh (vuosi 2012). Molemmat verkosta otto ja anto aiheuttavat häviön, vaikka takaisinsyöttöä ei erikseen veloitetaakaan. Häviösähkön määrä on $0,05 \cdot 789 \text{ GWh} \approx 39,5 \text{ GWh}$. Jos sähkönhankinta on suojattu hintatasoon 50 €/MWh, on verkon häviöiden vuosittainen kokonaiskustannus $39,5 \text{ GWh} \cdot 50 \text{ €/MWh} = 1,98 \text{ M€}$.

Seuraava askel on jakaa häviöiden kustannukset eri toimijoiden kesken. Pohjoismailla on erilaisia käytäntöjä. NES-työryhmä (Nordisk Elkraftteknisk Samarbete) on laatinut raportin, jonka tavoitteena on yhtenäistää käytäntöjä ja luoda perusteet ERESS-jäsenten liikkuvan kaluston häviöiden arviointiin. Suosituksessa häviöiden jakamisessa otetaan huomioon kaluston tehokerroin ja harmonisista yliaalloista aiheutuva häviö. Takaisinsyöttöä ei huomioida yksinkertaisuusperiaatteen vedoten. (NES 2011)

Kaluston tehokerroin huomioidaan kappaleessa 2.6 esitellyn yhtälön (3) mukaisesti. Tämän yhtälön avulla saadaan häviöenergian laskentaan liittyvä suhteellinen kerroin f_q . Jokaisen veturityypin tarkoilla tehokertoimilla saadaan niille oma tyyppikerroin. Jos tarkempia mittauksia ei haluta suorittaa, voidaan kalusto jakaa myös yksinkertaisuusperiaatetta noudattaen vanhempaan tasavirtakäyttöisen kalustoon (Sr1, Sm1 ja Sm2), jonka suhteellinen häviöenergiakerroin olisi 2 (tehokerroin noin 0.7). Uudemman kaluston (Sr2, Sm3, Sm4, Sm5, Sm6) häviöenergiakerroin taas olisi 1, koska ne ottavat pääosin päätötehoa (tehokerroin noin 1). Liikennevirasto osallistuu myös häviösähkön kustannuksiin, sen kerroin saadaan vaihteenlämmitysten tehokertoimista.

Näin jaotteleamalla häviöenergiaa kohdistettaisiin vanhalle kalustolle kaksi kertaa niin paljon kuin uudelle. Yksittäisten häviökertoimien arvoista lasketaan osapuolikohtaiset keskimääräiset häviöenergiakertoimet ja tällä kertoimella kerrotaan rautatieyrityksen vuosittainen päätöenergian käyttö. Myöhemmin kun kalusto on mittaroitu ja mittausdataa edellisen vuoden kalustokohtaisesta kulutuksesta on saatavilla, voidaan osapuolikohtaisen häviöenergiakertoimien keskiarvo laskea kalustokohtaisella energian käytöllä painotettuna. Sitä ennen voitaneen käyttää painottamatonta keskiarvoa ja olettaa, että saman yrityksen kaikki veturit ja junat käyttävät vuositasolla energiaa suunnilleen yhtä paljon. Näin saatujen toimijakohtaisten lukujen summalla jaetaan koko verkon häviösähkön arvioitu kustannus ja saadaan kaavassa (7) käytetty perushinta h_p . Häviömaksun hinnastoa laadittaessa joudutaan arvioimaan etukäteen toimijakohtainen päätöenergian käyttö. Ennustevirheistä johtuen myös häviömaksulla saatetaan kerätä ali- tai ylijäämää, mutta se voidaan tasapainottaa seuraavan vuoden hinnoissa. Häviömaksu on toimijakohtainen kaavan (7) mukaisesti.

$$\text{Toimijakohtainen häviöenergian hinta} = f_{qka} * h_p, \quad (7)$$

missä

h_p = kaikille toimijoille yhteinen häviöenergian perushinta (snt/kWh)

f_{qka} = toimijakohtainen häviökertoimien keskiarvo

Jos harmoniset yliaallot halutaan ottaa mukaan, pitää ne mitata erityyppiselle kalustolle. Julkisessa jakeluverkkotoiminnassa niitä ei laskuteta yksinkertaisuusperiaatteen vedoten. Niiden erillinen mittaaminen on liian kallista.

Siinä tapauksessa, että eri kalusto aiheuttaa toisistaan selvästi poikkeavia harmonisia yliaaltomääriä, niiden määrittäminen olisi järkevää. Norjassa ne on määritetty ja ne huomioidaan laskutuksessa. Jos harmoniset yliaallot päätetään määrittää, kaavalla (4) voidaan laskea niiden suhteellinen kerroin f_h . Tällöin häviösähkön yhteiskerroin on kaavan (8) mukainen. Näistä yhteiskertoimista voidaan luoda toimijakohtainen keskiarvo kuten edellä. (NES 2011)

$$f_{tot} = f_h * f_q \quad (8)$$

Kuten kappaleessa 2.5 todettiin, häviökustannukset nousevat suhteessa siirretyn näennäistehon (ja virran) toiseen potenssiin. Jos veturia ajetaan 4 MW teholla, häviöt ovat nelinkertaiset verrattuna siihen, että veturia ajettaisiin 2 MW teholla.

NES:in suosituksessa junan hetkellisestä tehosta riippuvaa komponenttia häviöihin ei oteta huomioon pääosin siksi, koska kaikkea kalustoa ei ole mittaroitu ja osaa kalustosta arvioidaan energia-avaimilla. (NES 2011) Myös koko kaluston mittaroinnin jälkeen siirtohinnoittelu voi muuttua liian monimutkaiseksi, jos kuorman hetkellinen teho huomioidaan.

Julkisissa jakeluverkoissa käytetty huipputehomaksu ei tähän oikein sovellu, koska hetkellinen ajoteho on määräävä häviöissä. Tuntimitattu huipputeho toki korreloi ainakin osittain häviöiden määrään ja sen käyttöä voidaan miettiä, kun kaikki kalusto on mittaroitu.

Verot

Verkkoyhtiö kerää yleensä myös sähköveron ja huoltovarmuusmaksun siirtohinnan päälle ja tilittää sen valtiolle. Asetuksen (1260/1996) mukaan: ”Valmisteverotonta ja huoltovarmuusmaksutonta on kuitenkin sähkö, joka toimitetaan sähköisen raideliikenteen välittömään käyttöön.” Rautatieyrityksiltä tätä veroa ei siis tarvitse periä. Myös Liikenneviraston omassa kulutuksessa sähköistetyn radan vaihteenlämmitykset on katsottu verosta vapaiksi.

Ratajohtoverkkoon kytkettyjen rakennusten lämmitykset ovat kuitenkin veroluokan I alla, joten niiden laskutuksessa pitää vero ja huoltovarmuusmaksu periä. Kyseisen veron perintään ja tilitykseen liittyy myös paljon kustannuksia lisääviä toimintoja, kuten kuukausittainen sähköveroilmoitus tullille. Nämä kustannukset ja verot pitää kohdistaa rakennusten sähkön siirtomaksuun, jolloin niiden siirtohintaa on suurempi.

Hinnasto

Diplomityössä kehitettiin Excel-malli, jonka avulla voidaan määrittää siirtohinnat edellä mainittujen periaatteiden perusteella. Kun Liikennevirasto ottaa vastuun sähkön siirron laskutuksesta, sen pitää arvioida tariffit etukäteen. Liitteessä 3 on nähtävillä hinnaston hahmotelma VR:lle. Taulukkoon on helppo päivittää muuttujat esimerkiksi vuosittain.

4.9 Energia-avaimet

Energia-avaimet ovat karkeahko tapa arvioida energian kulutusta raideliikenteessä. Ne antavat kuvan keskiarvokulutuksesta. Ne eivät tue energiatehokkuutta, koska taloudellisesta ajotavasta ei hyvitetä rautatieyritystä. Siinä tapauksessa, jos mittaus tai sen etäluenta epäonnistuu, energia-avaimia voidaan käyttää varakeinona. Energia-avaimia käytetään myös Erexissä mittausdatan TMS-validoinnissa. Junan massa, kuljettu matka, nopeus, kiihdytykset, pysähdystaajuus, juna- tai veturityyppi, radan pystygeometria, vuodenaika ja ajotapa vaikuttavat kaikki sähkön kulutukseen.

Osalle Suomessa käytettyä kalustoa on ilmoitettu energia-avaimet NESin suosituksessa (NES 2002). Nämä avaimet on esitetty taulukossa 2. Tiedoista huomataan merkittävimpien tekijöiden (ajonopeus, pysähdystaajuus ja massa) vaikutus kulutukseen. Sähköveturien kulutuksessa junamassa pitää ottaa huomioon, koska vaunumäärä ei ole vakio ja kuorman tyyppi vaihtelee. Sähkömoottorijunien massa vaihtelee vain matkustajamäärän mukaan ja se jätetään huomiotta energia-avaimissa.

Taulukko 2. Energia-avaimia (kirjain t tarkoittaa tonnia). (NES 2002)

Sr1, Henkilöjuna max. 140km/h	27 Wh/(t*km)
Sr1, Tavarajuna max. 100km/h	18 Wh/(t*km)
Sr2, Henkilöjuna max. 140km/h	27 Wh/(t*km)
Sr2, Tavarajuna max. 100km/h	18 Wh/(t*km)
Sm3 (Pendolino)	14 kWh/km
Sm4 (lähijuna) (pysähdysväli 1,9km)	21,1 kWh/km
Sm4 (lähijuna) (pysähdysväli 7,9km)	8,9kWh/km

Liikenneviraston tilaamassa selvityksessä (Rejlers Oy 2012) yhteen Sr1 ja Sr2 veturiin asennettiin Erexillä etäluetut mittarit. Mittaustietojen pohjalta muodostettiin tarkempi jaottelu kyseisille sähkövetureille riippuen niiden vetämän kuorman tyypistä. Nämä energia-avaimet ottavat NES suosituksia paremmin huomioon pysähdystaajuudet ja niihin liittyvät kiihdytykset. Henkilöliikenteessä pysähdyksiä tulee tavaraliikennettä enemmän. Lisäksi tavaraliikenteessä suurin nopeus on pienempi kuin matkustajajunissa.

Taulukosta 3 nähdään eri junatyyppien keskikulutus mittauksissa.

Taulukko 3. Energia-avaimia (kirjain T viittaa tavarajunaan). (Rejlers Oy 2012)

	Sr1 Wh/(t*km)	Sr2 Wh/(t*km)
Henkilöjuna H	36	47
Pikajuna P	25	25
IC	30	30
IC2	31	34
Henkil. tyhjävaunusiirrot MV	26	15
Runkojuna T	10	19
Asiakasjuna TA	11	14
Lähi- ja keräilyliikenteen juna TL	20	20
Raakapuuajuna TR	16	24
Henkilöjunat keskimäärin	28	31
Tavarajunat T keskimäärin	11	16

Rejlersin selvitys päättyi lopulta Excelillä kokeellisesti muodostettuun malliin, joka jakaa energia-avaimen kahteen osaan. Tällöin ennustevirhe muodostui pienemmäksi. Kaikille junatyypeille asetettiin matkasta riippuva pelkän veturin kulutusta kuvaava vakio 9,0 kWh/km sekä junatyyppistä riippuva tekijä, joka riippuu myös junamassasta. Nämä energia-avaimet ovat taulukossa 4. Sr2 pystyy syöttämään noin 9 % ottamastaan energiasta takaisin verkkoon jarrutuksessa. Taulukoiden 3 ja 4 arvoissa ei ole huomioitu takaisinsyöttöä. (Rejlers Oy 2012)

Taulukko 4. Kahden muuttujan energia-avaimet.

	Sr1	Sr2
Henkilöjuna H	9,0 kWh/km + 0,009 kWh/(t*km)	9,0 kWh/km + 0,020 kWh/(t*km)
Henkilöjunat P- IC ja IC2	9,0 kWh/km + 0,009 kWh/(t*km)	9,0 kWh/km + 0,012 kWh/(t*km)
Lähi- ja keräilyliikenteen juna TL	9,0 kWh/km + 0,009 kWh/(t*km)	9,0 kWh/km + 0,011 kWh/(t*km)
Raakapuujuuna TR	9,0 kWh/km + 0,008 kWh/(t*km)	9,0 kWh/km + 0,014 kWh/(t*km)
Runkojuna T, Asiakasjuuna TA	9,0 kWh/km + 0,006 kWh/(t*km)	9,0 kWh/km + 0,011 kWh/(t*km)

Energia-avainten luontia varten tehdyissä mittauksissa keskihajonta oli huomattava, mikä heijastelee edelleen muiden sellaisten muuttujien vaikutusta, joita avaimilla ei voida ottaa huomioon. Sm1 ja Sm2 junille ei ole olemassa vielä energia-avaimia. (Rejlers Oy 2012)

Flirtille (Sm5) on laskettu simulointitutkimuksessa (Iikkanen, Koskinen 2013) energia-avain kaavalla (9). Se ottaa huomioon myös pituuskaltevuuden liikennöitävällä reitillä.

$$Y=5,549+(2,329*X_1^{7,08}/X_2^{2,765})+0,345*X_3 \quad (9)$$

missä

Y =energian nettokulutus [kWh/km]

X₁=keskinopeus liikkeessä [km/h]

X₂=keskimääräinen liikennepaikkaväli [km]

X₃=keskimääräinen pituuskaltevuus promilleina

Allegrolle (Sm6) sama simulointitutkimus sai otoksi ajojohdosta 22,1 kWh/km ja takaisnyötöksi 0,9 kWh/km Helsinki–Pietari-reitille.

Energia-avainten luettelosta tulisi saada mahdollisimman kattava ja tarkka. Erityisesti sellaista tilannetta tulee välttää, jossa junan kulutus energia-avaimella on pienempää kuin todellinen kulutus. Virheiden pitäisi olla mieluummin toiseen suuntaan. Rajat ylittävän liikenteen osalta ERESSssä on havaittu tapauksia, jossa energia-avain on tietylle kulutukselle tietyssä maassa arvioitu alakanttiin esimerkiksi raskaan tavarajunan tapauksessa. Liikkuessaan tässä maassa Erexia käyttävä rautatieyritys on pyytänyt, että näiden junien mittaustietoa ei välitetä Erexistä eteenpäin kyseisen maan infranhaltijalle, koska energia-avaimen käyttö on sille edullisempaa. (Krogstad & Gulbrandsen 2013)

4.10 Mittaustiedon arviointi ja korjaus

Mittaustietoja ei aina pystytä lukemaan mittalaitteelta tai tieto voi olla puutteellinen. Tähän voi olla syynä yhteysongelma tai mittalaitteen vika. Jos mitattua tietoa ei saada mittarilta, tulee puuttuva tieto arvioida viimeistään viiden vuorokauden kuluttua. (ET 2010)

Junien mittaustiedon statukset ovat standardin EN 50463 mukaan ”mitattu”, ”epävarma” ja ”ei dataa”. Junien mittarien tapauksessa arvioinnissa pitää käyttää niille laskettuja energia-avaimia, jos dataa ei saada viidessä päivässä tai sitä ei kyetä validoimaan Erexissä.

Liikenneviraston käyttöpaikkakohtainen kulutus kerätään Liikenneviraston omalle palvelimelle palveluntuottajan toimesta ja lähtökohtaisesti vain kulutuksen tuntikohtainen summatieto välitetään MSCONS-sanomilla sähkömarkkinoille. Julkisissa jakeluverkoissa eri käyttöpaikkoihin liittyy yleensä eri asiakas ja niissä myös mittarikohtaiset tiedot välitetään myyjille. Tätä varten MSCONS-sanomien EDIFACT-kieliopissa on omat koodinsa eri mittaustiedon statuksille. *Puuttuva*-statusta käytetään alustaville tuntitiedoille, jos tietoa ei ole saatu mittarilta ja alustava tieto välitetään nollakäyttönä. Arvioitun mittaustiedon statukseksi asetetaan *Epävarma*, jos on mahdollista, että tieto saadaan myöhemmin. Statukseksi asetetaan *Arvioitu*, jos tiedetään, että tietoa ei ole mahdollista saada myöhemminkään. Tietojen arvioinnissa voidaan hyödyntää mittalaitteen keräämää kumulatiivista tietoa. Useamman tunti lukeman puuttuessa arvioinnissa voidaan hyödyntää kumulatiivisia lukemia sekä kulutuksen historiatietoja. Yksittäisten tuntiarvojen arvioinnissa voi käyttää apuna viereisten tuntien arvoja. Epävarma-statuksella merkitty tieto on aina korvattava joko OK-statuksella tai Arvioitu-statuksella varustetulla tiedolla. KORJATTU OK-statusta käytetään, kun aiemmin OK tai Arvioitu -statuksella välitettyä tuntitietoa joudutaan korjaamaan. (ET 2010)

Taseet ehtivät myös toisinaan sulkeutua (aikaikkuna tällä hetkellä 14 pv) ennen kuin kaikkien toimijoiden välillä ehditään siirtää lopulliset sähköntoimitustiedot. Verkonhaltija välittää kaikki taseiden kiinnimenon jälkeen havaitut virheet myyjille. Tuntimitattujen kohteiden toimijoiden välisiä tasevirheiden korjauksia tehdään säännöllisesti kolme kertaa vuodessa. Laskennassa todellisia korjattuja mittaustietoja verrataan tuntitasoisesti vastaavalta ajankohdalta taseisiin ilmoitettuihin tuntiarvoihin. Vertailun lopputuloksena saadaan tuntikohtaiset tasevirhe-energiat. Nämä arvot kerrotaan vastaavan tunnin Suomen alueen Elspot-hinnalla. (Heinimäki et al. 2011)

Liikenneviraston tulee verkonhaltijana toimia tasevirheiden korjauksessa välikätenä myyjien välillä siinä tilanteessa, että osapuolilla on eri sähkönmyyjät. Tasevirhe-energioiden yhteenlasketusta summasta saadaan myyjäkohtainen tasekorjauslasku, jonka Liikennevirasto joko veloittaa tai hyvittää myyjälle. Edelleen verkonhaltija hyvittää tai veloittaa vastaavan suuruisen, mutta erimerkkisen summan VR:n sähkönmyyjältä niin kauan kuin sen kulutus sisältyy jäännöstaseeseen, toisin sanoen sen kalusto ei ole mittaroituna kokonaisuudessaan. Kun verkon kaikki kulutuspisteet on mittaroitu etäluettaviksi vaikuttavat virheet tällöin häviösähkön määrään ja Liikenneviraston sähkönmyyjä on laskutuksen muutoksessa toisena osapuolena. Kyseinen laskentamalli edellyttää Erexiiin mittaustietokantaan muutoshistoriakäsittelyä.

Suunnitelmana on, että Erexissä voitaisiin ajaa korjausprosessi manuaalisesti tai automaattisesti, jos taseiden raportoinnin jälkeen saadaan uusia mittaustietoja. Tällöin korjattujen arvojen perusteella muodostettaisiin erilliset korjausraportit ja laskut myyjille. (ERESS 2010 b)

Toisinaan myös asiakkaan laskutusta joudutaan muuttamaan. Käyttöpaikkakohtaisesti syntyneitä tasevirheitä on mahdollista korjata kolmen vuoden ajalta (Heinimäki et al. 2011).

5 Mittaustiedon hyödyntämismahdollisuudet

5.1 Mittaustiedon luovutus rautatieyrityksille

Mittaustiedon välityksestä asiakkaalle on annettu velvoitteita valtioneuvoston mittausasetuksessa (VNA 2009). Vuoden 2014 alusta kulutustieto pitää saattaa asiakkaan käyttöön samaan aikaan kuin se luovutetaan sähkönmyyjälle eli toimitusta seuraavana päivänä. Tiedot luovutetaan toimialan ja verkonhaltijan yleisesti noudattamilla käytännöillä. (ET 2010)

Ratajohtoverkon tapauksessa rautatieyrityksille annetaan omat internetpohjaiset tunnukset Erex-palveluun, josta käyttäjä voi seurata omaa energian kulutustaan Excel-taulukoista ja tiedot ovat myös helposti jatkojalostettavissa.

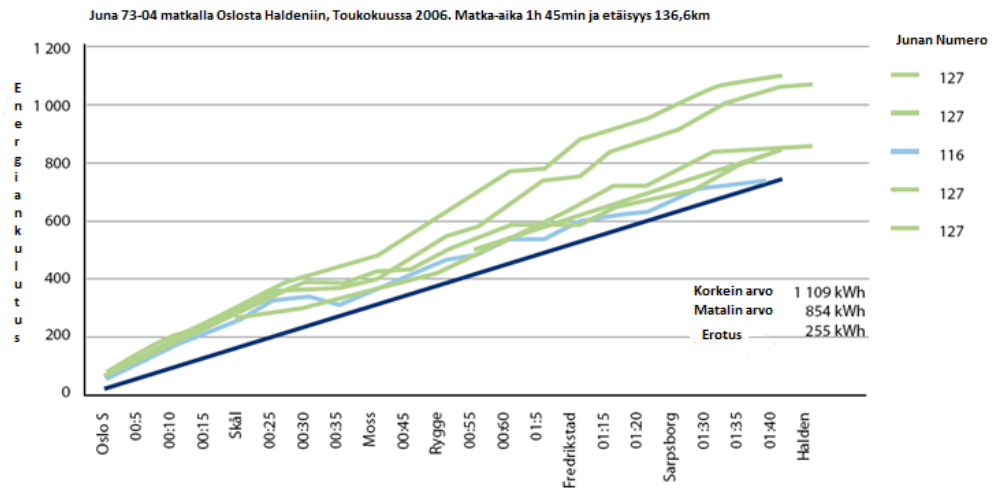
5.2 Rautatieyritysten motivointi energiansäästöön

Sähkömarkkinoiden taseselvityksen perusyksikkö on tuntienergia. Liikkuvan kaluston ajotavan analysoinnissa lyhyemmällä mittausvälillä saadaan kuitenkin tarkempaa palautetta kuljettajalle. Mittausväli onkin standardin mukaisessa laitteessa viisi minuuttia.

Pelkästään sillä, että kuljettajan kuluttamaa energiaa mitataan, on positiivisia vaikutuksia. Mittaaminen on omalta osaltaan organisaation strategian ja tavoitteiden viestintää ja jalkauttamista eri puolille organisaatiota. Mittaaminen antaa mahdollisuuden myös viestiä takaisin päin. (Suomala et al. 2011) Veturinkuljettaja voi perustella hyvää suoritustaan energiamittauksen avulla. Taloudelliseen ajotapaan on myös mahdollista luoda kannustinjärjestelmä. Nykytilanteessa, kun yksittäisen junan kulutusta ei rekisteröidä, saattaa kuljettaja ajaa helposti vain totutulla tavalla.

On myös huomattavaa, että liikenteenohjauksen suunnittelulla ja liikenteen sujuvuudella on oma osuutensa taloudellisessa ajotavassa. Veturinkuljettaja ei voi ajaa energiatehokkaasti, jos liikenteenohjaus seisottaa häntä punaisissa valoissa. Myös liikenteenohjaus voidaan ottaa mahdollisen kannustinohjelman piiriin.

Kuvasta 16 nähdään Norjassa tietyllä reitillä liikennöivien junien kulutuksen vaihtelut. Vaikka juna on sama (127), olosuhteet samanlaiset ja matka-aika kaikissa sama, kulutus vaihtelee kuljettajasta ja hänen ajotavastaan riippuen. Kulutuksen muutos suuremmasta pienempään on -23 %. Kun kuljettajalle oli annettu taloudellisen ajon koulutusta ja hän sai jatkuvaa ajon aikaista palautetta mittauksesta, kulutus saatiin laskettua jopa alle 700 kWh.



Kuva 16. Ajotavan vaikutus kulutukseen. (ERESS 2009)

Arvioitaessa kaluston mittaroinnin ja Erex-järjestelmän taloudellisia hyötyjä voidaan vertailla muiden maiden saavuttamia tuloksia. Esimerkiksi Norjan NSB AS -junaoperaattorin keskimuutokset tonnikilometrilta on laskenut vuosien 2004 ja 2011 välillä 20,5 % mittarien asennuksen ja Erex-järjestelmän myötä. (ERESS 2012)

Jos VR:n kaluston mittaroinnilla päästään samanlaisiin tuloksiin, tarkoittaa se 660 GWh (2012) kulutuksella noin 135 GWh säästöä. Sähkön hinnan ollessa Nord Poolissa tällä hetkellä noin 40 €/MWh kyseinen säästö on noin 5,4 miljoonaa euroa joka vuosi pelkästään energian osalta. Toki Norjan mäkinen rataprofiili saattaa luoda enemmän mahdollisuuksia taloudellisen ajon hyödyntämiseen. Konservatiivisemmalla 10 % energiansäästön arviolla kustannussäästö olisi 2,64 miljoonaa euroa.

Yhden mittarin investoinnin arvo ERA:n arviossa on 19000 €. Tämä arvio koostuu 11000 € hankintakustannuksesta, 6000 € välittömistä asennuskustannuksista ja 2000 € jälkikäteen tehtävistä asennuksen kustannuksista. Mittarikohtaisten operatiivisten kustannusten on arvioitu olevan noin 300 €/vuosi ja erillisten huoltokustannusten 500 €/vuosi. (Infrabel 2011)

ERAn arvio voi olla hieman yläkanttiin. Suomessa Sr1 ja Sr2 testivetureihin asennetut Elster EnergyICT:ltä tilatut energiamittarit ja tiedontallennustermiinaali maksoivat 2895 €/veturi. Lisäksi energiamittausta varten junaan piti asentaa erillinen virtamuuntaja 1060 €. Virtamuuttajille ja energiamittausyksikölle tilattiin lisäksi teholähde ja asennusala, jotka maksoivat yhteensä 594 €. Junaan tuleva GPS-signaali piti jakaa myös energiamittarille ja tähän hankittiin signaalin jakaja. Mittaustiedon lähetyksestä GSM-verkossa aiheutui myös liittymäkustannuksia. Todellinen hankintakustannus oli näin ollen vain noin 5000 € luokkaa.

Asennuskustannuksia on vaikeampi arvioida, koska VR hoiti asennuksen itse. Asennuksen kustannus muodostuu suurelta osin siitä, kuinka vaikea asennus on ja kuinka kauan veturin huoltoseisokki kestää. Asennuksen hankaluus ja kesto riippuvat veturin tyyppistä. Asennuksesta aiheutuu henkilöstökuluja ja huoltoseisokin aikaiset liikennöinnistä saatavat tulot menetetään, ellei asennusta voida toteuttaa muun huollon yhteydessä. Mittarien asennusten kustannuksista ja säästöistä on laadittu investointilaskelmat takaisinmaksuajasta ja nettonykyarvosta. Käytetään esimerkkilaskelmissa 10 % energiansäästöä ja ERAn arviota mittarien kustannuksista.

Esimerkki 4. VR:n kaluston mittaroinnin takaisinmaksuaika

VR:n koko kalusto koostuu tällä hetkellä 326 yksiköstä. Jos kaikki mittaroitaisiin, olisi investoinnin arvo $326 \cdot 19000 \text{ €} \approx 6,2 \text{ M€}$. Jos vuotuiset 800 € mittarikohtaiset kustannukset vähennetään säästöstä ja niiden, kuten myös energian hinnan oletetaan pysyvän suunnilleen samana, on vuosittainen säästö $2,64 \text{ M€} - 326 \cdot 800 \text{ €} \approx 2,38 \text{ M€}$. Mittarien investoinnin takaisinmaksuaika on näillä arvioilla noin 31 kk.

Esimerkki 5. VR:n kaluston mittaroinnin netto nykyarvo

Investointia voidaan tarkastella myös yritysten usein käyttämällä netto nykyarvomenetelmällä (NPV). Jos netto nykyarvo on positiivinen, investointi on kannattava. Valitaan laskentakorkokannaksi 7 % ja mittarin keskimääräiseksi käyttöiäksi 20 vuotta.

$$\text{NPV on } -6.2\text{M€} + \frac{2,38\text{M€}}{1,07} + \frac{2,38\text{M€}}{1,07^2} + \frac{2,38\text{M€}}{1,07^3} + \dots + \frac{2,38\text{M€}}{1,07^{20}} = 19 \text{ M€}$$

Laskelmat ovat suuntaa antavia. Käytetty ERA:n arvio mittarien investointikustannuksista ylittää selvästi todelliset hankintakustannukset kahden aiemmin hankitun mittarin perusteella. VR-yhtymän käyttämästä korkokannasta ei ole varmuutta. Myös energian siirron vähentyminen tuo lisää säästöjä siirtomaksussa. Sähkönhintaa suojausjakson yli ei voida tietää. Joka tapauksessa investoinnin taloudellinen hyöty on selvä näillä suuntaa antavilla laskelmilla ja myös pienemmällä energian säästöllä. Takaisinmaksuaikalaskelmia voidaan hyödyntää erityisesti lähivuosina poistuvan kaluston mittaroinnista päätettäessä.

Ilman viranomais määräyksiäkin VR-yhtymän sitoutuminen kaluston mittarointiin pitäisi olla nopeaa, koska se tukee samalla sen ympäristöstrategiaa. Konsernin strategiassa ympäristöasiat ja etenkin rautatieliikenteen energiatehokkuus nähdään keskeisenä vahvuutena, koska VR-konserni pystyy tarjoamaan muita liikennemuotoja ympäristöystävällisempiä liikennepalveluja. Vuoden 2012 aikana vahvistettiin uusia ympäristölupauksia. Tavoitteena on vuoteen 2020 mennessä parantaa matkustaja- ja tavaraliikenteen energiatehokkuutta 20 prosenttia ja nostaa uusiutuvan energian osuus yli 60 prosenttiin koko konsernin energiankulutuksesta. (VR Group 2012)

Myös UIC on määritellyt tavoitteet parantaa eurooppalaisen raideliikenteen energiatehokkuutta. Energian säästön tavoite vertailuvuoteen 1990 on -30 % vuoteen 2030 mennessä ja -50 % vuoteen 2050 mennessä. Tavoitteet mitataan matkustajaliikenteelle matkustajakilometriä kohden ja tavaraliikenteelle tonnikipometriä kohden. (UIC 2013)

5.3 Mittaroinnin vaikutus Liikenneviraston kulutukseen

Liikenneviraston selvästi suurin energian kulutus tapahtuu vaihteenlämmityksissä talviaikaan. Niiden tehtävänä on sulattaa vaihteeseen kasaantuva lumi ja estää vaihteen jäätyminen. Vaihteenlämmitysten energian käyttö on viime vuosina kasvanut. Tämä johtuu erityisesti olemassa oleviin vaihteisiin lisätyistä kieli- ja tankokuoppalämmityksistä. Kokonaislämmitysteho on kasvanut 32675 kW:sta (2008) 38834 kW:iin (2011). (Kamsula 2012)

Aiemmin ja vielä tällä hetkellä vaihteenlämmitysten energian käyttöä on arvioitu eri maantieteellisiltä alueilta valittujen tiettyjen lämmitysmuuntajien perusteella. Nämä lämmitysmuuntajat on pyritty valitsemaan niin, että ne vastaavat mahdollisimman hyvin koko alueen kulutuksia. Niiden mittarit on käyty lukemassa kuukausittain ja niistä on muodostettu kuukausiprofiilit koko alueelle. Todellinen puolivuositainen kulutus on saatu, kun kaikki mittarit on luettu jälkikäteen kaksi kertaa vuodessa. (Kamsula 2012)

Kaikkien vaihteenlämmitysten mittarit muutetaan vuoden 2014 loppuun mennessä etäluettaviksi. Tämä avaa uusia mahdollisuuksia tarkempaan laskutukseen ja energian kulutuksen seurantaan. Energian kulutuksen mittaaminen ei yksinään vähennä kustannuksia. Kustannusjärjestelmän tuottama tieto pitää myös aina kytkeä osaksi kustannusten hallinta- ja johtamisjärjestelmää (Geiger 1999). Tämä pitää myös huomioida Liikenneviraston organisaatiossa, ettei uusi arvokas energiatehokkuustieto jää hyödyntämättä. Organisaatiossa pitää olla selkeät vastuuhenkilöt energian säästölle ja vaihteenlämmitysten käyttäjiä pitää motivoida energian säästöön. Liikenneviraston tähän mennessä etäluettavaksi muutettuja mittauspisteitä on jo mahdollista seurata tiedonkeräilypalvelimelta.

5.3.1 Liikenneviraston energian hinnan muodostuminen

Liikenneviraston sähkönhankinta on osana valtion yhteishankintaa. Nykyisen sopimuksen mukaan sähköenergian hinta muodostuu Suomen alueen tuntikohtaisesta Elspot-hinnasta ja sähkömyyjän kilpailutetusta marginaalista. Tähän tulee päälle myös Hanselin oma palvelumaksu.

Hanselin menettelyssä valtion suojaussalkun palvelun hinta lisätään sähkönhintaan. Suojaussalkun hoitaja on tällä hetkellä Scandem Oy. Suojaussalkun palveluun kuuluvat toimittajan välityspalkkio finanssituoille, hintasuojauksen palvelumaksun kiinteä kuukausihinta, suojaussalkun kiinteä kuukausihinta, uusiutuvan energian sertifi-kaattien välityspalkkio, sertifikaatin hankintakustannukset sekä sertifikaatin markkinahinta. (Hansel 2014a)

Suojauksia varten Hanselilla on oma finanssitali, johon suojaukset netotetaan. Netotus tarkoittaa sitä, että jos sähkönhinta Suomen alueelle on Nord Poolissa 60 €/MWh ja sähkönhinta on suojattu tasolle 50 €/MWh, finanssitalille netotetaan suojatusta sähköstä 10 €/MWh. Summaa käytetään kompensoimaan kalliimpaa sähkömyyjälle maksettavaa hintaa. Sama toimii myös toisinpäin, jos sähkönhinta on halvempi Nord Poolissa, finanssitalille netotetaan tappiota. Tämä kompensoituu sillä, että sähkömyyjälle tarvitsee maksaa saman verran halvempi hinta. Sähkönhankinnasta 100 % suojataan

systemihintaa vastaan ja aluehintaa vastaan pyritään noin 70 % suojaukseen (Kuokkanen 2014). Pienehkö avoin positio pelkässä aluehinnassa ei aiheuta suurta virhettä sähköhinnan ennustettavuudessa. Hanselin arvio vuoden 2014 sähköhinnaksi sen asiakkaille on noin 50 €/MWh. Se on tämän hetkiseen hintatasoon verrattuna kohtuullisen korkea hinta ja nämä suojaukset on todennäköisesti tehty aiemmin, kun sähkönhinta ja sähköforwardit ovat olleet korkeammalla (vertaa luku 3.3).

Liikenneviraston etäluettavien mittareiden myötä VR:n ja Liikenneviraston tuntikohtainen kulutus pystytään erottamaan. Laskutus muuttuu tarkemmaksi, koska Nord Poolin tuntikohtainen Elspot-hinta ja tuntikohtainen kulutus kyetään liittämään toisiinsa erikseen molempien toimijoiden osalta. Koska kylminä pakkasjaksoina sähkönhinta on tavallisesti korkeampi kuin muina aikoina, saattaa tarkempi jaottelu aiheuttaa aiempaa enemmän kustannuksia Liikenneviraston vaihteenlämmityksille kuin VR:n vetureille. Aiemmin kun tuntikohtaista Spot-hintaa ei ole voitu käyttää hinnoittelun perusteena erikseen VR:lle ja Liikennevirastolle, kustannukset on jaettu vain talven ja kesän kulutuksen keskiarvoilla. Todellisuudessa vaihteenlämmitysten kulutus on enemmän lämpötilariippuvaa kuin junien kulutus. Junien tapauksessa matkustajavaunujen lämmitys vie enemmän energiaa pakkasilla, mutta esimerkiksi tavarajunia ei tarvitse aina välttämättä lämmittää ja kylmäkuljetuksia ei tarvitse erikseen jäähdyttää. Liikennöintimäärät ovat ympärivuoden samankaltaisia.

Jos Liikenneviraston koko sähkönhinta on suojattu Hanselin kautta, tarkemmasta erotelusta johtuvalla mahdollisella Liikenneviraston energian kallistumisella ei ole suoraa vaikutusta Liikenneviraston energian kustannuksiin. Jatkossa tämä saattaa epäsuorasti vaikuttaa Hanselin suojausten hintoihin. Jatkossa myös koko verkon häviösähkön kustannus lasketaan Liikenneviraston kulutukseen, mikä tulee myös huomioida suojauksissa, jos avointa positiota ei haluta kasvattaa.

5.3.2 Vaihteenlämmitysten säätö- ja ohjausjärjestelmät

Vaihteenlämmitysten energian kulutuksen ymmärtämiseksi tutustutaan niiden säätöjärjestelmiin lyhyesti. Vanhin käytössä oleva järjestelmä on jännitevalintaan perustuva järjestelmä. Jännitevalinnassa on kolme eri jänniteporrasta (täysiteho, $\frac{3}{4}$ teho ja $\frac{1}{2}$ teho), joiden valinnalla voidaan vaikuttaa lämmitystehoon. Tässä järjestelmässä ei ole automatiikkaa ja käyttäjä tekee tehotason valinnan. Yleensä niitä käytetään samalla teholla. Jos lumensulatuksessa havaitaan ongelmia, tehoporrasta nostetaan manuaalisesti käyttäjän toimesta. Kovilla pakkasilla energian kustannukset eivät automaattisesti kasva, koska säätöjärjestelmä ei huomioi lämpötilaa. (Kamsula 2012)

Erotusmuuntajakohtainen säätöjärjestelmä ottaa huomioon rataiskon lämpötilan. Erotusmuuntaja säätää lämmitysvastuksille menevää tehoa säätimen avulla. Kiskon lämpötilaa pidetään ohjeistuksen mukaan +10 °C -lämpötilassa. Kovilla lumisateilla tavoitelämpötila voidaan säätää käyttäjän toimesta +40 °C. Kun tavoitelämpötila on saavutettu, lämmitys kytkeytyy pois päältä. Säätöarvoista riippuen lämmitys kytkeytyy takaisin päälle, kun kiskon lämpötila on pudonnut säätöarvon alapuolelle. Lämmitys toimii siten automaattisesti. Jos esimerkiksi lumisateen määrää ei huomioida, voi järjestelmä kovilla pakkasilla pitää kiskon lämpötilaa turhaan +10 °C lämpötilassa. Tämä kuluttaa paljon energiaa, joka on kovista pakkasista johtuen myös kallista. Jos lunta ei sada, ei kiskoa kannata lämmittää 10 °C lämpötilaan.

Oikeiden säätöarvojen valinnalla voidaan saavuttaa merkittäviä energian säästöjä. Sääaseman käyttö vaihteenlämmityksen ohjauksessa on uusin tapa ja sen käytöstä on saatu erittäin hyviä kokemuksia. Sääasemalla saadaan säätöjärjestelmään lumisade uudeksi muuttujaksi. Lumisadetiedon avulla tavoitelämpötilaparametreja voidaan säätää järkevämmiksi.

Vaihteenlämmitysten ohjausjärjestelmän pilotointiprojektissa Pikkaralassa 2013 saatiin tulokseksi, että kun kiskon tavoitelämpötilan säätöarvoja laskettiin +8 °C:sta +4 °C:een, energian kulutus väheni vuorokauden seurantajaksolla 71 %. (Kamsula 2013) Vaihteenlämmitysten energian säästölle on paljon potentiaalia ja ohjausjärjestelmien optimointiin kannattaa panostaa resursseja.

5.3.3 Energian kulutuksen seurannan hyödyntäminen

Kun kaikki vaihteenlämmitysten mittarit luetaan tunnin välein, saadaan paljon tietoa siitä, miten erilaiset sääolosuhteet vaikuttavat energian kulutukseen nykyisillä vaihteenlämmitysten ohjausjärjestelmillä. Ohjausta voidaan kehittää saadun palautteen avulla.

Manuaalisten järjestelmien käyttäjät saavat palautetta energian kulutuksesta ja voivat tämän avulla hakea enemmän optimaalisia lämmitystehoja. Optimaalisten lämmitystehojen valinnassa on tärkeää tietää paikalliset sääolot. Voidaan myös tutkia helpommin sitä, missä tilanteissa kannattaa käyttää tehollämpötilaa, missä tilanteissa ylläpitolämpötilaa ja missä tilanteissa lämmitykset kannattaisi kytkeä kokonaan pois päältä. Tämän selvittäminen on hyödyllistä varsinkin harvaan liikennöidyillä radoilla, jolloin vaihteiden ei tarvitse olla koko aikaa toimintakunnossa. Vaihteiden lämmittämiseen käytetään helposti liikaa tehoa, koska niiden halutaan toimivan varmasti. Jos käyttäjällä on enemmän tietoa siitä, milloin ne toimivat varmasti pienemmälläkin kulutuksella, uskaltaa hän myös säästää energiaa helpommin.

Automaattisissa järjestelmissä esimerkiksi kiskon tavoitelämpötilan vaikutus energian kulutukseen on suuri. Samalla sääasemalta saatava tieto lumitilanteesta mahdollistaa tavoitelämpötilojen järkevää optimointia. Energian kulutusta voidaan havainnoida uusilla etäluettavilla mittareilla. (Kamsula 2012)

Myös vaihtoehtoisten menetelmien kuten harjauksen käytöstä, voidaan tehdä päätöksiä, kun tiedetään lumen sulattamisen kustannus sähköllä vaihdekohtaisesti ja vaihteen puhtaaksi harjaamisen kustannus. Jotkut vaihteet sijaitsevat kauempana kunnossapitohenkilöstöstä kuin toiset ja niiden harjauksen kustannus riippuu paljolti siitä kuinka paljon aikaa kunnossapitäjältä vie vaihteelle siirtymiseen. Ainakin ratapihalla olevien vaihteiden harjaus voisi olla kannattavaa.

5.4 Verkostosuunnittelu

Liikenneviraston vastuulla ovat sähkön siirron ja jakelun luotettavuus ja energiatehokkuus. Luvussa 4.3 käsiteltiin ratajohtoverkon kulutusennusteita sähkönmyyjän näkökulmasta. Kulutusennusteet ovat tärkeitä myös verkostosuunnittelun ja oikean kapasiteetin mitoituksen näkökulmasta. Liikennevirasto pystyy mittaustiedon lisääntyttyä paremmin suunnittelemaan verkon käyttöä ja verkon toimitusvarmuus paranee. Verkkokapasiteetin suunnittelussa tärkeitä asioita ovat hetkellinen pätö- ja loisteho, huipputeho, kulutuksen ajallinen vaihtelu, energian tarve ja häviöenergia.

5.4.1 Sähkökatkon tunnistus ja GPS-paikannus

Virroittimen hypäessä ajolangasta sähkönsyöttö katkeaa hetkellisesti. Tällaiset kohdat ajolangassa olisi kätevää tunnistaa energiamittarin avulla, jotta kunnossapito löytäisi ongelmakohdat helpommin.

Energiateollisuuden tuntimittausohjeen mukaan lyhyiden keskeytysten rekisteröitymistä laitteelle rajoittaa yleisesti mittalaitteen näytteenottotaajuus. (ET 2010) Esimerkiksi junille tarkoitetun LEM EM4T II-energiamittarin näytteenottotaajuus on 4800 Hz. (LEM 2013) Tämä on riittävä näytteenottotaajuus rekisteröimään lyhyetkin jännitekatkot. Junien energiamittarin standardissa ei edellytetä sähkökatkon rekisteröitymistä, mutta energiamittarissa saa olla standardin mukaan myös muita toimintoja, jos ne eivät haittaa pakollisia toimintoja (EN 50463-3:2012). Mittausdataan tuodaan myös paikkatieto, joten sähkökatkon paikannus riippuu GPS-järjestelmän tarkkuudesta. Mittalaite voitaisiin ohjelmoida rekisteröimään katkokset ja samalla lähettämään hälytyksen keskeytyksistä kunnossapidolle sijaintitietoineen.

6 Yhteenveto

Liikennevirasto on ERESS-maista ensimmäisenä ratainfrastruktuurinhaltijana mahdollistamassa ratajohtoverkon avaamisen vapaille sähkömarkkinoille. Tämän takia Exer-järjestelmään tarvitaan joitakin muutoksia. Exer-järjestelmä kehitettiin alun perin liikkuvan kaluston energian käytön selvittämiseen ja laskutukseen, kun rataverkonhaltija toimi itse energian myyjänä rautatieyrittäjille.

Suomen osalta Exer-järjestelmän käyttöönotto taseselvityksessä tapahtuu luvussa 4.3.2 esitellyn uuden tuntipohjaisen mallin periaatteiden asettamisella Exeriin. Valmius uuteen malliin on olemassa, kun Liikenneviraston kulutus on mittaroitu etäluettavaksi. Liikenneviraston osalta taseselvitysmallia yksinkertaistaa huomattavasti se, että Suomi on aina samaa Nord Pool -tarjousaluetta ja taseselvitystä ei tarvitse jakaa hinta-alueen mukaan. Samalla ratajohtoverkko on yksi kiinteistöverkko, jonka kulutus-pisteen mittaustietoon liitettävä verkkoalue ei vaihdu kaluston liikkua.

Uuden mallin periaatteiden mukaan Exer-järjestelmään pitää tuoda liikkuvan kaluston mittarikohtaisen kulutuksen lisäksi myös syöttöasemien kulutustieto ja Liikenneviraston ratainfrastruktuurin summakulutustiedot. Sähkönkulutustiedot pitää lähettää järjestelmästä ainakin sähkönmyyjille ja taseselvitystä hoitavalle yksikölle. Näitä kulutustietoja varten Exer-järjestelmään pitää rakentaa sanomavälitys. Tämä osapuolien välinen sanomaliikenne ja tiedonsiirtoprotokollat ovat muuttumassa yhteispohjoisiksi sähkön vähittäismarkkinoiden yhdyntyessä jo lokakuussa 2015.

Exeriin pitää myös asettaa luvussa 4.8 esitelty tariffipohjainen hinnoittelu sähkönsiirrolle. Myös muut ERESS-jäsenmaat joutunevat muuttamaan sähkön siirron hinnoittelun tariffipohjaiseksi TPA:n mahdollistamiseksi (ERESS 2010b). Tässä työssä laadittiin sähkön siirron tariffipohjainen hinnoittelu. Siirrossa perittävien kustannusten valinnassa lähtökohtina olivat direktiivi 2012/34/EU ja aiempi kustannusjaottelu Liikenneviraston ja VR:n välillä. Verkon häviökustannusten kohdentamisessa siirtotuotteeseen pohjana käytettiin NESin suositusta (NES 2011). Hinnaston luonnissa mallia haettiin julkisten jakeluverkkojen hinnastoista ja hintakomponenteista. Kustannukset jaettiin eri osapuolille käyttämällä pistehinnoittelua, aiheuttamisperiaatetta ja yksinkertaisuusperiaatetta.

Luvussa 4.10 esiteltiin mittaustiedon korjausta ja hyvitysmenettelyä sen jälkeen, kun taseet ovat sulkeutuneet. Exeriin pitää rakentaa kyseinen muutoshistoriakäsittely, koska tulevaisuudessa ratajohtoverkossa voi olla useampi myyjä ja mittaustiedon virheellisyys vaikuttaa myyjien osuuksiin sähkönkulutuksesta. Liikenneviraston pitää toimia välikätenä myyjien välillä laskutuksessa, jos virheitä jää taseisiin.

Luvun 4.2.3 1500 V ulkoliitäntäsyöttöjen energiankulutuksen mittaroinnista päättäminen on ajankohtaista, kun uusia rautatieyrittäjiä ilmaantuu. Tällöin on hyvä selvittää uusien yritysten ulkoliitäntäsyöttöjen käyttötarve. Kaikkia 200 liityntää tuskin kannattaa mittaroida. Jos käyttö on harvinaista kuten Norjassa, voi aikaperusteinen veloitus VR:n ja rautatieyrittäjien välillä olla järkevin vaihtoehto. Etäluennan liittäminen muuntaja-asemiin tulee myös ajankohtaiseksi vasta, kun VR:n kulutus ei sisälly enää verkon jäännöstaseeseen.

Liikkuvan kaluston mittarointi tulisi aloittaa mahdollisimman pian. Energian säästön potentiaali on erittäin merkittävä muiden maiden kokemusten perusteella. Mittaroinnin aloittamista ei tulisi viivyttää sen perusteella, että DHS:n ja DCS:n välisen tiedonsiirtoprotokollan määrittely on vielä avoinna. Tiedonsiirtoprotokollan vaihtaminen on energiansäästön potentiaaliin nähden pieni kustannus.

Myös Liikenneviraston vaihteenlämmitysten mittarointi auttaa Liikennevirastoa ymmärtämään vaihteenlämmitysten kulutusta entistä paremmin. Vaihteenlämmitysten ohjauksen optimoinnissa piilee suuri energiansäästöpotentiaali.

Toimenpiteet ja jatkoselvitystarpeet

1. Liikenneviraston kulutuspisteet mittaroidaan etäluettaviksi (luku 4.2.4).
2. Kehitetään tapa, jolla tiedot lähetetään sähkömarkkinoille Erex-järjestelmästä (MSCONS vs ebIX).
3. Ratajohtoverkon häviösähkön osuus kokonaiskulutuksesta pitää määrittää ja sopia VR:n kanssa. Tämä on tärkeää niin kauan, kun VR:n kulutus sisältyy jäännöstaseeseen (luku 2.6).
4. Vaihteenlämmitysten tehokerroin pitää määrittää häviöiden jakamiseksi oikein myös Liikenneviraston kulutukselle (4.8.6 häviöenergiamaksu).
5. Siirtohinnoista lasketaan etukäteen esimerkiksi seuraavalle vuodelle ja nämä tariffit asetetaan Erexiiin (luku 4.8 ja liite 3).
6. Muutoshistoriakäsittely pitää tehdä mahdolliseksi Erexiiin (luku 4.10).
7. Uuteen malliin siirtyminen (luku 4.3.2).
8. Liikkuvan kaluston mittareiden asennus tapahtuu VR:n oman aikataulun mukaisesti (luku 4.7).
9. LIIKE-järjestelmään pitää lisätä kalustokohtainen numero (EVN), jotta oikea kalusto osataan yhdistää vastaavaan mittaukseen Erexissä (luku 4.7.3).
10. Sm1:lle ja Sm2:lle ei ole laadittu vielä energia-avaimia. Niin kauan kuin niiden kulutus sisältyy jäännöstaseeseen, energia-avainten muodostaminen ei ole välttämätöntä. Jos ne päätetään mittaroida, energia-avaimia tarvitaan TMS-validointiprosessissa.
11. Liikkuvan kaluston energia-avainten oikeellisuuden varmistaminen, kun mittausdataa on enemmän saatavilla (luku 4.9).
12. LIIKE-järjestelmän tuottaman tiedon testaus energiamittaustiedon validoinnissa Erex-järjestelmässä (luku 4.7.3).
13. 1500 V ulkoliitäntäsyöttöjen mittaroinnin ratkaisut (luku 4.2.3).
14. Selvitetään, miten Liikenneviraston uutta tarkempaa energian kulutustietoa hyödynnetään vaihteenlämmitysten energiatehokkuutta kehitettäessä (luku 5.3).

Lähteet

- (1084/2009) Liikenne- ja viestintäministeriön asetus ratamaksun perusmaksusta.
- (1260/1996) Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta 7 § 1 momentti 4 kohta.
- (Alfred 1972) Alfred, A.M. 1972 Company pricing policy, The Journal of Industrial Economics, vol.21, no. 1, pp. 1-16.
- (Baxter & Oxenfeldt 1961) Baxter, W.T. & Oxenfeldt, A.R. Costing and pricing: the cost accountant versus the economist, Business horizons, vol. 4, no. 4, pp.77-90
- (Buhrkall 2006) Lars Buhrkall, Power Control of AC-Supplied Rail Vehicles 21.4.2006. 7 s.
- (Direktiivi 2012/34/EU) Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/34/EU, 21.11.2012, yhtenäisestä eurooppalaisesta rautatiealueesta ETA:n kannalta merkityksellinen teksti.
- (Dnro 1013/410/2013) Energiaviraston lausunto sähköratajärjestelmän sähköverkkotoiminnan luvanvaraisuudesta ja toimenpiteistä kilpailun avautumisen näkökulmasta. Annettu 8.11.2013. 7 s.
- (ebIX 2008) Model for information exchange. Rules for mapping to Edifact Working document Date June, 2008. 5 s.
- (EN 50163:2004) CENELEC- Railway applications- Supply voltages of traction systems. 29.11.2004.
- (EN 50463-2:2012) CENELEC:n (European Committee for Electrotechnical Standardization) määrittelemä "Railway applications - Energy measurement on board trains" -standardi EN 50463:2012. Osa 2. Energian mittaus.
- (EN 50463-3:2012) CENELEC:n (European Committee for Electrotechnical Standardization) määrittelemä "Railway 3. Datan käsittely.
- (EN 50463-4:2012) CENELEC:n (European Committee for Electrotechnical Standardization) määrittelemä "Railway applications - Energy measurement on board trains" -standardi EN 50463:2012. Osa 4: Tiedonvälitys
- (ENE TSI 2013) Railway Interoperability and Safety Committee (RISC). Draft: Commission Regulation on the technical specifications for interoperability relating to the 'energy' subsystem of the rail system in the Union. 1.10.2013. Kohta 4.2.17.
- (Energiavirasto 2014) Energiaviraston verkkosivut. [WWW] [Viitattu: 7.1.2014]
www.energiavirasto.fi
- (ERESS 2009) Presentation of European Railway Energy Settlement System (ERESS). Helsinki. 14.8.2009
- (ERESS 2010) Vileid, K. Exchange between Train Managements System and Railway Energy Settlement System, dokumentin versio 0.3. 11.2.2010. 10 s.

(ERESS 2010b) RESS. Third Party Access (TPA) in RESS. Document version 0.5. 27.5.2010 27s.

(ERESS 2011) ERESS-yhteistyö. [WWW] [Viitattu: 29.11.2013]
<http://www.ERESS.eu/media/1239/Information%20and%20requirements%20for%20EMU%20ordering%20and%20installation-1.pdf>

(ERESS 2012) Annual report ERESS 2012. 24 s.

(ERESS 2013a) ERESS status report, päiväys 20.6.2013. 22 s

(ERESS 2013b) ERESS status report, päiväys 29.8.2013. 21 s.

(ET 2010) Energiateollisuus ry. 2010. Tuntimittauksen periaatteita. 47s.

(ET 2013a) Energiateollisuus ry. 2013. Ediel sanomavälityksen yleiset sovellusohjeet. Versio 2.1. 28 s.

(EU 2008/57/EY) EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON DIREKTIIVI 2008/57/EY, 17. 6.2008, ”Rautatiejärjestelmän yhteentoimivuudesta yhteisössä”

(Filippini 1998) Filippini, M. (1998). Are Municipal Electricity Distribution Utilities Natural Monopolies? *Annals of Public and Cooperative Economics* 69:2 pp.157-174.

(Fingrid 2013a) Fingrid Oyj. [WWW] <http://www.fingrid.fi>.

(Fingrid 2013b) Fingrid Oyj [WWW] Taseselvitysinformaation verkot –luettelo.
www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/tasesahko/taseselvitysinformaatio/Sivut/default.aspx

(Fortum 2013) Presentation-Fortum corporation interim report January-September 2013. 23. Lokakuuta 2013. 29 s.

(Geiger 1999) Geiger D.R. Practical Issues in Cost Driver Selection for Managerial Costing Systems. *The Journal of Government Financial Management*, 1999, vol 48, no. 3, pp 32-39.

(Hansel 2014a) Hansel Extranet: [WWW] [Viitattu: 20.01.2014]
<https://palvelusivusto.hansel.fi/index.php?energiahankinnat/puitejarjestelyt/sahko20132017/sahkonhintasuojaus#hinnoittelu>

(Hansel 2014b) Hansel Extranet: [WWW] [Viitattu: 20.01.2014]
<https://palvelusivusto.hansel.fi/index.php?energiahankinnat/puitejarjestelyt/sahko20132017/sahkonhinnat>

(Hansen 2006) Hansen D, Mowen M. Cost Management: Accounting and Control. Kirjan 5. painos. 2006. ISBN-13. 978032423310-0, 1003 s.

(Heinimäki et al. 2011) Heinimäki, Lehto. 2011. Taseisiin jääneiden virheiden käsittely taseiden sulkeutumisen jälkeen. *Energiateollisuus. Raportti*. 25 s.

(Iikkanen , Koskinen 2013) Iikkanen P, Koskinen O. Rautatieliikenteen energian kulutus. Kirjallisuus- ja simulointitutkimusten tuloksia. Muistio 23.5.2013. 33 s.

(Infrabel 2011) Bart Van der Spiegel-Infrabel Energy Management Standardisation ERESS Customer Forum-presentation. 16.6.2011 23 s.

(IU-LOC_ PAS_TSI 2013) Railway Interoperability and Safety Committee (RISC). Draft: Commission Regulation concerning a technical specification for interoperability relating to the 'rolling stock - locomotives and passenger rolling stock' subsystem of the rail system in the European Union. 12.11.2013. Artikla 3. 191 s.

(Kamsula 2012) Kamsula P. Vaihteenlämmitysten energiatehokkuus. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 2012. 46 s.

(Kamsula 2013) Kamsula P. Vaihteenlämmitysten ohjausjärjestelmän pilotointi Pikkaralassa 2013. 19.4.2013. Esityskalvot. 20 s.

(Knight 2010) Knight M, Brownell N. How Does Smart Grid Impact the Natural Monopoly Paradigm of Electricity Supply? Publication at Grid-Interop Forum 2010

(LEM) EMT4 technical information. Energy Meter for On Board-Traction Applications. [WWW] [Viitattu:21.10.2013]
http://www.lem.com/images/stories/files/Products/1-5-3_traction_trackside/pte130620_2_lem_em4tii_leaflet_english.pdf

(Liikennevirasto 2013a) Vilppo J-M. Liikennevirasto. Järjestelmäkuvaus - Sähköistetyn radan jakeluverkkotoiminta 11.4.2013. 13 s.

(Liikennevirasto 2013b) Liikenneviraston väylätietoja 1/2013. Rataverkon kuvaus 1.7.2013. ISBN 978-952-255-338-6

(Mironova 2013) Yuliana Mironova. Supplying of traction current and use of electrical supply equipment-charging and organization of services. Esitys 15.5.2013 Wien, Itävalta.

(Mosca 2008) Mosca M. 2008 On the origins of the concept of natural monopoly The European Journal of the History of Economic Thought, 45 (2), pp. 317-353

(NBS 2013a) Nordic Ediel Group. BRS-Business requirement specifications. Nordic Balance Settlement - a market model for data exchange. 4.7.2013. 53 s.

(NBS 2013b) Nesvik O. Owe J. NEMM-Project for Nordic (TSO) Energy Market Model for data exchange. Presentation of NBS-message exchange. NBS-messaging forum Oslo 18.11.2013 Esityskalvot 27 s.

(NBS 2013c) Nordic Balance Settlement, Hirvonen J. Lintunen P. esityskalvot keskustelutilaisuus 22.11.2013. [WWW] [Viitattu:18.12.2013] <http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Tasepalvelun%20liitteet/NBS%20keskustelutilaisuus%2022.11.2013/4%20NBS%20Malli%2020131122%20Lintunen%20Hirvonen.pdf>

(NES 2002) Energy Settlement - Trains without Energy Meters. Recommendation from the NES Group. 15.3.2002. 30 s.

(NES 2011) NES –Nordisk Elkraftteknisk Samarbete. All Nordic Network Traction power supply, energy settlement, Energy loss equation and its components and definitions. Rapport. 39 s.

(Nesvik 2013) Sekvenssimalli, jonka Norjalaisen konsulttiyhtiö Edisysin Ove Nesvik piirsi ERESSin ”3rd party access”-workshopissa liittyen uuteen NBS-taseselvitykseen ja ratainfrastruktuurinhaltijan tehtäviin mittaustiedon välityksessä. Oslo. 9.12.2013

(NordREG 2013) NordREG Road map towards a common harmonized Nordic end user market, report 5, 2013

(N.TSOs 2011) Standards for Electronic Data Interchange (EDI) in a common Nordic retail market- a position paper from the Nordic TSOs (Energinet.DK, Fingrid, Statnett, Svenska Kraftnät). 23.8.2011

(Pantti 2010) Pantti J-P. Sähkön siirtotuotteiden hinnoittelusovelluksen kehittäminen. Diplomityö TTY Helmikuu 2010. 92 s.

(Partanen et al. 2012) Partanen J., Viljainen S., Lassila J., Honkapuro S, Tahvanainen K., Karjalainen R., Annala S., Makkonen M. 2012. Sähkömarkkinat – opetusmoniste. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. ISBN 951-764-819-9, 87 s.

(Rejlers Oy 2012) Martikainen Lasse, Hirn Esa. 20.12.2012. Energia-avaimet sähkö- vatureiden energiankäytön laskutusta varten. Liikennevirastolle tehty selvitys. 26 s.

(Rejlers Oy 2013) Martikainen L. Rautateiden sähkönkulutuksen mittaus- ja tiedonsiirto- palvelu. Vaihteenlämmitysten mittarispesifikaatio. 4.11.2013. 4 s.

(Reponen 2013) Reponen Juho. Sähköradan syöttöasemien yliaaltosuodattimen mitoitus. Insinööri työ. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 20/2013. ISBN 978-952-255-321-8. 45s

(Segerstam 2013) Energiamarkkinat, tiedonvaihto ja tietojärjestelmät. Empower 5.2.2013. Sähkömarkkinat kurssin vierailuluento. Esityskalvot 28 s.

(Stadler 2013) Energy consumption Flirt Sm5, Stadler Betriebsdaten report. tammikuu 2013. Excel-tiedosto.

(Statnett 2013) Possible means of communication. NBS-messaging forum 18.11.2013 Gardermoen hosted by Statnett. Esityskalvot 12 s.

(Suomala et al.2011) Suomala P., Manninen O., Lyly-Yrjänäinen J. 2011. Laskentatoimi johtamisen tukena. ISBN 978-951-37-5731-1. Kirja 336 s.

(Sähkömarkkinalaki 588/2013) 1.9.2013 voimaan astunut uusi sähkömarkkinalaki.

(TEM 2008) Työ- ja elinkeinoministeriön asetus sähköntoimituksen selvitykseen liittyvästä tiedonvaihdosta (809/2008) ”Sanomaliikenneasetus”.

(UIC 930) UIC leaflet 930, Exchange of data for cross-border railway energy settlement 1st edition, September 2009 – Alkuperäinen julkaisu 4-2009 (1/11/2009). ISBN:978-2-7461-1700-6 61 sivua.

(UIC 2013) Raimondo Orsini. Sustainable Development Foundation. The New UIC-CER Environmental Strategy Reporting System, Wien 15.5.2013 ERESS-Forum. Esitys. 24 s.

(UTILTS 2008) Technical Ediel-guide UTILTS & APERAK 12.11.2008

(Uusitalo 2010) Uusitalo Kari. Sähköradan siirtohinnat kuukausittain vuodelta 2010. Excel-tiedosto.

(Vantaan Energia 2012) Vantaan Energian Liikennevirastolle lähettämät kuukausittaiset kaikkien 82 syöttöaseman rajapistemittaukset vuonna 2012. Excel-tiedosto.

(VNA 2009) Valtioneuvosto. 2009. Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta (66/2009). ”Mittausasetus”.

(VNP 2009) Valtioneuvoston periaatepäätös kestävien valintojen edistämisestä julkisissa hankinnoissa. Liite 1. 8.4.2009.

(VR Group 2012) VR Groupin tilipäätös- ja toimintakertomus 2012 13.2.2013. 53 s.

(VR Rata 2009) Saarro J., Tiippa E., Uusitalo K. VR-Rata rautatiesuunnittelu. Sähkörata-sähkön hankinta. muistio 17.9.2009. 17 s.

(Wihinen 2012) Wihinen K. Exploring Cost System Design Principles: The Analysis of Costing System Sophistication in a Pricing Context. Väitöskirja TTY 2012. 180 s. ISBN 978-952-15-2972-6.

Haastattelut

(Tikkanen 2013) Keskustelu sähköpostilla liittyen ratajohtoverkon tasehallintaan Energia Myynti Suomi Oy:n myyntipäällikkö Jarmo Tikkasen kanssa. 14.11.2013.

(Gulbrandsen 2013) Keskustelua sähköpostilla Erexin kustannuksista ja niiden jakamisesta ERESS:in johtajan Dyre Martin Gulbrandsen kanssa 4.11.2013.

(Krogstad & Gulbrandsen 2013) Käyty keskustelu Erex-käytön ja mittaroinnin etenemisestä Suomessa ERESSin Gunn Helene Krogstadin, Dyre Martin Gulbrandsen ja Liikenneviraston Juha-Matti Vilpon kanssa. ERESS päämaja. Oslo 9.12.2013.

(ERESS/TPA 2013) ERESS 3rd Party Access -työpajassa käyty keskustelu 9.12.2013 Oslo. ERESSin päämaja. Muun muassa Gunn Helene Krogstadin, Dyre Martin Gulbrandsen, ERESS-ohjausryhmää kuuluvien henkilöiden ja Nordic Ediel Groupin NBS-projektin sihteeri Ove Nevikin (Edisys) kanssa.

(Kuokkanen 2014) Keskustelua sähköpostilla Hanselin Pasi Kuokkasen kanssa valtion sähköenergian hinnan muodostumisesta.

Rataverkon kuvaus (Liikennevirasto 2013b)



ebIX® Aggregated Data per MGA (E31, E44) (NBS 2013b)

ebIX® Attribute	Cl.	Content	Descriptions and comments
Header	[1]		
Identification	[1]	Document ID	Unique identification of the business document
Document Type	[1]	Document type	E31 Aggregate metered data from the Metered data aggregator, local
Creation	[1]	Creation date/time	Date and time of creation of the business document
Sender Energy Party	[1]	Sender ID	Unique identification of the sender of the document
Recipient Energy Party	[1]	Recipient ID	Unique identification of the recipient of the document
Process Energy Content	[1]		
Energy Business Process	[1]	Process	E44 Imbalance Settlement
Energy Business Process Role	[1]	Process Role	DDX Imbalance settlement responsible DDK Balance responsible party DDQ Balance power supplier
Energy Industry Classification	[1]	Industry	23 Electricity supply industry
Payload Energy Time Series	[1]		
Identification	[1]	Time series ID	Unique ID of the Time Series
Observation Period time Series Period	[1]		
Resolution Duration	[1]	Resolution	For example: PT15M expresses a 15-minute resolution. PT1H and PT60M expresses a one-hour resolution.
Start	[1]	Start date/time	Date and time for the start of the time series
End	[1]	End date/time	Date and time for the end of the time series

Sähkön siirtohinnoituksen hahmotelma VR:lle

	Perus- maksu / vuosi	Siirron energia- maksu / MWh	Häviöenergia- maksu / MWh
EIServer / mittari	350 €		
Erexin yhteiset operatiiviset kustannukset / vetoyksikkö	410 €		
110 kV:n verkkopalvelumaksut keskimäärin		5,50 €	
Rejlers syöttöasemien tiedonsiirto		0,007 €	
Erex-investointikulut		0,21 €	
$f_{qk_{VR}} \cdot hp$			2,73 €
Yhteensä (ei sis alv)		5,71 €	2,73 €

Vuosittainen sähkön kulutuksen arvio (MWh)**

VR:n osuus (MWh) Liikenneviraston osuus (MWh)

751000

660000

91000

$f_{qk_{VR}} = VR:n$ kaluston häviökertoimien keskiarvo*** 1,64

$f_{qk_{LIVI}} = Vaihteenlämmitysten häviökertoimien keskiarvo**** 1,11$

Rataverkon häviösähköprosentti ***** 5 %

Liikenneviraston sähkönhinta €/MWh***** 50

$hp =$ kaikille toimijoille yhteinen häviöenergian perushinta €/MWh 1,67

Liitteen 3 tarkennukset ja oletukset:

*Keskimääräiset verkkopalvelumaksut arvioitiin vuonna 2010 maksetuilla summilla 110 kV - verkkohaltijoille ja yhteissiirtomäärillä. Vuonna 2010 Fingridillä oli vielä käytössä 1000 €/kk kantaverkkoon liittymismaksu, joka toi huomattavan kiinteän kustannuksen komponentin laskuun. Nyttemmin se on poistunut ja Fingridin kantaverkkopalvelumaksu koostuu luvussa 4.8.4 esitetystä hinnastosta. Tarkemmilla ajankohtaisilla sopimustiedoilla voitaisiin laskea myös erillinen talvi- ja muu aika hinta.

**Mittaroinnin voidaan olettaa lisäävän energiatehokkuutta, joten vuosittaisiin siirtomääriin voidaan tehdä pieni korjaus alaspäin, jolloin tariffien hinnasto riittää kattamaan myös hallinnon kiinteät kustannukset. Hallinnon kiinteät kustannukset ovat kuitenkin vähäiset suhteessa verkkopalvelumaksuihin ja tämä ei ole välttämätöntä.

***VR:n häviökerroin laskettiin nykykalustosta kaavalla $(196 \cdot 1/0,7^2 + 130 \cdot 1)/320$, vanhoja vetureita ja junia ovat Sm_1, Sm_2 ja Sr_1 , joiden tehokertoimiksi on arvioitu 0,7. Loput tehokertoimet on arvioitu 1.

****Liikenneviraston vaihteenlämmityksen tehokertoimeksi arvioitiin 0,95.

*****Ratajohtoverkon keskimääräiseksi häviöprosentiksi arvioitiin 5 %.

*****Liikenneviraston maksamaksi energian hinnaksi arvioitiin 50 €/MWh, tämä perustuu Hanselin arvioon vuoden 2014 sähkönhinnasta. (Hansel 2014b)

