Tampereen yliopisto

Lauri Kontinen

TUULIVOIMAN MYYNNIN RISKIENHALLINTA SÄHKÖYHTIÖN NÄKÖKULMASTA

Kandidaatintyö
Johtamisen ja talouden tiedekunta
Tarkastaja: Lauri Alkki
Joulukuu 2024

TIIVISTELMÄ

Lauri Kontinen: Tuulivoiman myynnin riskienhallinta sähköyhtiön näkökulmasta
(Risk management of wind power sales from the point of view of the electricity company)
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Teknis-taloudellinen kandidaattiohjelma, tuotantotalous
Joulukuu 2024

Tuulivoiman suosio ja osuus globaalissa sähköntuotannossa on merkittävässä kasvussa. Syy suosion takana liittyy tuulivoiman mataliin tuotantokustannuksiin sekä ympäristöystävällisyyteen. Vaikka tuulivoimalla tuotettu sähkö on tuotantokustannuksiltaan käytännössä ilmaista, liittyy tuulivoiman myyntiin negatiivisia puolia. Tuulivoiman tuotanto on riippuvaista hallitsemattomasta muuttujasta, vallitsevista tuuliolosuhteista, mikä aiheuttaa tuulivoimayhtiölle epävarmuutta tuulivoiman tuotantoon ja myyntiin. Tämän kandidaatintyön tarkoitus on selvittää, mitä riskejä tuulivoiman myyntiin liittyy sähköyhtiön näkökulmasta, ja kuinka näitä riskejä hallitaan.

Tämä kandidaatintyö on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, jonka varsinainen tutkimusaineisto koostuu tieteellisistä artikkeleista. Tutkimusaineistoon valitut artikkelit käsittelevät tuulivoiman myynnin riskejä sekä riskienhallintaa sähköyhtiön näkökulmasta. Työ jakautuu teoria- ja tulososioon siten, että aluksi teoriaosiossa käsitellään työn kannalta relevanttia teoriaa riskienhallinnasta, sähkömarkkinoista sekä tuulivoimasta. Teoriaosiota seuraavassa tulososiossa tarkastellaan tuulivoiman myyntiin vaikuttavia riskejä sekä riskienhallintaa työn varsinaisen tutkimusaineiston avulla.

Kirjallisuuskatsaus osoittaa, että tuulivoiman myyntiin liittyy sähköyhtiön näkökulmasta merkittäviä riskejä. Löydetyt riskit voidaan jakaa karkeasti volyymiriskeihin ja taloudellisiin riskeihin. Volyymiriskeillä tarkoitetaan riskiä tuulivoiman tuotannon ja myynnin hetkellisestä määrällisestä poikkeamasta, mistä voi seurata sähkömarkkinoiden tasapainotuskustannuksia tuulivoimayhtiölle. Taloudellisilla riskeillä taas tarkoitetaan riskiä tuulivoiman myynnin taloudellisista tappioista. Volyymiriskien ja taloudellisten riskien merkittävimpiin riskilähteisiin lukeutuu tuulivoiman myynnin ennustepainotteisuus, mikä lisää olennaisesti tuulivoiman myyntiin liittyvää epävarmuutta. Ennustepainotteisuus onkin eräs olennaisimmista tuulivoiman myynnin erityispiirteistä.

Kirjallisuus esittelee lukuisia käytössä olevia metodeja tuulivoiman myynnin riskienhallintaan. Volyymiriskien tapauksessa riskienhallintakeinot painottuvat tuulivoiman tuotannon ja myynnin tasapainottamiseen tuulivoimayhtiön ulkoisten toimijoiden, kuten muiden sähköyhtiöiden tai energiavarastojen avulla. Taloudellisten riskien hallinnassa pyritään tarkentamaan sähkömarkkinoiden hintaennusteita epävarmuuden vähentämiseksi sekä hyödyntämällä sopimuspohjaisia suojaustuotteita, kuten vakuutuksia ja optioita, taloudellisten tappioiden vähentämiseksi.

Avainsanat: tuulivoima, riskienhallinta, riski, sähkömarkkinat.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

☐ Ei
☒ Kyllä

Ilmoitukseni mukaan olen käyttänyt opinnäytteessäni tutkielmaprosessin aikana seuraavia tekoälysovelluksia:

Tekoälysovellusten nimet ja versiot: Scopus AI

Käyttötarkoitus: Olen käyttänyt Scopus AI -tekoälysovellusta inspiraation lähteenä työn luonnosvaiheessa sopivien hakulauseiden muodostamisessa.

Osiot, joissa tekoälyä on käytetty: Alaluku 1.3 *Tutkimusmetologia ja -aineisto.*

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien osat, joissa on hyödynnetty tekoälyä, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

ALKUSANAT

Kiinnostus energiateollisuuteen ja sähkömarkkinoihin heräsi heti ensimmäisen opiskeluvuoden jälkeen. Tätä kiinnostusta ruokki edelleen mielenkiintoiset kesätyöt energiateollisuudessa sekä energiatekniset sivuaineopinnot, joilla aiheen substanssiin oli mahdollista perehtyä tarkemmin. Jo toisen vuoden keväällä päätin, että haluan kandidaatintyössäni perehtyä tarkemmin energia-alan lainalaisuuksiin – tietysti tuotantotalouden näkökulmasta.

Alusta saakka oli selvää, että haluan kandidaatintyön aiheen liittyvän sähkömarkkinoihin ja riskienhallintaan. Päädyin vielä ottamaan tähän mukaan tuulivoiman, sillä kokemuksieni perusteella tiesin vahvan tuulivoimatrendin vallitsevan tällä hetkellä. Lopulliseksi aiheeksi muodostui tuulivoiman myynnin riskienhallinta sähköyhtiön näkökulmasta. Aiheen lopullinen muoto syntyi käytyäni aiheesta keskustelua professori Jouni Kivistö-Rahnaston kanssa.

Kandidaatintyölle asetettujen virallisten tavoitteiden ohelle olin asettanut työlle myös henkilökohtaisia tavoitteita. Näiden tavoitteiden valossa halusin aidosti oppia lisää sähkömarkkinoiden lainalaisuuksista. Näin työn loppuvaiheessa koen saavuttaneeni tämän tavoitteen.

Lopuksi haluan erityisesti vielä kiittää työni ohjaajaa Lauri Alkkia sekä työni asiantuntijaa Jouni Kivistö-Rahnastoa saamastani tuesta ja innoittavista ajatuksista työhöni liittyen. Lisäksi haluan kiittää kanssaopiskelijoita, erityisesti seminaariryhmiäni, arvokkaasta vertaistuesta, -palautteesta ja näkökulmista.

Tampereella, 1.12.2024

Lauri Kontinen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
1.1 Työn tausta 1
1.2 Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset 2
1.3 Tutkimusmetodologia ja -aineisto 2
1.4 Työn rakenne 5
2. RISKIEN JA RISKIENHALLINNAN PERUSPERIAATTEET SEKÄ ROOLI YRITYKSESSÄ 7
2.1 Riskin määrittely ja riskityypit 7
2.2 Riskienhallinnan perusperiaatteet ja tarkoitus osana yrityksen toimintaa 8
3. SÄHKÖMARKKINOIDEN JA TUULIVOIMAN YLEISET TOIMINTAPERIAATTEET 10
3.1 Sähkömarkkinoiden markkinaosapuolet ja niiden roolit 10
3.2 Sähkömarkkinoiden markkinapaikat 11
3.2.1 Lyhyen aikavälin sähkökaupankäynti organisoiduilla markkinapaikoilla 11
3.2.2 OTC- ja finanssimarkkinat 14
3.3 Tuulivoiman perusperiaatteet 15
4. TUULIVOIMAN MYYNNIN ERITYISPIIRTEET JA OMINAISET RISKIT 17
4.1 Tuulivoiman myynnin erityispiirteet 17
4.2 Tuulivoiman myynnin riskit 17
4.2.1 Volyymiriskit 18
4.2.2 Taloudelliset riskit 18
5. RISKIENHALLINTA TUULIVOIMAN MYYNNISSÄ 20
5.1 Stokastisten mallien hyödyntäminen tarjousstrategioissa 20
5.2 Yhteistoiminta energiavarastojen kanssa 21
5.3 Strateginen tuotantoreservien hankinta ulkoisilta toimijoilta 22
5.4 Tuulivoimayhtiöiden yhteistoiminta 22
5.5 Päivänsisäisten markkinoiden hyödyntäminen 23
5.6 Optiopohjaisten johdannaisten käyttö 24
5.7 Vakuutukset 26
5.8 Sääjohdannaiset 26
6. PÄÄTELMÄT 28
6.1 Työn tavoitteisiin vastaavat tulokset 28
6.2 Tulosten kriittinen tarkastelu ja jatkotutkimusaiheet 31
LÄHTEET 33

LYHENTEET, MERKINNÄT JA KÄSITTEET

CAES	engl. Compressed air energy storage, paineilmaan perustuva energiavarasto
HPP	engl. Hybrid power plant, sähköyhtiön ja energiavaraston yhteistoiminta
IC-malli	engl. Imbalance compensation model, tuulivoimayhtiöiden yhteistoiminta sähkön tuotannon ja myynnin tasapainottamisessa
JO-malli	engl. Joint offer model, tuulivoimayhtiöiden yhteistoiminta koko tarjousprosessin läpi
OTC-markkinat	engl. Over-the-counter markets, kahden osapuolen välinen markkinapaikka sähkökaupankäynnille ja johdannaistuotteille
SARIMA-malli	engl. Seasonal autoregressive integrated moving average, stokastinen malli
Tuulivoimayhtiö	Tuulivoimalla sähköä tuottava ja myyvä sähköyhtiö

1. JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Uusiutuvan sähköntuotannon, erityisesti tuulivoiman tuotannon osuus maailman sähköntuotannosta on kasvanut merkittävästi, ja kasvun ennustetaan jatkuvan (Babaei et al., 2019). Tuulivoiman kasvavan suosion syy on tuotantomuodon kustannustehokkuus, luotettavuus sekä päästöttömyys. Tuulivoimasta ennustetaankin tulevan eräs maailman tärkeimmistä uusiutuvan energian lähteistä. (Banaei et al., 2021)

Tuulivoima on tuotantomuotona riippuvainen vallitsevista tuuliolosuhteista, mikä lisää sähköntuotantomäärän vaihtelevuutta. Tuulivoiman myynnissä onkin olennaista hyödyntää ennusteita, joilla todellinen sähköntuotantomäärä saadaan mahdollisimman tarkasti arvioitua. (Hosseini-Firouz, 2013; Skajaa et al., 2015; Yang et al., 2016; Banaei et al, 2021) Tuulivoimalla tuotetun sähkön ennusteriippuvuus onkin yleisesti tunnistettu tuulivoiman myynnin merkittävimmäksi erityispiirteeksi (Catalao et al., 2012).

Ennusteet ovat kuitenkin käytännössä aina epätäydellisiä, minkä vuoksi tuulivoimalla tuotettu sähkö ei välttämättä vastaa määrällisesti sähköyhtiön asiakkaalle myymää sähköä. Mikäli ennustettu sähköntuotanto eroaa määrällisesti myydystä sähköstä, kutsutaan tätä erotusta avoimeksi positioksi. (Skajaa et al., 2015) Mikäli sähköyhtiö ei kykene omalla tuotannollaan pienentämään avointa positiotaan, voi se joutua ostamaan puuttuvan sähkön muilta sähköntuottajilta. Mikäli avointa positiota ei saada suljettua ennen sähkön toimitushetkeä, joutuu sähköyhtiö maksamaan tästä tasapainotuskustannuksia kantaverkkoyhtiölle (engl. Independent system operator tai Transmission system operator). (Banaei et al., 2021; Shamsi & Cuffe, 2021) Kantaverkkoyhtiöllä tarkoitetaan paikallista tahoa, kuten Suomessa Fingridiä, joka vastaa sähkömarkkinoilla sähköjärjestelmän tasapainosta. (Liu et al., 2018) Ennusteriippuvaisen myynnin vuoksi tuulivoiman myynti voidaankin nähdä varsin riskialttiina liiketoimintana.

Tuulivoiman tuotannon ja siitä seuraavan myynnin kasvun myötä myös myyntiin liitännäisten riskien taajuus kasvaa. Tämän ilmiön vuoksi on tarpeellista tarkastella tuulivoiman myynnin riskejä ja niihin vastaavia riskienhallintakeinoja, mitä tässä työssä tullaan tarkastelemaan. Ennusteiden epätäydellisyyteen ja niiden aiheuttamiin riskeihin on mah-

dollista vastata riskienhallinnallisilla keinoilla (Shamsi & Cuffe, 2021). Sähkömarkkinoiden kontekstissa sähköyhtiöiden riskienhallinnasta käytetään yleisesti käsitettä suojautuminen (engl. Hedging) (Deng & Oren, 2006; Simkins & Simkins, 2013).

1.2 Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Työn tarkoitus on perehtyä sähkömarkkinoiden riskeihin ja riskienhallintaan erityisesti tuulivoimaa tuottavan ja myyvän sähköyhtiön näkökulmasta. Selkeyden vuoksi tuulivoimalla sähköä tuottavasta ja myyvästä yhtiöstä käytetään johdonmukaisesti käsitettä *tuulivoimayhtiö*. Havaitut riskit ja riskienhallintakeinot esitellään, riskienhallintakeinojen toimintaperiaatteita tarkastellaan sekä näitä vertaillaan keskenään. Tavoitteena on löytää tuulivoiman myynnistä jotain riskienhallinnallisesti merkittäviä erityispiirteitä. Keskeisiä työn tavoitetta tukevia tutkimuskysymyksiä ovat:

- Mitkä ovat tuulivoiman myynnin riskit sähköyhtiön näkökulmasta?
- Miten sähköyhtiöt voivat hallita tuulivoiman myynnin riskejä?

Työ rajataan käsittelemään tuulivoimayhtiön sähkön myynnin operatiivisia riskejä, joilla on vaikutuksia tuulivoiman myynnin taloudelliseen kannattavuuteen. Lisäksi tarkasteltava tuulivoimayhtiö rajataan toimimaan avoimilla sähkömarkkinoilla, joissa on mahdollista käydä sähkökauppaa sähkömarkkinoilla (engl. Power exchange), johdannais- ja vakuutusinstrumenttikauppaa finanssimarkkinoilla (engl. Finance markets) sekä on mahdollisuus tehdä kahden toimijan välisiä sopimuksia OTC-markkinalla (engl. Over-the-counter markets). Tämä rajaus on oleellinen työn kannalta, sillä avointen sähkömarkkinoiden toimintaperiaatteet voivat erota oleellisesti suljetuista sähkömarkkinoista.

1.3 Tutkimusmetodologia ja -aineisto

Tämä kandidaatintyö toteutetaan kirjallisuuskatsauksena, jossa tietolähteenä toimivat tieteelliset artikkelit. Kandidaatintyössä suoritettu tiedonhaku ja edelleen työhön valitut artikkelit on haettu Scopus-tietopalvelusta.

Tutkimustyö alkaa kirjallisuuskatsauksen suunnittelulla. Suunnitteluvaiheessa listataan sopivia hakusanoja ja -lauseita, joilla valmistaudutaan tiedonhakuun. Sopivien hakulauseiden muodostamisessa käytettiin inspiraation lähteenä Scopus AI -tekoälysovellusta. Suunnitteluvaiheen tarkoitus on luoda perusteet ja edellytykset onnistuneelle systemaattiselle tiedonhaulle.

Tutkimuksen suunnitteluvaihetta seuraa tiedonhakuvaihe, jossa kerätään aiheeseen sopivaa kirjallisuutta. Tiedonhakuvaiheessa lähteiden tiedot tallennetaan Excel-taulukkoon, johon tallennetaan myös hakuprosessiin liittyviä tietoja, kuten käytettyjä hakulauseita, palvelualustan nimi, hakutulosten määrä sekä työhön valittujen artikkeleiden määrä. Aineisto löytyy alla olevasta taulukosta 1.

Taulukko 1. *Tulososioon valitun aineiston haku- ja valintaprosessi.*

Haku-palvelu	Hakulause tai -metodi	Käytetty rajaus	Hakutulosten määrä	Valintaperusteet	Valittujen hakutulosten määrä	Tulososion aineisto
Scopus	"Electricity markets" AND ("risk management" OR risk) AND "wind power"	**Subject area**: Energy, Engineering **Document type**: Article **Language**: English	203	Esittelee käytössä olevia tuulivoiman myynnin riskienhallinta-menetelmiä	8	**18 tieteellistä artikkelia**
	Helmenkasvatus				8	
	(weather OR wind) AND derivatives	**Subject area**: Energy, Engineering **Document type**: Article **Language**: English **Keyword**: Wind Power, Weather Derivatives	321	Tukee helmenkasvatus-menetelmällä löydettyä aiheen aineistoa	2	

Taulukosta 1 huomataan, että huomattava osa (8/18) tulososioon valituista tieteellisistä artikkeleista on löydetty helmenkasvatusmenetelmällä. Tämä johtuu siitä, että monet systemaattisella tiedonhaulla löydetyistä ja valituista artikkeleista käsittelivät pintapuoleisesti lukuisia aiheeseen sopivia riskienhallinnallisia menetelmiä. Näihin lyhyesti viitattuihin artikkeleihin tarkempi tutustuminen ja tarpeen mukaan lisääminen osaksi tutkimusaineistoa, helmenkasvatusmenetelmää hyödyntäen, on luonnollista.

Tiedonhaussa käytettävien rajausten määrä pyritään pitämään mahdollisimman pienenä, jotta rajaukset eivät hylkää mahdollisesti käyttökelpoisia artikkeleita. Näin ollen, tiedonhaussa päädyttään olla rajoittamatta artikkeleiden julkaisuaikoja, sillä työn pääpaino on riskienhallintametodien tarkastelussa, eikä esimerkiksi teknologian kehityksessä, joka on varsin altis nopealle kehitykselle.

Lopulliseen varsinaiseen tutkimusaineistoon valitaan artikkelit, jotka täyttävät kandidaatintyölle sopivat laatuvaatimukset. Artikkeleiden laatua arvioidaan JUFO-luokituksen ja vertaisarviointien avulla. Tämä kandidaatintyö toteutetaan kirjallisuuskatsauksena,

minkä vuoksi aineiston laadun tarkastelu on olennainen osa työn luotettavuuden arviointia. Alla olevassa taulukossa 2 on koostettu työn tulososiossa käytetyt journaalit käyttömäärän mukaan lähtien eniten käytetyistä journaaleista.

Taulukko 2. *Työn tulososiossa käytettyjen journaalien JUFO-luokitukset.*

Journal	JUFO-luokitus (0–3)	Journalin artikkeleiden määrä teoksessa	Esimerkki journaalin artikkelista	Esimerkkiartikkelin julkaisuvuosi
IEEE Transactions on Power Systems	2	8	**Shamsi & Cuffe**; *A Prediction Market Trading Strategy to Hedge Financial Risks of Wind Power Produc-ers in Electricity Markets*	2021
Electrical Power and Energy Systems	2	1	**Hosseini-Firouz**; *Optimal offering strategy considering the risk management for wind power producers in electricity market*	2013
Energies	1	1	**Masala et al.**; *Hedging Wind Power Risk Exposure through Weather Derivatives*	2022
IEEE Transactions on Sustainable Energy	2	2	**Al Ashery & Qiao**; *Second-Order Stochastic Dominance Constraints for Risk Management of a Wind Power Producer's Optimal Bidding Strategy*	2020
Computational economics	1	1	**Alexandridis & Zapranis**; *Wind Derivatives: Modeling and Pricing*	2013
Energy	3	1	**Deng & Oren**; *Electricity derivatives and risk management*	2008
Energy and environment	1	1	**Bems & Aydin**; Introduction to weather derivatives	2022
Energy Economics	1	1	**Shin & Baldick**; *Mitigating market risk for wind power providers via financial risk exchange*	2018
IEEE Systems Journal	2	1	**Catalao et al.**; *Optimal Offering Strategies for Wind Power Producers Considering Uncertainty and Risk*	2012

Renewable Energy	2	1	**Yang et al.**; *Insurance strategy for mitigating power system operational risk introduced by wind power forecasting uncertainty*	2016

Taulukosta 2 huomataan, että suurin osa työhön valituista journaaleista sekä edelleen artikkeleista täyttää JUFO-luokituksen 2, joka vastaan ”johtavaa tasoa” (engl. Leading level). JUFO-luokitusten pohjalta voidaan siis todeta tutkimusaineiston olevan laadukasta ja soveltuvan akateemiseen tutkimukseen eli tässä tapauksessa kirjallisuuskatsaukseen.

Työhön valituista artikkeleista pyritään ensisijaisesti löytämään kirjallisuuden tunnistamia tuulivoiman myynnin riskejä sekä riskienhallintakeinoja. Löydetyistä riskeistä pyritään edelleen tunnistamaan riskin aiheuttaja sekä seuraus tuulivoimayhtiölle. Riskien tarkastelussa vähemmälle painolle jäävät esimerkiksi riskin seurauksen suuruuden tarkastelu sekä riskin taajuus ja todennäköisyys. Riskienhallintakeinojen osalta tarkastellaan, millaisia riskejä riskienhallintakeinolla hallitaan, ja miten riskienhallintakeino yleisesti toimii tuulivoiman myynnin riskienhallinnassa. Tarkastelussa vähemmälle painolle jää esimerkiksi riskienhallintakeinojen toimivuuden tarkastelu.

1.4 Työn rakenne

Tämä työ rakentuu viidestä luvusta, jotka yhdessä muodostavat kokonaiskuvan tuulivoiman myynnin riskienhallinnasta. Luvut 2 ja 3 tarkastelevat työn teoreettista viitekehystä. Luvussa 2 tarkastellaan riskienhallinnan perusperiaatteita ja roolia yrityksessä. Luvussa 3 tarkastellaan sähkömarkkinoita erityisesti markkinapaikkojen ja -osapuolien esittelyn muodossa sekä esitellään lyhyesti tuulivoiman perusperiaatteita. Työn teoriaosion tarkoitus on luoda ymmärrys työhön liittyvästä riskienhallinnan, sähkömarkkinoiden sekä tuulivoiman teoreettisesta viitekehyksestä. Teoriaosion onkin tärkeää palvella työn tulososiota, parantaen tulosten ymmärrettävyyttä sekä merkitystä työn kontekstissa.

Teoriaosiota seuraa työn varsinainen tulososio luvuissa 4 ja 5, joissa esitellään tämän työn, kirjallisuuskatsauksen, varsinaisia tuloksia. Luku 4 tarkastelee tuulivoiman myynnin riskejä sekä erityispiirteitä. Luvussa 5 esitellään tuulivoiman myynnin riskienhallintakeinoja, joilla vastataan luvussa 4 löydettyihin riskeihin. Tulososion tarkoitus on esittää kirjallisuudesta tehdyt löydökset työlle asetettuihin tavoitteisiin ja tutkimuskysymyksiin.

Työn viimeisessä luvussa 6 analysoidaan työn tuloksia sekä tehdään niistä päätelmiä. Tässä päätelmäluvussa palataan jälleen työlle asetettuihin tavoitteisiin ja tutkimuskysymyksiin, sekä tarkastellaan, miten työn tulososiossa esitetyt tulokset vastaavat niihin. Lisäksi työn tutkimusaineiston ja tulosten laatua tarkastellaan kriittisesti, sekä työn aiheelle tehdään ehdotuksia mahdollisesta jatkotutkimustarpeista. Kuvassa 1 esitellään johdantoa seuraava lukukohtainen kandidaatintyön rakenne.

Kuva 1. *Kandidaatintyön johdantoa seuraava rakenne.*

2. RISKIEN JA RISKIENHALLINNAN PERUSPERIAATTEET SEKÄ ROOLI YRITYKSESSÄ

Tässä luvussa tarkastellaan ja määritellään käsitteet riski ja riskienhallinta. Ensimmäisessä alaluvussa esitellään, miten kirjallisuus määrittelee käsitteen riski, sekä minkälaisia riskejä on olemassa. Toisessa alaluvussa tarkastelu siirtyy riskienhallintaan, sen määrittelyyn sekä rooliin osana yrityksen toimintaa. Luvun tarkoitus on avata tieteellisen kirjallisuuden näkemyksiä ja käsitteistöä riskistä ja riskienhallinnasta muun työn tueksi.

2.1 Riskin määrittely ja riskityypit

Riskienhallinta on hyvä aloittaa riskin määrittelemisestä. Eräs tunnetuimmista ja käytetyimmistä riskin määritelmistä on Rosan (1998) esittämä määritelmä, jonka mukaan riski on tilanne tai tapahtuma, jossa panoksena on jotain ihmiselle arvokasta (mukaan lukien ihminen itse) ja jonka lopputulos on epävarma. Artikkelissaan Aven (2010) määrittelee riskin suuruuden tapahtuman todennäköisyyden ja vakavuuden yhdistelmänä (engl. Combination).

Kirjassaan Simkins ja Simkins (2013) yritysten toimintaan liittyvät riskit jaetaan eri riskityyppeihin. Nämä riskityypit on esitelty alla olevassa taulukossa 3, jossa riskit jaetaan seurausperusteisesti eri riskityyppeihin. Taulukon 3 tavoite on ennen kaikkea ohjata ajatuksia tapaan jakaa riskejä eri tyyppeihin, ennemmin kuin toimia työtä ohjaavana viitekehyksenä.

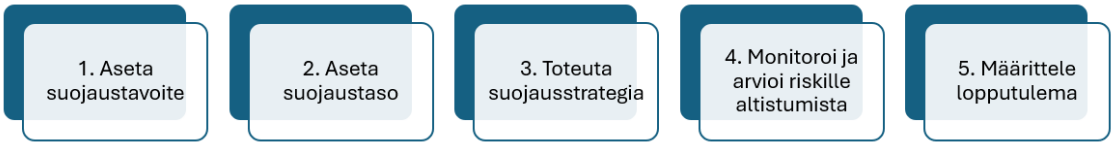
Taulukko 3. *Erilaisia riskityyppejä ja kuvauksia (Muokattu: Simkins & Simkins, 2013).*

Riskityyppi	Kuvaus
Luottoriski/maksukyvyttömyysriski (engl. Credit risk/Default risk)	*Riski asiakkaan tai toimittajan maksu- tai toimituskyvyttömyydestä*
Kysyntäriski (engl. Demand risk)	*Riski palveluiden tai tuotteiden kysynnästä*
Ympäristöriski (engl. Environmental risk)	*Riski ympäristön pilaantumisesta*
Tapahtumariski (engl. Event risk)	*Riski tapahtumasta, kuten tulipalosta, tulvasta tai ryöstöstä*
Taloudellinen riski (engl. Financial risk)	*Riski liittyen taloudellisiin transaktioihin*
Syöteriski (engl. Input risk)	*Riski liittyen erityisesti yrityksen syötteiden kustannuksiin*
Oikeudellinen tai vastuuriski (engl. Legal or liability risk)	*Riski yrityksen tuotteiden, palveluiden tai henkilöiden juridisista seurauksista*

Likviditeettiriski (engl. Liquidity risk)	*Riski kyvyttömyydestä ostaa tai myydä palveluita sovitulla hinnalla*
Markkina- tai hintariski (engl. Market or Price risk)	*Riski markkinoiden tai markkinahintojen muutoksista*
Operatiivinen riski (engl. Operational risk)	*Riski operatiivisten järjestelmien tai toiminnan keskeytymisestä*
Henkilöriski (engl. Personnel risk)	*Riski liittyen inhimilliseen toimintaan*
Poliittinen riski (engl. Political risk)	*Riski regulaatioympäristön muutoksista*
Omaisuusriski (engl. Property risk)	*Riski omaisuuden arvon heikkenemisestä*
Maineriski (engl. Reputation risk)	*Riski liittyen yrityksen maineeseen*

2.2 Riskienhallinnan perusperiaatteet ja tarkoitus osana yrityksen toimintaa

Kirjassaan Simkins ja Simkins (2013) yritysten riskienhallinnan perusajatuksena nähdään tavoite suojautua (engl. Hedge) mahdollisilta tappioilta. Onnistuneen riskienhallinnan nähdään sisältävän riskien tunnistamisen, mittaamisen, riskien liiketoiminnallisten vaikutusten tuntemisen sekä riskilähteiltä suojautumisen (Masala et al., 2022). Simkins ja Simkins (2013) mukaan sähköyhtiön operatiivinen riskienhallintaprosessi voidaan jakaa viiteen vaiheeseen kuvan 2 mukaisesti.



Kuva 2. *Sähköyhtiön riskienhallintaprosessi viidessä vaiheessa (Muokattu: Simkins & Simkins, 2013).*

Riskien mittaamisessa on usein kyse stokastisten (engl. Stochastic) eli toisiinsa nähden samankaltaisten mitattavien sattumanvaraisten ilmiöiden tarkastelussa (Aven, 2011). Näistä stokastisista ilmiöistä voidaan muodostaa malleja, joilla kyetään tarkastelemaan näiden sattumanvaraisten ilmiöiden suhteita toisiinsa (Aven, 2010). Stokastisten mallien hyödyntäminen toimiikin tärkeässä roolissa osana riskienhallintaa. (Morales et al., 2010; Hosseini-Firouz, 2013)

Simkins ja Simkins (2013) esittämän yritysten riskienhallinnan perusajatuksesta laajemman näkemyksen mukaan toimiva riskienhallintajärjestelmä ei pelkästään suojaa puhtaasti yritystä negatiivisilta seurauksilta, vaan ottaa myös sopivan määrän riskejä, joille voidaan nähdä suotuisia lopputuloksia (Masala et al., 2022). Riskienhallinnan rooli onkin

tukea yrityksen strategisia tavoitteita, ylläpitäen olemassa olevaa sekä luoden uutta arvoa sijoittajille. (Deng & Oren, 2006; Pecina et al. 2022)

Artikkelissaan Yang et al. (2016) riskienhallinta jaetaan kolmeen eri tyyppiin: riskin vähentämiseen, riskin välttämiseen ja riskin siirtoon. Sähkömarkkinoiden kontekstissa riskin vähentämisellä tarkoitetaan pyrkimystä riskin suuruutta esimerkiksi tuulivoiman tapauksessa parantamalla tuotantoennusteen tarkkuutta, mikä vähentää ennustevirheiden aiheuttamia volyymiriskien realisoitumisia (Hosseini-Firouz, 2013). Riskin välttämisellä pyritään kokonaan välttämään riski ja edelleen sen realisoituminen. Esimerkkinä tästä on sähköyhtiön ratkaisu myydä ainoastaan pitkäaikaisia sopimuksia kiinteällä hinnalla, jolloin yhtiö välttää lyhyen aikavälin markkinoiden hinnan volatiliteetin aiheuttamat riskit. Riskin siirtämisellä pyritään ulkoistamaan riskiä muille toimijoille, kuten esimerkiksi osallistumalla laajempiin sähköpooleihin, joissa riskit jaetaan osallistujien kesken. (Yang et al., 2016)

Yhteenvetona voidaan todeta, että sekä riskeille että riskienhallinnalle on tyypillistä varsin luokitteleva ja käsitepainotteinen tarkastelu. Kuten taulukosta 3 ilmenee, riskit jaetaan usein seurausperusteisesti eri riskityyppeihin (Simkins & Simkins, 2013). Myös riskienhallinta voidaan jakaa eri tyyppeihin, kuten riskin vähentämiseen, välttämiseen ja siirtoon, jolloin myös riskienhallintakeinoja on mahdollista tarkastella vaikutusperusteisesti (Yang et al., 2016). Yhteisesti yrityksen riskienhallintakeinojen tarkoitus on suojautua negatiivisilta seurauksilta, tukien näin yrityksen strategisia tavoitteita (Pecina et al., 2022).

3. SÄHKÖMARKKINOIDEN JA TUULIVOIMAN YLEISET TOIMINTAPERIAATTEET

Tässä luvussa esitellään sähkömarkkinoiden toimintaperiaatteet ja erilaiset markkinapaikat sekä avataan lyhyesti tuulivoiman perusperiaatteita. Ensimmäisenä tarkastellaan yleisesti sähkömarkkinoita, markkinaosapuolia ja niiden rooleja sähkömarkkinoilla. Seuraavaksi tarkastellaan erilaisia sähkömarkkinoiden markkinapaikkoja, joilla voidaan käydä kauppaa esimerkiksi sähköllä ja muilla sopimuksilla. Lopuksi tarkastellaan tuulivoiman perusperiaatteita ja roolia sähkömarkkinoilla. Tämän luvun tarkoitus on esitellä työn kannalta relevantti teoria sähkömarkkinoista ja tuulivoimasta, sekä ymmärtää näihin liittyvä olennainen teoreettinen viitekehys.

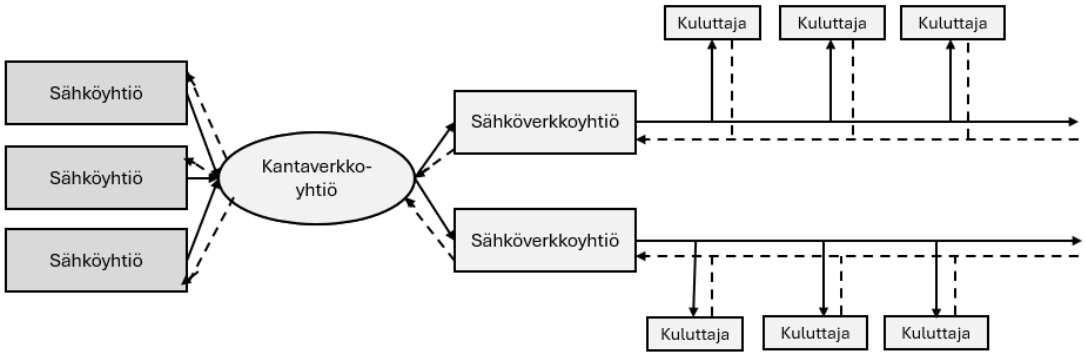
3.1 Sähkömarkkinoiden markkinaosapuolet ja niiden roolit

Sähkömarkkinoilla toimivia markkinaosapuolia ovat sähköyhtiöt, kantaverkkoyhtiö, sähköverkkoyhtiöt, sekä sähkön kuluttajat (Liu et al., 2018). Työn kannalta olennaisimpia tarkasteltavia osapuolia ovat sähköyhtiöt sekä kantaverkkoyhtiö. Tämän vuoksi kappaleessa ei käsitellä tarkemmin sähköverkkoyhtiöitä tai sähkön kuluttajia, sekä niiden rooleja.

Sähköyhtiöiden tehtävä on tuottaa ja myydä sähköä kuluttajille. Sähkön myynti voi tapahtua kahdenvälisesti tai organisoidulla markkinapaikalla. Lisäksi sähkön myynnin aikaulottuvuus voi olla useita vuosi tai vain tunteja ennen tapahtuvaa sähkön kulutusta. Keskeinen sähköyhtiön tehtävä on saada tuottamansa ja myymänsä sähkö määrällisesti vastaamaan toisiaan. Tämä on edellytys sähköverkon toiminnalle. (Deng & Oren, 2006; Liu et al., 2018; Banaei et al., 2021)

Sähköyhtiöillä voi olla sähkön tavanomaisen tuotannon ja myynnin ohella myös muita rooleja sähkömarkkinoilla. Sähköyhtiö voi toimia sähkömarkkinoilla reservinhaltijana, jolloin tämä osallistuu tarvittaessa säätösähkömarkkinoille tasapainottamaan sähkömarkkinoiden sähkön tuotanto ja kulutus vastaamaan toisiaan (Fingrid, 2024). Reservinhaltijat toimivat kantaverkkoyhtiön alaisuudessa. Kantaverkkoyhtiön tehtävänä onkin toimia sähkömarkkinoiden valvovana ja organisoivana osapuolella. Kantaverkkoyhtiö huolehtii sähköjärjestelmän tasapainosta, toimittaen tarvittaessa järjestelmään puuttuvan sähkön sekä laskuttaen sähköjärjestelmän tasapainottamisesta sähköyhtiötä. (Yang et al., 2016; Du et al., 2017; Liu et al., 2018; Banaei et al., 2021)

Kuva 3 tiivistää tyypillistä sähkömarkkinoiden osapuolten suhdetta toisiinsa. Kuvasta 3 voidaan huomata kantaverkkoyhtiön rooli sähkömarkkinoiden keskeisenä osapuolena sähköä myyvien osapuolien eli sähköyhtiöiden ja sähkö ostavien osapuolien eli sähköverkkoyhtiöiden ja edelleen sähkön kuluttajien välissä. (Liu et al., 2018)



Kuva 3. *Sähkömarkkinoiden osapuolten suhde toisiinsa (Muokattu: Liu et al., 2018).*

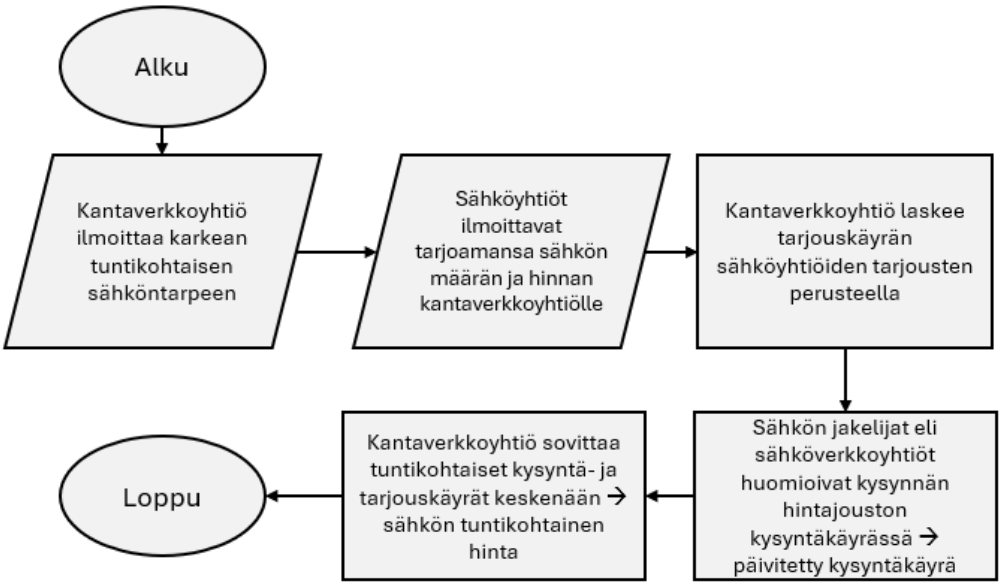
3.2 Sähkömarkkinoiden markkinapaikat

Sähkömarkkinoiden voidaan nähdä muodostuvan lukuisista toisistaan erilaisista markkinapaikoista, kuten lyhyen aikavälin organisoiduista markkinapaikoista, OTC-markkinoista sekä finanssimarkkinoista. Jokaisella markkinapaikalla on toisistaan erilaiset toimintaperiaatteet sekä tarkoitus sähkömarkkinoilla.

3.2.1 Lyhyen aikavälin sähkökaupankäynti organisoiduilla markkinapaikoilla

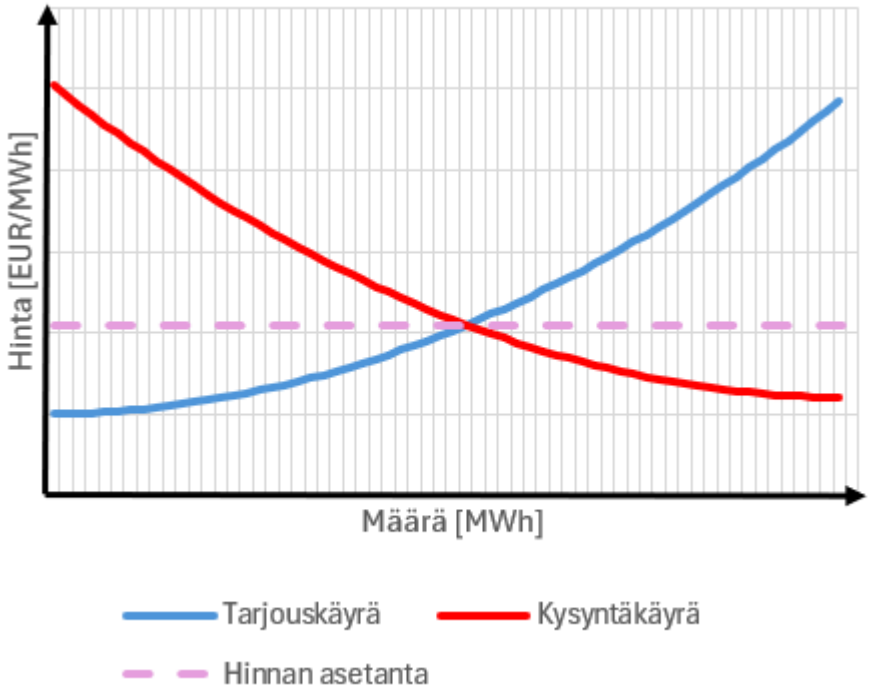
Avoimilla sähkömarkkinoilla, kuten Pohjoismaissa Nord Poolissa, voidaan erottaa seuraavanlaisia organisoituja lyhyen aikavälin markkinapaikkoja: vuorokausimarkkina (engl. Day-ahead), päivänsisäinen markkina (eng. Intraday) ja säätösähkömarkkinat (engl. Regulating market). (Skajaa et al., 2015; Guerrero-Mestre et al., 2016) Lyhyen aikavälin markkinoiden keskeinen rooli on tasapainottaa sähköyhtiön tuotanto ja myynti vastaamaan toisiaan (Skajaa et al., 2015; Yang et al., 2016).

Vuorokausimarkkinoilla sähköyhtiöt ja asiakkaat jättävät päivittäin tarjouksensa koskien seuraavan päivän sähköntoimituksia. Seuraavan päivän tarjous on jätettävä toimitusta edeltävänä päivänä viimeistään kello 12. Tarjous sisältää ostettavan tai myytävän sähkön määrän ja sitä vastaavan hinnan vuorokauden jokaiselle tunnille. (Skajaa et al., 2015; Babaei et al., 2019) Kuva 4 havainnollistaa sähkön vuorokausimarkkinoiden tarjousprosessin kulkua tarjouksista tuntihinnan muodostumiseen (Liu et al., 2018).



Kuva 4. *Vuorokausimarkkinoiden tarjousprosessin kulku (Muokattu: Liu et al., 2018).*

Sähköntuotannon ja -kulutuksen volatiilisuuden, joustamattomuuden sekä sähkön rajallisten varastointimahdollisuuksien vuoksi sähkön tuntikohtainen hinta vaihtelee merkittävästi (Deng & Oren, 2006). Kuten myös kuvasta 4 voidaan todeta, sähkön tuntihinta vuorokausimarkkinoilla muodostuukin sähkömarkkinoiden tarjous- ja kysyntäkäyrien leikkauspisteen mukaan, jolloin sähkön tuntihinnaksi muodostuu leikkauspistettä vastaava hinta (engl. Uniform price) (Banaei et al., 2021). Kuva 5 havainnollistaa edelleen yksinkertaistettuna sähkön hinnan muodostumista vuorokausimarkkinoilla.



Kuva 5. *Sähkön tuntihinnan asetanta vuorokausimarkkinoilla (Muokattu: Nord Pool, 2024).*

Kuvasta 5 huomataan, että vuorokausimarkkinoille muodostunut sähkön tuntihinta on kaikille sähkömarkkinoiden osapuolille sama, riippumatta yksittäisen sähkön tuottajan tai kuluttajan asettumisesta tarjous- tai kysyntäkäyrällä. Näin ollen, vaikka sähköyhtiön tarjouksen hintataso olisi hinnan asetantaa matalampi, saa sähköyhtiö tarjoamastaan sähköstä hinnan asetannan mukaisen hinnan. (Banaei et al., 2021)

Päivänsisäisillä markkinoilla kauppaa käydään kahdenvälisesti, jolloin osapuolilla on suurempi vapaus neuvotella kaupankäynnin kohteena olevan sähkön hinnasta. Vaikka kauppaa käydään kahdenvälisesti, sen selvitystyöstä ja välityksestä vastaa kantaverkkoyhtiö. Kauppaa voidaan käydä myytävän tai ostettavan sähkön määrästä ja sitä vastaavasta hinnasta. Kaupankäynti tulee tapahtua vähintään tuntia ennen tapahtuvaa sähkönsiirtoa. Verrattuna vuorokausimarkkinoihin, on päivänsisäisen sähkökaupankäynnin rooli varsin pieni, kattaen noin 1 % sähkön kulutuksesta. (Skajaa et al., 2015)

Säätösähkömarkkinoiden tarkoitus on tasapainottaa sähkön tuotanto ja kulutus täsmällisesti vastaamaan toisiaan. Tapahtuva tasapainotus voi olla positiivista tai negatiivista, ja siitä vastaavat kantaverkkoyhtiö ja sen alaiset reservinhaltijat. (Skajaa et al., 2015; Du et al., 2017) Säätösähkömarkkinoiden rooli on tärkeä koko sähköjärjestelmän toimivuuden kannalta, sillä epätasapainossa oleva sähköjärjestelmä heikentää sähkön laatua (Guerrero-Mestre et al., 2016).

Sähköjärjestelmän tasapainotuskustannukset kohdistuvat niihin sähköyhtiöihin, joiden tuotanto ja myynti eivät vastaa toisiaan. Sähköyhtiö joutuvatkin maksamaan sanktioita kantaverkkoyhtiölle, riippuen aiheuttamansa epätasapainon laadusta ja sen vaikutuksista sähköjärjestelmään. (Skajaa et al., 2015; Yang et al., 2016; Du et al., 2017; Shamsi & Cuffe, 2021) Esimerkiksi järjestelmän kohdatessa kokonaisuudessaan sähköntuotantovajetta, saa vajetta aiheuttava sähköyhtiö kantaakseen suuremmat tasapainotuskustannukset kuin tilanteessa, jossa järjestelmässä on tuotannon ylitarjontaa (Guerrero-Mestre et al., 2016) Tilannetta on havainnollistettu kuvassa 6.

Tuotannon epätasapaino	Sähköjärjestelmän tila	
	Järjestelmän ylituotanto/kulutusvaje	**Järjestelmän alituotanto/ylikulutus**
Positiivinen epätasapaino (ylituotanto)	Tasapainotuskustannus ≥ Vuorokausimarkkinan tuntihinta	Tasapainotuskustannus ≤ Vuorokausimarkkinan tuntihinta
Negatiivinen epätasapaino (alituotanto)	Tasapainotuskustannus ≤ Vuorokausimarkkinan tuntihinta	Tasapainotuskustannus ≥ Vuorokausimarkkinan tuntihinta

Kuva 6. *Tasapainotuskustannusten suuruusluokan määräytymislogiikka. (Muokattu: Guerrero-Mestre et al., 2016)*

On olennaista tiedostaa, että lyhyen aikavälin markkinapaikat ovat vuorovaikutuksessa keskenään. Tämä johtuu siitä, että mitä tarkemmin vuorokausimarkkinoilla ja edelleen päivänsisäisillä markkinoilla kaupatun sähkön tuotanto ja kulutus vastaavat toisiaan, sitä vähemmän se luo kysyntää säätösähkömarkkinoille osallistumiselle. Vähempi kysyntä korreloi edelleen säätösähkömarkkinoiden hintatason kanssa. (Banaei et al., 2021) Lyhyen aikavälin sähkömarkkinapaikkojen olemassaolon tarkoitus perustuukin valtaosin sähköjärjestelmän tuotannon ja kulutuksen tasapainon löytämiseen (Morales et al., 2010; Hosseini-Firouz, 2013).

3.2.2 OTC- ja finanssimarkkinat

Edellisessä kappaleessa 3.2.1 esitettyjen lyhyen aikavälin organisoitujen sähkömarkkinapaikkojen ohella sähkökauppaa voidaan käydä myös muilla tavoin, esimerkiksi OTC-markkinoilla (engl. Over-the-counter markets). OTC-markkinoilla kauppaa käydään suoraan kahden toimijan välillä, joskin markkinoiden selvitystyöstä ja mahdollisesta sähkönsiirrosta vastaa kantaverkkoyhtiö. OTC-markkinat ovat keskeinen sähkökaupankäynnin markkinapaikka, sillä merkittävä osa pidemmän aikavälin sähkökaupankäynnistä tapahtuu OTC-markkinoiden kautta. (Deng & Oren, 2006)

Suuri osa OTC-markkinoiden sekä kaikenkattavasta sähkökaupankäynnistä toteutetaankin forward-sopimusten kautta (Banaei et al., 2021). Forward-sopimuksessa määritellään tulevaisuuden sähkön ostamisesta tai myymisestä kiinnitetyllä hinnalla, määrällä ja toimitushetkellä, ja sopimuksessa asetettu sähkön hintataso perustuu usein toimitus-

hetkelle ennustettuun sähkön vuorokausimarkkinahintaan (Banaei et al., 2021). Forward-sopimusten aikaulottuvuus voi olla tunneista aina vuosiin saakka. (Deng & Oren, 2006)

OTC-markkinoilla on fyysisen sähkön toimituksen sisältävien sopimusten lisäksi mahdollista harjoittaa myös kaupankäyntiä finanssituotteilla, jotka eivät sisällä lainkaan fyysisen sähkön toimitusta. Nämä niin sanotut johdannaissopimukset toimivat sopimuksena tulevaisuudessa käytävästä sähkökaupasta, jotka taas voivat sisältää sähkön fyysisen toimituksen. (Deng & Oren, 2006)

Myös finanssimarkkinoilla voidaan käydä kauppaa johdannaissopimuksilla. Erona OTC-markkinoihin on se, että finanssimarkkinat ovat organisoituja, aivan kuten sähkömarkkinat. Esimerkkinä finanssimarkkinoista on esimerkiksi pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla toimiva Nasdaq Commodities sekä European Energy Exchange (EEX). (Deng & Oren, 2006) Johdannaissopimusten käyttötarkoituksia erityisesti tuulivoiman myynnin riskienhallinnassa käsitellään työn tulososiossa.

3.3 Tuulivoiman perusperiaatteet

Tuulivoimateknologia nähdään yhtenä kypsimmistä ja kestävimmistä uusiutuvan energian teknologioista (Ghaffari & Venkatesh, 2013; Shin & Baldick, 2018). Tuulivoima nauttii globaalia suosiota, ja se onkin maailman nopeimmin kasvava uusiutuvan energian lähde (Catalao et al. 2012). Tätä selittää myös Hosseini-Firouzin (2013) toteamukset artikkelissaan tuulivoimainvestointien selvästä taloudellisesta kannattavuudesta sekä fossiilisiin polttoaineisiin liittyvistä päästöongelmista. Kestävyytensä (engl. Sustanable) vuoksi tuulivoimainvestoinnit ovatkin saaneet historian aikana laajalti myös valtioiden taloudellista ja lainsäädännöllistä tukea, mikä on edesauttanut tuulivoimatuotannon kasvua ja parantanut hankkeiden takana olevien yritysten kannattavuutta (Baringo & Conejo, 2016).

Tuulivoimalla tuotetaan sähköä muuntamalla tuulivoimalan turbiinin ja generaattorin avulla tuulen kineettistä energiaa sähköksi (Masala et al., 2022). Näin ollen, tuulivoiman tuotanto on riippuvaista saatavilla olevista tuuliresursseista. Tuuliresursseilla tarkoitetaan vallitsevia tuuliolosuhteita tarkastelukorkeudella, joka tuulivoiman tuotannon tapauksessa on tuulivoimalan napakorkeus. Vallitsevista tuuliolosuhteista merkittävin muuttuja tarkastelun kannalta on tuulen nopeus. Mitä suurempi tuulen nopeus tuulivoimalan napakorkeudella sitä enemmän tuulivoimala voi tuottaa sähköä. (Breeze, 2016)

Muiden sähköyhtiöiden ohella myös tuulivoimayhtiö on jatkuvasti velvollinen vastaamaan siitä, että se tuottaa sähköä yhtä paljon kuin myy (Skajaa et al., 2015; Shamsi &

Cuffe, 2021). Suurin osa tuulivoiman myynnistä toteutetaan OTC-markkinoilla forward-sopimuksilla, minkä lisäksi tuulivoimayhtiöt osallistuvat sähkömarkkinoilla myös vuorokausi- ja päivänsisäismarkkinoille (Banaei et al., 2021). Näiden lyhyen aikavälin sähkömarkkinapaikkojen hyödyntäminen on olennaista, sillä tuulivoiman tuotantoennusteet tarkentuvat lähestyessä sähkön toimitushetkeä (Yang et al., 2016).

Yhteenvetona sähkömarkkinoiden voidaan todeta koostuvan useista toimijoista sekä markkinapaikoista. Työn kannalta keskeisiä tarkasteltavia sähkömarkkinoiden toimijoita ovat sähköyhtiöt, kantaverkkoyhtiö sekä sähkön kuluttajat (Liu et al., 2018). Keskeisiä sähkömarkkinoiden markkinapaikkoja ovat lyhyen aikavälin markkinapaikat, joita ovat sähkön toimitushetkeä lähestyvässä järjestyksessä vuorokausimarkkinat, päivänsisäiset markkinat sekä säätösähkömarkkinat. (Skajaa et al., 2015; Guerrero-Mestre et al., 2016) Kuitenkin valtaosa sähkökaupasta toteutetaan OTC-markkinoilla, joka toimii pidemmän aikavälin sähkömarkkinoina (Deng & Oren, 2006). Muiden sähköyhtiöiden lailla tuulivoimayhtiöt käyvät kauppaa näillä markkinapaikoilla. Tuulivoimatuotannon ollessa olennaisesti riippuvaista vallitsevista tuuliolosuhteista sekä niiden ennustamisesta, on tuulivoimayhtiöiden kannattavaa osallistua lyhyen aikavälin sähkömarkkinoille, joiden aikakontekstissa myös tuulivoiman tuotantoennusteet ovat tarkempia. (Hosseini-Firouz, 2013)

4. TUULIVOIMAN MYYNNIN ERITYISPIIRTEET JA OMINAISET RISKIT

Tämä luku aloittaa työn varsinaisen tulososion. Ensimmäisessä alaluvussa 4.1 tarkastellaan tuulivoiman myynnin erityispiirteitä verrattuna muilla tavoin tuotetun sähkön myyntiin. Toisessa alaluvussa 4.2 keskitytään kirjallisuudesta löydettyihin tuulivoiman myynnin riskeihin. Tässä alaluvussa löydetyt riskit on jaettu edelleen kahteen alalukuun. Yhdessä nämä alaluvut muodostavat loogisen syyseuraus ketjun tuulivoiman myynnin erityispiirteille ja niistä seuraaville riskeille. Kokonaisuudessaan tämän luvun tavoite on vastata työlle asetettuun ensimmäiseen tutkimuskysymykseen.

4.1 Tuulivoiman myynnin erityispiirteet

Tuulivoiman myynti perustuu vallitsevien tuuliolosuhteiden ennustamiseen ja suunniteltuihin tarjousstrategioihin (Yang et al., 2016). Ennustepohjaisuus aiheuttaa lukuisia epävarmuustekijöitä tuulivoiman myyntiin. Näiden epävarmuustekijöiden aiheuttamat riskit, voidaankin nähdä tuulivoiman myynnin merkittävimpänä erityispiirteenä verrattuna muilla tavoin tuotettuun sähköön (Catalao et al., 2012).

Tuulivoima on tuotantokustannuksiltaan käytännössä ilmaista (Morales et al., 2010), minkä vuoksi sen on helppo päästä sähkömarkkinoille. Vaikka tuulivoiman tuotanto on itsessään käytännössä ilmaista, on tuulivoimayhtiöiden toimittava strategisesti sähkömarkkinoilla (Baringo & Conejo, 2016). Tuulivoimayhtiöt kilpailevatkin keskenään esimerkiksi tuotannon ennustemenetelmiensä tarkkuuksilla ja aktiivisella riskienhallinnalla (Hosseini-Firouz, 2013). Näillä menetelmillä pyritään minimoimaan tuulivoimaa tuottavan sähköyhtiön avoin positio, joka aiheuttaa tasapainotuskustannuksia sähköyhtiölle (Li & Jiang, 2011).

Tuulivoiman tuotannon volatiilisuuden vuoksi se aiheuttaa haasteita paitsi sähköjärjestelmän tasapainolle myös sähkön myynnille. Tuulivoima onkin tuotantomuotona huonosti joustava, eikä siten kykene vastaamaan sähkön kuluttajien kysyntäjoustoon. (Ghaffari & Venkatesh, 2013)

4.2 Tuulivoiman myynnin riskit

Babaei et al. (2019) mukaan tuulivoiman myyjä kohtaa myyntivaiheessa kahdenlaisia epävarmuuksia, jotka liittyvät sähkön hintaan ja tuulivoiman tuotantomäärään. Artikke-

lissa Hosseini-Firouz (2013) sähkön hintaan liittyvä epävarmuus jaetaan edelleen yhteensä kolmeen epävarmuuslähteeseen, joita ovat vuorokausimarkkinan tuntihinta, säätösähkömarkkinan sähkön hinta sekä tasapainotuskustannukset. Nämä epävarmuudet aiheuttavat tuulivoimayhtiölle taloudellisia riskejä, sillä markkinoiden hintataso ja tasapainotuskustannukset ovat verrannollisia tuulivoimayhtiön taloudelliseen tulokseen (Yang et al., 2016). Taloudellisen riskin vähentämiseksi sähköyhtiöiden onkin keskeistä harjoittaa tehokasta ja monipuolista riskienhallintaa. (Pecina et al., 2022)

4.2.1 Volyymiriskit

Volyymiriski (engl. Volumetric risk) on eräs merkittävimmistä tuulivoiman myynnin riskeistä. Volyymiriskillä tarkoitetaan tuulivoiman tapauksessa tuotantomäärään liittyvää epävarmuutta, mikä johtuu siitä, ettei tuulivoimala tuota sähköä tarkasteluhetkelle ennustetun määrän verran. (Masala et al., 2022)

Volyymiriskiin liittyvä epävarmuus aiheutuu tuulivoimalan ympäristössä vallitsevien tuuliolosuhteiden jatkuvasta muutoksesta (Breeze, 2016). Tuulivoiman tuotanto perustuu hallitsemattomaan muuttujaan, vallitseviin tuuliolosuhteisiin, jota pyritään ennustamaan laskiessa odotusarvoa tuulivoimatuotannon määrälle. Ennustepainotteisuus ja sen aiheuttamat riskit, ovat yleisesti mielletty tuulivoiman suurimmaksi haasteeksi verrattuna muihin energiatuotantomuotoihin. (Ghaffari & Venkatesh, 2013; Hosseini-Firouz, 2013)

Volyymiriskin seuraus on tuulivoimayhtiön avoin positio, josta voi aiheutua tasapainotuskustannuksia alaluvussa 3.2.1 esitellyn kuvan 6 mukaisesti (Guerrero-Mestre et al., 2016). Tuotannon epävarmuuteen vastaaminen onkin olennainen osa tuulivoimayhtiön toimintaa, sillä todellinen tuulivoiman tuotanto ei koskaan vastaa täysin ennustettua tuotantoa (Mahmoudi et al., 2015).

Volyymiriskien hallinta perustuu keinoihin, joilla vähennetään tuotantomäärään liittyvää epävarmuutta sekä varaudutaan sen realisoitumiseen (Masala et al., 2021). Varautumisella pyritään selvittämään vaihtoehtoisia tapoja hankkia puuttuva tai myydä ylituotettu sähkö. Tuotannon tasapainottamiseen liittyvät toimenpiteet ovatkin volyymiriskien hallinnan keskeisimpiä keinoja. (Babaei et al., 2019)

4.2.2 Taloudelliset riskit

Taloudellisella riskillä (engl. Financial risk) tarkoitetaan tasapainotuskustannusten aiheuttamaa taloudellisten tappioiden riskiä tuulivoiman myynnissä (Shamsi & Cuffe, 2021). Tuulivoiman myynnin tapauksessa taloudellisia riskejä aiheuttaa ennen kaikkea

volyymiriskit (Masala et al., 2022). Tämä johtuu siitä, että tuulivoima on tuotantokustannuksiltaan käytännössä ilmaista muihin sähköntuotantomuotoihin nähden (Morales et al., 2010). Näin ollen, operatiivisia taloudellisia tappioita aiheutuu pääosin tasapainotuskustannuksista, jotka taas aiheutuvat tuulivoimayhtiön avoimesta positiosta ja edelleen volyymiriskin realisoitumisesta (Yang et al., 2016). Tästä syystä taloudelliset riskit ja volyymiriskit voidaan nähdä olevan suhteessa toisiinsa.

Operatiiviset taloudelliset tappiot ovatkin tuulivoiman myynnin taloudellisten riskien seuraus (Hosseini-Firouz, 2013). Tuulivoimayhtiöiden on pyrittävä optimoimaan tarjoustasonsa, huomioiden vallitsevat riskit ja tuotantomäärään liittyvät epävarmuudet. Optimointia varten sähköyhtiöiden on harjoitettava säännöllistä riskienhallintaa ja kehitettävä jatkuvasti ennustejärjestelmiensä tarkkuutta. (Catalao et al., 2012) Tuulivoiman myynnin strategisena tavoitteena onkin maksimoida myynnin tuotto-odotus ja samalla minimoida myyntiin liittyvä riskiprofiili (Baringo & Conejo, 2016).

Tarjoustason optimoinnin ohella taloudellisia riskejä voidaan hallita suojaustuotteilla, joita sähkömarkkinoilla on tarjolla. Suojaustuotteiden tarkoitus on kattaa taloudellisen riskin realisoitumisesta aiheutunut taloudellinen tappio tuotteen kohde-etuudella. (Deng & Oren, 2006)

Yhteenvetona todettuna, että vaikka tuulivoima on tuotantokustannuksiltaan käytännössä ilmainen sähköntuotantomuoto, liittyy sen myyntiin silti lukuisi riskejä ja riskitekijöitä (Morales et al., 2010). Nämä riskitekijät liittyvät pääosin tuulivoimatuotannon ennustepainotteisuuteen. Ennustepainotteisuus aiheuttaa tuulivoimayhtiölle volyymiriskejä sekä edelleen taloudellisia riskejä. (Babaei et al., 2019) Näin ollen, tuulivoimayhtiöt kilpailevatkin ennustemenetelmiensä tarkkuudella sekä aktiivisella riskienhallinnalla (Hosseini-Firouz, 2013), joilla pyritään vähentämään tuulivoiman myynnin riskien realisoitumisia ja mahdollisia vaikutuksia (Li & Jiang, 2011).

5. RISKIENHALLINTA TUULIVOIMAN MYYNNISSÄ

Tässä luvussa tarkastellaan kirjallisuuden esittelemiä tuulivoiman myynnissä käytettäviä riskienhallintakeinot. Keinot on eritelty kahdeksaan alalukuun, joista jokainen esittelee yhden riskienhallintakeinon sekä tällä keinolla hallitut riskit. Useimpien pidempien alalukujen lopussa on lyhyt yhteenveto tarkastellun riskienhallintakeinon tärkeimmistä havainnoista.

5.1 Stokastisten mallien hyödyntäminen tarjousstrategioissa

Ennusteissa ja riskimittauksissa voidaan hyödyntää erilaisia stokastisia työkaluja, prosesseja ja malleja, joilla stokastisia ilmiöitä voidaan mallintaa ja niiden todennäköisyyksiä tarkastella. Tuulivoiman myynnin tapauksessa eräs riskimittausten keskeisimmistä tavoitteista on tarkastella ja mitata riskejä tuulisuusennusteiden virheille, minkä lisäksi malleilla voidaan tarkastella sähkön markkinahintojen käyttäytymistä. (Hosseini-Firouz, 2013) Stokastisten mallien tavoitteena onkin muodostaa optimaalisia tarjousstrategioita tuulivoiman myynnille, joilla pyritään vastaamaan erityisesti tuulivoiman myynnin taloudellisiin riskeihin. (Morales et al., 2010; AlAshery & Qiao, 2020)

Esimerkiksi artikkelissa Catalao et al. (2012) stokastisella mallilla tarkastellaan sähkön hinnan, tuuliolosuhteiden sekä tasapainotuskustannusten vaikutuksia toisiinsa. Malli esittää 1000 skenaariota kolmen muuttujan arvoista suhteessa toisiinsa ja todennäköisyyksiinsä, joiden perusteella esitetään optimaalinen tarjousstrategia vuorokausimarkkinoille huomioiden eri skenaarioiden tuotto-odotukset ja laskettu riskitaso. Mallin toimivuus perustuu statistiikkaan siitä, kuinka tarkasteltavat muuttujat vaikuttavat toisiinsa. (Catalao et al., 2012)

Stokastisia prosesseja voidaan mallintaa lisäksi esimerkiksi SARIMA-malleilla (engl. Seasonal autoregressive integrated moving average), joilla voidaan mallintaa sähkön vuorokausi-, päivänsisäis- ja säätösähkömarkkinoiden vaikutuksia toisiinsa esimerkiksi sähkön hinnan näkökulmasta. Mallinnetut markkinoiden vaikutukset toisiinsa erityisesti hinnan näkökulmasta tuo lisää tietoa esimerkiksi eri markkinoiden hintatasoista eri markkinaskenaarioissa. Näiden hintatietojen perusteella voidaan tehdä päätöksiä esimerkiksi siitä, voidaanko tarvittaessa turvautua päivänsisäisiin markkinoihin tai säätösähkömarkkinoihin, jos ennustetut markkinahinnat ovat tuulivoimayhtiön näkökulmasta siedettävät. Tämä tieto pienentää tuulivoiman myynnin taloudellista riskiä. (Morales et al., 2010)

Yhteenvetona stokastiset mallit mahdollistavat monimutkaisten muuttujasuhteiden tarkastelun esimerkiksi sähkömarkkinoiden hintaennusteiden tarkastelussa (Morales et al., 2010; Hosseini-Firouz, 2013; AlAshery & Qiao, 2020). Mallit tukevat optimaalisen tarjousstrategian luomista, jonka avulla tuulivoimayhtiö voi vähentää taloudellista riskiä. (Catalao et al., 2012)

5.2 Yhteistoiminta energiavarastojen kanssa

Ghavidel et al. (2020) tarkastelevat artikkelissaan tuulivoiman tuottajien yhteistoimintaa energiavarastojen kanssa. Energiavarastojen rooli on tukea volatiilia tuulivoimatuotantoa tasapainottaen tuotantopoikkeamia, vastaten siten volyymiriskiin. Yhteistoiminnasta energiavarastojen kanssa käytetään käsitettä HPP (engl. Hybrid power plant). (Ghavidel et al., 2020)

Artikkelissaan Ghavidel et al. (2020) tarkastellaan syvällisemmin paineilmavarastoja energiavarastoina, joista käytetään lyhennettä CAES (engl. Compressed air energy storage) osana HPP toimintaa. Muita energiavarastotyyppejä, joita HPP voi käytää, ovat esimerkiksi akut, vauhtipyörät, lämpövarastot ja pumpattu vesivoima (Shin & Baldick, 2018; Babaei et al., 2019; Ghavidel et al., 2020). CAES toiminta perustuu siihen, kun sähköä tuotetaan liikaa tai sen myynti sähkömarkkinoilla ei ole kannattavaa, sähköä varastoidaan energiaksi pumppaamalla paineistettua ilmaa esimerkiksi luolaan. Kun taas sähkö on kallista tai sen saatavuudesta on pulaa, vapautetaan energiaa varastosta, jolloin turbiinin ja generaattorin avulla siitä voidaan tuottaa sähköä. (Ghavidel et al., 2020) Toiminta-ajatukseltaan samankaltaisena toimii pumpattu vesivoima (Shin & Baldick, 2018).

Energiavarastojen avulla tuulivoiman tuottajat kykenevät pienentämään tuulivoimatuotannon epätasapainosta aiheutuvaa avointa positiota. Yhteistoiminta erityisesti CAES-toimijoiden kanssa nähdään kannattavaksi niiden toiminnan luotettavuuden ja matalien energian varastointikustannusten vuoksi. Tiedetään, että tuulivoiman tuottajat kykenevät itsenäisellä toiminnalla saavuttamaan suurempia hetkellisiä tuottoja kuin yhteistoiminnallaan, mutta yhteistoiminnan kannattavuus ilmeneekin yleensä pitkällä aikavälillä. (Ghavidel et al., 2020)

Yhteenvetona yhteistoiminnalla energiavarastojen kanssa voidaan tasapainottaa tuulivoiman tuotannon ja myynnin poikkeamia, vastaten siten volyymiriskiin. Energiavarastoina voivat toimia esimerkiksi paineilmavarastot (CAES), vauhtipyörät, lämpövarastot, akut tai pumpattu vesivoima (Shin & Baldick, 2018; Babaei et al., 2019). Kun tuulivoima-

yhtiö tuottaa liikaa sähköä suhteessa myyntiin, voidaan tämä varastoida esimerkiksi paineilmaksi. Lisäksi tätä paineilmaksi varastoitua energiaa tuulivoimayhtiö voi tarvittaessa käyttää, kun tuotantoa on liian vähän suhteessa myyntiin. (Ghavidel et al., 2020)

5.3 Strateginen tuotantoreservien hankinta ulkoisilta toimijoilta

Strategisella tuotantoreservien hankinnalla tarkoitetaan sähköntuotannon ostamista ennakkoon esimerkiksi perusvoimaa tuottavilta voimalaitoksilta tai energiavarastoilta, jolla pyritään korvaamaan oma tuotantovaje, halliten siten volyymiriskiä. Tuotantoreservin hankinta voi tapahtua esimerkiksi hankkimalla osto-optiosopimuksia tai forward-sopimuksia. (Du et al., 2017; Babaei et al., 2019)

Tuotantoreservien hankinnassa on huomioitava ostettavan reservituotannon hinta, oman tuotannon ennustettu hinta ja määrä sekä tuotantovajeen ennustetut tasapainotuskustannukset. Optimaalisen tuotantoreservin oston (engl. Optimal reserve purchasing, ORP) määrää voidaan arvioida lasketun tuotannon ennustevirhemahdollisuuden mukaan. (Du et al., 2017) Käytännössä siis, mitä suurempi todennäköisyys virheellisesti ennustetulle tuotannolle on, sitä todennäköisemmin tuulivoimayhtiön on kannattavaa hankkia tuotantoreserviä.

Tuulivoimayhtiö hyötyy strategisesta tuotantoreservien hankinnasta, mikäli reserviin ostettu sähkö on halvempaa kuin tuotannon epätasapainosta aiheutuvat tasapainotuskustannukset. Oikein implementoidulla tuotantoreservien hankintastrategialla on mahdollista vähentää volyymiriskiä ja lisätä tuotto-odotuksiaan. (Du et al., 2017) Du et al. (2017) artikkelissa toteutetun Monte-Carlo-simulaation mukaan strategisen tuotantoreservien hankintojen tuotot suhteessa kustannuksiin ovat noin 20 %. Tästä voidaan päätellä, että onnistuessaan strateginen tuotantoreservien hankinta toimii hyvin volyymiriskien hallinnassa aiheuttaen lisätuloja tuulivoiman myynnille.

5.4 Tuulivoimayhtiöiden yhteistoiminta

Tuulivoimayhtiöiden yhteistoiminnalla tarkoitetaan yhteistoimintaa sähkömarkkinoilla, erityisesti tuotannon ja myynnin tasapainottamisen suhteen. Tuulivoimayhtiöiden yhteistoiminnalla voidaan hallita sekä volyymiriskiä että vähentää tasapainotuskustannusten aiheuttamia taloudellisia riskejä. Yhteistoiminnalle voidaan nähdä erilaisia tasoja, joissa tuulivoiman tuottajat osallistuvat eri tavoin tarjousprosessiin. (Guerrero-Mestre et al., 2016).

Niin sanotussa IC-mallissa (engl. Imbalance compensation model) tuulivoimayhtiöt pyrkivät ensin itsenäisesti optimoimaan oman tuotantonsa ja myynnin suhteen, minkä jälkeen poikkeamat ennustetusta tuotantomäärästä tasoitetaan yhteistoiminnassa toimivien tuulivoimayhtiöiden kesken. Lisäksi mahdolliset tasapainotuskustannukset jaetaan toimijoiden kesken. (Guerrero-Mestre et al., 2016)

JO-mallissa (engl. Joint offer model) yhteistoiminnassa mukana olevat tuulivoimayhtiöt osallistuvat koko tarjousprosessiin yhtenä toimijana, jättäen yhdessä tarjouksensa vuorokausimarkkinoille. JO-mallissa yhteistoiminnassa toimivat tuulivoimayhtiöt voidaan nähdä käytännössä toimivan kuin yhden sähköyhtiön alla. Muutoin JO-malli vastaa IC-mallia muun optimoinnin ja tasapainotuskustannusten jaon suhteen. (Guerrero-Mestre et al., 2016)

Artikkelissaan Guerrero-Mestre et al. (2016) todetaan, että yhteistoiminnassa optimaalinen tarjoustaso JO-mallissa saavutetaan hyödyntämällä myynnissä tuulivoimayhtiöiden ulkoista toimijaa (engl. Agent), jonka kautta yhteistoiminnassa toimivien tuulivoimayhtiöiden tarjoustaso muodostetaan. Näin saadaan myös parannettua tuulivoiman myynnin kannattavuutta yksittäisten yhteistoiminnassa toimivien tuulivoimayhtiöiden näkökulmasta. Yleisesti IC- ja JO-mallien riskienhallinnallisissa ominaisuuksissa on varsin niukasti eroa, ja merkittävimmät erot ilmenevätkin lähinnä tuulivoimayhtiöiden välisessä byrokratiassa. (Guerrero-Mestre et al., 2016)

Yhteenvetona tuulivoimayhtiöt voivat toimia sähkömarkkinoilla yhteistoiminnassa eri tasoilla, millä pyritään vähentämään tuulivoiman myynnin volyymiriskejä sekä taloudellisia riskejä. Volyymiriskien hallinta perustuu yhteistoiminnassa toimivien tuulivoimayhtiöiden kykyyn tasapainottaa tuotantonsa keskenään. Taloudellisten riskien hallinta perustuu mahdollisten tasapainotuskustannusten aiheuttaman tuulivoiman myynnin taloudellisen tappion vähentämiseen, kun yhteistoiminnassa toimivat tuulivoimayhtiöt voivat jakaa ne keskenään. Erityisesti JO-mallissa, jossa tuulivoimayhtiöiden yhteistoiminta muistuttaa käytännössä yhden sähköyhtiön toimintaa, on kannattavaa käyttää ulkoista toimijaa optimaalisen tarjoustason muodostamisessa. (Guerrero-Mestre et al., 2016)

5.5 Päivänsisäisten markkinoiden hyödyntäminen

Päivänsisäisten markkinoiden tarkoitus on tarjota mahdollisuus tuotannon ja myynnin tasapainottamiseen päivänsisäisellä sähkökaupankäynnillä. Päivänsisäisiltä markkinoilta onkin mahdollista ostaa ja myydä sähköntuotantoa vuorokauden jokaiselle tunnille tuntia ennen kulutusta. Tällä tavoin sähköyhtiö voi pienentää avointa positiotaan, vähentäen siten volyymiriskiä. (Skajaa et al., 2015) Näin ollen, päivänsisäisille markkinoille

osallistumisen voidaan nähdä muistuttavan erityisesti tuotannon tasapainottamisen näkökulmasta alaluvussa 5.4 käsiteltyä tuulivoimayhtiöiden yhteistoimintaa ja sen tavoitteita.

Osallistuminen päivänsisäisille markkinoille tulee keskimäärin sitä kannattavammaksi, mitä suurempi installoidun tuulivoiman kapasiteetti tuulivoimayhtiöllä on. Syy tähän on siinä, että suuremmalla kapasiteetilla riski suuremmasta avoimesta positiosta kasvaa, mikä kasvattaa tasapainotuskustannusten aiheuttamaa taloudellista riskiä. (Skajaa et al., 2015) Toisaalta myös suuremmalla installoidun tuulivoiman kapasiteetilla myös sopimuspohjaisten riskienhallintakeinojen kustannukset kasvavat, minkä vuoksi päivänsisäisille markkinoille osallistuminen nähdään edullisempana ja kannattavampana vaihtoehtona (Yang et al., 2016). Sopimuspohjaisia riskienhallintamenetelmiä käsitellään enemmän tulevissa alaluvuissa.

Artikkelissa Skajaa et al. (2015) todetaan, että riskienhallinnallisen merkityksen lisäksi tuulivoimayhtiöiden osallistuminen päivänsisäisille markkinoille voi tuoda huomattavia lisätuottoja yhtiölle. Lisätulot syntyvät yhtiön avoimen position pienentämisestä päivänsisäisellä sähkökaupankäynnillä, millä voidaan pienentää tuulivoimayhtiön avointa positiota. Toisaalta artikkelissa Skajaa et al. (2015) korostuu myös markkinahintojen, erityisesti päivänsisäisten sähkömarkkinoiden, hintaennusteiden tärkeys, jotta markkinoille osallistumisen kannattavuudesta voidaan varmistua. Kuten alaluvussa 5.1 myös mainitaan, suositellaan hintaennusteiden muodostamisessa stokastisia malleja, kuten SARIMA-malleja (Hosseini-Firouz, 2013).

Yhteenvetona tuulivoimayhtiöt voivat pienentää avointa positiotaan, ja siten vähentää volyymiriskiään, osallistumalla päivänsisäisille markkinoille (Skajaa et al., 2015). Päivänsisäisille markkinoille osallistuminen voikin tuoda merkittäviä lisätuloja tuulivoimayhtiölle, ja osallistuminen on keskimäärin kannattavampaa, mitä suurempi tuulivoimayhtiön installoidun tuulivoiman kapasiteetti on (Yang et al., 2016). Päivänsisäisille markkinoille osallistumisessa on kannattavaa hyödyntää stokastisia malleja, joilla voidaan ennustaa päivänsisäisten markkinoiden hintatasoja (Hosseini-Firouz, 2013).

5.6 Optiopohjaisten johdannaisten käyttö

Optiopohjaisia johdannaissopimuksia, kuten osto- ja myyntioptioita voidaan hyödyntää osana tuulivoiman myynnin riskienhallintaa, erityisesti taloudellisten riskien hallinnassa (Ghaffari & Venkatesh, 2013; Shamsi & Cuffe, 2021). Oikein käytettynä optiopohjaisilla johdannaisilla voidaan tehokkaasti hallita ja suojautua riskeiltä (Shin & Baldick, 2018). Optiopohjaisten johdannaissopimusten käyttö tuulivoiman myynnin riskienhallinnassa

perustuu sopimuksessa määriteltyyn oikeuteen ostaa tai myydä sähköä sopimuksessa määritellyllä ajanhetkellä ja hinnalla (Deng & Oren, 2006). Artikkelissaan Deng ja Oren (2006) väittävätkin optioiden olevan tehokkain olemassa oleva sähköyhtiöiden suojautumiskeino taloudellisia riskejä vastaan.

Suurin osa optiotransaktioista suoritetaan OTC-markkinoilla. Optiot tarjoavat ostajalleen tiettynä ajan hetkenä oikeuden, mutta ei velvollisuutta ostaa tai myydä sähköä ennalta sovitun määrän ennalta sovittuun hintaan. Näin ollen, optioilla voidaan myös vastata volyymiriskiin. (Deng & Oren, 2006; Ghaffari & Venkatesh, 2013; Shamsi & Cuffe, 2021) Osto-optiot sopivatkin hyvin alaluvussa 5.3 käsiteltyyn strategiseen tuotantoreservien hankintaan (Du et al., 2017).

Optiopohjaisten johdannaisten hinta perustuu simuloimalla laskettuun sähkön hintaan sekä sopimuksen preemioon, joka on sopimuksen tekemisestä sen myöntäjälle maksettu korvaus. Simuloitu sähkön hinta lasketaan yleensä hyödyntäen Monte-Carlo-simulaatiota. (Bems & Aydin, 2022)

Osto- ja myyntioptioita käytetään eri tavoin riskienhallinnassa. Osto-optioita hyödynnetään tuulivoimayhtiön tapauksessa pääasiassa tuotantovajeen tasapainottamiseen. Lisäksi osto-optiosta voidaan hyötyä taloudellisesti, mikäli osto-optiolla ostetun sähkön ennalta sovittu hinta ja siitä maksetun preemion summa on pienempi kuin esimerkiksi markkinoille myydyn sähkön hinta. Myyntioptioita taas hyödynnetään ensisijaisesti ylituotannossa. Kuitenkin myös myyntioptiosta voidaan hyötyä taloudellisesti, mikäli sähkön markkinahinta putoaa sopimuksessa ennalta määrätyn hintatason alapuolelle. (Deng & Oren, 2006; Ghaffari & Venkatesh, 2013)

Optioiden käytöllä riskienhallinnassa on myös negatiivisia puolia, kuten maksetuista preemioista aihetuvat liiketoiminnan lisäkustannukset (Babaei et al., 2019). Lisäksi sopimusluonteensa vuoksi optioilla voi hallita riskejä ainoastaan sopimuksessa määritellyllä aikavälillä, joka on sähkön hinnan volatiilisuuden vuoksi usein varsin lyhyt. Tämä pakottaakin sähköyhtiön ostamaan säännöllisesti useita uusia optioita, lisäten preemioiden aiheuttamia kustannuksia entisestään. (Morales et al., 2010)

Yhteenvetona tuulivoimayhtiö voi käyttää optiopohjaisia johdannaisia myynnin riskienhallinnassa suojautuessaan taloudellisilta riskeiltä ja volyymiriskeiltä. Optiopohjaisten johdannaisten käyttö riskienhallinnassa perustuu option ostajan oikeuteen ostaa tai myydä sähkö sopimuksessa määritellyllä ajanhetkellä ja hinnalla. (Ghaffari & Venkatesh, 2013) Vaikka optiot mielletään merkittävimmäksi taloudellisten riskien hallintakeinoksi (Deng & Oren, 2006), on niiden käytön negatiivisena puolena optioista maksetut preemiot, jotka aiheuttavat lisäkustannuksia tuulivoimayhtiölle (Babaei et al., 2019).

5.7 Vakuutukset

Vakuutus on riskienhallinnallinen työkalu, jota voidaan hyödyntää suojautuessa satunnaiselta ja epävarmalta tappiolta. Vakuutusten käyttö tuulivoiman myynnin riskienhallinnassa perustuu tuotannon tasapainotuskustannusten aiheuttaman tulonmenetysten korvaamiseen, jolloin vakuutuksen riskienhallinnallinen toiminta perustuu taloudellisen riskin hallintaan. Vakuutuksissa tulee määritellä haluttu tulonmenetyksen suojaustaso, mikä suojaa taloudellisilta tappioilta ja siten vähentää taloudellista riskiä. (Yang et al., 2016)

Vakuutusten preemio perustuu tuulivoiman tapauksessa lähtökohtaisesti tilastollisiin tuotannon ennustevirheisiin, virheiden todennäköisyyksiin ja niiden aiheuttamiin kustannuksiin. (Yang et al., 2016) Aivan kuten optiopohjaisissa johdannaisissa, toimii vakuutuksista maksettu preemio vakuutuksilla toteutetun riskienhallinnan kustannuksena.

Vakuutusten hyödyntäminen tuulivoiman myynnin riskienhallinnassa tulee kannattavaksi, mikäli avoimen position aiheuttama rahassa mitattu taloudellinen riski on suurempi kuin siltä suojaavan vakuutuksen hinta. Tästä syystä vakuutuksilla ei ole kannattavaa suojautua pieniä ennustevirheitä vastaan, sillä vakuutuksen hinta voi olla tuotannon tasapainotuskustannuksia suurempi. (Yang et al., 2016) Ilmiö on siis vastaavanlainen kuin optioiden käytössä osana suojautumista.

5.8 Sääjohdannaiset

Sääjohdannaiset ovat kahden toimijan välillä tehtyjä sopimuksia, joiden tarkoitus on toimia riskienhallinnallisena työkaluna osana organisaatioiden suojautumisstrategiaa muuttuvia sääolosuhteita ja niiden aiheuttamia taloudellisia riskejä vastaan (Bems & Aydin, 2022). Sääjohdannaiset jakautuvat säätyypeittäin esimerkiksi sade-, lämpötila- ja tuulijohdannaisiin. Kuten muitakin johdannaissopimuksia, myös sääjohdannaisilla voi käydä kauppaa finanssi- ja OTC-markkinoilla. (Alexandridis & Zapranis, 2013; Shamsi & Cuffe, 2021) Artikkelissaan Masala et al. (2022) todetaankin sääjohdannaisten suosion kasvaneen riskienhallinnallisena työkaluna energiasektorilla erityisesti viimeisen kahden vuosikymmenen aikana. Tuulivoiman tapauksessa olennaisin tarkasteltava sääjohdannaistyyppi on tuulijohdannaiset.

Tuulivoiman myynnin tapauksessa tuulijohdannaiset ovat selvästi yhteydessä volyymiriskin kanssa. Tämä johtuu siitä, että vallitsevien tuuliolosuhteiden muutokset vaikuttavat volyymiriskin realisoitumiseen, minkä lisäksi tuuliolosuhteiden muutoksia tarkastellaan myös tuulijohdannaisissa. Tuulijohdannaiset eivät kuitenkaan hallitse volyymiriskiä, vaan

ennemminkin volyymiriskistä seuraavaa taloudellista riskiä. (Masala et al., 2022) Tämä johtuu tuulijohdannaisten korvausmekanismeista, jotka avataan alla.

Yleisesti sääjohdannaiset noudattavat pääosin samankaltaisia toimintaperiaatteita kuin optiopohjaiset johdannaiset. Sääjohdannaiset hinnoitellaan hyödyntäen Monte-Carlo-simulaatioita sekä niihin lisätään sopimuksesta maksettava preemio (Bems & Aydin, 2022). Sääjohdannaisen ostanut yritys hyötyy sopimuksesta taloudellisesti, mikäli sopimuksessa määritelty vallitseva olosuhde, kuten tuulisuus tai lämpötila, poikkeaa riittävästi sopimuksessa asetetuista tasosta. Tällöin sääjohdannaisen myynyt yritys maksaa johdannaisen ostajalle sopimuksessa määrätyn korvauksen, jota kutsutaan kohde-etuudeksi. Eräs olennainen ero sää- ja optiopohjaisten johdannaisten välillä onkin sopimuksessa tarkasteltava indeksi, joka sääjohdannaisten tapauksessa on vallitseva sääolosuhde, kun taas optiopohjaisissa sopimuksissa sähkön hinta. (Bems & Aydin, 2022; Masala et al., 2022)

Sääjohdannaisten voidaan nähdä muistuttavan sääliitännäisiä vakuutuksia. Olennaisena erona on kuitenkin se, että vakuutuksessa määrättävä korvaus maksetaan suhteessa vakuutetun asian arvoon, kun taas sääjohdannaisissa korvaus perustuu ainoastaan sopimuksessa määritettyyn arvoon. (Bems & Aydin, 2022)

Yhteenvetona sääjohdannaisia, kuten tuulivoima tapauksessa erityisesti tuulijohdannaisia, voidaan käyttää tuulivoiman myynnin taloudellisten riskien hallinnassa. Sääjohdannaiset ovat sopimuksia, joiden myöntänyt osapuoli on velvollinen maksamaan ostajalle sopimuksen mukaisia korvauksia, mikäli tarkasteltava olosuhde, kuten sade- lämpötila- tai tuuliolosuhde, poikkeaa riittävästi sopimuksessa määritellyistä rajoista. Sääjohdannaisia käytetään siis riskienhallinnassa suojautumaan poikkeavien sääolosuhteiden aiheuttamilta kustannuksilta. (Alexandridis & Zapranis, 2013; Bems & Aydin, 2022; Masala et al., 2022)

6. PÄÄTELMÄT

Tämän päätelmäosion tarkoitus on koota yhteen ja tarkastellaan työn tulososiossa havainnollistetut löydökset. Löydökset esitetään muodossa, joilla vastataan työlle asetettuihin tutkimuskysymyksiin. Lisäksi löydöksiä ja niiden vastauksia tutkimuskysymyksiin tarkastellaan ja arvioidaan kriittisesti. Lopuksi esitetään työlle mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

6.1 Työn tavoitteisiin vastaavat tulokset

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli perehtyä sähkömarkkinoiden riskeihin ja riskienhallintaan erityisesti tuulivoimayhtiön näkökulmasta. Työlle oli asetettu kaksi tutkimuskysymystä, jotka kuuluvat seuraavasti: *Mitkä ovat tuulivoiman myynnin riskit sähköyhtiön näkökulmasta*, sekä *miten sähköyhtiöt voivat hallita tuulivoiman myynnin riskejä*? Työ rajattiin tarkastelemaan avoimia sähkömarkkinoita sekä tuulivoiman myynnin riskejä, joilla on taloudellisia vaikutuksia tuulivoimayhtiölle. Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena, jolloin löydetyt vastaukset tutkimuskysymyksiin ovat peräisin tieteellisistä artikkeleista koostuvasta tutkimusaineistosta. Tämä tutkimusaineisto koostui yhteensä 18 tieteellisestä artikkelista, jotka käsittelivät tuulivoiman myynnin riskienhallintaa sähköyhtiön näkökulmasta.

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastataan luvussa 4, jossa esitellään tuulivoiman myynnin erityispiirteitä sekä niiden aiheuttamia riskejä. Löydetyt riskit jakautuvat volyymiriskeihin sekä taloudellisiin riskeihin. Nämä riskit päädyttiin nostamaan työn tuloksiin, sillä kirjallisuus tarkasteli kategorisesti joko molempia tai toista näistä riskeistä. Alla oleva taulukko 4 tiivistää tuulivoiman myynnistä löydetyt riskit ja niiden kuvaukset.

Taulukko 4. *Kirjallisuudesta tunnistetut tuulivoiman myynnin riskit.*

Riski	Kuvaus	Kirjallisuuslähteet

Volyymiriski	Riski tuulivoiman tuotannon ja myynnin hetkellisestä poikkeamasta, josta voi seurata sähkömarkkinoiden tasapainotuskustannuksia. Tuulivoimayhtiön tapauksessa riskin merkittävä aiheuttaja on tuulivoimatuotannon ennustepainotteisuus ja riippuvuus hallitsemattomasta muuttujasta eli vallitsevista tuuliolosuhteista.	Morales et al., 2010; Ghaffari & Venkatesh, 2013; Hosseini-Firouz, 2013; Skajaa et al., 2015; Guerrero-Mestre et al., 2016; Yang et al., 2016; Du et al., 2017; Shin & Baldick, 2018; Babaei et al., 2019; AlAshery & Qiao, 2020; Ghavidel et al., 2020; Shamsi & Cuffe, 2021; Bems & Aydin, 2022
Taloudellinen riski	Riski tuulivoiman myynnin taloudellisista tappioista, jotka aiheutuvat tasapainotuskustannusten aiheuttamista tuulivoiman myynnin myyntitappioista.	Morales et al., 2010; Ghaffari & Venkatesh, 2013; Alexandridis & Zapranis, 2013; Hosseini-Firouz, 2013; Skajaa et al., 2015; Guerrero-Mestre et al., 2016; Yang et al., 2016; AlAshery & Qiao, 2020; Shamsi & Cuffe, 2021; Bems & Aydin, 2022; Masala et al., 2022

Volyymiriskin ja taloudellisten riskien merkittävyyttä tuulivoiman myynnin riskeinä korostaa aiheesta tehdyn tieteellisen tutkimuksen ja edelleen siitä tehdyn kirjallisen aineiston määrä. Määrän ohella kirjallisuudessa molempia riskejä lähestytään useilla eri tavoilla, mikä ilmenee erityisesti riskienhallintakeinojen määrän ja keinojen vaihtelevuuden myötä.

Toiseen tutkimuskysymykseen vastataan luvussa 5, jossa esitellään alaluvuittain tuulivoiman myynnin riskienhallintakeinoja. Valtaosa näistä riskienhallintakeinoista vastaa selvästi joko volyymiriskeihin tai taloudellisiin riskeihin, mutta osa keinoista kykenee hallitsemaan molempia tunnistettuja riskejä. Alla oleva taulukko 5 tiivistää työn tulososiossa nostetut kirjallisuuden esittämät tuulivoiman myynnin riskienhallintakeinot.

Taulukko 5. *Kirjallisuudessa esitellyt tuulivoiman myynnin riskienhallintakeinot*.

Riskienhallintakeinot	Hallitut riskit	Kuvaus	Kirjallisuuslähteet
Stokastiset mallit	Taloudelliset riskit	Matemaattiset mallit ja työkalut markkinahintojen tarkempaan ennustamiseen	Morales et al., 2010; Hosseini-Firouz, 2013; AlAshery & Qiao, 2020
Yhteistoiminta energiavarastojen kanssa	Volyymiriskit	Tuotannon ja myynnin tasapainottaminen energiavarastojen avulla	Shin & Baldick, 2018; Ghavidel et al., 2020

Strateginen tuotantoreservien hankinta ulkoisilta toimijoilta	Volyymiriskit	Tuotantoreservien hankinta, jolla voidaan tarvittaessa kattaa puuttuva tuotanto	Du et al., 2017; Babaei et al., 2019
Tuulivoimayhtiöiden yhteistoiminta	Volyymiriskit ja taloudelliset riskit	Tuotannon ja myynnin tasapainottaminen sekä mahdollisten tasapainotuskustannusten jakaminen muiden tuulivoimayhtiöiden kesken	Guerrero-Mestre et al., 2016
Päivänsisäisten sähkömarkkinoiden hyödyntäminen	Volyymiriskit ja taloudelliset riskit	Tuotannon ja myynnin tasapainottaminen päivänsisäisillä sähkömarkkinoilla	Skajaa et al., 2015; Yang et al., 2016
Optiopohjaisten johdannaisten käyttö	Volyymiriskit ja taloudelliset riskit	Tuotannon ja myynnin tasapainottaminen optioilla, taloudelliseen riskiin liittyvän markkinahintariskin hallinta	Deng & Oren, 2006; Ghaffari & Venkatesh, 2013; Shamsi & Cuffe, 2021; Bems & Aydin, 2022
Vakuutukset	Taloudelliset riskit	Myyntitappion kattaminen vakuutustuotteella	Yang et al., 2016
Sääjohdannaiset	Taloudelliset riskit	Epäsuotuisien sääolosuhteiden aiheuttamien myyntitappioiden kattaminen sääjohdannaisen kohde-etuudella	Alexandridis & Zapranis, 2013; Shamsi & Cuffe, 2021; Bems & Aydin, 2022; Masala et al., 2022

Taulukossa 5 esitetyt tutkimustulokset tuulivoiman myynnin riskienhallintakeinoista osoittavat, että tuulivoiman myynnin riskejä voidaan hallita lukuisilla eri keinoilla. Lisäksi on todettua, että monet esitellyistä riskienhallintakeinoista soveltuvat rinnakkaiseen ja toisiaan tukevaan käyttöön. Tästä esimerkkeinä toimivat stokastisten mallien käyttö yhdessä päivänsisäisille markkinoille osallistumisen kanssa (Hosseini-Firouz, 2013) sekä optiopohjaisten johdannaisten, erityisesti osto-optioiden, käyttö strategisessa tuotantoreservien hankinnassa (Du et al., 2017; Babaei et al., 2019).

Eräs keskeinen havainto tuulivoiman myynnin riskienhallintakeinoissa on useiden keinojen riippuvuus ulkoisista toimijoista. Riippuvuus ulkoisista toimijoista pätee sekä volyymiriskienhallintaan, joissa tuotantoa tasapainotetaan muiden sähköyhtiöiden avulla, että taloudellisten riskien hallintaan, joissa myynnin taloudelliselta tappiolta suojaudutaan ulkoisten toimijoiden myöntämillä suojaustuotteilla, kuten johdannaissopimuksilla tai vakuutuksilla. Toisaalta aivan kaikki löydetyt riskienhallintakeinot eivät ole riippuvaisia ul-

koisista toimijoista. Tästä esimerkkinä toimii stokastisten mallien käyttö sähkön markkinahintojen ennustamisessa, mitä tuulivoimayhtiö voi käyttää riskienhallinnassa täysin itsenäisesti.

6.2 Tulosten kriittinen tarkastelu ja jatkotutkimusaiheet

Työn varsinaiset tulokset koostuvat löydetyistä tuulivoiman myynnin riskeistä ja riskienhallintamenetelmistä. Varsinaisten tulosten lisäksi niiden pohjalta tehtiin tuloksia läpileikkaavia havaintoja, jotka syventyvät kokonaisvaltaisemmin työn ilmiön tarkasteluun. Näitä havaintoja ovat esimerkiksi useiden riskienhallintakeinojen kyky tukea toisiaan rinnakkaisessa käytössä ja monien keinojen riippuvuus tuulivoimayhtiön ulkoisista toimijoista.

Työn tulokset vastaavat onnistuneesti tälle kandidaatintyölle asetettuihin tavoitteisiin ja tutkimuskysymyksiin. Onnistuneisuutta osoittaa löydettyjen tuulivoiman myynnin riskien merkittävyys sekä riskienhallintakeinojen monipuolisuus ja vastaavuus tunnistettuihin riskeihin. Riskien merkittävyys selittyy tutkimusaineistoa läpileikkaava konsensus riskien olemassaolosta ja merkityksellisyydestä tuulivoiman myynnin riskienhallinnassa. Tulososiossa esitellään riskienhallintakeinoja monipuolisesti ja kandidaatintyölle soveltuvalla syventymisellä.

Tämä kandidaatintyö suoritettiin kirjallisuuskatsauksena, jolloin merkittävässä roolissa tulosten kriittisessä tarkastelussa on varsinaisen tutkimusaineiston tarkastelu. Työn tutkimusaineisto koostuu 18 tieteellisestä artikkelista, joista valtaosa on julkaistu teknologiakeskeisissä journaaleissa. Journaaleiden luotettavuutta arvioitiin Julkaisufoorumin JUFO-luokituksilla, ja valtaosa (14/18) täytti vähintään JUFO-luokituksen 2, joka tarkoittaa johtavaa tasoa. Näin ollen, JUFO-luokitusten pohjalta aineiston voidaan todeta olevan laadukasta ja kandidaatintyölle soveltuvaa.

JUFO-luokitusten ohella on kriittistä tarkastella myös tutkimusaineiston sisältöä. Nykyisellään tutkimusaineisto koostuu varsin teknisestä lähdeaineistosta, minkä vuoksi myös työn tulokset ovat varsin vahvasti teknispainotteisia. Tämä välittyy läpi tulosten, niin riskienhallintamenetelmissä kuin tunnistetuissa riskeissä. Toisaalta tekninen aineisto ottaa halutulla tavalla kantaa tuulivoiman myynnin taloudellisiin riskeihin, sillä tekniset ratkaisut tavoittelevat juuri taloudellisia hyötyjä tuulivoiman myynnissä. Tästä syystä tekninen aineisto tukee onnistuneesti työlle asetettuja tavoitteita.

Tutkimusaineiston teknisyyden vuoksi jatkotutkimusta on suotavaa suorittaa erityyppisestä kirjallisuudesta. Teknisen kirjallisuuden tueksi voisi tuoda esimerkiksi ilmiön lainsäädännöllistä näkökulmaa tai markkina-analytiikkaa tarkastelevaa kirjallisuutta. Tuuli-

voimayhtiöiden toimiessa sähkömarkkinoilla, joilla vallitsee vahva regulaatio, voisi lainsäädännöllisen näkökulman huomioiminen syventää riskien ja riskienhallinnan tarkastelua. Riskienhallinnan näkökulmasta erityisesti sopimuspohjaisten keinojen tarkastelussa lainsäädännöllinen näkökulma voi olla arvokasta. Toteamusta tukevat myös Deng ja Oren (2006) artikkelissaan, jossa todetaan regulaatioympäristön vaikuttavan olennaisesti sähköyhtiön tarvittaviin suojaus- ja riskienhallintamenetelmiin. Kuitenkin kandidaatintyölle asetettujen laajuudellisten rajoitteiden vuoksi ei nykyistä kattavampi käsittely ole käytännössä järkevää tai mahdollista ilman, ettei käsittelyn syvällisyys heikkenisi tai laajuusrajoitteista joustettaisi.

Yhteenvetona kokonaisuutta tarkastellen voidaan päätellä, että tämä kandidaatintyö vastaa sille asetettuihin tavoitteisiin ja tutkimuskysymyksiin onnistuneesti. Tästä osoituksena on löydösten monipuolisuus sekä niistä tehdyt syvälliset ja kokonaisvaltaiset havainnot. Työssä käytetty tutkimusaineisto on osoittautunut laadullisesti kandidaatintyölle soveltuvaksi sekä palvelee onnistuneesti tälle työlle asetettuja tavoitteita ja tarkoitusta. Tutkimusaineiston keskimäärin korkea JUFO-luokitus toimii osoituksena tutkimusaineiston laadusta. Työssä käytetty tutkimusaineisto koostuu valtaosin teknologiakeskeisistä tieteellisistä artikkeleista, minkä vuoksi mahdollisessa jatkotutkimuksessa voisi olla suotavaa syventyä erityyppiseen kirjallisuuteen. Esimerkiksi lainsäädäntöympäristöjä tarkasteleva kirjallisuus voisi tuoda arvokasta näkökulmaa tuulivoiman myynnin riskienhallintaan, tuulivoimayhtiöiden toimiessa vahvasti säädellyillä sähkömarkkinoilla.

LÄHTEET

AlAshery, M. & Qiao, W. (2020). Second-Order Stochastic Dominance Constraints for Risk Management of a Wind Power Producer's Optimal Bidding Strategy. IEEE Transactions on Sustainable Energy, Vol. 11, e3

Alexandridis, A. & Zapranis, A. (2013). Wind Derivatives: Modeling and Pricing. Computational economics, Vol. 41, e3, pp. 299–326

Aven, T. (2010). On how to define, understand and describe risk. Reliability Engineering and System Safety, Vol. 95

Aven, T. (2011). On the ontological status of the concept of risk. Safety Science, Vol. 49, pp. 1074-1079

Babaei, S., Zhao, C., Fan, L. & Liu, T. (2019). Incentive-Based Coordination Mechanism for Renewable and Conventional Energy Suppliers. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 34, e3

Banaei, M., Rafouf-Sheybani, H., Oloomi-Buygi M. & Boudjadar, J. (2021). Impacts of large-scale penetration of wind power on day-ahead electricity markets and forward contracts. Electrical Power and Energy Systems, Vol. 125

Baringo, L. & Conejo, A. (2016). Offering Strategy of Wind-Power Producer: A Multi-Stage Risk-Constrained Approach. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 31, e2

Bems, J. & Aydin, C. (2022). Introduction to weather derivatives. Energy and environment, Vol. 11, e3

Breeze, P. (2016). Wind power generation. Elsevier Science & Technology.

Catalao, J., Pousinho, M. & Mendes, V. (2012). Optimal Offering Strategies for Wind Power Producers Considering Uncertainty and Risk. IEEE Systems Journal, Vol. 6, e2

Deng, S. & Oren, S. (2006). Electricity derivatives and risk management. Energy, Vol. 31

Du, E., Zhang, N., Kang, C., Kroposki, B., Huang, H., Miao, M. & Xia, Q. (2017). Managing Wind Power Uncertainty Through Strategic Reserve Purchasing. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 32, e4

Fingrid. (2024). Suomen sähköjärjestelmä. Fingrid.fi verkkosivut. Saatavissa (viitattu 1.12.2024): https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittaminen/suomen-sahkojarjestelma/

Ghaffari, R. & Venkatesh, B. (2013). Options Based Reserve Procurement Strategy for Wind Generators—Using Binomial Trees. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 28, e2

Ghavidel, S., Ghadi, M., Azizivahed, A., Aghaei, J., Li, L. & Zhang, J. (2020). Risk-Constrained Bidding Strategy for a Joint Operation of Wind Power and CAES Aggregators. IEEE Transactions on Sustainable Energy, Vol. 11, e1

Guerrero-Mestre, V., Sanchez de la Nieta, A., Contreras, J. & Catalao J. (2016). Optimal Bidding of a Group of Wind Farms in Day-Ahead Markets Through an External Agent. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 31, e4

Hosseini-Firouz, M. (2013). Optimal offering strategy considering the risk management for wind power producers in electricity market. Electrical Power and Energy Systems, Vol. 49

Li, X. & Jiang, C. (2011). Short-Term Operation Model and Risk Management for Wind Power Penetrated System in Electricity Market. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 26, e2

Liu, Z., Zeng, X. & Meng, F. (2018) An Integration Mechanism between Demand and Supply Side Management of Electricity Markets. Energies, Vol. 11

Mahmoudi, N., Saha, T. & Eghbal, M. (2015). Wind power offering strategy in day-ahead markets: Employing demand response in a two-stage plan. IEEE Transactions on Power Systems. Vol. 30, e4

Masala, G., Micocci, M. & Rizk, A. (2022). Hedging Wind Power Risk Exposure through Weather Derivatives. Energies, Vol. 15 e4

Morales, J., Conejo, A. & Perez-Ruiz, J. (2010). Short-Term Trading for a Wind Power Producer. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 25, e1

Nord Pool. (2024). Day-ahead aggregated Bidding Curves. Nordpoolgroup.com. Available (cited 11.11.2024): https://data.nordpoolgroup.com/auction/day-ahead/aggregated-bid-curves?deliveryDate=latest&bidCurveArea=

Pecina, E., Sprcic, D. & Lackovic, I. (2022). Qualitative Analysis of Enterprise Risk Management Systems in the Largest European Electric Power Companies. Energies, Vol. 15

Rosa, E. (1998). Metatheoretical foundations for post-normal risk. Journal of Risk Research, Vol. 1, pp. 15–44

Shamsi, M. & Cuffe, P. (2021). A Prediction Market Trading Strategy to Hedge Financial Risks of Wind Power Producers in Electricity Markets. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 36, e5

Shin, H. & Baldick, R. (2018). Mitigating market risk for wind power providers via financial risk exchange. Energy Economics, Vol. 71

Simkins, B. & Simkins, R. (2013). Energy finance: analysis and valuation, risk management, and the future of energy. Energy Finace and Economics, Vol. 1

Skajaa, A., Edlund, K. & Morales, J. (2015). Intraday Trading of Wind Energy. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 30, e6

Yang, H., Qiu, J., Meng, K., Zhao, J., Dong, Z. & Lai, M. (2016). Insurance strategy for mitigating power system operational risk introduced by wind power forecasting uncertainty. Renewable Energy, Vol. 89, pp. 606–615

LIITE A: TULOSOSIOON VALITTU TUTKIMUSAINEISTO JA NIIDEN YDINANTI TYÖLLE

Kirjoittajat	Julkaisu-vuosi	Ydinsisältö työn kannalta	Julkaisu-alusta	JUFO-luoki-tus
AlAshery & Qiao	2020	*Stokastisten mallien käyttö hintaennusteissa ja taloudellisten riskien hallinnassa*	IEEE Transactions on Sustainable Energy	2
Alexandridis & Zapranis	2013	*Sääjohdannaisten riskienhallinnallinen käyttö ja toimintaperiaatteet*	Computational economics	1
Babaei et al.	2019	*Tuulivoiman myyntiin liittyvät epävarmuudet ja riskit. Tuotantoreservien käyttö riskienhallinnassa*	IEEE Transactions on Power Systems	2
Baringo & Conejo	2016	*Tuulivoiman myynnin riskienhallinnan tavoitteet*	IEEE Transactions on Power Systems	2
Bems & Aydin	2016	*Sääjohdannaisten riskienhallinnallinen käyttö ja toimintaperiaatteet*	Energy and environment	1
Catalao et al.	2012	*Tuulivoiman myynnin taloudelliset riskit, stokastisten mallien käyttö taloudellisten riskien hallinnassa*	IEEE Systems Journal	2
Deng & Oren	2006	*OTC-markkinoiden perusperiaatteet, optiopohjaisten johdannaisten käyttö riskienhallinnassa*	Energy	3
Du et al.	2017	*Strateginen tuotantoreservien hankinta ja riskienhallinnallinen käyttö*	IEEE Transactions on Power Systems	2
Ghaffari & Venkatesh	2013	*Tuulivoiman myynnin volyymiriskit, optiopohjaisten johdannaisten käyttö riskienhallinnassa*	IEEE Transactions on Power Systems	2
Ghavidel et al.	2020	*Yhteistoiminta energiavarastojen kanssa ja niiden käyttö riskienhallinnassa*	IEEE Transactions on Sustainable Energy	2

Guerrero-Mestre et al.	2016	*Sähkömarkkinoiden tasapainotuskustannukset, tuulivoimayhtiöiden yhteistoiminta*	IEEE Transactions on Power Systems	2
Hosseini-Firouz	2013	*Tuulivoiman myynnin erityispiirteet ja riskit, stokastisten mallien käyttö riskienhallinnassa*	Electrical Power and Energy Systems	2
Masala et al.	2022	*Stokastiset mallit riskienhallinnassa, volyymiriskit ja taloudelliset riskit tuulivoiman myynnissä*	Energies	1
Morales et al.	2010	*Optioiden ja stokastisten mallien käyttö riskienhallinnassa, taloudelliset riskit*	IEEE Transactions on Power Systems	2
Shamsi & Cuffe	2021	*Optioiden käyttö riskienhallinnassa, taloudelliset riskit*	IEEE Transactions on Power Systems	2
Shin & Baldick	2018	*Yhteistoiminta energiavarastojen kanssa ja niiden käyttö riskienhallinnassa*	Energy Economics	1
Skajaa et al.	2015	*Tuulivoiman myynnin erityispiirteet, päivänsisäisten markkinoiden hyödyntäminen riskienhallinnassa*	IEEE Transactions on Power Systems	2
Yang et al.	2016	*Päiväsisäisten markkinoiden ja vakuutusten käyttö tuulivoiman myynnin riskienhallinnassa, sähköyhtiöiden riskienhallinta yleisesti, sähkömarkkinoiden toimintaperiaatteet*	Renewable Energy	2