

<input type="checkbox"/>	Kandidaatintutkielma
<input checked="" type="checkbox"/>	Pro gradu -tutkielma
<input type="checkbox"/>	Lisensiaatintutkielma
<input type="checkbox"/>	Väitöskirja

Oppiaine	Taloustiede	Päivämäärä	3.4.2022
Tekijä	Saara Sahinoja	Sivumäärä	54
Otsikko	Tukihuutokauppojen voittaneiden tarjousten toteutuminen: Sähköisen liikenteen ja biokaasun liikennekäytön infrastruktuurituki 2018–2021		
Ohjaaja	Professori Hannu Salonen		

Tiivistelmä

Tukien jakamista huutokaupan avulla pidetään kustannustehokkaana tapana tukitason määrittämiseen ja tuen saajien valitsemiseen. Tukihuutokauppojen voittaneiden hankkeiden toteutumisaste saattaa kuitenkin jäädä alhaiseksi, jos tarjoajat eivät onnistu arvioimaan hankkeiden investointikustannuksia oikein. Tällöin huutokaupan voittajat voivat kärsiä nk. voittajan kirouksesta. Jos tarjouksien mukaiset investoinnit eivät toteudu, tukiohjelma ei saavuta sille asetettuja tavoitteita.

Tässä tutkielmassa tarkastellaan Suomessa vuosina 2018–2021 järjestettyjen liikenteen infrastruktuurituen huutokauppojen toteutumisasteita. Liikenteen infrastruktuurituen huutokauppojen viimeinen kierros järjestettiin vuonna 2021 ja tämän kierroksen voittaneilla tarjouksilla on aikaa toteuttaa hanke vuoteen 2023 asti. Näin ollen lopullisia arvioita tukiohjelman toteutumisasteesta ei voida vielä tehdä, vaan tutkielmassa tehdään ennuste toteutumisasteesta. Menetelmänä ennusteiden tekemiseen käytetään elinaika-analyysin menetelmiin kuuluvaa Kaplan-Meier-estimaattoria. Menetelmän avulla eri aikoihin järjestettyjen huutokauppakierroksien voittaneiden hankkeiden toteutumisajat pystytään tuomaan yhteismitalliseen muotoon, jolloin pystytään esittämään ennusteita koko huutokaupan lopullisesta toteutumisasteesta.

Tutkielman tulosten perusteella huutokauppojen toteutumisaste on jäämässä suhteellisen alhaiseksi. Ennusteen mukaan noin 55 prosenttia kaikista voittaneista tarjouksista tulee toteutumaan. Huutokaupoissa kilpailu oli jaettu ryhmiin teknologiakohtaisesti, joten tutkielmassa tarkasteltiin myös toteutumisasteiden eroja eri teknologiaryhmien välillä. Teknologiaryhmäkohtainen toteutumisaste oli suhteellisen vaihteleva. Korkein toteutumisaste, noin 75 prosenttia, oli ajoneuvojen perustehoisten latauspisteiden ryhmällä. Matalin toteutumisaste oli linja-autojen latauspisteiden ryhmässä, jossa yksikään hanke ei ole vielä toteutunut.

Keskimääräisen toteutumisasteen alhaisuutta sekä teknologiaryhmien välisiä eroja voidaan selittää kilpailussa mukana olleiden teknologioiden erilaisilla markkinatilanteilla. Osalla teknologioista markkinat eivät ole olleet kovin kypsät, minkä seurauksena tarjoajilla ei ole ollut tarpeeksi tietoa hankkeiden investointikustannuksien ja rahoituskelpoisuuden arvioinnissa. Alhaiseen toteutumisasteeseen on voinut vaikuttaa myös COVID-19-pandemia. Tulosten tulkinnaassa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että ennusteessa on paljon epävarmuutta ja estimaattorit tarkentuvat vielä, kun aineistoon lisätään havaintoja.

Avainsanat	Tukihuutokaupat, Ilmastopolitiikka, Vaihtoehtoiset käyttövoimat, Elinaika-analyysi, Suomi
------------	---



**TURUN
YLIOPISTO**
Kauppakorkeakoulu

TUKIHUUTOKAUPPOJEN VOITTANEIDEN TAR- JOUSTEN TOTEUTUMINEN

**Sähköisen liikenteen ja biokaasun liikennekäytön infrastruktuurituki
2018–2021**

Taloustieteen pro gradu -tutkielma

Laatija:
Saara Sahinoja

Ohjaaja:
Prof. Hannu Salonen

3.4.2022
Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turun OriginalityCheck -järjestelmällä.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	TUKIHUUTOKAUPPOJEN VOITTANEIDEN TARJOUSTEN TOTEUTUMISEN HAASTEET	8
	2.1 Huutokaupat tukien jakamisen välineenä	8
	2.2 Optimaalisen tarjouksen asettamisen haasteet	9
	2.3 Huutokaupan järjestäjän keinot toteutumisasteen kasvattamiseen	12
	2.4 Esimerkkejä tukihuutokauppojen toteutumisasteesta	15
3	TIELIIKENTEEN VAIHTOEHTOISET KÄYTTÖVOIMAT	18
	3.1 Vähäpäästöisen tieliikenteen tukeminen.....	18
	3.2 Tieliikenteen infrastruktuurituki	19
	3.3 Teknologioiden markkinatilanne ja hankkeiden kannattavuus.....	22
4	AINEISTO JA MENETELMÄ.....	26
	4.1 Tukihuutokauppojen voittaneiden hankkeiden maksatushakemukset.....	26
	4.2 Elinaika-analyysi hankkeiden toteutumisen estimoinnissa.....	28
	4.2.1 Elinaika-analyysi	28
	4.2.2 Kaplan-Meier-estimaattori.....	31
	4.2.3 Log-rank-testi.....	34
5	TULOKSET JA TULKINTA	36
	5.1 Voittaneiden hankkeiden toteutuminen.....	36
	5.2 Estimaattien vertailu	40
	5.3 Testit.....	42
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	46
	LÄHTEET	50

KUVIOT

Kuvio 1 Infrastruktuurituen huutokaupan eteneminen	20
Kuvio 2 Kaikkien teknologiaryhmien hankkeiden toteutumatta jäämisen todennäköisyys 36	
Kuvio 3 Teknologiaryhmäkohtaiset Kaplan-Meier-estimaattorit	38
Kuvio 4 Syyskuun ja joulukuun aineistoilla tehtyjen estimaattien erot.....	41
Kuvio 5 Biokaasun tankkausasemat ja ajoneuvojen suuritehoiset latauspisteet.....	43
Kuvio 6 Biokaasun tankkausasemat ja ajoneuvojen perustehoiset latauspisteet	44
Kuvio 7 Ajoneuvojen suuritehoiset latauspisteet ja perustehoiset latauspisteet	44

TAULUKOT

Taulukko 1. Infrastruktuurituen huutokaupoissa annetut tarjoukset kierroskohtaisesti (mukailen Sahinoja ym. 2021, 14).....	22
Taulukko 2 Tukihuutokaupoissa hyväksytyt tarjoukset.....	27
Taulukko 3 Elinaikataulu Kaplan-Meier-estimaattorilla (mukailen Sullivan 2016)	33
Taulukko 4 Teknologiaryhmien välisten log-rank-testien merkitsevyystasot	42

1 JOHDANTO

Huutokaupan käyttö tuen jakamisen välineenä on yleistynyt Euroopan Unionissa viime vuosina varsinkin uusiutuvan energian tukien jakamisessa. Tämän tutkielman tarkoituksena on tarkastella, miten Energiaviraston toimesta Suomessa järjestettyjen liikenteen infrastruktuurituen huutokauppojen voittaneet hankkeet ovat toteutuneet. Tieliikenteen infrastruktuurituki on yrityksille suunnattu investointituki, jolla pyritään kannustamaan uusien tankkaus- ja latauspisteiden rakentamiseen. Jotta tukiohjelma saavuttaa sille asetetut tavoitteet, tulee mahdollisimman monen huutokaupan voittaneen hankkeen toteutua.

Ilmastonmuutoksen hillintä on noussut niin kansainvälisten yhteisöjen kuin yksittäisten valtioiden tärkeäksi tavoitteeksi. Ilmanpäästöjä ja luonnonvarojen ylikäyttöä voidaan vähentää sekä pienentämällä energian ja resurssien kulutusta että tukemalla uusiutuvien energialähteiden käyttöä fossiilisten polttoaineiden sijaan (Euroopan ympäristökeskus 2020). Uusiutuvat energialähteet ovat usein kalliimpia suhteessa fossiilisiin polttoaineisiin, sillä fossiilisten polttoaineiden negatiiviset ulkoisvaikutukset eivät välity niiden hintoihin (Bento ym. 2020, 1). Näin ollen uusiutuvia energialähteitä tulee tukea, jotta niistä tulee kilpailukykyisiä vaihtoehtoja markkinoilla. Valtiot voivat tukea uusiutuvien energialähteiden käyttöä säädöksillä, vero- tai suorilla tuilla tai tarjoamalla itse palveluita. Suorille, yrityksiin kohdistuville tuille on tarvetta, jos rahoitusmarkkinat eivät kykene tunnistamaan ja hinnoittelemaan uusien puhtaita teknologioita hyödyntävien innovaatioiden positiivisia ulkoisvaikutuksia. Tällöin rahoitus ei ohjaudu niihin kohteisiin, joiden avulla torjuttaisiin tehokkaimmin ilmastonmuutosta. (Rauhanen ym. 2015, 5.)

Eräs Euroopan Unionissa viime vuosina yleistynyt tapa jakaa suoria tukia on huutokauppa. Huutokaupan kautta jaetuissa tukiohjelmissa tukitaso määräytyy annettujen tarjousten perusteella eikä hallinnollisella päätöksellä, kuten esimerkiksi Suomen tuulivoiman syöttötariffijärjestelmässä (Magnusson ym. 2019, 31). Yksi syy huutokauppojen käytön yleistymiseen tukien jakamisessa ovat Euroopan Komission suuntaviivat ympäristönsuojelulle ja energialle, joiden mukaan huutokaupat ovat ensisijainen tapa jakaa energiaan liittyviä tukia (Gelphart ym. 2017, 146). Onnistuneiden huutokauppojen avulla voidaan pienentää uusiutuvasta energiasta maksettavaa korvausta ja sitä kautta välttää liian suurien tukien maksaminen (Bichler ym. 2020, 1). Oikein suunniteltu ja järjestetty tukihuutokauppa voi olla usein kustannustehokas tapa tukitason määrittämiseen ja tuen saajien valitsemiseen (Winkler ym. 2018, 473).

Voittaneiden hankkeiden alhainen toteutumisaste voi kuitenkin estää huutokaupalle asetettujen tavoitteiden saavuttamisen. Jos tuen voittaneet hankkeet eivät toteudu, tukiohjelmalla tavoiteltuja hyötyjä ei saavuteta. Esimerkiksi uusiutuvan energian tukihuutokaupoissa riski hankkeiden toteutumatta jäämiselle on usein ongelma. Kuitenkin keinot kasvattaa huutokaupan toteutumisastetta, kuten esimerkiksi sanktiot tai vakuudet, voivat tehdä huutokaupasta vähemmän tehokkaan välineen tukien allokaatiossa nostamalla yritysten kynnystä osallistua kilpailuun. (Kreiss ym. 2017, 512.) Tukihuutokauppojen onnistunut suunnittelu vaatii siis tasapainottelua kahden erilaisen tavoitteen kanssa: samaan aikaan tulee tavoitella, että huutokaupassa on tarpeeksi tarjouksien tekijöitä ja kilpailua, mutta toisaalta täytyy varmistaa, että tarjouksien tekijät todella toteuttavat hankkeensa (Maurer & Barroso 2011, 95).

Tieliikenteen infrastruktuurituen huutokauppoja on järjestetty vuodesta 2018 alkaen yhteensä neljä kertaa. Viimeinen kilpailukierros toteutettiin vuonna 2021. Tukihuutokaupan voittaneilla yrityksillä on 22 kuukautta aikaa toteuttaa hanke ja hakea maksatusta. Näin ollen tukihuutokauppojen lopullista vaikutusta voidaan arvioida vasta vuonna 2023, kun kaikkien voittaneiden hankkeiden määräaika toteutumiselle on kulunut umpeen. Tästä syystä toteutumisen todennäköisyyden arvioinnissa käytettiin elinaika-analyysin menetelmiin kuuluvaa Kaplan-Meier-estimaattoria. Tutkielma on tehty virkasuhteessa Energiavirastolle ja sen yhteydessä on tehty Energiavirastolle aiheesta myös vaikuttavuusanalyysi (Sahinoja ym. 2021), joka käsittelee laajemmin tuen vaikuttavuutta. Tutkielmassa käytetty aineisto on koostettu Energiaviraston tuen maksatusta varten keräämistä tiedoista.

Tukihuutokaupoissa tarjottiin tukea erikseen neljälle eri teknologiaryhmälle, joita olivat biokaasun tankkausasteet, paikallisen joukkoliikenteen latauspisteet, ajoneuvojen suuritehoiset latauspisteet ja ajoneuvojen normaalitehoiset latauspisteet (Energiavirasto 14.8.2018). Teknologiaryhmäjaon ansiosta tutkielman aineisto tarjoaa mahdollisuuden vertailla myös eri teknologioiden vaikutusta huutokaupan lopputulokseen. Näin ollen tutkielmassa tarkastellaan koko tukihuutokaupan yleisen toteutumisasteen lisäksi eri teknologiaryhmien eroja toteutumisasteessa. Koska tukihuutokauppojen käyttö on yleistynyt vasta viime vuosikymmenen aikana, löytyy niiden toteutumisasteesta sekä vaikutuksista tuen jakamisen välineenä vielä suhteellisen vähän tutkimusta. Esimerkiksi Bento ym. (2020, 2) toteavat, että tukihuutokauppojen vaikutukset ovat epäselvät ja niiden empiiristä tutkimusta on suhteellisen vähän. Näin ollen tämä tutkielma pyrkii osaltaan syventämään tutkimustietoa aiheesta.

Tutkielman toinen luku esittelee tukihuutokauppojen voittaneiden tarjouksien toteutumiseen liittyviä haasteita ja sitä, miten huutokaupan suunnittelulla voidaan parantaa toteutumistasetta. Lisäksi tarkastellaan 2000–2010-luvuilla järjestettyjen tukihuutokauppojen toteutumistasetta. Kolmannessa luvussa taas käsitellään taustaa sille, miksi ja miten liikenteen vaihtoehtoisia käyttövoimia tuetaan sekä esitellään tutkimuksen kohteena oleva tieliikenteen infrastruktuurituki. Neljännessä luvussa esitellään tutkielman käyttämä aineisto, joka on koottu Energiaviraston tukien maksatuksia varten kerätyistä tiedoista, sekä käytetyt elinaika-analyysin menetelmät. Viidennessä luvussa esitetään tuloksena saadut Kaplan-Meier-estimaattorit. Luvussa arvioidaan myös estimaattorien tarkentumista vertailemalla niitä Sahinojan ym. (2021) vaikuttavuusanalyysiin sekä teknologiaryhmien välisten erojen luotettavuutta log-rank-testin avulla. Kuudennessä luvussa käsitellään tuloksien avulla tehtyjä johtopäätöksiä.

2 TUKIHUUTOKAUPPOJEN VOITTANEIDEN TARJOUSTEN TOTEUTUMISEN HAASTEET

2.1 Huutokaupat tukien jakamisen välineenä

Huutokaupat eivät ole tukimuoto, vaan mekanismi tukien jakamiselle. Tukihuutokauppojen tavoitteena on jakaa valittu tukimuoto tietylle määrälle hankkeita kilpailun avulla. Näin ollen sen lisäksi että päätetään jakaa tuki huutokaupan avulla, tulee myös itse tukimuoto määritellä. Tyypillisesti tuki on joko investointituki tai tuotantotuki. Huutokauppamekanismeja on montaa eri tyyppiä ja tukien jakamiseen soveltuu useampi eri huutokauppamekanismi. (Gephart ym. 2017, 148.) Tukihuutokaupat noudattavat suurelta osin perinteisiä huutokauppamekanismeja, jotka nojaavat vahvasti teoriaan (kts. mm. Kagel ym. 1987; McAfee & McMillan 1987). Yleisiä tukihuutokaupoissa käytettyjä mekanismeja ovat suljettujen tarjousten huutokauppa (engl. sealed-bid) ja hollantilainen eli laskeva huutokauppa (engl. descending clock auction) (Maurer & Barroso 2011, 7).

Tukien, erityisesti uusiutuvan energian tuotantotukien, myöntäminen huutokauppojen avulla on yleistynyt viime vuosikymmenen aikana (del Rio ja Kiefer 2021, 195). Esimerkiksi uusiutuvan energian tukihuutokauppoja järjestettiin maailmanlaajuisesti vuonna 2005 kuudessa eri maassa, kun taas vuonna 2015 niitä järjestettiin 60 maassa (IRENA 2015, 7). Suomessa on tähän mennessä toimeenpantu kaksi tukiohjelmaa huutokauppojen avulla ja näiden molempien ohjelmien järjestämisestä on vastannut Energiavirasto. Vuosina 2018–2019 järjestettiin uusiutuvan energian teknologianeutraali tukihuutokauppa. Huutokaupassa yritykset tarjosivat haluamaansa tukimäärää, jota vastaan ne voisivat tuottaa osuuden 1,4 terawattitunnin vuotuisesta sähkön tuotantomäärästä. (Magnusson ym. 2019, 31.) Toinen huutokaupan avulla jaettava tukiohjelma on tämän tutkielman tarkastelukohteena oleva tieliikenteen infrastruktuurituki.

Huutokaupassa tuettava määrä asetetaan tyypillisesti etukäteen. Hyvin suunniteltu huutokauppamekanismi tuo esiin tietoa tuottajien todellisista kustannuksista, ehkäisten epäsymmetristä informaatiota lainsäätäjän ja yritysten välillä. (Bento ym. 2020, 4.) Del Rio ja Linares (2014, 42) toteavat, että usein lainsäätäjillä ei ole epäsymmetrisen informaation takia tarpeeksi tietoa tukitasojen optimaaliselle tasolle asettamiseen, mikä voi johtaa ylisuuriin tukiin. Huutokaupasta saatava informaatio auttaa lainsäätäjiä arvioimaan optimaalista tukitasoa paremmin tulevaisuudessa ja hyödyttää täten myös tulevia tukiohjelmaa (Ollikka 2013, 297).

Teoreettisesti hyvin suunniteltu huutokauppamekanismi kykenee myös valikoimaan ne projektit, jotka ovat kustannustehokkainta toteuttaa (Winkler ym. 2018, 474). Tällöin onnistuneiden huutokauppojen avulla voidaan siis heti pienentää tuettavan hyödykkeen tuottamisesta koituvaa kustannusta (Bichler ym. 2020, 1). Tukihuutokauppojen heikkoutena taas voidaan nähdä järjestelmästä syntyvät transaktiokustannukset sekä hankkeiden mahdolliset viivästymiset tai toteumatta jääminen. Kilpailuun osallistumisen korkeat kustannukset voivat estää pienempiä yrityksiä osallistumasta ja aggressiivinen tarjoamiskäyttäytyminen taas johtaa tarjouksiin, jotka eivät ole toteuttamiskelpoisia. (Bento ym. 2020, 4.) Onnistuneeseen suunnitteluun liittyviä haasteita käsitellään tarkemmin seuraavassa luvussa 2.2.

Tukihuutokaupat toimivat yleisesti siten, että huutokaupan järjestävä ja tuen jakava taho päättää huutokaupattavien hyödykkeiden määrän tai jaettavan kokonaistuen maksimimäärän tai mahdollisesti molemmat. Energiantuotantoon tai -käyttöön liittyvissä huutokaupoissa tukea jaetaan enemmän kuin yhdelle hankkeelle tai toiminnanharjoittajalle. Tukihuutokaupan sulkeuduttua voittavat tarjoajat saavat joko tarjoamansa tuen (engl. pay-as-bid) tai kaikki saavat saman kilpailun viimeisenä voittaneen tarjouksen tuen (engl. pay-as-cleared). (Gephart ym. 2017, 149.) Huutokauppa voi olla joko staattinen, eli aina yhden kierroksen pituinen, tai dynaaminen, jolloin siinä järjestetään useampi perättäinen kilpailukierros. Dynaamisissa huutokaupoissa tarjoajat saavat tietoa edellisestä kierroksesta ja voivat muuttaa käyttäytymistään tämän perusteella seuraavia kierroksia varten. (Winkler ym. 2018, 494.)

2.2 Optimaalisen tarjouksen asettamisen haasteet

Kuten edellä todettiin, eräs tukihuutokauppojen etu on, että sekä tuettavan hyödykkeen määrän että itse järjestettävien tukihuutokauppojen määrällä voidaan kontrolloida tuettavien kohteiden määrää. Kuitenkin tukihuutokauppojen todellinen toteutumisen aste ja tätä kautta tukihuutokauppojen tehokkuus eivät aina pääse halutulle tasolle. (Gephart ym. 2017, 150.) Huutokaupan järjestäjän näkökulmasta yksi suurimmista huutokauppaan liittyvistä riskeistä onkin, että tuen voittaneet yritykset eivät toteuta hankkeita. Tällöin huutokaupalla tavoitellut hyödyt jäävät saavuttamatta. (Kreiss ym. 2017, 512.)

Syitä sille, että tukihuutokaupassa voittaneet yritykset eivät toteuta hankkeitaan ovat esimerkiksi se, että ne ovat arvioineet hankkeen investointikustannukset virheellisesti tai ne eivät ymmärrä kilpailun sääntöjä ja tarjoavat tämän seurauksena liian pientä tukea suhteessa kustannuksiin. Joskus tarjoajat saattavat myös tarkoituksella huutaa liian pientä

tukea vaikuttaakseen huutokaupan lopputulokseen ja ajaakseen kilpailijat ulos huutokaupasta. Tällöin kyseessä on strateginen tarjous. (Gephart ym. 2017, 151–152.)

Jos tarjoajat eivät ole tarkoituksella tarjonneet liian alhaista tukea, vaan tarjous on alhainen esimerkiksi investointikustannuksien virheellisen arvioinnin takia, voi kyseessä olla voittajan kirous. Voittajan kirouksen esittelivät ensimmäisten joukossa Wilson (1969) ja Capen ym. (1971). Wilson (1969) analysoi voittajan kirouksen ilmenemistä yhteisesti arvostetun hyödykkeen huutokaupassa (engl. common value model). Capen ym. (1971) taas havaitsivat voittajan kirouksen huutokaupassa tutkiessaan Yhdysvalloissa öljynporausoikeuksien jakoa. Capenin ym. (1971) havainto oli, että öljynporausoikeuden tarjouskaupan voittaja on yleensä se tarjoaja, joka on kaikkein suurimmin yliarvioinut öljyvarannon tuottopotentiaalin. Näin ollen voittava tarjous ei todennäköisesti ollutkaan tarpeeksi tuottava.

Mead ym. (1983) ja Hendricks ym. (1987) täydensivät Capenin ym. (1971) tutkimusta ja löysivät lisää todisteita voittajan kirouksen ilmenemisestä öljynporausoikeuksien huutokaupoissa. Mead ym. (1983) havaitsivat, että huutokaupan voittaneet yritykset saivat hankkimistaan kohteistaan pienemmän tuoton kuin ne olivat etukäteen arvioineet. Hendricks ym. (1987) taas havaitsivat, että suurin osa tarjouskilpailuun osallistuneista yrityksistä tarjosi huomattavasti yli optimaalisen tarjoussumman. Tämän jälkeen niin teoreettisissa, empiirisissä sekä laboratoriotutkimuksissa on havaittu voittajan kirouksen esiintymistä erilaisissa huutokauppamuodoissa (kts. esim. Bergemann ym. 2020; Ivanov ym. 2010; Kagel & Levin 1993; Ball 1991).

Voittajan kirous voidaan nähdä poikkeamana markkinoilla, jota ei ilmene, mikäli kaikki tarjoajat toimivat rationaalisesti (Cox & Isaac 1984, 571). Rationaalisesti toimiminen ja optimaalisten tarjousten esittäminen huutokaupassa voi kuitenkin olla haastavaa. Rationaalisesti toimiminen edellyttäisi, että tarjoaja pystyy pelkästään ennen huutokauppaa saamaansa tiedon avulla erottamaan toisistaan hyödykkeen odotetun arvon ja kyseisen saman hyödykkeen odotetun arvon, sillä ehdolla, että tarjoaja voittaa huutokaupan. (Thaler 1988, 192.) Optimaalisen tarjouksen tekeminen vaatii myös muiden tarjoajien määrän ja heidän strategioidensa huomioimisen oikein (Mackley 2008, 276). Thalerin (1988, 192) mukaan mitä enemmän tarjoajia huutokaupassa on, sitä isompi kannuste on aggressiivisille ja yliarvioituille tarjouksille. Bulow ja Klempeler (2008, 2) taas toteavat, että suuri osallistujien määrä lisää todennäköisyyttä sille, että voittaja on yliarvioinut voittamansa hyödykkeen hyödyn eli että huutokaupassa ilmenee voittajan kirousta. Tämä taas voi kannustaa osallistujia tarjoamaan varovaisemmin.

Thalerin (1988, 192) mukaan rationaalisesti toimiminen huutokaupassa voi olla haastavaa varsinkin, jos huudettavana on hyödyke, jonka hyöty on kaikille tarjoajille sama (engl. common value auction). Huutokauppoja voi olla hyödykkeen arvostuksen suhteen kahta eri tyyppiä: yksityisesti ja yhteisesti arvoitettuja. Yksityisesti arvostetussa huutokaupassa jokainen tarjoaja tietää oman arvostuksensa varmuudella, mutta ei tiedä muiden osallistujien arvostuksia eikä näillä arvostuksilla ole vaikutusta tarjoajan arvioon. Yhteisesti arvoitettussa huutokaupassa taas huutokaupattavalla hyödykkeellä on kaikille osallistujille sama arvo, mutta kukaan tarjoajista ei tiedä hyödykkeen arvoa varmuudella. (McAfee & McMillan 1987, 705; Bulow & Klemperer 2002, 2.) Tällöin kaikki tarjoajat käyttävät erilaisia strategioita hyödykkeen arvon arvioimiseen ja jos tarjoaja saisi tietää muiden arvioista, muuttaisi hän omaa arvostustaan (McAfee & McMillan 1987, 705; Kagel & Levin 1993, 868). Kuten edellisessä kappaleessa todettiin, on hyödykkeen todellisen arvon arviointi haastavaa. Näin ollen, kun kaikki tarjoajat arvioivat hyödykkeen arvoa omilla strategioillaan, riski tämän arvon yliarvioimiselle ja sitä kautta voittajan kirouksen ilmenemiselle kasvaa (Thaler 1988, 192; Klemperer 2004, 14). Myös Ivanov ym. (2010, 1435) toteavat, että voittajan kirous liittyy varsinkin yhteisesti arvoitettujen hyödykkeiden huutokauppoihin.

Liikenteen infrastruktuurituen huutokaupat voidaan nähdä yhteisesti arvoitettujen hyödykkeiden huutokauppana, sillä toteutettavien hankkeiden kustannuksia ei voi täydellisesti arvioida ennen kuin hankkeet on toteutettu. Tällöin tuen arvo joudutaan määrittelemään epätäydellisen informaation perusteella. Dyer ja Kagel (1996, 1463) esittävät, että rakennusalan huutokauppoja tulisi arvioida yhteisesti arvostettujen hyödykkeiden huutokauppoina. Rakennusalan sekä lataus- ja tankkauspisteiden investointihankkeiden toteuttamisessa on yhteisiä ominaisuuksia, joten ehdotuksen voitaisiin nähdä pätevän myös liikenteen infrastruktuurituen huutokauppoihin. Karlin (2016, 2) mukaan rakennusalan yrityksillä on kolme eri informaation lähdettä tarjouksen arvioimiseen. Ensinäkin tietoa saadaan jo aiempien toteutettujen hankkeiden perusteella, toiseksi tällä hetkellä kesken olevista hankkeista sekä kolmanneksi mahdollisesti kilpailijoiden arvioista projektin kustannuksille, jos tällaista tietoa on saatavilla.

Lataus- ja tankkauspisteiden tarjouksien arvioinnissa yritykset tarvitsevat rakentamiseen liittyvien investointikustannuksien lisäksi tietoa tulevista myyntituloista. Myyntitulojen arvioiminen on haastavaa, mutta siinä voidaan käyttää apuna jo toteutuneiden hankkeiden tietoja esimerkiksi tarjottavan käyttövoiman kustannuksista sekä käyttäjien määrästä. Tällaiseen arviointiin liittyy kuitenkin paljon epävarmuuksia, sillä esimerkiksi

käyttäjien määrää tulevaisuudessa ei voida tarkasti arvioida. Myös tämä epävarmuus puuu sen puolesta, että tutkimuksen tarkastelun kohteena olevat huutokaupat voidaan nähdä yhteisesti arvotettujen hyödykkeiden huutokauppoina. Voidaan siis nähdä, että tulevien myyntituottojen epävarmuudesta johtuen huutokauppaan osallistuessaan yritykset esittävät arvauksensa tulevaisuuden myyntituotoista. Arvaukset noudattavat jonkinlaista jakaumaa. Huutokauppa valitsee tästä jakaumasta todennäköisesti ne tarjoukset, jotka ovat sattuman kautta antaneet optimistisimman arvion tulevasta myyntituotoista. Nämä optimistiset arviot ovat todennäköisesti kaikkien arvioiden jakauman ääripäässä, jolloin niillä on suuri todennäköisyys olla virheellisiä. Tätä kautta huutokaupassa esiintyy voittajan kirousta.

2.3 Huutokaupan järjestäjän keinot toteutumistasteen kasvattamiseen

Tukihuutokauppojen toteutumisen aste on vaihdellut suuresti eri huutokaupoissa (Gephart 2017, 151). Vaihtelua toteutumistasessa voidaan Gephartin ym. (2017,151) mukaan selittää osittain sillä, että joissakin tukihuutokaupoissa ei ole onnistuttu ottamaan huomioon huutokauppojen yleisimpiä kompastuskiviä. Ylipäätään tärkeä tekijä huutokaupan onnistumisen kannalta on sen huolellinen suunnittelu (Ollikka 2013, 297). Mikäli huutokaupassa ei ole onnistuttu arvioimaan tarjoajien kykyä toimittaa haluttu hyödyke luvatussa ajassa, on alhainen toteutumistasaste todennäköinen (Gephart ym. 2017, 151).

Huutokaupan järjestäjä voi tehdä erilaisia toimenpiteitä kasvattaakseen toteutumistasetta. Ensinäkin voidaan edellyttää, että tarjottavien hankkeiden tulee olla jo pitkälle suunniteltuja ja niihin on esimerkiksi jo haettu rakennuslupaa tai muita vastaavia lupia. Nämä vaatimukset ovat projektikohtaisia ennakkoehtoja, jotka tarjoajien tulee täyttää voidakseen osallistua huutokauppaan. (Gephart 2017, 152–153.) Wigand ym. (2016,41) koostivat katsauksen uusiutuvan energian tukihuutokauppojen tuloksista. Katsauksessa nousi erityisesti esiin ennakkoodellytyksien merkitys toteutumiskelpoisten projektien valinnassa. Tutkimuksen mukaan ennakkoodellytyksien avulla pystytään tunnistamaan jo heti tukihuutokaupan alussa toteutumiskelpoiset projektit ja tämän seurauksena toteutumistasaste todennäköisesti kasvaa.

Kreissin ym. (2017,512) mukaan ennakkoehtoja suunnitellessa on tärkeää valita sellaisia toimia, jotka tarjoajat toteuttaisivat joka tapauksessa toteuttaessaan hankkeen. Näin tarjoajille ei synny ylimääräisiä kustannuksia. Toisaalta, vaikka tarjoajat tarvitsevat esimerkiksi ennakkoodellytyksenä toimineen maankäyttösuunnitelman toteuttaessaan hankkeensa, ovat tällaiset ehdot kuitenkin riski tarjoajalle tarjouskilpailuvaiheessa ja niistä

syntyy uponneita kustannuksia. Liian tiukat ennakkoehdot voivatkin vähentää tarjoajien määrää. (Kreiss ym. 2017, 512.) Gephart ym. (2017, 152–153) toteavat, että ennakoedellytykset siirtävät huutokaupan riskiä tarjoajille ja voivat näin pienentää osallistujien määrää. Riskin siirtyessä tarjoajille myös tarjouksessa haettu tuki luonnollisesti kasvaa, koska tarjoajien on otettava uponneet kustannukset huomioon tarjouksessaan (Kreiss ym. 2017, 515).

Toinen mahdollinen keino on vaatia todistusta tarjoajien taloudellisista ja teknologisista edellytyksistä, joiden avulla voidaan varmistaa, että tarjoavalla yrityksellä todella on edellytykset toteuttaa hanke. Taloudellisia edellytyksiä voidaan varmistaa esimerkiksi vakuuden (engl. bid bond) avulla. Vakuus maksetaan tarjouksen yhteydessä ja tarjoaja saa sen takaisin toteutettuaan hankkeen. Vakuudella on kaksi eri tavoitetta. Ensimmäisen avulla pyritään varmistamaan, että tarjoajilla on taloudellista kapasiteettia toteuttaa projekti. Toiseksi vakuus toimii valvontamekanismina, jolla varmistetaan, että jo voittanut tarjoaja toteuttaa hankkeen. (Kreiss 2017, 514.) Toisaalta vakuus saattaa kuitenkin nostaa tarjoajien kynnystä osallistua huutokauppaan. Tällöin kilpailua on vähemmän ja todennäköisesti tarjottu tukisumma on siten korkeampi. (Gephart 2017, 153.) Toisaalta Kreiss ym. (2017, 518) toteavat, että korkeampi tuen määrä nostaa toteutumistasetta. Näin ollen, jos kilpailun järjestäjä hyväksyy korkeamman tukiasteen, saa se vastineeksi korkeamman toteutumistaseen.

Kolmas keino kasvattaa toteutumistasetta on määräajan asettaminen hankkeen toteutumiseksi. Määräajan asettamisessa huomioon kannattaa ottaa huutokaupan kohteena olevien projektien teknologian kypsyyssaste. Jos teknologia on uutta ja haastavaa, projekteissa kestää huomattavasti kauemmin kuin jo pitkälle kehittyneessä teknologiassa. Ajan pituuteen vaikuttaa myös se, kuinka pitkälle suunniteltuja hankkeiden tulee olla. Määräaikaan liittyy melkein aina sanktio. Sanktio voi olla esimerkiksi tuen määrän pieneneminen, tuen kokonaan epäminen hankkeen viivästyessä tai edellisessä kappaleessa esitetty vakuus. (Gephart ym. 2017, 153.) Jos hankkeet ovat jo pitkälle valmisteltuja kilpailuun osallistuessa, eli käytössä on ollut tiukat ennakkoehdot, ei sanktiolle ole välttämättä tarvetta. Mitä valmistellumpi hanke on, sitä todennäköisempää on sen toteutuminen. (del Rio & Linares 2014, 42.)

Wigand ym. (2016, 41) nostavat tutkimuksessaan esiin tasapainottelemisen ennakkoehtojen sekä sanktioiden välillä. Toisaalta sanktioiden ei kannata olla kovin tiukkoja, jotta saadaan riittävä määrä tarjouksia, mutta tällöin sanktiot eivät ole tehokkaita toteutumisen varmistamisessa. Wigandin ym. (2016, 41) koostamassa katsauksessa tuli myös

ilmi, että sanktiot eivät toimi takuuna sille, että hankkeet toteutuvat. Kreissin ym. (2017) suositus uusiutuvan energian huutokaupalle on, että kilpailussa on korkea vakuus sekä tietty määrä soveltuvia ennakoedellytyksiä, jotka eivät voi olla liian kalliita suhteessa vakuuteen. Tutkijat eivät suosittelle muiden sanktioiden käyttöä näiden toimien lisäksi.

Eräs tapa kasvattaa toteutumisasastetta on luoda mahdollisuus sille, että jos yritys ei pysty toteuttamaan voittamaansa hanketta, joku muu yritys voi lunastaa tukipäätöksen. Esimerkiksi Gephart ym. (2017, 153–154) esittävät, että toteutumatta jääneiden hankkeiden rahoitus voitaisiin huutokaupata uudestaan tai tukipäätös voi siirtyä automaattisesti hävinneelle hankkeelle. Myös Wigandin ym. (2016, 41) toteuttama katsaus nostaa esiin odotuslistan käytön keinona kasvattaa toteutumisasastetta. Odotuslista toimii siten, että mikäli kilpailun voittanut tarjoaja ei kykenekään sitoutumaan hankkeen toteutumiseen, tuki siirretään toiseksi tulleele tarjoajalle. Tällainen järjestelmä toimii kuitenkin vain, jos huutokaupassa on tehty tarpeeksi potentiaalisia ja laadukkaita tarjouksia. (Wigand 2016, 41.)

Mahdollista on myös tukipäätöksien tekeminen sellaisiksi, että yritys voi siirtää tai mahdollisesti myydä sen toiselle toimijalle. Tukipäätöksien ja sopimuksien siirto-oikeus voi johtaa tukipäätöksien jälkimarkkinoihin, mikä taas lisää tarjoajien näkökulmasta joustoa ja voi täten lisätä tarjoajien määrää. Jälkimarkkinat voivat kuitenkin toisaalta johtaa siihen, että ensisijaisten tarjoajien määrä vähenee, koska yritykset ostavat mieluummin tukipäätökset mieluummin jälkimarkkinoilta kuin tarjoavat itse tuesta. (Gephart 2017, 153–154.) Sillä, kuinka usein huutokauppoja järjestetään, on myös vaikutusta niiden lopputulokseen. Mikäli huutokaupassa tarjolla oleva tukimäärä huutokaupataan yhdellä kertaa, johtaa se tarjoajien näkökulmasta suurempiin odotusaikoihin ja epävarmuuteen. Jos taas tukimäärä jaetaan useammalle huutokauppakierrokselle, on toiminta tarjoajan näkökulmasta ennustettavampaa ja tukeen on jatkuvampi pääsy. (Gephart ym. 2017, 156.)

Kreiss ym. (2017) ehdottavat tutkimuksensa tuloksien perusteella, että huutokaupassa kannattaa olla tarjolla hiukan suurempi määrä volyyymiä kuin huutokaupan tavoitteena on saavuttaa. Näin huutokaupan tavoitteet saavutetaan, vaikka kaikki voittaneet hankkeet eivät toteudu. Toisaalta tällöin, mikäli kaikki voittaneet hankkeet toteutuisivatkin, huutokaupan kustannukset olisivat suuremmat, kuin jos tarjolla ollut määrä olisi vastannut tavoitteena olevaa määrää. (Kreiss 2017, 515.) Huutokaupattavaa hyödykettä ei pitäisi myöskään olla tarjolla enempää kuin tarjouksissa tarjotaan, eli huutokaupassa tulee esiintyä niukkuutta. Muuten huutokaupan tukitaso kasvaa. (Gephart 2017, 156.)

Kuten edellä on kuvattu, ennakkoehdot, vakuudet ja sanktiot voivat pienentää huutokaupaan osallistuvien tarjoajien määrää ja vähentää kilpailua. Huutokaupan

onnistumiseksi tarvitaan kuitenkin riittävä määrä tarjoajia ja kilpailua. (Maurer & Barroso 2011, 95.) Mitä enemmän tarjoajia on, sitä enemmän näillä tarjoajilla on painetta alentaa tarjoamaansa tukea ja tällöin maksettavan tuen määrä alenee (Gephart ym. 2017, 156). Tukihuutokaupan onnistunut suunnittelu vaatii siis kykyä tasapainotella riittävän kilpailun luomisen ja toteuttamiskelpoisten hankkeiden valikoinnissa. Hankkeiden tulee luonnollisesti olla kannattavia, jotta yrityksillä on kannustin toteuttaa ne. Tarjoajat eivät toteuta hanketta, mikäli toteutumisen kustannukset ovat korkeammat kuin toteutumatta jäämisen kustannukset. (Kreiss 2017, 518.)

2.4 Esimerkkejä tukihuutokauppojen toteutumisasteesta

Suomen infrastruktuurituen huutokaupoille ei löydy suoraan vastaavaa huutokauppaa, jonka toteutumisasteeseen voisi verrata tämän tutkielman tuloksia. Selkein vastaava verkko on Saksassa vuosina 2017–2021 järjestetty sähköautojen latauspisteiden investointituen huutokauppa, jossa on ollut useita kierroksia. Kyseisten tukihuutokauppojen virallista toteutumisastetta ei ole kuitenkaan toistaiseksi julkistettu. Saksan energiaministeriön BMVI:n mukaan tukea on myönnetty yhteensä noin 30 000 perus- ja suuritehoiselle latauspisteelle ja noin 12 000 näistä latauspisteistä oli toteutettu ja käytössä vuoden 2021 loppuun mennessä. (BMVI 20.12.2021.)

Uusiutuvan energian tukihuutokaupoista on sitä vastoin enemmän tutkimustietoa. Tankkaus- ja latauspisteinvestoinnit ovat keskimäärin edullisempia ja nopeampia toteuttaa kuin uusiutuvan energian tuotantoinvestoinnit. Näin ollen uusiutuvan energian tukihuutokauppojen toteutumisasteet eivät ole suoraan verrannollisia tässä tutkimuksessa tarkasteltaviin infrastruktuurituen huutokauppojen toteutumisasteeseen. Niistä saa kuitenkin hyödyllistä tietoa siitä, mikä on yleisesti keskimääräinen tukihuutokauppojen toteutumisaste ja miten se on vaihdellut. Tarkastelu on rajattu vain Euroopassa järjestettyihin tukihuutokauppoihin, koska näiden maiden olosuhteet muistuttavat eniten Suomen toimintaympäristöä. Uusiutuvan energian hankkeiden kohdalla on haastavaa saada tietoa viimeisen kahden vuoden aikana päättyneistä tukihuutokaupoista, sillä niitä käsitteleviä katsauksia ja tutkimuksia ei ole vielä valmistunut. Tukihuutokauppojen toteutumisasteen arvioinnissa haaste yleisesti on, että hankkeiden toteutumisajat ovat pitkiä. Näin ollen lopullisesta toteutumisasteesta on saatavilla tietoa suhteellisen myöhään ja usein arvioita pyritään esittämään jo hankkeiden toteutumisajanjakson aikana.

Gephartin ym. (2017, 151) mukaan uusiutuvan energian tukihuutokauppojen toteutumisaste on yleensä alle 100 prosenttia ja viivästykset hankkeissa ovat yleisiä.

Toteutumisaste on lisäksi vaihdellut suuresti huutokauppakohtaisesti (Gephart 2017, 151). Euroopassa järjestetyistä tukihuutokaupoista löytyy esimerkkejä niin korkeista kuin suhteellisen alhaisista toteutumisasteista. Yksi varhaisimmista esimerkeistä on Iso-Britanniassa vuosina 1990–1998 järjestetty uusiutuvan energian kilpailutusohjelma, jossa järjestettiin yhteensä viisi huutokauppakierrosta. Vain vajaa 30 prosenttia kaikilla kierroksilla voittaneista hankkeista toteutui. (Ollikka 2013, 296–297.) Agnolouccin (2007, 478) mukaan yksi mahdollinen syy ohjelman alhaiselle toteutumisasteelle on, että osallistujat asettivat liian alhaisia tukitarjouksia. Tämä saattoi johtua siitä, että huutokaupoissa oli suhteellisen pitkä määräaika hankkeen toteuttamiselle. Tällöin tarjoajat suunnittelivat toteuttavansa hankkeet vasta aivan määräajan lopussa, jolloin kustannukset olivat alhaisempia teknologisen kehityksen myötä. (Agnolucci 2007, 475–479.)

Tanskassa taas huutokaupattiin vuodesta 2004 alkaen kuudella kierroksella premiotukea merituulivoimaprojekteilte, joiden koko ja sijainti oli määritelty etukäteen. Vuoteen 2015 mennessä järjestetyistä kilpailukierroksista kaikki neljä huutokaupattua projektia toteutuivat, jos mukaan lasketaan projekti, jonka ensimmäinen voittaja vetäytyi hankkeesta, mutta tuki huutokaupattiin uudestaan. (Kitzing ym. 2015, 6–21.) Tanskan merituulivoimahuutokauppojen korkeaa toteutumisastetta voi selittää tarjoajien kanssa huutokaupassa käytetyistä teknologioista käydyt keskustelut huutokauppaprosessin aikana, joiden tavoitteena oli vähentää kilpailuun osallistuvien riskejä. Wigand ym. (2016, 15) nostavat kuitenkin esiin, että kyseinen dialogi saattoi heikentää huutokauppojen kilpailullista luonnetta. Huutokaupoissa oli käytössä myös rakentamisvakuus sekä ennakkoehtoja, kuten esimerkiksi todistus taloudellisesta kapasiteetista toteuttaa hanke. (Wigand ym. 2016, 15.)

Myös Suomessa vuonna 2018 järjestetyn teknologianeutraalin premiotukihuutokaupan toteutumisaste vaikuttaa ennakkotietojen perusteella korkealta. Huutokaupassa oli käytössä ennakkoehtoja, kuten vaatimus lainvoimaisesta rakennusluvasta ja verkkoliityntäsopimuksesta. Lisäksi käytössä oli määräaika ja poikkeuksellisen korkea vakuus, joka oli kaksi euroa per tarjottu vuosittainen tuotettu MWh. Vakuus laskettiin siis sadoissa tuhansissa euroissa per tuotantolaitos. Suuresta vakuudesta huolimatta tarjouksia saatiin runsaasti ja huutokaupassa annettiin tarjouksia huomattavasti suuremmasta määrästä kuin mitä tukea oli tarjolla. (Magnusson, puhelinkeskustelu 17.2.2022.)

Portugalissa vuonna 2005 järjestetyssä tuulivoiman tukihuutokaupassa kaikki hankkeet toteutuivat, vaikkakaan osa hankkeista ei toteutunut annetussa määräajassa. Huutokaupassa oli käytössä rakentamisvakuus. Huutokaupassa asetettiin ensisijaiseksi sellaiset

hankkeet, jotka loivat maahan teollisuusklustereita. Alankomaissa vuosina 2011–2012 järjestetyistä aurinkoenergian tukihuutokaupoissa taas noin 70 prosenttia hankkeista toteutui vuoteen 2015 mennessä. Huutokauppojen kysyntä oli joka kierroksella korkeampi kuin tarjolla oleva tuen yhteismäärä, mikä johti korkeaan kilpailun tasoon. Käytössä oli ennakkoehtoja ja hankkeiden viivästyessä sanktio, joka oli suunnattu vain kustannuksiltaan yli 400 miljoonan hankkeille. (Wigand ym. 2016, 17–33.)

Sen sijaan Italiassa vuonna 2013–2015 järjestettyjen tuulivoiman tukihuutokauppojen voittaneista hankkeista vain noin puolet toteutui ennen määräaika. Toteutumisasteen arvioidaan viivästyneet hankkeet huomioon ottaen nousevan noin 75 prosentin tasolle. Alhaista toteutumisastetta voi osaltaan selittää se, että jokaisella kierroksella osallistujien tarjoukset alittivat huutokaupatun kapasiteetin eli kilpailun taso oli vähäistä. Huutokaupassa oli käytössä ennakkoehtoja, vakuus sekä sanktiona tariffin pieneminen, mikäli hanke viivästyy. (Gephart ym. 2017, 151.) Irlannissa vuosina 1995–2003 järjestettyjen uusiutuvan energian tukihuutokauppojen hankkeista taas vain noin kolmannes toteutui määräaikaan mennessä. Hankkeiden toteutumiseen saattoi vaikuttaa se, että maksettu tuki oli suhteellisen alhainen ja teknologioiden markkina ei ollut vielä kovin kehittynyt. Jos hankkeet viivästyivät yli sallitun aikataulun, ei niille maksettu tukea kuin alkuperäisen tukiohjelman loppuun asti. Ensimmäisten kierroksien alhaisen toteutumisasteen johdosta myöhemmillä kierroksilla hankkeilta myös vaadittiin ennakkoehtoja, kuten rakennuslupa. (Wigand ym. 2016,17.)

Kaikki edellä mainitut tukihuutokaupat oli suunnattu kypsille eli jo pitkälle suunnitelluille hankkeille ja tätä varmistettiin erilaisilla ennakkoehtoilla. Monissa huutokaupoissa oli käytössä myös erilaisia sanktioita sekä vakuuksia. Huutokauppojen toteutumisasteiden eroja ei voida siis suoraan yhdistää erilaisten perinteisesti toteutumisastetta nostavien keinojen käyttöön. Lopullinen toteutumisaste on monen asian summa, johon vaikuttavat muun muassa huutokaupan suunnittelu kokonaisuudessaan, kilpailun taso, huutokaupan kohteena olevien teknologioiden markkinatilanne ja kilpailuun osallistuvien tarjoajien määrä. (Wigand ym. 2016, 29; Gephart 2017, 151.)

3 TIELIIKENTEEN VAIHTOEHTOISET KÄYTTÖVOIMAT

3.1 Vähäpäästöisen tieliikenteen tukeminen

Liikenteestä syntyvät hiilidioksidipäästöt voidaan nähdä negatiivisena ulkoisvaikutuksena, jota valtiot ja toimijat kuten Euroopan Unioni pyrkivät korjaamaan. Esimerkiksi Suomi on asettanut kansalliseksi tavoitteekseen, että vuoteen 2030 mennessä tieliikenteen päästöt puolitetaan verrattuna vuoden 2005 tasoon (liikenne- ja viestintäministeriö 2021). Uusiutuvat käyttövoimat ovat yleensä kalliimpia kuin fossiiliset polttoaineet, koska fossiilisten polttoaineiden negatiiviset ulkoisvaikutukset eivät välity hintoihin (Bento ym. 2020, 1). Koska liikenteestä syntyvien hiilidioksidipäästöjen aiheuttamaa negatiivista ulkoisvaikutusta ei ole mahdollista täysin siirtää päästöjä aiheuttavien toimijoiden maksettavaksi poliittisista syistä ja tavoitteena on päästöjen vähentäminen, vaatii vähähiiliseen liikenteeseen siirtyminen valtion tukitoimia.

Jotta liikenteen päästöjä saadaan vähennettyä, tulee fossiilisten polttoaineiden käyttöä korvata vaihtoehtoisilla käyttövoimilla. Vaihtoehtoisia käyttövoimia ovat esimerkiksi sähkö, vety ja uusiutuvat polttoaineet. Näiden käyttövoimien yleistymistä voidaan edistää erilaisilla velvoitteilla, informaatio-ohjauksella, verotuksella, käyttäjille suunnatuilla eduilla sekä tuilla. (Sahari & Laukkanen 2018,5.) Velvoite on esimerkiksi Suomessa vuonna 2008 käyttöön otettu jakelovelvoitelaki, joka velvoittaa liikennepolttoaineiden jakelijat toimittamaan vuosittain kulutukseen vähimmäisosuuden biopolttoaineita (Laki uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä 446/13.4.2007). Informaatio-ohjauksella voidaan lisätä kuluttajien tietoisuutta vaihtoehtoisista käyttövoimista ja näin kasvattaa kysyntää. Verotuksellisesti Suomessa taas ohjataan vähähiilisempään liikenteeseen esimerkiksi autoveron sekä polttoaineverotuksen kautta. Esimerkiksi uuden auton ostamisen yhteydessä sähköautoista maksetaan alhaisempaa veroa verrattuna fossiilisia polttoaineita käyttäviin autoihin. Käyttäjille suunnattuja etuja ovat esimerkiksi sähköautoilijoiden oikeus ajaa julkisen liikenteen kaistoilla ja pysäköintiedut. (Sahari & Laukkanen 2018, 5–8.)

Tuilla voidaan edistää joko vaihtoehtoisia polttoaineita hyödyntävien autojen hankintaa tai lataus- ja tankkausverkostoa (Sahari & Laukkanen 2018, 8). Vaihtoehtoisten käyttövoimien tukemiseen liittyy usein eräänlainen muna-kana-ongelma: jos voidaan tukea vain toista, tuetaanko autoja vaiko tankkaus- sekä latausinfrastruktuuria. Ilman käyttäjiä lataus- ja tankkauspisteet eivät ole kannattavia ja ilman lataus- tai

tankkausmahdollisuuksia autoja ei ole järkevä hankkia. Sähköautojen hankintaa tuemalla voidaan kasvattaa kysyntää laajalle latausverkostolle, mikä luo yksityisiä investointeja latauspisteisiin. Toisaalta kattavan latausverkoston tukeminen mahdollistaa sähköautojen käytön maanlaajuisesti ja kaikissa tilanteissa, mikä kasvattaa autojen suosiota ja sitä kautta niiden käyttöä. (Zink ym. 2020, 186.) Tutkimuksien mukaan lataus- ja tankkausinfrastruktuurin tukeminen voi olla näistä vaihtoehdoista ensisijaisesti tehokkaampi (mm. Li ym. 2017; Springler 2017). Rapson ja Muehlegger (2021,24) kuitenkin huomauttavat, että latausinfrastruktuurin vaikutusta sähköautojen kysyntään on vaikea määrittellä kvantitatiivisin menetelmin juuri edellä kuvatun kaksisuuntaisen kausaliteetin takia ja vaikutus voi vaihdella sen mukaan, missä kehitysvaiheessa sähköautojen markkina on. Tutkimuksissa on siis haastavaa erotella, kumpi on vaikuttanut kumpaan eikä yksisuuntaista syy-seuraussuhdetta todennäköisesti ole edes olemassa.

Suurin osa sähköautojen käyttämästä energiasta, eli noin 80–90 prosenttia, ladataan yön aikana auton vakituksessa säilytyspaikassa. Toisaalta julkista lataus- sekä tankkauspisteverkostoa ja sähköautojen erityisesti pikalatauspisteitä tarvitaan pidemmille matkoille sekä täydentämään säilytyspaikkojen latauspisteitä, jotta matkanteko olisi sujuvaa. (Rapson & Muehlegger 2021, 24.) Tutkimuksien mukaan tehokkainta onkin autojen hankkimista sekä lataus- ja tankkausinfrastruktuuria tukevien ohjauskeinojen käyttäminen samanaikaisesti (Wappelhorst 2020; Sahari & Laukkanen 2018, 8).

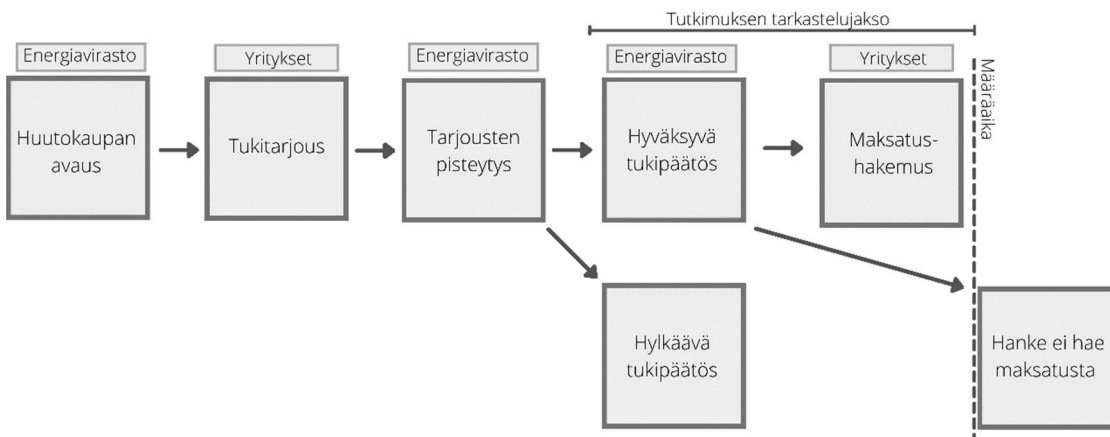
Suomessa kuluttajat voivat hakea hankintatukea täyssähköauton hankintaan Traficomilta. Myös tankkaus- ja latausinfrastruktuuria edistetään sekä asuinrakennusten että julkisten pisteiden tukiohjelmilla. Tuesta asuinrakennusten ja niiden omistamien pysäköintiyhtiöiden kiinteistöihin sijoitettaviin latauspisteisiin vastaa Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA. Varsinaisesta tieliikenteen vaihtoehtoisten polttoaineiden käytön infrastruktuurin tukiohjelmasta, jota tässä tutkielmassa käsitellään, vastaa Energiavirasto. (Sahari & Laukkanen 2018, 6–9.)

3.2 Tieliikenteen infrastruktuurituki

Tieliikenteen infrastruktuurituki on investointituki uusille kaasu- ja sähkökäyttöisten ajoneuvojen tankkaus- ja latausasemille, jotka valikoituvat huutokauppanenettelyn kautta. Energiavirasto vastaa huutokauppanenettelystä ja tuen jakamisesta. Tukihuutokauppoja on toistaisesti järjestetty neljä vuosina 2018, 2019, 2020 ja 2021. Huutokauppoihin osallistutaan teknologiaryhmittäin, joita on yhteensä neljä: biokaasun tankkauspisteet, paikallisen joukkoliikenteen latauspisteet, ajoneuvojen suuritehoiset latauspisteet ja

ajoneuvojen normaalitehoiset latauspisteet. Vuosina 2018 ja 2019 järjestettyjen huutokauppojen budjetti oli 3 miljoonaa euroa per vuosi ja vuosina 2020 ja 2021 5,5 miljoonaa euroa per vuosi. Kilpailu tuesta käydään ennalta määritettyjen ryhmäkohtaisten budjettien sisällä. (Energiavirasto 14.9.2018.)

Kuvio 1 esittää infrastruktuurituen huutokaupan kulun. Huutokaupan avaamisen jälkeen yritykset antavat tarjouksia tukitasosta, jolla ne olisivat valmiita toteuttamaan valmistelemansa hankkeet. Vuosina 2018–2021 tarjouksia annettiin yhteensä 589 kappaletta ja niiden määrä kasvoi jokaisella kierroksella (Sahinoja ym. 2021). Tukikelpoisille lataus- ja tankkauspisteille on joukko edellytyksiä, jotka niiden tulee täyttää. Esimerkiksi bio-kaasun tankkauspisteiden on oltava kiinteitä ja niiden tulee sijaita kaasun siirto- ja jakeluverkkojen ulkopuolella. Suuritehoisten latauspisteiden tasavirtalataustehon taas tulee olla vähintään 22 kilowattia.



Kuvio 1 Infrastruktuurituen huutokaupan eteneminen

Huutokaupassa käytetään valmistumisen varmistamiseksi määräaika: tukea saava hanke pitää ottaa käyttöön 22 kuukauden sisällä tukipäätöksen tiedoksiantopäivästä tai tukea ei makseta. Vaatimuksena on myös Euroopan Unionin valtioneuvoston mukaisesti, että hanketta ei toteutettaisi ilman julkista tukea. Koska ehto on haastava arvioida, mittarina ehdolle käytetään sitä, ettei hankkeesta ole tehty sitovaa investointipäätöstä. (Energiavirasto 14.9.2018.)

Vuosien 2018–2021 tukihuutokaupat ovat muodoltaan suljettuja ensimmäisen hinnan huutokauppoja (engl. first-price sealed bid auction). Huutokaupat toimivat siten, että yritykset esittävät tarjouksia tukitasoista, jolla ne olisivat valmiita toteuttamaan investoinnit. Tarjousten keskinäinen paremmuus ratkaistaan vertailuluvulla. Tarjouksia

hyväksytään vertailuluvun osoittamassa järjestyksessä siten, että pienemmän vertailuluvun mukaiset tarjoukset hyväksytään ensin. Viimeinen kunkin teknologiaryhmän sisällä tukea saanut hanke on se, jonka pyytämä tuki voidaan rahoittaa ryhmäkohtaisesta budjetista ilman, että budjetti ylittyy. Annetun tukitarjouksen lisäksi vertailulukuun vaikuttavat erinäiset ryhmäkohtaiset kertoimet, joilla tukea pyritään kohdistamaan muun muassa Euroopan laajuisen TEN-T-maantieliikenneverkon läheisyyteen ja uusien teknologioiden käyttöönottoon. (Energiavirasto 14.9.2018.)

Esimerkiksi biokaasun tankkauspisteiden teknologiaryhmässä vertailuluku laskettiin vuosina 2018 ja 2019 seuraavalla kaavalla:

$$\frac{\text{Tukitarjous}}{\text{Asemien lukumäärä}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$$

Kertoimen $k_1 = 0,8$ saa, jos asemalla on mahdollisuus raskaan ajoneuvon nopeaan tankkaukseen tai nesteytetyn biokaasun tankkaukseen. Kertoimen $k_2 = 0,7$ taas saa, jos tarjouksen mukainen hanke hyödyntää uutta teknologiaa ja kertoimen $k_3 = 0,9$ jos hanke sijaitsee TEN-T-maantieverkon läheisyydessä. Vuosina 2020 ja 2021 suuritehoisten latauspisteiden teknologiaryhmässä otettiin käyttöön menettely, jonka mukaan etusijalla kilpailussa olivat tarjoukset, jotka sijoittuivat kuntiin, joissa ei ollut entuudestaan suuritehoista latauspistettä. (Energiavirasto 14.9.2018.)

Tuen hyväksymisen edellytyksenä on lisäksi, että tarjottu tuki ei ylitä tiettyä enimmäisosuutta hankkeen kustannuksista. Edellytystä arvioidaan vertaamalla haettua tukea kustannuksiin ja kustannuksiksi hyväksytään vain suoraan hankkeeseen liittyvät välittömät kustannukset. Tuen enimmäisosuus hyväksyttävistä kustannuksista vaihtelee ryhmittäin 30–55 prosentin välillä. Enimmäisosuuden suuruus riippuu ryhmästä ja siitä, käytetäänkö hankkeessa uutta teknologiaa ja sijaitseeko hanke niin sanotussa etusijalla olevassa kunnassa. (Energiavirasto 14.9.2018.)

Taulukossa 1 on esitetty huutokauppakierroksilla annetut hyväksytyt ja hylätyt tarjoukset kierroskohtaisesti. Kierroksella 2018 noin puolet tarjolla olleesta tuesta jäi jakamatta. Kierroksen alhaista hyväksytyjen tarjousten tukisummaa selittää se, että kyseisenä vuonna ei annettu ollenkaan tarjouksia joukkoliikenteen ja ajoneuvojen perustehoisten latauspisteiden teknologiaryhmissä. Näiden ryhmien käyttämättä jäänyttä määrärahaa ei ollut mahdollista siirtää muille teknologiaryhmille, joissa tarjouksia tuli yli kilpailutetun tukimäärän.

Jälkimmäisinä vuosina kaikissa ryhmissä annettiin tarjouksia. Suurimmalla osalla teknologiaryhmiä haettu tukimäärä ylitti melkein jokaisella näistä kierroksista tarjolla

olleen tuen, eli kierroksilla esiintyi suhteellisen paljon kilpailua. Vain ajoneuvojen perusteisten latauspisteiden teknologiaryhmässä, joka jätettiin tukiohjelman ulkopuolelle vuosina 2020 ja 2021, haettu tukisumma oli vuonna 2019 pienempi kuin budjetti.

Taulukko 1. Infrastruktuurituen huutokaupoissa annetut tarjoukset kierroskohtaisesti (mukaillen Sahinoja ym. 2021, 14)

Vuosi	2018	2019	2020	2021	Yhteensä
Hyväksytyjen tarjousten määrä	11	42	89	105	247
Hyväksytyjen tankkaus/latauspisteiden määrä	23	216	220	314	773
Hyväksytyissä tarjouksissa esitetty tuki, €	1 522 764	2 626 738	5 052 860	5 315 431	14 517 793
Hylättyjen tarjousten määrä	9	34	124	175	342
Hylätyissä tarjouksissa esitetty tuki, €	2 126 183	5 087 736	9 312 998	7 398 226	29 925 143
Kilpailutettu tuki, €	3 000 000	3 000 000	5 500 000	5 500 000	17 000 000

Hyväksyvän tukipäätöksen saamisen jälkeen tarjoajilla on yhteensä 22 kuukautta aikaa toteuttaa hanke sekä hakea tuen maksatusta. Määräaikaan on mahdollista hakea lisäaikaa perustelluista syistä. Mikäli määräaikaa ei noudateta, tukea ei makseta. Hankkeen toteuttamatta jättämisestä ei aiheudu yrityksille sanktioita. Tämä johtuu siitä, että Energiavirasto on katsonut sanktioiden vähentävän huomattavasti kiinnostusta tuen hakemiseen. (Energiavirasto 14.9.2018.)

Vastaanotettuaan maksatushakemuksen Energiavirasto arvioi onko toteutunut hanke hyväksytyin tarjouksen mukainen ja täyttääkö se tuen maksamisen edellytykset. Maksatushakemus hylätään, jos edellytykset eivät täyty. Vuosina 2018 ja 2019 tehtyjen tukipäätösten perusteella haetuista maksatuksista kuusi on hylätty.

3.3 Teknologioiden markkinatilanne ja hankkeiden kannattavuus

Liikenteen infrastruktuurituen huutokaupat on jaettu ryhmiin teknologioiden perusteella siksi, että kyseisillä teknologioilla toteutetut hankkeet eroavat toisistaan kustannuksien mittakaavan, markkinatilanteen ja kannattavuuden suhteen. Sahinoja ym. (2021)

arvioivat kyseisestä tuki-instrumentista tehdyssä vaikuttavuusanalyysissä eroja teknologiaryhmien hankkeiden kannattavuuksissa. Analyysi osoittaa, että ryhmien välillä on hyvin suuria eroja sen suhteen, kuinka paljon tankkaus- tai lataustapahtumia hankkeet tarvitsevat ollakseen rahoituskelpoisia.

Biokaasua, tai tarkemmin biokaasusta jalostettua biometaania, voidaan käyttää maakaasun sijaan polttoaineena kaasukäyttöisissä autoissa (Scarlat ym. 2018, 460). Biokaasun tankkausasemat tarjoavatkin yleensä maakaasua biokaasun lisäksi ja tämä oli myös infrastruktuurituen huutokaupoissa sallittua (Energiavirasto 14.9.2018). Biokaasun käyttö liikenteessä on ollut kasvussa Euroopassa 2010-luvulla ja Euroopan unioni on suurin markkina liikenteessä käytettävälle biokaasulle. Maakaasukäyttöisten autojen teknologia on suhteellisen hyvin kehittyntä ja Euroopassa on sen myötä jo kehittyntä tankkausinfrastruktuuria, joka voidaan helposti päivittää myös biokaasun jakeluun soveltuvaksi. (Scarlat ym. 2018, 460–470.) Suomessa paineistettua kaasua käyttäviä henkilö- ja raskaan liikenteen ajoneuvoja oli liikennekäytössä vuonna 2020 noin 13 500. Vuonna 2018 ajoneuvoliikenteessä kulutetusta kaasusta 60 prosenttia oli biokaasua. (Alm 2022, 34.) Edellä mainitun perusteella voidaan sanoa, että tankkausasemien markkinat ovat melko kypsät.

Tankkausaseman rakentava yritys voi tuottaa biokaasun itse tai ostaa sitä tuottajilta. Joillakin biokaasua tarjoavilla yrityksillä biokaasu voi myös olla muun liiketoiminnan sivutuote. Yrityksien liiketoimintamallit vaihtelevat suuresti ja tämän takia myös hankkeiden investointien kustannukset vaihtelevat. Sahinojan ym. (2021) vaikuttavuusanalyysissä esiin nousi, että tankkausasemien investoinnit ovat keskimäärin kalliimpia kuin muiden teknologiaryhmien. Lisäksi vaadittava tankkaustapahtumien määrä per päivä, jotta investointi oli rahoituskelpoinen, vaihteli suuresti myös ryhmän sisällä. Tämä liittyy siihen, että tankkauspalveluita tarjoavien yritysten kustannusrakenteet ovat keskenään hyvin erilaisia.

Linja-autojen latauspisteiden hankkeet eroavat kaikkein eniten muista infrastruktuurituen teknologiaryhmistä liiketoimintamalliltaan. Yleensä linja-autoyhtiöt omistavat sekä ladattavat sähkölinja-autot että latauspisteet. Näin ollen latauspisteiden rakentamisesta syntyvä kustannus on sisällytettävä tarjottavien liikennöintipalvelujen hintaan. (Sahinoja ym. 2021, 26.) Infrastruktuuritukea tarjottiin paikallisen joukkoliikenteen latauspisteille. Paikallisen joukkoliikenteen linja-autojen latauspisteliiketoiminta eroaa muista ryhmistä siinä suhteessa, että tyypillisesti latauspisteen omistaa liikennöitsijä, joka operoi linjaa kunnallisen liikenneyhtiön puolesta. Liikenneyhtiö kilpailuttaa linjojen operoinnin.

Liikenteen infrastruktuuritukea koskevan huutokaupan yhteensovittaminen linjojen kilpailutuksiin on Energiaviraston kokemuksen mukaan osoittautunut haasteelliseksi. (Magnusson, puhelinkeskustelu 17.2.2022.)

Linja-autojen lataaminen tapahtuu joko varikolla tai pysäkeillä. Varikolla tapahtuva lataus on usein yli yön kestävä perustehoista latausta. Pysäkkilataus taas on tyypillisesti esimerkiksi linjan päätepysäkillä tapahtuvaa, kestoaltaan huomattavasti nopeampaa latausta ja näin olleen latausteholtaan suurempaa. (Sahinoja ym. 2021, 26.) Sähkökäyttöisten linja-autojen teknologia on yleistynyt vasta viimeisen 10 vuoden aikana ja erilaiset akku- ja latausteknologiat ovat vasta kehittymässä (Göhlich ym. 2018). Voidaan nähdä, että pelkästään tukihuutokauppojen järjestämisvuosien 2018–2021 aikana akku- ja latausteknologioissa on tapahtunut huomattavaa kehitystä (VTT 18.6.2021).

Sahinojan ym. (2021) vaikuttavuusanalyysissä tuli ilmi, että suurin osa tuen voittaneista hankkeista linja-autojen teknologiaryhmässä oli muodoltaan perinteistä varikko- tai muotoista latausta ja nämä hankkeet olivat myös kustannuksiltaan edullisempia ja siten todennäköisemmin kannattavia. Koska akku- ja latausteknologiat ovat kehittyneet huomattavasti myös huutokaupan järjestämisvuosien aikana, on mahdollista, että voittaneet perinteisiä teknologioita hyödyntävät hankkeet eivät ole enää ajankohtaisia hankkeiden toteuttamisvaiheessa.

Ajoneuvojen latauspisteet on jaettu perustehoisiin ja suuritehoisiin teknologioihin. Perustehoiseksi latauspisteeksi luetaan latausjärjestelmä, jolla on mahdollista ladata henkilöautoa vähintään 3,7 kW:n vaihtovirralla ja suuritehoiseksi latauspisteeksi taas vähintään 22 kW:n tasavirralla lataava järjestelmä (Energiavirasto 14.9.2018). Perustehoisessa latauspisteessä ajoneuvon latausaika on huomattavasti pidempi kuin suuritehoisessa latauspisteessä. Näin ollen suuritehoisilla latauspisteillä on hyvin keskeinen rooli kattavan latausverkoston luomisessa sekä pitkien matkojen mahdollistamisessa sujuvasti. (Kavianipour 2021, 3.)

Perustehoisten ja suuritehoisten teknologioiden investointikustannukset ja hinnoittelumalli eroavat toisistaan ja tämä nähdään myös Sahinojan ym. (2021) vaikuttavuusanalyysissä. Perustehoisten latauspisteiden investointihankkeet tarvitsivat keskimäärin alle yhden lataustapahtuman päivässä ollakseen kannattava, kun taas suuritehoisten latauspisteiden hankkeet tarvitsivat noin 2–5 lataustapahtumaa päivässä. Tämä johtuu siitä, että perustehoisten latauspisteiden teknologia on huomattavasti edullisempaa. Suuritehoisten latauspisteiden teknologia taas on vielä kehittymässä.

Sahinoja ym. (2021, 28–31) jakoivat kannattavuusanalyysissään suuritehoisten latauspisteiden ryhmän kahdella ensimmäisellä ja kahdella jälkimmäisellä huutokauppa-kierroksella tarjotuille hankkeille. Tämän perusteella huomattiin, että latauspisteiden investointikustannukset olivat pienentyneet kierroksilla 2020–2021 verrattuna kierrokseen 2018–2019. Analyysin perusteella voidaan siis todeta, että pelkästään vuosien 2018–2021 välillä suuritehoisten latauspisteiden teknologiat ovat kehittyneet ja latauspisteitä on tämän myötä ollut edullisempi rakentaa.

4 AINEISTO JA MENETELMÄ

4.1 Tukihuutokauppojen voittaneiden hankkeiden maksatushakemukset

Tämän tutkimuksen aineisto perustuu Sahinon ym. (2021) vaikuttavuusanalyysia varten kerättyyn aineistoon. Vaikuttavuusanalyysin yksi tarkastelun kohteena oleva osa-alue on viive tuen myöntämisestä maksatushakemuksen jättämiseen. Sahinon ym. (2021) analyysia varten koostettiin Energiaviraston tukihuutokaupoista sekä maksatuksista kerätyistä tiedoista aineisto huutokauppakierroksien 2018 sekä 2019 voittaneista hankkeista. Kierrokset 2020 sekä 2021 jätettiin vaikuttavuusanalyysissä tarkastelun ulkopuolelle, koska analyysin tarkasteluajanjaksolla yksikään näiden kierroksien voittaneista hankkeista ei ollut hakenut maksatusta. Tätä tutkimusta varten aineistoa laajennettiin myös vuoden 2020 hankkeisiin, koska muutama kyseisen kierroksen hanke oli jo hakenut maksatuspäätöstä.

Tutkielmassa tarkasteltavaa kestoä mitataan tarjouksen hyväksymispäivästä maksatushakemuksessa ilmoitettuun valmistumispäivään. Ajanmitaksi valittiin päivät ja toteutumisen päivämääräksi otettiin se päivä, jonka yritykset ilmoittivat hankkeen valmistumispäiväksi hakiessaan maksatusta. Myös sellaiset hankkeet, joiden tapauksessa yritys oli jostain muusta syystä ilmoittanut valmistumispäivän, vaikka ei ollutkaan hakenut maksatusta, katsottiin valmistuneiksi. Jos hankkeen valmistumispäivä ei jostain syystä ollut tiedossa, valittiin sen sijaan valmistumisajankohdaksi päivä, jona hanke oli lähettänyt Energiavirastolle maksatushakemuksen.

Osa maksatushakemuksista hylätään. Myös nämä hankkeet katsotaan aineistossa valmistuneeksi niissä tapauksissa, joissa hanke on otettu käyttöön. Joulukuun 2021 loppuun mennessä kaikista haetuista maksatushakemuksista oli hylätty yhteensä kuusi kappaletta. Hakemukset hylättiin koska niiden käsittelyssä ilmeni, että hankkeista oli tehty sitova investointipäätös jo ennen hyväksyvää tukipäätöstä, jolloin hanke ei täytä tuen saamisen edellytyksiä.

Hankkeille, joiden ei ilmoitettu valmistuneen, tarkasteluajanjakso päättyy Sahinon ym. (2021) vaikuttavuusanalyysissa 17.9.2021. Tässä tutkielmassa taas tarkasteluajanjakso päättyy 1.1.2022. Hankkeiden, jotka eivät tähän päivään mennessä olleet hakeneet maksatusta katsotaan olevan elinaika-analyysin määritelmän mukaan oikealta sensuroituja tästä lähtien. Aineistossa havainnolle annettiin arvo 1, jos hanke ei ollut ilmoittanut

valmistumisesta tutkielman tarkasteluajanjakson loppuun mennessä ja arvo 2, jos hankkeen oli ilmoitettu valmistuneen.

Aineisto koostettiin virkasuhteessa Energiavirastolle ja sitä käsiteltiin vain Energiaviraston työkoneella. Näin ollen aineiston tietoturvalliseen tallentamiseen ei tarvinnut aineistoa käsitellessä kiinnittää erityistä huomiota. Jokaisen havainnon kohdalla varmistettiin tutkielmaa tehdessä, että ilmi ei tullut salassa pidettäviä tietoja.

Taulukossa 2 esitetään voittaneiden hankkeiden maksatushakemuksien tilanne 1.1.2022. Vuoden 2020 hankkeilla on aikaa hakea maksatusta vielä 4.12.2022 asti ja vuoden 2021 10.4.2023 asti. Näin ollen taulukossa 2 esitetyt tiedot tulevat muuttumaan näiden vuosien osalta. Sen sijaan vuosien 2018 ja 2019 tiedot eivät tule muuttumaan, koska kaikkien maksatuksen hakemisen määräaika on umpeutunut niiden osalta. Biokaasun tankkauspisteiden ryhmässä hyväksytyjä tarjouksia oli yhteensä 51. Näistä tarjouksista 7 oli hakenut maksatusta 1.1.2022 mennessä.

Taulukko 2 Tukihuutokaupoissa hyväksytyt tarjoukset

Teknologiaryhmä	Huutokaupan ajankohta, vuosi/kk	Hyväksytyt tarjoukset,	joista maksatushakemus tehty	joista maksatushakemus hyllätty	ja joista maksatushakemuksen määräaika umpeutunut
Biokaasun tankkaus-pisteet	2018/10	6	4	0	2
	2019/09	7	3	0	4
	2020/10	18	0	0	0
	2021/4	20	0	0	0
Linja-autojen lataus-pisteet	2018/10	Ei tarjouksia	-	-	-
	2019/09	4	0	0	4
	2020/10	3	0	0	0
	2021/4	11	0	0	0
Ajoneuvojen suuritehoiset latauspisteet	2018/10	5	4	0	1
	2019/09	17	12	1	5
	2020/10	68	4	0	0
	2021/4	73	0	0	0
Ajoneuvojen	2018/10	Ei tarjouksia	-	-	-

perustehoi-	2019/09	14	9	5	5
set lataus-	2020/10	Ei mukana	-	-	-
pisteet		huuto-			
		kaupassa			
	2021/4	Ei mukana	-	-	-
		huuto-			
		kaupassa			

Linja-autojen latauspisteiden teknologiaryhmässä ei annettu ollenkaan tarjouksia vuonna 2018. Myöhemmin vuosina tarjouksia annettiin. Yksikään voittaneista tarjouksista ei ollut hakenut maksatusta 1.1.2022 mennessä. Ajoneuvojen suuritehoisten latauspisteiden ryhmässä annettiin tarjouksia kaikkina vuosina. Voittaneista hankkeista maksatusta oli hakenut 20 kappaletta 1.1.2022 mennessä. Ajoneuvojen perustehoisten latauspisteiden ryhmässä ei annettu tarjouksia vuonna 2018. Kyseisen teknologiaryhmän tukeminen lopetettiin infrastruktuurituen asetusmuutoksen yhteydessä 2019, joten kyseisessä ryhmässä myönnettiin tukea ainoastaan 2019.

4.2 Elinaika-analyysi hankkeiden toteutumisen estimoinnissa

4.2.1 Elinaika-analyysi

Elinaika-analyysin (engl. survival analysis) menetelmiä käytetään tutkimuksissa, joissa selitettävänä muuttujana on kulunut aika siihen, että tietty tapahtuma ilmenee. Elinaika-analyysin menetelmät tarjoavat hyödyllisiä työkaluja erilaisten ajan myötä esiintyvien tapahtumien tarkasteluun sekä tällaisiin tapahtumiin liittyvän aineiston järjestämiseen, referoimiseen ja tulkitsemiseen. (Kleinbaum & Klein 2005, 4–5.) Analyysin mielenkiinnon kohteena ei siis ole niinkään havainnoida kuinka moni tarkasteltavista yksiköistä kohtaa tutkitun ilmiön eli päätetapahtuman, vaan kuinka kauan kyseisillä yksiköillä kestää päätetapahtuman kohtaamiseen. (Nummenmaa 2021, 483.) Elinaika-analyysia on yleisesti käytetty ja kehitetty lääketieteen sekä tuotantotekniikan tutkimuksessa, mutta se soveltuu myös ilmiöiden kestoon liittyviin taloustieteen sovelluksiin (Kiefer 1988, 646).

Elinaika-analyysin menetelmiä voidaan käyttää vain sellaisten ilmiöiden analysoimiseen, joissa odotettu tapahtuma ilmenee vain kerran tutkimuksen tarkastelujakson aikana. Tarkasteltavan ilmiön vastemuuttujan tulee olla dikotominen, eli se voi saada vain kaksi arvoa, esimerkiksi kyllä/ei. Yksi kestoon liittyvän analyysin fundamentaalisista piirteistä

on, että tutkimuksen tarkasteluyksiköt, lääketieteessä potilaat tai tässä tutkielmassa hyväksytyt tarjoukset, eivät ole tutkimuksessa mukana yhtä pitkää aikaa. Erinäisistä syistä johtuen tutkittavia yksilöitä otetaan tutkimukseen eri aikoihin ja osa myös saattaa poistua seurannasta kesken tutkimuksen tarkasteluajan. (Nummenmaa 2021, 483–485.)

Seurannasta pudonneiden elossaoloaika tiedetään vain siihen asti, kunnes nämä yksilöt ovat poistuneet tutkimuksen tarkastelusta. Sama pätee myös niihin tarkastelussa oleviin yksilöihin, jotka ”selviävät” tutkimuksen loppuun ilman päätetapahtuman ilmenemistä. Tällöin tiedetään, että tarkasteltavan havainnon elossaoloaika on ainakin tutkimuksen keston pituinen, mutta tarkkaa elossaoloaikaa ei voida tietää, koska tutkimuksen kohteena oleva tapahtuma voi luonnollisesti ilmetä myös tutkimuksen tarkasteluajan jälkeen. Tarkastelujakson läpi ”selvinneet” ja tutkimuksesta kesken pudonneet havainnot sensuroidaan aineistosta joko tarkastelujakson lopussa tai tutkimuksesta poistumisen jälkeen. (Kleinbaum & Klein 2005, 5–6.) Koska jokaista yksilöä ei voida seurata täysin tapahtuman ilmenemiseen asti vaan vain tutkimuksen keston ajan, on sensuroitujen havaintojen kohdalla mitattu ja tiedetty ajanjakso lyhyempi kuin tutkimuksen kiinnostuksen kohteena oleva ajanjakso (de Una-Álvarez ym. 2003, 285).

Tässä tutkielmassa hankkeita on seurattu vuosien 2018 ja 2019 tukipäätöksen saaneiden hankkeiden kohdalla koko sen 20 kuukauden ajan, joiden sisällä hankkeen tulee haakea maksatusta. Vuoden 2020 kohdalla hankkeita on seurattu vasta noin 10 kuukautta, eli osa kierroksen 2020 tarkastelluista hankkeista tulee kohtaamaan tutkimuksen päätetapahtuman eli hankkeen toteutumisen vasta myöhemmin. Näin ollen aineistossa on mukana tutkimukseen eri aikaan mukaan otettuja havaintoja ja osalla havainnoista tarkasteltava kesto on lyhyt verrattuna toisiin havaintoihin. Tässä tutkielmassa käytettävä aineisto on siis hyvä esimerkki epätäydellisestä datasta, jollaista elinaika-analyysissä usein käytetään (Nummenmaa 2021, 485).

Edellä kuvattujen sensuroitujen havaintojen huomioitta jättäminen selviytymisajan estimoinnissa voi johtaa virheellisiin tulkintoihin sekä elinaika-analyysissä usein käytettyjen mittareiden kuten keston mediaanin ja odotusarvon aliarvioimiseen. Päätelmien tekeminen puhtaasti sen osajoukon pohjalta, jotka ovat hakeneet maksatusta, johtaisi systemaattiseen virheeseen, sillä kyseinen osajoukko ei edusta koko populaatiota. Yleisesti elinaika-analyysissä yksilön selviytymisajan suhteen tiedetään tarkastelujakson alkuajan kohta, mutta ei sen loppua. Tällaisiin tapauksiin voidaan viitata myös termillä oikeanpuoleinen sensurointi. (de Una-Álvarez ym. 2003, 285.) Oikeanpuoleinen sensurointi tarkoittaa sitä, että yksilön elossaoloajan tarkasteltava intervalli on leikkaantunut oikealta

puolelta, eli se jää tältä puolelta tuntemattomaksi (Nummenmaa 2021, 486). Sensurointi voi olla myös vasemmalta puolelta tapahtuvaa, mutta se on hyvin harvinaista. Vasemmalta sensurointi tarkoittaa, että yksilön todellinen elossaoloaika on lyhyempi kuin kyseisen yksilön tarkasteltu selviytymisaika. Tällainen tilanne voisi ilmetä esimerkiksi sairauksien havaitsemiseen liittyvissä tutkimuksissa, jos tartunnan saamisen aika ei ole tarkasti tiedossa. (Kleinbaum & Klein 2005, 7–8.)

Elinaika-analyysin menetelmät pyrkivät usein estimoimaan tarkasteltavan päätetapahtuman tapahtumisen riskiä (Nummenmaa 2021, 485). Päätetapahtuman toteutuminen tietyssä ajanhetkenä t_i riippuu luonnollisesti edeltävistä ajanhetkistä. Näin ollen keston liittyvän tilastollisen analyysin tavoitteena ei ole siis määrittää tapahtuman toteutumisen todennäköisyyttä tietyllä ajanhetkellä, vaan sen ehdollinen todennäköisyys. (Kiefer 1988, 649.) Elinaika-analyysin keskeisimpiä työkaluja ovat elossaolofunktio (engl. survival function) $S(t)$ ja vaarafunktio (engl. hazard function) $h(t)$ (Kleinbaum & Klein 2005, 8–9).

Elosaolofunktio $S(t) = P(T > t)$ antaa todennäköisyyden sille, että havaintoyksikkö on elossa hetkellä t_i yli eli toisin sanoen, ettei sille ole sattunut tarkasteltavaa päätetapahtumaa, esimerkiksi kuolemaa, ennen ajanhetkeä t_i . Funktio $S(t)$ on hyödyllinen väline elinaika-analyysissä, koska sen avulla voidaan arvioida ilmiön eloonjäämistodennäköisyyksiä eri ajanhetkinä. Teoreettisesti elossaolofunktio voidaan esittää sileänä ja vähenevänä ajan t :n funktiona, kun t vaihtelee välillä $0 \leq t \leq \infty$, eli nolasta äärettömään. (Kleinbaum & Klein 2005, 8–9.) Teoreettisella elossaolofunktiolla on seuraavat ominaisuudet:

- kun $t = 0, S(t) = S(0) = 1$. Tutkimuksen tarkasteluajan alkaessa todennäköisyys välttää ilmiö on 1. Käytännössä tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että lääketutkimuksen alkaessa kaikki potilaat ovat elossa. (Kleinbaum & Klein 2005, 8–9.) Tämän tutkimuksen kohdalla tämä elossaolofunktion ominaisuus pitää myös paikkansa, sillä yhtäkään tarjouskilpailun hankkeista ei ole toteutettu ennen tukiohjelman ottamista, koska silloin niille ei olisi voitu myöntää tukea.
- kun $t \rightarrow \infty, S(t) = 0$, eli jos tutkimusajanjakso lähestyy ääretöntä, ehdollinen todennäköisyys elossa olemiselle on nolla. Käytännössä tämä tarkoittaisi sitä, että jos esimerkiksi lääketutkimusta jatkettaisiin äärettömästi, kaikki potilaista kuolevat. Tämä ei kuitenkaan pidä paikkaansa kaikissa elinaika-

analyysin tapauksissa, kuten esimerkiksi tässä tutkielmassa esitetyn elossaolofunktion tapauksessa. (Kleinbaum & Klein 2005, 8–9.) Tämä johtuu siitä, että osa hyväksytyistä hankkeista ei toteudu eivätkä yritykset siten hae maksetusta. Nämä hankkeet jäävät siis pysyvästi ”eloon”.

Toinen elinaika-analyysissa yleisesti käytetty funktio, vaarafunktio $h(t)$, antaa ehdollisen todennäköisyyden havainnolle kohdata tarkastelun kohteena oleva ilmiö juuri ajanhetkellä t , olettaen, että havainto ei ole kohdannut ilmiötä ennen tarkasteltavaa ajanhetkeä. Funktion avulla voidaan tarkastella, miten ajan edetessä tutkimuksen kohteena olevan tapahtuman todennäköisyys muuttuu. (Nummenmaa 2021, 485.) Vaarafunktio esitetään matemaattisessa muodossa seuraavasti (mukaillen Rao & Schoenfeld 2007, 10):

$$h(t) = -\frac{\frac{dS(t)}{d(t)}}{S(t)} \quad (1)$$

Vaarafunktio $h(t)$ voidaan määritellä elossaolofunktion $S(t)$ avulla. Vastaavasti elossaolofunktio voidaan määritellä vaarafunktion avulla. (Rao & Schoenfeld 2007, 10.) Vaarafunktiota ei käsitellä tässä tutkimuksessa tätä tarkemmin, sillä tutkimuksessa tarkastellaan vain elossaolofunktion estimaattoria.

Elinaika-analyysilla voi olla useita erilaisia tavoitteita. Usein tavoitteena on estimoida ja tulkita elossaolo- ja vaarafunktioita ja mahdollisesti vertailla eri testiryhmien funktioita keskenään. Analyysissa voidaan myös arvioida selittävien muuttujien vaikutusta hengissä pysymiseen erilaisten mallien avulla. Esimerkiksi lääketutkimuksessa voidaan verrata hoitoryhmän estimoitua elossaolofunktiota kontrolliryhmän estimoituun elossaolofunktioon, jolloin on mahdollista vertailla lääkkeen vaikutusta potilaiden selviytymiseen. (Kleinbaum & Klein 2005, 15.) On kuitenkin syytä huomioida, että havaintoja saadaan korkeintaan tarkasteluajanjakson pituudelta. Jos lääketieteellinen tutkimus kestää esimerkiksi kolme vuotta, niin elossaolofunktiota ei ole mahdollista arvioida kuin korkeintaan tälle ajalle.

4.2.2 Kaplan-Meier-estimaattori

Elinaika-analyysissa aineisto kuvataan usein elinaikataulun avulla, jossa jokaisella taulun rivillä esitetään tutkittavan ilmiön esiintymisen todennäköisyys havaintojoukossa tietyllä aikapisteellä. Tavanomaisesti elossaolofunktion käyrä estimoidaan elinaikataulun avulla käyttäen tiettyjä, ennalta määrättyjä aikaikkunoita. Tällöin jokaiselta aikaintervallilta, esimerkiksi kuukaudelta tai vuodelta, määritetään päätetapahtuman kohdanneiden sekä sensuroitujen havaintojen määrä. Edellä kuvatun estimoinnin haasteena kuitenkin on, että

aikaintervallin kesto vaikuttaa siihen, miten päätetapahtumia nähdään esiintyvän elossaolofunktion käyrällä. Jos intervalli on kestoiltaan pitkä, esimerkiksi vuosi, voi aineistosta hävitä olennaista informaatiota, sillä kaikki tämän intervallin aikana esiintyneet päätetapahtumat ryhmitellään samaan aikaikkunaan. Liian lyhyt aikaintervalli taas puolestaan johtaa siihen, että päätetapahtumia esiintyy harvoin. (Nummenmaa 2021, 488.)

Kaplan ja Meier (1958) kehittivät vuonna 1958 elossaolofunktion käyrälle estimaattorin, jossa ennalta määriteltyjen aikaintervallien sijaan yksittäisen intervallin keston määrittää päätetapahtuman ilmeneminen. Näin ollen jokaista päätetapahtumaa kohdellaan omana aikaintervallinaan, jolloin aikapisteidien väli on epätasainen. Tällöin elossaolofunktion käyrä estimoidaan uudelleen jokaisen päätetapahtuman ilmaantuessa. Tämän seurauksena kyseinen elossaolofunktion estimaattori, nimeltään Kaplan-Meier-estimaattori, on muodoltaan porrasfunktio. Kaplan-Meier-estimaattori on yksi yleisemmistä menetelmistä elossaolofunktion estimointiin, koska sillä voi helposti arvioida graafisesti päätetapahtumien ilmenemistä ajan funktiona. Estimaattorin avulla pystyy myös graafisesti vertailemaan eri ryhmien välisiä eroja ajassa päätetapahtuman ilmenemiseen ja tästä syystä estimaattori valittiin myös tämän tutkielman menetelmäksi. (Kiefer 1988, 659; Nummenmaa 2021, 488.)

Kaplan-Meier-estimaattori esitetään matemaattisessa muodossa seuraavanlaisesti (mukaillen Kiefer 1988, 659):

$$\hat{S}(t_j) = \prod_{i=1}^j \frac{n_i - m_i}{n_i} = \prod_{i=1}^j \left(1 - \frac{m_i}{n_i}\right) \quad (2)$$

Kaavassa t_j kuvaa kulunutta aikaa, n_i on niiden havaintoyksiköiden määrä, jotka eivät ole kohdanneet päätetapahtumaa tai muusta syystä poistuneet tutkimuksesta ennen ajanhetkeä t_j ja m_i on päätetapahtuman kohdanneiden yksiköiden määrä. Jos havaintoyksikkö on poistunut tutkimuksesta tai siitä ei muusta syystä ole havaintoja ajanhetken t_j jälkeen, sen katsotaan olevan sensuroitu t_j jälkeen. Sensuroitu havaintoyksikkö ei siis vaikuta elossaolofunktion $\hat{S}(t_j)$ arviointiin alueella, jolla $t > t_1$ ja näin ollen se poistuu yllä olevan kaavan 1 jakajasta n_i . Todellista elossaolofunktiota $S(t_j)$ ei tiedetä, vaan Kaplan-Meier-estimaattori $\hat{S}(t_j)$ tuottaa yhden estimaattorin siitä. Estimaattorissa ei ole systemaattista virhettä, eli se on harhaton, mutta siinä esiintyy silti aina virhettä kuten kaikissa estimaattoreissa. (Kiefer 1988, 659.)

Taulukossa 3 on havainnollistettu esimerkinomaisesti Kaplan-Meier-estimaattorin käyttöä elinaikataulun avulla. Kun aika $t = 0$, eloonjäämistodennäköisyys ajanhetkellä 0 on $S_0 = 1$. Kuten edellisessä kappaleessa todettiin, sensuroitu havainto c_t poistuu

ajanhetkellä $t + 1$ jakajasta n_{t+1} , eikä näin ollen vaikuta enää elonjäämistodennäköisyyden estimaattoriin. Tutkimuksen tarkastelujakson päättyessä kaikki havainnot, jotka eivät ole vielä kohdanneet päätetapahtumaa, sensuroidaan.

Taulukko 3 Elinaikataulu Kaplan-Meier-estimaattorilla (mukaillen Sullivan 2016)

Aika (vuodet), t	Kaikki havainnot, n_t	Tapahtu- man koh- danneet ha- vainnot, m_t	Sensuroidut havainnot, c_t	Eloonjäämistodennäköisyys, $S_{t+1} = S_t \times \frac{(n_{t+1} - m_{t+1})}{n_{t+1}}$
0	30			1
1	30	1		$1 * ((30-1)/30) = 0,967$
2	29		1	$0,967 * ((29-0)/29) = 0,967$
3	28	3		0,863
4	25	4	2	0,725
5	19		3	0,725
6	16	2		0,634
7	14		14	0,634

Tässä tutkielmassa käytettyjen Kaplan-Meier-estimaattorien määrittämisessä käytettiin Terry Therneau'n R-ohjelmistolle (versio 4.1.0) tekemää survival-pakettia (versio 3.13). Tutkielmassa kulunutta aikaa t mitattiin päivissä, joka on myös käytetyn survfit-funktion oletusajanmitta (Therneau 2021, 9). Funktion estimaattori vastaa kaavassa 1 esiteltyä elossaolofunktion estimaattoria. Tässä n_i on voittaneiden hankkeiden määrä, jotka eivät ole toteutuneet ennen ajanhetkeä t_j ja m_i taas on kyseisellä ajanhetkellä toteutuneiden hankkeiden määrä. Koska aineistossa on 142 havaintoa, eli suhteellisen pieni määrä, estimaattiin $\hat{S}(t_j)$ liittyy epävarmuuksia. Mitä pidempi aika hankkeilla on hyväksymispäätöksen antamisesta, sitä suurempia epävarmuudet ovat. Tämä johtuu siitä, että mitä suurempi kulunut aika t_j on, sitä vähemmän on jäljellä toteutumattomia hankkeita ja näin ollen havaintoja.

Pääasiassa aineiston keruussa oli mahdollista saada valmistumisesta tietoa vain sellaisista hankkeista, jotka hakivat maksatusta. Näin ollen aineisto ja estimaattori sisältävät systemaattisen virheen, sillä hanke voi valmistua ilman, että se hakee maksatusta. Kyseisen virheen arvioidaan kuitenkin olevan pieni, sillä tuensaajien on perusteltua jättää maksatushakemus, mikäli hanke toteutuu tarjouksen mukaisena.

Survfit-funktio määrittelee myös luottamusvälit estimaattorille epävarmuuden arvoimiseksi. Funktion oletusluottamusväli on melko yleisesti käytössä oleva 95 prosenttia, eli jakauman ala- ja yläpäästä jätetään 2,5 prosenttiyksikköä pois. Tässä tutkielmassa käytetään oletusluottamusväliä. Sahinojan ym. (2021) vaikuttavuusanalyysissa, joka pohjautui samaan aineistoon kuin tämä tutkielma, käytettiin 80 prosentin luottamustasoa. Näin ollen tutkielman luvussa 5.2., jossa laskettuja estimaattoreita vertaillaan Sahinojan ym. (2021) vaikuttavuusanalyysin estimaattoreihin, luottamusvälit olivat suuruudeltaan 80 prosenttia. 95-prosenttiset luottamusvälit määritellään survfit-funktiossa seuraavalla kaavalla:

$$\exp[\log(p) \pm 1.96 \cdot SE(\log(p))] \quad (3)$$

Kaavassa $p = S(t)$ eli elossaolofunktio ja SE on elossaolofunktion keskivirhe. Funktiossa käytetään logaritmimuotoista luottamusvälien kaavaa, koska perinteisen luottamusvälimenetelmän on todettu antavan epäluotettavia tuloksia elossaolofunktion käyrän suhteen. (Therneau 2021, 10.)

4.2.3 Log-rank-testi

Lääketieteessä elinaika-analyysin tavoitteena on monesti kahden tai useamman havaintoryhmän vertailu keskenään, esimerkiksi lumelääkettä saaneiden testiryhmän kuolleisuuden vertailu suhteessa tutkimuksen kohteena ollutta lääkettä saaneiden kuolleisuuteen. Haasteena on kuitenkin elinaika-analyysiin tyypillisesti kuuluvien sensuroitujen havaintojen sekä vaihtelevien aikaintervallien huomioiminen eri elinaikakäyrien vertailussa. (Kleinbaum & Klein 2005, 61; Nummenmaa 2021, 491.)

Yksi yleisimmistä elinaika-analyysissa elinaikakäyrien vertailuun käytetyistä testeistä on log-rank-testi, jonka idean esittelivät ensimmäisen kerran Mantel ja Haenzel (1959). Testillä voidaan testata, onko vertailussa mukana olevien tutkimuspopulaatioiden välillä eroa tutkimuksen tarkastelujaksolla, vai ovatko niiden populaatiot samat. Testin nollahypoteesi on, että tutkimuspopulaatioiden päätetapahtumien esiintymisessä ei ole eroa. Log-rank-testi noudattaa χ^2 -jakaumaa. (Kleinbaum & Klein 2005, 61.) Alla esitetään testin toimintatapa matemaattisessa muodossa (mukaihen Nummenmaa 2021, 491).

$$\log\text{-rank} = \frac{(f_{o1} - f_{e1})^2}{f_{e1}} + \frac{(f_{o2} - f_{e2})^2}{f_{e2}} + \dots + \frac{(f_{ok} - f_{ek})^2}{f_{ek}} \quad (4)$$

Kaavassa 2 f_o kuvaa ryhmäkohtaisesti havaittujen päätetapahtumien lukumäärää ja f_e kuvaa ryhmäkohtaisesti odotettujen päätetapahtumien lukumäärää, kun nollahypoteesin mukaisesti oletetaan, että vertailtavien ryhmien päätetapahtumien määrässä ei ole

eroa. Ryhmäkohtaiset f_o ja f_e arvot saadaan summaamalla jokaiselta tutkimuksen tarkastelujaksos ajanhetkeltä havaittujen ja odotettujen päätetapahtumien lukumäärät yhteen. Tämän jälkeen lasketaan jokaisen ryhmän havaitun ja odotetun päätetapahtumien määrän erotus, joka nelioidaan ja jaetaan vielä odotetulla päätetapahtumien määrällä. Mikäli ryhmän havaitut ja odotetut päätetapahtumien määrät ovat yhtä suuret, tähän ryhmään kuuluminen ei ole vaikuttanut päätetapahtumien määrään. Tällöin ryhmän suhdeluku on nolla. Mitä pienempi testattavien ryhmien yhteenlaskettu suhdeluku on, sitä enemmän ryhmien päätetapahtumien osuudet ovat muistuttaneet toisiaan ja sitä vähemmän päätetapahtumien määrä poikkeaa sattumasta. (Nummenmaa 2021, 491.)

Tässä tutkielmassa log-rank-testi toteutettiin R-ohjelmiston survival-paketin (versio 3.13, Therneau 2021) survdiff-funktiolla. Jokaisen teknologiaryhmän elinaikakäyrää verrattiin keskenään. Alla on esitetty tutkielmassa käytetyn testin hypoteesit:

$H_0 =$ Hankkeiden toteutumisessa ei ole eroa ryhmien välillä,

$$(S(t_k) = S(t_l)), k \neq l, \quad k, l \in \{1,2,3,4\}$$

$H_1 =$ Hankkeiden toteutumisessa on eroa ryhmien välillä,

$$(S(t_k) \neq S(t_l)), k \neq l, \quad k, l \in \{1,2,3,4\}$$

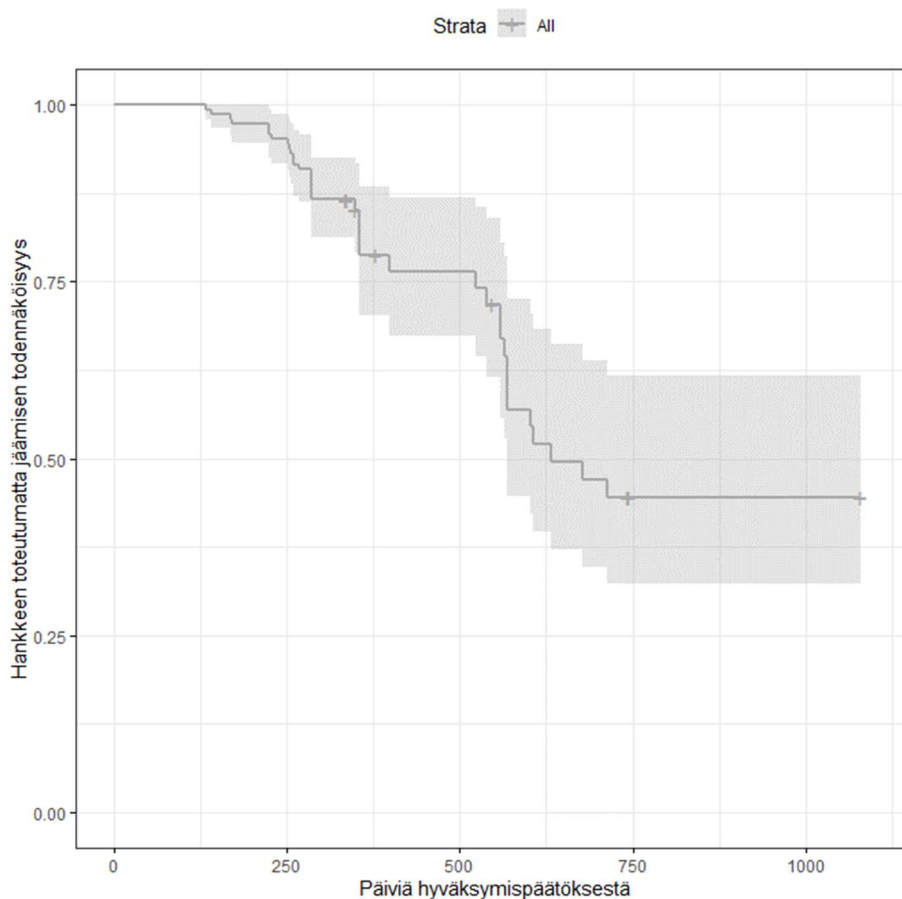
Nollahypoteesina on, että vertailtavien teknologiaryhmien hankkeiden toteutumisessa ei ole eroa. Jos näin on, hankkeiden toteutumisen kannalta ei ole ollut merkitystä sillä, mihin huutokaupan teknologiaryhmään ne kuuluvat, eikä ryhmän toteutuneiden hankkeiden määrä eroa sattumasta. Nollahypoteesi hylätään, jos χ^2 -jakaumaa noudattava testisuure on suurempi kuin halutun merkitsevyydestason kriittinen arvo. Log-rank-testi perustuu kahden ryhmän vertailuun, joten χ^2 -jakauman vapausaste on yksi. Jos nollahypoteesi hylätään, voimaan jää vaihtoehtoinen hypoteesi, joka on, että verrattavien ryhmien välillä on ero hankkeiden toteutumisen suhteen.

Log-rank-testi on suhteellisen yksinkertainen tapa testata elossaolokäyriä, eikä sen avulla voida esittää arvioita erilaisten kovarianttien, kuten kilpailutusvuosien tai hankkeiden kokonaiskustannuksien, vaikutuksesta eloonjäämisen todennäköisyyteen. Log-rank-testi on valittu tutkielmaan sen yksinkertaisuuden vuoksi. Testi on parametriton ja hyvin robusti verrattuna esimerkiksi Coxin regressioanalyysiin, joka taas on parametrinen malli. Coxin regressioanalyysin avulla olisi mahdollista arvioida erilaisten tekijöiden vaikutusta hankkeiden toteutumisen keston. (Nummenmaa 2021, 492–495.) Regressioanalyysi voisi tarjota uusia näkökulmia siihen, miksi hankkeet jäävät toteutumatta. Kyseinen malli jätetään jatkotutkimusaiheeksi.

5 TULOKSET JA TULKINTA

5.1 Voittaneiden hankkeiden toteutuminen

Kuviossa 2 on esitetty viive hyväksymispäätöksestä tuen hankkeen valmistumisen ajankohtaan asti kaikille hankkeille. Kuvion yhtenäinen viiva on elossaolofunktion $S(t)$ estimaatti $\hat{S}(t)$, joka osoittaa hankkeen toteutumatta jäämisen todennäköisyyden jokaiselle hyväksymispäätöksestä kuluneelle päivälle t_i . Harmaa alue osoittaa estimoidun elossaolofunktion 95 prosentin luottamusvälin. Hankkeiden toteutumisen alkuperäiseen 22 kuukauden määräaikaan on tietyn edellytyksin mahdollista saada lisää aikaa. Tästä johtuen osalla teknologiaryhmistä estimaatin arvo laskee vielä 22 kuukauden (669 päivän) jälkeen.



Kuvio 2 Kaikkien teknologiaryhmien hankkeiden toteutumatta jäämisen todennäköisyys

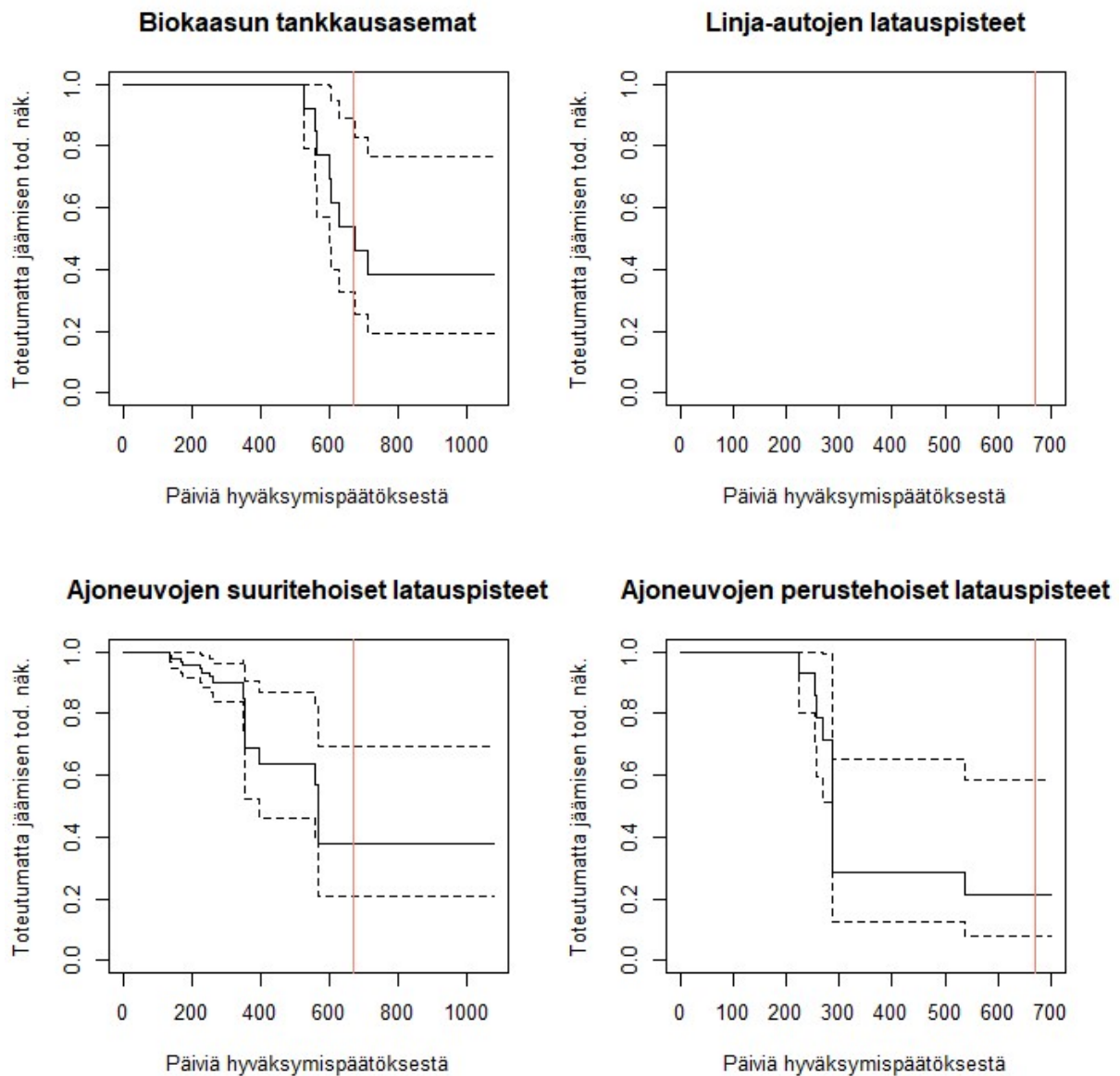
Kuviosta 2 ilmenee, että osa hankkeista ei tule toteutumaan, koska elossaolokäyrä ei laske nollaan asti. Tällöin kyseisten hankkeiden viive hyväksymispäätöksestä lähestyy ääretöntä. Tämä tarkoittaa sitä, että toisin kuin monissa muissa elinaika-analyysin

sovelluksissa, kaikki havainnot eivät ikinä kohtaa tarkasteltavaa päätetapahtumaa, vaikka tutkimuksen tarkasteluaika lähestyisi ääretöntä. Lääketieteellisessä tutkimuksessa ilmiö vastaa sitä, että potilaat elävät ikuisesti. Näin ollen luvussa 4.2.1. esitelty elossaolofunktion teoreettinen ominaisuus $t \rightarrow \infty, S(t) = 0$ ei toteudu tämän elossaolofunktion kohdalla. Jos hankkeiden toteutumisen tarkasteluaika lähestyisi ääretöntä, saattaisi elossaolofunktio kuitenkin laskea, sillä osa hankkeista voi toteutua myöhemmin, vaikka yritysten ei olekaan enää mahdollista hakea hankkeelle myönnettyä tukea.

Kuviosta 2 ilmenee, että kaikkien hankkeiden keskimääräinen toteutumisaste on hiukan yli 55 prosenttia. Toteutumisaste jää siis estimaatin mukaan verrattain vaatimattomaksi. Toteutumisaste on keskimääräisesti alhaisempi kuin luvussa 2.4 esitetyt toteutumisasteet uusiutuvan energian tukihuutokaupoissa. Edellä todettiin, että yksi syy toteutumisasteen alhaiseksi jäämiselle voi olla se, että yritykset ovat arvioineet hankkeen investointikustannukset virheellisesti ja tarjonneet tämän seurauksena liian pientä tukea suhteessa kustannuksiin. Tällöin voittaneet yritykset saattavat kärsiä ns. voittajan kirouksesta. On myös mahdollista, että osan tukihuutokaupassa mukana olleiden hankkeiden kohdalla yrityksillä ei ole ollut paljon tietoa aiemmista toteutuneista hankkeista, mikä on voinut aiheuttaa haasteita investointikustannuksien arviointiin.

Kuvio 3 esittää hankkeiden toteutumisen Kaplan-Meier-estimaatit teknologiaryhmäkohtaisesti. Kuvion yhtenäinen viiva on estimoitu elossaolokäyrä, joka osoittaa hankkeen toteutumatta jäämisen todennäköisyyden jokaiselle päivälle t_i . Mustat katkoviivat osoittavat estimoidun elossaolofunktion 95 prosentin luottamusvälit. Punainen pystyviiva puolestaan esittää luvussa 3.1. esitellyn alkuperäisen 22 kuukauden määräajan maksatushakemuksen jättämiseksi hyväksymispäätöksestä.

Kuviosta 3 havaitaan, että biokaasun tankkausasemien teknologiaryhmällä viive hyväksymispäätöksestä ensimmäiseen toteutuneeseen hankkeeseen on pisin. Ryhmässä osa hankkeista on hakenut 22 kuukauden määräajalle jatkoaikaa ja tästä syystä elossaolokäyrä laskee vielä punaisen katkoviivan jälkeen. Ryhmän hankkeiden toteutuminen jää tutkielman tarkastelujakson päättyessä noin 60 prosentin kohdalle, eli noin 40 prosenttia hankkeista ei ole toteutunut. Hankkeiden pitkään valmistumisaikaan ja suhteellisen alhaiseen toteutumisasteeseen voi vaikuttaa Sahinojan ym. (2021) vaikuttavuusanalyysin kannattavuuslaskelmissa esiin noussut huomio siitä, että kyseisen ryhmän hankkeet ovat kalliimpia kuin muiden teknologiaryhmien hankkeet.



Kuvio 3 Teknoliariyhmäkohtaiset Kaplan-Meier-estimaattorit

Linja-autojen latauspisteiden ryhmän kohdalla taas havaitaan, että ryhmälle ei voitu estimoida elossaolokäyrää, sillä yksikään kierroksien 2019 tai 2020 hankkeista ei ole ilmoittanut valmistumisesta ja hakenut maksatusta. Kyseisen ryhmän toteutumistasaste on siis nolla prosenttia ja näin ollen ryhmä on toteutumisen kannalta kaikkein haastavin. Kuten luvussa 3.3. todettiin, Sahinon ja ym. (2021) vaikuttavuusanalyysissä linja-autojen latauspisteiden teknologiaryhmän kannattavuuslaskelmien kohdalla nousi esiin, että tukihuuto-kaupan säännöt olivat suosineet selkeästi perinteisiä teknologioita, eli perustehoisia latauspisteitä linja-autojen varikolla. Kuitenkin viime vuosina linja-autojen latauspisteiden teknologia on kehittynyt nopeasti ja markkinoille on tullut hybridilataukseen soveltuvia

linja-autoja. Näin ollen linja-autojen suuritehoinen lataus on tullut yhtiöille kannattavamaksi ja tämä on voinut johtaa siihen, että voittaneiden perinteisten lataushankkeiden toteuttaminen ei ole enää yhtä houkuttelevaa.

Ajoneuvojen suuritehoisten latauspisteiden ryhmässä osa hankkeista valmistuu suhteellisen pian hyväksymispäätöksen jälkeen, aikaisemmin kuin muissa ryhmissä. Tästä huolimatta toteutumisaste ei ole parempi kuin biokaasun tankkausasemien ryhmässä. Molemmissa ryhmissä noin 60 prosenttia hankkeista toteutuu tarkastelujakson loppuun mennessä. Myös ajoneuvojen perustehoisten latauspisteiden ryhmässä elossaolokäyrä alkaa laskea suhteellisen nopeasti ajan edetessä. Ryhmän toteutumisen aste tarkastelujakson päättyessä on kaikista ryhmistä korkein, noin 75 prosenttia. Suuritehoisten ja perustehoisten latauspisteiden ryhmien toteutumisasteen ero voidaan osittain selittää luvussa 3.3. esitellyillä Sahinon ym. (2021) vaikuttavuusanalyysin tuloksilla, joiden mukaan perustehoiset latauspisteet tarvitsevat tuen kanssa huomattavasti alhaisemman käyttöasteen olakseen kannattavia kuin suuritehoiset latauspisteet. Näin ollen suuritehoisten latauspisteiden hankkeet ovat vähemmän kannattavia, jolloin yrityksiä on todennäköisempää jättää investointi tekemättä, vaikka hankkeelle onkin myönnetty tukea.

Koska ajoneuvojen perustehoisten latauspisteiden teknologiaryhmässä jätettiin tarjouksia ainoastaan vuoden 2019 kierroksella, kyseisen ryhmän elossaolokäyrällä on lyhyempi tarkasteluajanjakso kuin biokaasun tankkausasemien ja ajoneuvojen suuritehoisten latauspisteiden ryhmillä. Kyseisen ryhmän estimaatti ei myöskään enää tarkennu ajan kulumisen seurauksena, koska hankkeiden toteutumisen määräaika on umpeutunut. Kuten luvussa 4.2.2 todettiin, aineiston suhteellisen pienen havaintomäärän vuoksi estimaatteihin liittyy epävarmuutta, joka kasvaa ajan edetessä. Tämä havaitaan selkeästi kuvion 3 estimaattien luottamusväleistä, jotka kasvavat jokaisen teknologiaryhmän kohdalla sitä leveämmiksi, mitä suurempi hyväksymispäätöksestä kulunut aika t on. Edellä mainitusta johtuu, että elossaolokäyrien lopulliseen tasoon sisältyy epävarmuutta, kun t lähestyy ääretöntä.

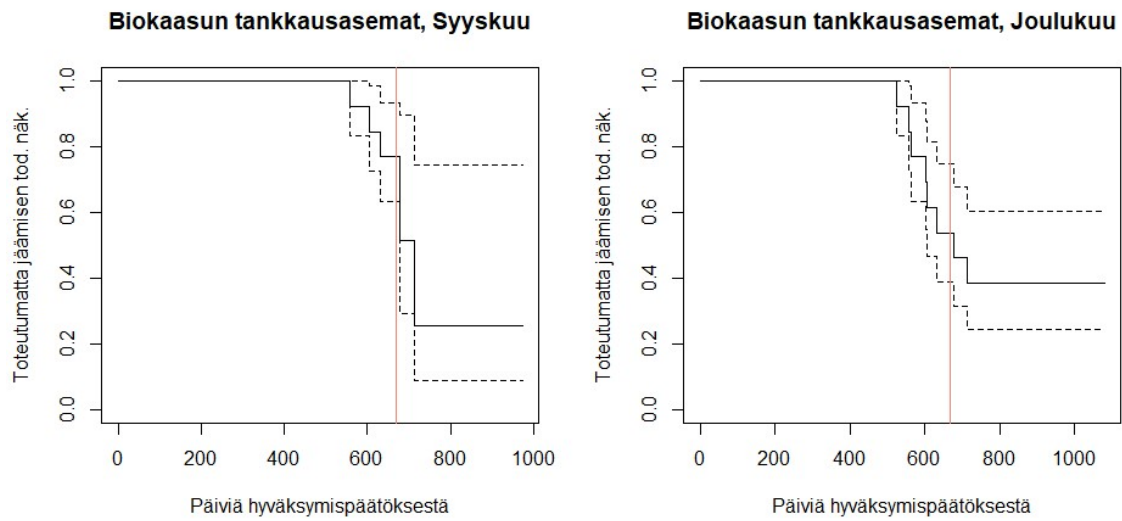
Estimaatit tarkentuvat vielä, kun kierroksen 2020 hankkeita toteutuu ja kierroksen 2021 hankkeet lisätään aineistoon. Kuviossa 3 havainnollistettujen 95 prosentin luottamusvälien suuruus on useita kymmeniä prosenttiyksiköitä. Tästä johtuen hankkeiden todellinen toteutumisaste saattaa muuttua vielä huomattavasti tässä tutkielmassa esitetyistä estimaateista. Seuraavassa luvussa 5.2. käsitelläänkin estimaattien sekä luottamusvälien muutosta aineiston kasvaessa Sahinon ym. (2021) vaikuttavuusanalyysin tulosten avulla.

5.2 Estimaattien vertailu

Sahinojan ym. (2021) Energiavirastolle syyskuussa 2021 koostaman vaikuttavuusanalyysin yksi osa-alue oli voittaneiden hankkeiden toteutumatta jäämisen todennäköisyyden estimointi Kaplan-Meier-estimaattien avulla. Vaikuttavuusanalyysi perustui 17.9.2021 päivitettyyn toteutumisen tilanteeseen. Koska tarjouskilpailun voittaneilla hankkeilla on 22 kuukautta aikaa hakea tuen maksatusta tuen myöntämispäivästä alkaen, ei vaikuttavuusanalyysissä ollut vielä mahdollisuutta käyttää ennusteessa kaikkia tarjouskilpailun kierroksen 2019 toteutuneita hankkeita, sillä tämän kierroksen voittaneilla hankkeilla oli aikaa hakea maksatusta joulukuuhun 2021 asti. Aineistossa ei myöskään ollut mukana kierroksen 2020 hankkeita, koska yksikään näistä hankkeista ei ollut ilmoittanut valmistumisesta.

Tässä tutkielmassa Sahinojan ym. (2021) vaikuttavuusanalyysissä tehty estimointi tehtiin uudestaan 1.1.2022 päivitetyllä aineistolla, jotta pystyttiin käyttämään estimaattien luomisessa kierrosten 2018 ja 2019 hankkeiden lopullista toteutumisasetta ja kierroksen 2020 aineistoa. Kuten edellä todettiin, estimaatteihin liittyy paljon epävarmuutta aineiston pienen koon vuoksi. Koska joulukuussa päivitettyyn estimaattiin oli saatavilla suurempi aineisto, oletuksena oli, että esimerkiksi estimaattien luottamusvälit tarkentuvat. Luottamusvälien tarkentumisen vertailua varten valittiin teknologiaryhmistä biokaasun tankkausasemat, sillä ryhmä on saanut tarjouksia jokaisella kierroksella sekä sen ryhmäkohtaisissa säännöissä ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia, toisin kuin muissa ryhmissä.

Kuviossa 4 on esitetty biokaasun tankkausasemien estimoitu elossaolokäyrä syyskuun 2021 ja joulukuun 2021 aineistolla. Kuvio on esitetty samalla tavalla kuin kuvio 3, eli yhtenäinen viiva on estimoitu elossaolokäyrä, joka osoittaa hankkeen toteutumatta jäämisen todennäköisyyden. Mustat katkoviivat taas osoittavat estimoidun elossaolofunktion 80 prosentin luottamusvälit. Kuvion molemmissa elossaolokäyrissä on käytetty 80 prosentin luottamusvälejä, koska Sahinoja ym. (2021) käyttivät tutkimuksessaan tätä luottamustasoa. Punainen pystyviiva puolestaan esittää 22 kuukauden määräajan maksatushakemuksen jättämiseksi hyväksymispäätöksestä.



Kuvio 4 Syyskuun ja joulukuun aineistoilla tehtyjen estimaattien erot

Kuviosta 4 ilmenee, että uuden aineiston lisäämisen myötä elossaolokäyrä on noussut ylöspäin ja samalla luottamusvälit ovat kaventuneet. Näin ollen joulukuun aineistolla toteutettuun estimaattiin liittyy pienempää epävarmuutta kuin syyskuun aineistolla estimoituun. Kuvio tarjoaa esimerkin siitä, että estimaattiin liittyvän epävarmuuden vuoksi elossaolokäyrä on epätarkka, eikä sen perusteella näin ollen voida tehdä varmoja johtopäätöksiä huutokauppojen lopullisesta toteutumisasteesta. On siis todennäköistä, että kun aineistoon lisätään vielä kierroksen 2021 hankkeet, estimaatti tarkentuu vielä eikä jää nykyiselle tasolle.

5.3 Testit

Taulukossa 4 on esitetty jokaisen teknologiaryhmäparin log-rank-testissä saadun testisuurteen ensimmäinen merkitsevyystaso, jolla nollahypoteesi voidaan hylätä. Eri merkitsevyystasot on luokiteltu asteriskien avulla kategorioihin ja tämä kategoria on ilmoitettu aina merkitsevyystason vieressä. Kun teknologiaryhmän elinaikakäyrää vertaillaan sen itsensä kanssa, ei nollahypoteesia luonnollisesti voida hylätä, koska ryhmän hankkeiden toteutuminen on itsensä kanssa identtinen. Näin ollen taulukko saa näiden sarakkeiden kohdalla arvon yksi.

Taulukko 4 Teknologiaryhmien välisten log-rank-testien merkitsevyystasot

Ryhmä	Biokaasu	Linja-auto	Suuriteho	Perusteho
Biokaasu	1	0.06+	0.2	0.001 ***
Linja-auto	0.06+	1	0.03*	0.003**
Suuriteho	0.2	0.03*	1	0.0008 ***
Perusteho	0.001 ***	0.003**	0.0008 ***	1

Taulukon 4 merkitsevyystasot:

'****' 0–0.001

'***' 0.001–0.01

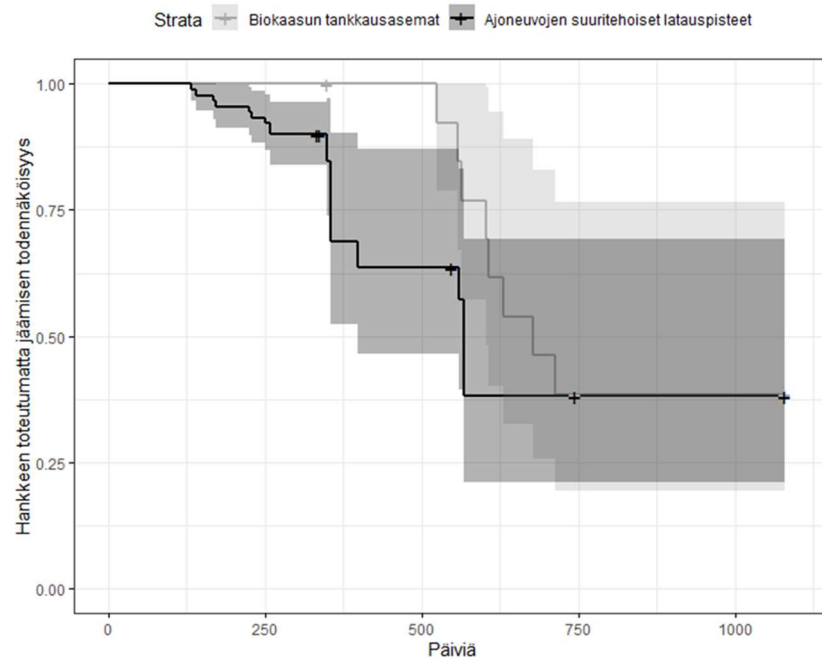
'*' 0.01–0.05

'+' 0.05–0.1

'(Ei symbolia)' 0.1–1.0

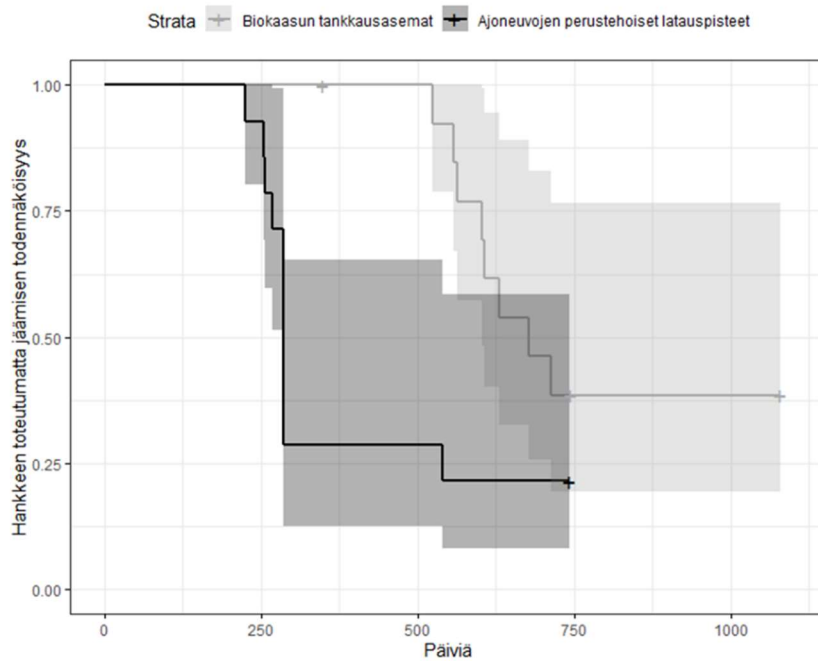
Taulukosta 4 ilmenee, että biokaasun tankkausasemien ja ajoneuvojen suuritehoisten latauspisteiden tapauksessa nollahypoteesi voidaan hylätä vasta merkitsevyystasolla 0.2. Tämä tarkoittaa sitä, että nollahypoteesi voidaan hylätä 80 prosentin todennäköisyydellä. Tämä ylittää yleisesti hyväksytyn 0.05 kriittisen p-arvon, joten voidaan katsoa, että näiden kahden ryhmän toteutumistasojen välillä ei ole tilastollisesti merkitsevää eroa. Kuviossa 5 on esitetty biokaasun tankkausasemien ja ajoneuvojen suuritehoisten latauspisteiden estimoidut elossaolofunktioiden 95-prosentin luottamusvälit. Kuviossa ilmenee, että 0 päivän ja 600 päivän välillä luottamusväleissä on vain vähän päällekkäisyyttä. 600 päivän jälkeen suuritehoisten latauspisteiden luottamusväli sisältyy biokaasun

tankkausasteiden luottamusväliin. Kuvion perusteella voidaan vetää johtopäätös, että käyrät ovat osin päällekkäiset ja osin eivät. Tämä on linjassa log-rank-testin tuloksen kanssa.



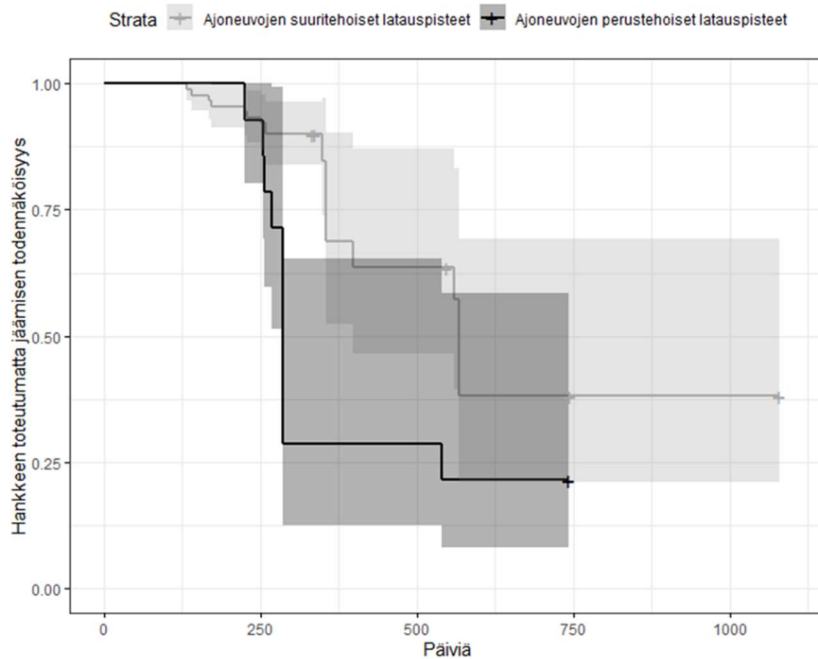
Kuvio 5 Biokaasun tankkausasemat ja ajoneuvojen suuritehoiset latauspisteet

Biokaasun tankkausasemien sekä ajoneuvojen perustehoisten latauspisteiden osalta nollahypoteesi on väärin 99,9 prosentin todennäköisyydellä, jolloin voidaan todeta, että ryhmien toteutumisasasteessa on tilastollisesti merkitsevä ero. Elosoalokäyrien erilaisuus voidaan havaita myös kuviosta 6, jossa ajoneuvojen perustehoisten latauspisteiden ryhmän käyrä laskee jyrkemmin ja käyrien luottamusvälit ovat vain hiukan päällekkäiset.



Kuvio 6 Biokaasun tankkausasemat ja ajoneuvojen perustehoiset latauspisteet

Vastaavasti ajoneuvojen suuritehoisten sekä perustehoisten latauspisteiden osalta nollahypoteesi on väärin 99,92 prosentin todennäköisyydellä. Näin ollen myöskään näiden ryhmien toteutumistasheet eivät ole samat. Tämä ero havaitaan myös tarkastelemalla kuviota 7, jossa käyrät ja niiden luottamusvälit ovat vain osittain päällekkäiset.



Kuvio 7 Ajoneuvojen suuritehoiset latauspisteet ja perustehoiset latauspisteet

Linja-autojen latauspisteiden teknologiaryhmän kohdalla yksikään hanke ei ole vielä toteutunut, joten kyseisen ryhmän elonjäämisfunktiota ei ole mielekästä analysoida graafisesti. Kyseistä ryhmää voidaan kuitenkin analysoida luvussa 4.2.3 esitellyllä log-rank-testillä. χ^2 -jakaumaa noudattava testisuure muodostetaan laskemalla kunkin havaintohetken i kohdalla $(f_{o_i} - f_{e_i})^2 / f_{e_i}$, joka edustaa poikkeamaa havaittujen toteutuneiden hankkeiden lukumäärän f_{o_i} ja odotettujen toteutuneiden hankkeiden lukumäärän f_{e_i} välillä. Linja-autojen latauspisteiden teknologiaryhmässä toteutuneiden hankkeiden lukumäärä $f_{e_i} = 0 \forall i$. Tällöin kyseisen ryhmän testisuure on suuruudeltaan ryhmän odotettu toteutuneiden hankkeiden lukumäärä f_{e_i} , joka on tässä testissä aina suurempi kuin nolla. Luvussa 4.2.3 esitetyn kaavan 4 mukaisesti kyseiseen lukuun lisätään vertailtavan ryhmän vastaava testisuure, joka on myös suurempi kuin nolla.

Linja-autojen latauspisteiden ryhmä eroaa sekä ajoneuvojen suuri- että perustehoisten latauspisteiden ryhmien toteutumisasteista vähintään 95 prosentin todennäköisyydellä. Voidaankin siis todeta, että toteutumisaste linja-autojen latauspisteiden ryhmässä on huonompi kuin ajoneuvojen suuri- ja perustehoisten latauspisteiden ryhmässä. Verrattuna biokaasun tankkausasemiin ei mitään päätelmiä voida sitä vastoin tehdä. Tämä johtuu siitä, että nollahypoteesia ei voida hylätä.

Se, että ryhmä, jonka toteutumisaste on nolla prosenttia, eroaa toteutumisasteeltaan tilastollisesti merkitsevästi ajoneuvojen latauspisteiden ryhmien muttei biokaasun tankkausasteiden ryhmän kanssa liittyy todennäköisesti biokaasun tankkausasteiden pitkään viiveeseen hankkeiden toteutumisessa. Esimerkiksi kuvio 5 ilmenee, että ryhmän elosaalokäyrä laskee vasta yli 500 päivän jälkeen. Näin ollen biokaasun tankkausasteiden ryhmä on havaittujen päätetapahtumien suhteen täsmälleen samankaltainen linja-autojen latauspisteiden ryhmän kanssa ensimmäiset 500 päivää.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ilmastonmuutosta pyritään hillitsemään siirtymällä uusiutuvien energialähteiden käyttöön fossiilisten polttoaineiden sijaan. Siirtymässä tarvitaan valtioiden tukea, jotta uusiutuvista energialähteistä tulee tarpeeksi nopeasti kilpailukykyisiä suhteessa fossiilisiin polttoaineisiin. Viime vuosina huutokauppojen käyttö on yleistynyt uusiutuvan energian tukien jakamisessa. Tukihuutokaupat ovat periaatteessa tehokas tapa allokoida tuki, mutta niiden haasteena voi olla alhainen toteutumisaste. Tällöin tuella ei välttämättä saavuteta tavoiteltua vaikutusta.

Tässä tutkielmassa tarkasteltiin Suomessa 2018–2021 järjestettyjen liikenteen infrastruktuurituen huutokauppojen toteutumisastetta. Koska kierroksien 2020 ja 2021 voittaneilla tarjouksilla on vielä runsaasti aikaa valmistua 22 kuukauden määräajan puitteissa, ei toteutumisasteesta voitu tehdä lopullisia arvioita. Tästä syystä toteutumisasteen estimoinnissa käytettiin Kaplan-Meier-elinaikakäyriä. Kaplan-Meier-menetelmän avulla eri aikoihin järjestettyjen huutokauppakierroksien voittaneiden hankkeiden toteutumisajat pystyttiin tuomaan yhteismitalliseen muotoon, jolloin pystytään esittämään ennusteita koko huutokaupan lopullisesta toteutumisasteesta. Menetelmä mahdollistaa myös vertailun eri teknologiaryhmien välillä.

Liikenteen infrastruktuurituen huutokauppojen 2018–2021 toteutumisaste on ennusteeltaan suhteellisen alhainen, noin 55 prosenttia (Kuvio 2). Tämä tarkoittaa siis sitä, että tämän hetken ennusteen mukaan hieman alle puolet tukihuutokaupassa voittaneista hankkeista jää toteutumatta. Kuitenkin huomionarvoista on, että estimaatin luottamusvälit ovat suhteellisen isot, jolloin estimaatissa esiintyy huomattavaa epävarmuutta. Epävarmuutta voidaan osaltaan selittää aineiston pienellä koolla. Näin ollen estimaatti tulee aikanaan tarkentumaan, kun kierroksien 2020 ja 2021 hankkeet hakevat maksatusta tai jättävät sen tekemättä.

Infrastruktuurituen huutokaupoissa ei ollut käytössä kovin monia tutkielman luvussa 2 esitellyistä perinteisistä keinoista toteutumisasteen nostamiseen. Huutokaupoissa oli määräaika hankkeen toteutumiselle. Jos hanketta ei toteuteta kyseiseen määräaikaan mennessä, tuki menetetään. (Energiavirasto 14.9.2018.) Lataus- ja tankkauspisteinvestoinnit ovat mittakaavaltaan hyvin pieniä investointeja, arviolta noin kymmeniä tuhansia tai joissain tapauksissa muutama sata tuhatta euroa, minkä vuoksi vakuudet ja kattavat ennakoedellytykset ovat haastavia. Kyseiset keinot nostavat huutokaupan osallistujan kustannuksia ja tätä kautta myös tarjoajien kynnystä osallistua kilpailuun (kts. esim. Gephart

ym. 2017, 156; Kreiss 2017, 514–518). Koska investoinnit olivat suhteellisen pieniä ja näin ollen myös jaettava tuki oli suuruudeltaan suhteellisen pieni, olisi esimerkiksi rakentamisvakuus voinut olla liian tiukka toimenpide suhteessa investointiin.

Infrastruktuurituen huutokauppojen toteutumisasteelle ei löydy suoraan vertailukohdetta. Lähimpiä verrokkeja, joiden toteutumisaste on tiedossa, ovat uusiutuvan energian tukihuutokaupat. Luvussa 2 esiteltyjen uusiutuvan energian tukihuutokauppojen toteutumisasteet vaihtelivat suuresti, noin 30 prosentista 100 prosenttiin (kts. mm. Gephart 2017, 151). Kuten edellisessä kappaleessa todettiin, näiden huutokauppojen investointihankkeet eroavat kuitenkin mittakaavaltaan ja ominaisuuksiltaan lataus- ja tankkauspisteinvestoinneista. Mikäli Saksassa 2017–2021 järjestettyjen sähköautojen latausinfrastruktuurituen huutokauppojen toteutumisaste julkaistaan, eräs jatkotutkimussuositus olisi vertailla Suomen ja Saksan tukihuutokauppojen eroja ja toteutumisasteita. Uusiutuvan energian tukihuutokauppojen toteutumisasteiden vaihtelu osoittaa, miten monen tekijän summa lopullinen toteutumisaste on. Toteutumisasteeseen vaikuttavat muun muassa huutokaupan yleinen suunnittelu, voittajan kirous, perinteiset toteutumisasteen nostamisen keinot kuten vakuudet, sanktiot ja määrääjät sekä tuen kohteena olevat teknologiat ja niiden kypsyysaste (Maurer & Barroso 2011, 95; Gephart ym. 2017, 152–156).

Jos tukihuutokaupassa on tavoitteena lisätä juuri tietyillä teknologioilla toteutettuja projekteja, eli huutokauppa ei ole teknologianeutraali, voi edellä mainittu teknologian kypsyysaste mahdollisesti vaikuttaa suuresti huutokaupan lopputulokseen. Jos kyseiset teknologiat eivät ole kovin vakiintuneita, yrityksillä ei todennäköisesti ole paljon aikaisempaa tietoa, jonka avulla esittää arvioita investoinnin kustannuksista. Tällöin annetut tukitarjoukset eivät välttämättä heijasta todellista tuen tarvetta ja voittaneet yritykset saattavat kärsiä voittajan kirouksesta (Bulow & Klempeler 2008, 2).

Tässä tutkielmassa oli mahdollista tarkastella toteutumisasteen ennusteen eroja teknologioiden välillä, sillä liikenteen infrastruktuurituen tukihuutokaupoissa kilpailu oli jaettu ryhmiin teknologiakohtaisesti. Teknologiaryhmäkohtainen toteutumisaste oli suhteellisen vaihteleva. Alhaisin toteutumisaste oli linja-autojen latauspisteiden ryhmällä, jossa toteutumisaste oli nolla prosenttia. Ajoneuvojen perusteihoisilla latauspisteillä oli korkein toteutumisaste, noin 75 prosenttia. Biokaasun tankkausasemien ja ajoneuvojen suuritehoisten latauspisteiden toteutumisaste oli 60 prosenttia.

Sahinojan ym. (2021) vaikuttavuusanalyysin mukaan ajoneuvojen perustehoisten latauspisteiden investointihankkeet tarvitsivat vähiten lataustapahtumia ollakseen kannattavia. Nämä investointihankkeet olivat siis keskimäärin kaikkein edullisimpia toteuttaa.

Tämä voi osaltaan selittää sitä, miksi kyseisen teknologiaryhmän toteutumisaste oli kaikkein korkein. Lisäksi perustehoinen ajoneuvojen latausteknologia on myös teknologisen kehityksen suhteen suhteellisen vakiintunutta. Huutokaupassa tarjonneilla yrityksillä on siis todennäköisesti ollut käytettävissään suhteellisen paljon tietoa, jonka avulla arvioida investoinnin kannattavuutta.

Linja-autojen latauspisteiden teknologiaryhmän toteutumisasteen alhaisuuteen on voinut vaikuttaa se, että ryhmässä tukea saaneita hankkeita on ollut suhteellisen vähän: kierroksella 2018 ei yhtään, 2019 neljä hanketta ja kierroksella 2020 kolme hanketta. Näin ollen yksittäisen hankkeen toteutumatta jääminen on vaikuttanut toteutumisasteeseen tässä ryhmässä enemmän kuin ryhmissä, joissa oli suurempi määrä voittaneita hankkeita. Kuten luvussa 3.3 todettiin, alhaiseen toteutumisasteeseen on voinut vaikuttaa se, että linja-autojen akku- ja latausteknologiat ovat kehittyneet huomattavasti myös huutokauppakierrosten aikana. Näin ollen voi olla mahdollista, että esimerkiksi vuonna 2019 voittaneet hankkeet eivät ole enää kannattavia toteuttaa teknologian edistymisen seurauksena.

Elossaolofunktioiden vertailu osoitti, että teknologiaryhmä vaikuttaa tarkasteltavien hankkeiden toteutumiseen lukuun ottamatta ajoneuvojen suuritehoisten latauspisteiden ja biokaasun tankkausasemien välistä vertailua. Kyseisten ryhmien kohdalla ei voida sulkea pois mahdollisuutta sille, että kyseessä on yksi ja sama ellossaolokäyrä. Tämä johtuu siitä, että kyseisten ryhmien toteutumisasteet jäävät suunnilleen samalle tasolle, kun hyväksymispäätöksestä kulunut aika lähestyy ääretöntä. Ottaen huomioon estimaattien suuret luottamusvälit on mahdollista, että uusien havaintojen myötä ryhmien toteutumisasteiden estimaatit tarkentuvat. Tällöin ryhmien väliset erot saattavat kasvaa. Relevantti jatkotutkimuskysymys on, miten estimaatit tarkentuvat, kun vuoden 2021 hankkeet voidaan lisätä aineistoon.

Lopulliseen toteutumisasteeseen vaikuttaa se, missä määrin kierrosten 2020 ja 2021 hankkeet eroavat kierroksien 2018 ja 2019 hankkeista. Jos kierroksien 2020 ja 2021 hankkeet ovat keskimäärin kannattavampia kuin kierroksien 2018 ja 2018 hankkeet, on todennäköisempää, että yritykset toteuttavat ne. Tällöin toteutumisaste nousee. Jos huutokauppakierroksilla on tapahtunut oppimista ja yritykset ovat voineet käyttää aiempien kierroksien tietoa uusien tarjouksien tekemisessä, ovat ne saattaneet onnistua arvioimaan investointikustannukset tarkemmin. Kiinnostava jatkotutkimusaihe on yritysten huutokauppavaiheessa ilmoittamien investoinnin arvioitujen kustannuksien vertaaminen toteutuneisiin lopullisiin kustannuksiin. Sen avulla olisi mahdollista tutkia sitä, onko

huutokaupoissa esiintynyt voittajan kirousta. Jos toteutuneet kustannukset eroavat suuresti arvioiduista, eivät yritykset ole onnistuneet kovin hyvin kustannusten arvioinnissa tarjousvaiheessa. Tällöin on mahdollista, että voittaneita tarjouksia ovat ne yritykset, jotka ovat arvioineet kustannuksensa eniten alakanttiin.

Hankkeiden suhteellisen alhaiseen toteutumisasasteeseen on voinut vaikuttaa myös COVID-19–pandemia. Vaikka ensimmäinen huutokauppakierros järjestettiin jo vuonna 2018, oli kilpailussa voittaneilla yrityksillä aikaa toteuttaa hanke vuoden 2020 syksyyn asti. Näin ollen esimerkiksi biokaasun tankkausasemien ryhmässä, jossa hankkeet selkeästi toteutuvat muita ryhmiä keskimääräistä hitaammin, on keväällä 2020 alkanut pandemia voinut vaikuttaa esimerkiksi tarvikkeiden saatavuuteen sekä koko yrityksen kannattavuuteen (Kuvio 3). Pandemian vaikutuksia pyrittiin ottamaan huomioon tukijärjestelmässä vuonna 2020 siten, että perustellusta syystä hankkeet saivat lisäaikaa toteutukseen (Energiavirasto 3.4.2020). On kuitenkin hyvin todennäköistä, että osa hankkeista on jättänyt hakematta lisäaikaa, koska epävarmuus on poikkeuksellisten olosuhteiden vuoksi ollut liian suurta pandemian aikana.

Tämä tutkielma linkittyy laajempaan keskusteluun siitä, millaisin keinoin voidaan nopeuttaa siirtymää uusiutuviin energiamuotoihin. Johtopäätöksenä on, että huutokauppa tuen jakamisen välineenä on todennäköisesti onnistunut laskemaan tuen kustannuksia ja tukihuutokauppoja tullaan hyödyntämään myös tulevaisuudessa uusiutuvan energian käytön edistämiseksi. Tällä hetkellä liikenteen infrastruktuurituen huutokauppojen haasteena on alhainen toteutumisaste. Edellyttäen, että toteutumisasastetta saadaan korkeammiksi, ohjelmalla pystytään saavuttamaan sille asetetut tavoitteet. Huutokaupan huolellisella suunnittelulla voidaan parantaa toteutumisasastetta, mutta suunnittelun tueksi tarvitaan kuitenkin lisää tutkimusta niin Suomessa kuin muuallakin maailmassa.

Tämä tutkielma on osaltaan tuonut lisää tietoa tukihuutokaupoista sekä tankkaus- ja latauspisteiden hankkeiden toteutumisasasteesta Suomessa. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää laajasti jatkotutkimuksessa. Mielenkiintoinen jatkotutkimuksen kohde on esimerkiksi liikenteen infrastruktuurituen uusi asetuskierron vuosille 2022–2025 (työ- ja elinkeinoministeriö 7.1.2022). Seuraavan asetuskauden jälkeen on mahdollista vertailla, miten uuden asetuskierron huutokauppojen toteutumisasaste, tukitaso ja hankkeiden investointikustannukset muuttuvat suhteessa siihen, mitä tässä tutkielmassa on raportoitu.

LÄHTEET

- Agnolucci, Paolo (2007) The importance and the policy impacts of post-contractual opportunism and competition in the English and Welsh non-fossil fuel obligation. *Energy Policy*. Vol. 35 (1), 475–486.
- Alm, Markku (2022) Uusiutuva energia – biokaasulla kohti hiilineutraalia tulevaisuutta. *Työ- ja elinkeinoministeriön toimialaraportit 2022:1*.
- Ball, Sheryl – Bazerman, Max – Carrol, John (1991) An evaluation of learning in the bilateral winner's curse. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*. Vol. 48 (1), 1-22.
- Bento, Nuno – Borello, Mattia – Gianfrate, Gianfranco (2020) Market-pull policies to promote renewable energy: A quantitative assessment of tendering implementation. *Journal of Cleaner Production*. Vol 248.
- Bergemann, Dirk – Brooks, Benjamin – Morris, Stephen (2020) Countering the winner's curse: Optimal auction design in a common value model. *Theoretical economics*. Vol. 15 (4), 1399-1434.
- Bichler, Martin – Grimm, Veronika – Kretschmer, Sandra – Sutterer, Paul (2020) Market design for renewable energy auctions: An analysis of alternative auction formats. *Energy Economics*. Vol. 92.
- BMVI (20.12.2021) *Ladeinfrastruktur*. <<https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/Alternative-Kraftstoffe/ladeinfrastruktur.html>>, haettu 19.2.2022.
- Bulow, Jeremy – Klemperer, Paul (2008) Prices and the winner's curse. *The Rand Journal of Economics*. Vol. 33 (11).
- Capen, E.C. – Clapp, R.V. – Campbell, W.M. (1971) Competitive Bidding in High-Risk Situations. *Journal of Petroleum Technology*. Vol 23, 641-653.
- Cox, James – Isaac, Mark (1984) In search of the winner's curse. *Economic Inquiry*. Vol. 22 (4), 579–591.
- De Una-Álvarez, Jacobo – Otero-Giráldez, M. Soledad – Álvarez-Llorente, Gema (2003) Estimation under length-bias and right-censoring: An application to unemployment duration analysis for married women. *Journal of Applied Statistics*. Vol 30 (3), 283-291.
- Del Río, Pablo – Kiefer, Christoph P. (2021) Analysing patterns and trends in auctions for renewable electricity. *Energy for Sustainable Development*. Vol. 62, 195–213.

- Del Río, Pablo – Linares, Pedro (2014) Back to the future? Rethinking auctions for renewable electricity support. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 35, 42-56.
- Dyer, Douglas – Kagel, John H. (1996) Bidding in common value auctions: How the commercial construction industry corrects for the winner's curse. *Management Science*. Vol. 42 (10), 1463-1474.
- Energiavirasto 3.4.2020 *Covid-19-epidemian vaikutus liikenteen infrastruktuuritukeen*. <<https://energiavirasto.fi/en/-/covid-19-epidemian-vaikutus-liikenteen-infrastruktuuritukeen>>, haettu 10.3.2022.
- Energiavirasto 14.9.2018 *Tarjouskilpailuun osallistujan ohje. Infrastruktuurituki sähkön ja biokaasun liikennekäytön edistämiseksi – ohje tarjouskilpailuun osallistujalle*. <<https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12796249/Tarjouskilpailuun+osallistujan+ohje.pdf/7dc3a9a6-f327-9d37-2792-f0746e58ec45/Tarjouskilpailuun+osallistujan+ohje.pdf?t=1608533349459>>, haettu 13.2.2021.
- Euroopan ympäristökeskus: Ilmastonmuutoksen hillitseminen. <<https://www.eea.europa.eu/fi/themes/climate/intro>>, haettu 14.2.2022.
- Gephart, Malte – Klesmann, Corinna – Wigand, Fabian (2017) Renewable energy auctions – When are they (cost-)effective? *Energy & Environment*. Vol. 28 (1-2), 145-165.
- Göhlich, Dietmar – Fay, Tu-Anh – Jefferies, Dominic – Lauth, Enrico – Kunith, Alexander – Zhang, Xudong (2018) Design of urban electric bus systems. *Design Science*. Vol. 4.
- Heindricks, Kenneth – Porter, Robert H. – Boudreau, Bryan (1987) Information, Returns, and Bidding Behavior in Ocs Auctions: 1954-1969. *The Journal of Industrial Economics*. Vol. 35 (4), 517-542.
- IRENA, International Renewable Energy Agency (2015) *Renewable energy auctions: A guide to design*. Working paper.
- Ivanov, Asen – Levin, Dan – Niederle, Muriel (2010) Can relaxation of beliefs rationalize the winner's curse?: An experimental study. *Econometrica*. Vol. 78 (4), 1435-1452.
- Kagel, John H. – Harstad, Ronald M. – Levin, Dan (1987) Information impact and allocation rules in auctions with affiliated private values: A laboratory study. *Econometrica*. Vol. 55 (6), 1275-1304.

- Kagel, John H. – Levin, Dan (1993) Independent Private Value Auctions: Bidder Behaviour in First, Second- and Third-Price Auctions with Varying Numbers of Bidders. *The Economic Journal*. Lontoo. Vol. 103 (419), 868-879.
- Kaplan, Edward L. – Meier, Paul (1958) Nonparametric Estimation from Incomplete Observations. *Breakthroughs in Statistics*. Toimittanut Samuel Kotz ja Norman L. Johnson, Springer New York, 1991.
- Karl, Christian K – Wolfe, Joseph – Kriz, Willy (2016) Investigating the Winner's Curse Based on Decision Making in an Auction Environment. *Simulation & gaming*. Vol 47 (3), 324-345.
- Kavianipour, Mohammadreza– Fakharmoosavi, Fatemeh – MohammadHossein, Shojaei – Zockaie, Ali – Ghamami, Mehrnaz – Wang, Joy – Jakson, Robert (2021) Impacts of technology advancements on electric vehicle charging infrastructure configuration: a Michigan case study. *International journal of sustainable transportation*. 1-14.
- Kiefer, Nicholas M. (1988) Economic duration data and hazard functions. *Journal of Economic Literature*. Vol 26 (2), 646-679.
- Kitzing, Lena – Wendring, Paul – Wigan, Fabian – Förster, Sonja (2015) *Auctions for renewable support in Denmark: instruments and lessons learnt*. AURES.
- Kleinbaum, David G. – Klein, Mitchel (2005) Survival analysis. A self-learning text. *Statistics for Biology and Health*. Springer New York.
- Klemperer, Paul (2004) *Auctions: Theory and Practice*. Princeton University Press.
- Kreiss, Jan – Ehrhart, Karl-Martin – Haufe, Marie-Christin (2017) Appropriate design of auctions for renewable energy support – Prequalifications and penalties. *Energy policy*. Vol. 101, 512-520.
- Laki uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä 446/13.4.2007.
- Li, Shanjun –Tong, Lang –Xing, Jianwei –Zhou, Yiyi (2017) The Market for Electric Vehicles: Indirect Network Effects and Policy Design. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*. Vol. 4 (1), 89–133.
- Liikenne- ja viestintäministeriö (2021). *Fossiilittoman liikenteen tiekartta - Valtioneuvoston periaatepäätös kotimaan liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä*.
- Mackley, James R.K. (2008) European 3G auctions: Using a comparative event study to search for a winner's curse. *Utilities Policy*. Vol. 16 (4), 275-283.

- Magnusson, Roland, kilpailutusasiantuntija, Energiavirasto. Nauhoittamaton puhelin keskustelu 17.2.2022.
- Magnusson, Roland – Ollikka, Kimmo – Ripatti, Pekka (2019) What Do the Results from the Finnish RES Auction of 2018 Reveal About Efficiency? *The Energy Journal*. Vol. 3, 31–32.
- Mantel, Nathan – Haenszel, William (1959) Statistical Aspects of the Analysis of Data From Retrospective Studies of Disease. *Journal of the National Cancer Institute*. Vol. 22 (4), 719-748.
- Maurer, Luiz – Barroso, Luiz (2011) *Electricity Auctions: An Overview of Efficient Practices*. World Bank Publications.
- McAfee, R. Preston – McMillan, John (1987) Auctions and Bidding. *Journal of Economic Literature*. Vol. 25 (2), 699-738.
- Mead, Walter J. – Moseidjord, Asbjorn – Sorensen, Philip E. (1983) The rate of return earned by lessees under cash bonus bidding of OCS oil and gas leases. *Energy Journal*. Vol. 4 (4), 37-52.
- Nummenmaa, Lauri (2021) *Tilastotieteen käsikirja*. Tammi, Helsinki.
- Ollikka, Kimmo (2013). Uusiutuvien energiamuotojen tukeminen. *Kansantaloudellinen aikakauskirja*. Vsk 109, 289–310.
- Rao, Sowmya – Schoenfeld, David (2007) Survival Methods. *Circulation journal*. Vol. 115 (1), 109-113.
- Rapson, David S. – Muehlegger, Erich (2021) The economics of electric vehicles. *NBER Working paper series*. Cambridge.
- Rauhanen, Timo – Grönberg, Sami – Harju, Jarkko – Matikka, Tuomas (2015) Yritystutkimusten arviointi ja vaikuttavuus. *Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja* 8/2015.
- Sahari, Anna – Laukkanen, Marita (2018) *Sähköautoilun edistämisen ohjauskeinot*. Ilmastopaneelin Policy Brief.
- Sahinoja, Saara – Magnusson, Roland – Ripatti, Pekka (2021) *Tieliikenteen infrastruktuurin tukiohjelman arviointi*. Energiavirasto.
- Scarlat, Nicolae – Dallemand, Jean-Francois – Fahl, Fernando (2018) Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*. Vol. 129, 457–472.
- Springler, Katalin (2017) Network Externality and Subsidy Structure in Two-Sided Markets: Evidence from Electric Vehicle Incentives. *Working paper*.
- Sullivan, Lisa (2016) *Survival analysis*. Boston University, School of Public Health.

- Thaler, Richard H. (1988) Anomalies: The Winner's Curse. *Journal of Economic Perspectives*. Vol. 2 (1), 191-202.
- Therneau, Terry (2021) *A package for survival analysis in R*.
- Työ- ja elinkeinoministeriö 7.1.2022 *Asetusluonnos sähköisen liikenteen, biokaasun ja uusiutuvan vedyn liikennekäytön infrastruktuurituesta lausunnolle*. <<https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/asetusluonnos-sahkoisen-liikenteen-biokaasun-ja-uusiutuvan-vedyn-liikennekayton-infrastruktuurituesta-lausunnolle>>, haettu 20.2.2022.
- Valtioneuvoston asetus sähköisen liikenteen ja biokaasun liikennekäytön infrastruktuurituesta vuosina 2018–2021 (498/2018).
- VTT 18.6.2021 *Electric bus breakthrough happening now – simulation reveals best solutions*. <<https://www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/electric-bus-breakthrough-happening-now-simulation-reveals-best-solutions>>, haettu 10.2.2022.
- Wappelhorst, Sandra – Hall, Dale – Nicholas, Mike – Lutsey, Nic (2020) *Analyzing policies to grow the electric vehicle market in European cities*. International Council on Clean Transportation: White paper.
- Wigand, Fabian – Förster, Sonja – Amazo, Ana – Tiedemann, Silvana (2016) *Auctions for Renewable Support: Lessons Learnt from International Experiences*. AURES.
- Wilson, Robert B. (1969) Competitive Bidding with Disparate Information. *Management Science*. Vol. 15, 446–448.
- Winkler, Jenny – Magosch, Magdalena – Ragwitz, Mario (2018) Effectiveness and efficiency of auctions for supporting renewable electricity – What can we learn from recent experiences? *Renewable Energy*. Vol 119, 473-489.
- Zink, Roland – Valdes, Javier – Wuth, Jane (2020) Prioritizing the Chicken or Egg? Electric Vehicle Purchase and Charging Infrastructure Subsidies in Germany. *Politics and Governance*. Vol. 8 (3).