



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Ville Vuola

Tuulivoimainvestointien riskienhallinta

PESTEL-analyysi ja finanssimekanismit osana riskienhallintaa

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö
Kandidaatintutkielma, tuotantotalous
Tekniikan kandidaatti

Vaasa 2025

VAASAN YLIOPISTO**Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö**

| | | | |
|--------------------------|---|-------------------|-----------|
| Tekijä: | Ville Vuola | | |
| Tutkielman nimi: | Tuulivoimainvestointien riskienhallinta: PESTEL-analyysi ja finanssimekanismit osana riskienhallintaa | | |
| Tutkinto: | Tuotantotalouden kandidaatti | | |
| Oppiaine: | Tuotantotalous | | |
| Työn ohjaaja: | Tauno Kekäle | | |
| Valmistumisvuosi: | 2025 | Sivumäärä: | 46 |

TIIVISTELMÄ:

Tutkielmassa tarkastellaan tuulivoimainvestointeihin liittyviä riskejä ja niiden hallintaa. Tuulivoima on merkittävä uusiutuvan energian tuotantomuoto, jonka rooli kasvaa ilmastonmuutoksen torjunnassa ja energiaomavaraisuuden vahvistamisessa. Samalla investoinnit tuulivoimahankkeisiin kohtaava poliittisia, teknisiä ja taloudellisia riskejä, joiden ymmärtäminen ja hallinta on keskeistä hankkeiden onnistumisen kannalta.

Tutkielman alussa kuvataan tuulivoimahankkeen vaiheet suunnittelusta rakennus- ja käyttövaiheeseen, ja analysoidaan kuhunkin vaiheeseen liittyviä erityispiirteitä ja haasteita. Seuraavaksi käsitellään poliittisia, taloudellisia, sosiaalisia, teknologisia, ympäristöllisiä ja lainsäädännöllisiä riskejä PESTEL-analyysin avulla. Riskien tunnistaminen ja arviointi muodostavat pohjan tehokkaille hallintastrategioille. Riskienhallintakeinoina käsitellään muun muassa vakuutuksia, rahoitusmekanismeja, suojausinstrumentteja ja vastuullisen sijoittamisen periaatteita. Lisäksi tarkastellaan EU:n ja valtion tarjoamia tukimuotoja sekä ESG-vaatimusten ja kestävä kehityksen roolia sijoittajien päätöksenteossa. Erityisesti korostetaan ennakoivan kunnossapidon ja toimitusketjujen hallinnan merkitystä teknisten riskien vähentämisessä.

Tutkielman perusteella voidaan todeta, että onnistuneessa tuulivoimainvestoinnissa yhdistyvät huolellinen riskianalyysi, kattava rahoitussuunnittelu ja vastuullisuuskriteerien huomiointi. Vaikka tuulivoimahankkeet kohtaavat monenlaisia epävarmuuksia, oikeilla hallintakeinoilla ja tukimekanismeilla riskit voidaan pienentää hallittavalle tasolle, mikä edistää uusiutuvan energian kasvua ja vihreää siirtymää.

AVAINSANAT: Tuulivoima, Riskienhallinta, Poliitiikka, Investoinnit, Sähkömarkkinat

Sisällys

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Johdanto | 5 |
| 1.1 | Tutkimuksen tausta | 5 |
| 1.2 | Tutkimuskysymykset ja tavoitteet | 6 |
| 1.3 | Tutkimusmenetelmä ja rajaus | 7 |
| 2 | Tuulivoiman investointiprosessi | 9 |
| 3 | PESTEL-analyysi | 13 |
| 3.1 | Poliittiset riskit (Political) | 13 |
| 3.2 | Markkinariskit ja sähkön hinnan vaihtelut (Economical) | 15 |
| 3.3 | Sosiaaliset riskit (Social) | 18 |
| 3.4 | Tekniset riskit (Technological) | 19 |
| 4 | Riskienhallintastrategiat ja finanssimekanismit | 21 |
| 4.1 | Riskienhallinnan peruseriaatteen | 21 |
| 4.2 | Sähkömarkkinoiden suojausmekanismit | 24 |
| 4.2.1 | Termiinisopimukset | 25 |
| 4.2.2 | Futuurit vai termiinisopimukset | 26 |
| 4.2.3 | Power Purchase Agreement | 27 |
| 4.2.4 | Energian varastointi | 27 |
| 4.3 | Rahoituksen ja vakuutusten keinot | 31 |
| 4.3.1 | Vakuutukset ja takuut | 31 |
| 4.3.2 | Rahoitusmekanismit | 31 |
| 4.3.3 | Tukijärjestelmät | 32 |
| 4.4 | Vastuullisuus | 34 |
| 4.4.1 | ESG-riskienhallinta ja vastuullinen sijoittaminen | 34 |
| 4.4.2 | EU:n raaka-aine ja vastuullisuusstrategiat | 35 |
| 5 | Johtopäätökset ja yhteenveto | 37 |
| | Lähteet | 40 |

Kuvat

| | |
|---|----|
| Kuva 1 Tuulipuiston luvittaminen (Suomen tuulivoimayhdistys ry, 2019, s. 2). | 11 |
| Kuva 2 Tuulivoiman tuotanto vuorokaudenajoittain (v. 2014 - 2024), (Korpela, 2024). 25 | |
| Kuva 3 Suprajohtava magneettinen energianvarastointijärjestelmä (Khalid, 2023, s. 180) | 30 |

Kuviot

| | |
|---|----|
| Kuvio 1 Vuotuinen kysyntä valituille kriittisille mineraaleille, joita käytetään vähäpäästöisessä sähkön tuotannossa, varastoinnissa ja verkostoinnissa eri skenaarioiden mukaan vuosina 2021-2050 (Biroi, 2022, s. 320). | 15 |
|---|----|

Taulukot

| | |
|--|----|
| Taulukko 1 Riskimatriisi..... | 23 |
| Taulukko 2 Riskimatriisi tuulivoimainvestoinnissa..... | 24 |

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Ilmastonmuutoksen hillitseminen ja energian tarpeen kasvu ovat nostaneet uusiutuvan energian merkityksen aivan uudelle tasolle viimeisen vuosikymmenen aikana (Salo, 2019). Energian tarve kasvaa sekä ulkomailla että kotimaassamme Suomessa. Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin (IPCC) julkaisemassa ilmastonmuutosraportissa korostetaan kasvihuonekaasujen vähentämisen tärkeyttä (Calvin ym., 2023). Raportissa painotetaan myös ilmastotoimien kiireellisyyttä, jotta peruuttamattomilta vaikutuksilta voidaan välttyä. Uusiutuvien energianlähteiden merkitys ilmastonmuutoksen kannalta on keskeinen, sillä ne mahdollistavat päästöjen vähentämisen ja ilmastotoimien nopeuttamisen. Globaalilla tasolla ilmastonmuutosta on pyritty hillitsemään useilla kansainvälisillä ilmastosopimuksilla. Näistä merkittävimpiä on vuonna 2015 hyväksytty Pariisin ilmastosopimus (Ympäristöministeriö, nd.). Pariisin ilmastosopimuksen päätavoitteena on minimoida kasvihuonepäästöjen määrä. Euroopan unionilla on myös omat ilmastopolitiikkansa, joiden tarkoitus on vähentää kasvihuonepäästöjä. Vuonna 2019, tehtiin Euroopan vihreää sopimus (European Green Deal), jonka päätavoitteena on Euroopan ilmastoneutraalisuus vuoteen 2050 mennessä (Fetting, 2020).

Tuulivoiman käyttö uusiutuvana energianlähteen muotona on ollut jo pitkään kasvussa. Suomessa tuulivoiman suosio on tasaisessa kasvussa. Vuonna 2024 suomen tuulivoiman kokonaiskapasiteetti kasvoi noin 20 prosentilla (Suomen uusiutuvat ry, 2025). Kasvun odotetaan myös jatkuvan tulevina vuosina, mikä viittaa tuulivoiman investointien kannattavuuteen. Kustannusten lasku ja teknologian kehittyminen ovat osaltaan myös vauhdittaneet tuulivoiman suosion kasvua (Blaabjerg & Ma, 2017, s. 2016). Tuulivoimateknologia on kehittynyt huomattavasti tehden siitä aiempaa kustannustehokkaamman vaihtoehdon. Turbiinien energiatehokkuuden kasvu sekä investointikustannusten aleneminen ovat parantaneet tuulivoiman hinnallista

kilpailukykyä (Biol, 2022, s. 321). Samalla poliittiset ohjauskeinot, kuten fossiilisten polttoaineiden päästöoikeuksien hinnan nousu, ovat tuoneet vakautta tuulivoiman kysynnälle. Myös Suomen ilmastopoliittinen tavoite saavuttaa hiilineutraalisuus vuoteen 2035 mennessä edellyttää suuria investointeja tuulivoimaan (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022).

Uusiutuvan energian lisääntyminen tarjoaa kasvihuonekaasujen vähentämisen lisäksi etuja myös turvallisuuteen (Biol, 2022, s. 181). Tuulivoiman lisärakentaminen edistää omavaraisuutta energiatuotannossa sekä energiaturvallisuutta. Kotimainen uusiutuvan energian tuotanto pienentää riippuvuutta tuontienergiasta, vähentäen samalla fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Energiakriisien ja polttoaineiden hintojen vaihtelulta voidaan välttyä tuottamalla uusiutuvaa kotimaista energiaa. Vaikka tuulivoiman tuotantoon liittyy haasteita, kuten vaihtelevuus tuotannon määrissä, on riskien määrää mahdollista minimoida strategisilla ratkaisuilla, kuten akkuvarastoinnilla ja kysyntäjoustolla (Gatzert & Kosub, 2016, s. 990) ,(Bitaraf & Rahman, 2018, s. 228). Edellä mainitut ratkaisut parantavat tuulivoimaloiden toimintavarmuutta. Tuulivoiman investointien kasvaessa, riskienhallinta on noussut entistä tärkeämpään rooliin. Hankkeiden kannattavuutta arvioidessa, tulee ottaa huomioon etenkin poliittiset epävarmuustekijät, teknologiset riskit ja markkinahintojen vaihtelut. Seuraavissa luvuissa tarkastellaan tarkemmin, millaisia riskejä tuulivoimainvestointeihin liittyy ja millaisilla keinoilla, kuten erilaisilla finanssi-instrumenteilla ja vakuutuksilla, niitä voidaan välttää.

1.2 Tutkimuskysymykset ja tavoitteet

Tämän tutkielman päätavoitteena on selvittää, millaisia poliittisia ja teknisiä riskejä tuulivoiman investointeihin liittyy ja miten niitä voidaan hallita taloudellisten riskien näkökulmasta. Tuulivoimainvestointien kannattavuus on vahvasti sidoksissa poliittisiin ohjauskeinoihin, teknologian kehitykseen ja energian hinnanvaihteluihin, minkä vuoksi

on tärkeää ymmärtää, millä keinoilla riskejä voidaan hallita ja miten yrityksen voivat mukauttaa investointistrategioitaan niiden perusteella.

Tutkielmassa keskitytään kahteen keskeiseen kysymykseen. Ensimmäisenä tarkastellaan, miten energian hinnan vaihtelu, poliittiset päätökset ja teknologinen kehitys vaikuttavat yrityksen investointistrategiaan tuulivoimahankkeissa. Toiseksi perehdytään riskienhallintamalleihin, kuten vakuutuksiin, termiinisopimuksiin, futuureihin ja muihin finanssi-instrumentteihin, ja siihen kuinka ne voivat vähentää tuulivoimaprojekteihin liittyviä taloudellisia riskejä.

Nämä kysymykset ovat merkittäviä, sillä tuulivoiman investoinneissa yhdistyvät suuret pääomakustannukset, markkinahintojen vaihtelut sekä poliittiset epävarmuudet. Näiden riskien vuoksi tehokkaiden riskienhallintakeinojen tarve korostuu. Vastaamalla edellä mainittuihin kysymyksiin, voidaan hahmottaa kuinka yritykset voivat suojautua taloudellisilta tappioilta ja samalla tukea uusiutuvan energian kasvua. Näihin kysymyksiin pyritään vastaamaan kirjallisuuskatsauksen ja riskianalyysin avulla, hyödyntäen tieteellistä tutkimusta, viranomaisraportteja ja alan tilastoja. Seuraavassa luvussa tarkastellaan tarkemmin, millä menetelmillä näihin kysymyksiin pyritään vastaamaan ja miten tutkielma on rajattu Suomen ja Euroopan tuulivoimamarkkinoihin.

1.3 Tutkimusmenetelmä ja rajaus

Tässä tutkielmassa tarkastellaan etenkin maalla toimivien tuulivoiman investointeihin liittyviä poliittisia ja teknisiä riskejä sekä niiden hallintakeinoja kirjallisuuskatsauksen avulla. Tutkimuksen riskienhallintamallit pätevät pitkälti myös merellä toimiviin tuulivoimaloihin. Tutkimus perustuu ajankohtaiseen tieteelliseen kirjallisuuteen, viranomaisraportteihin ja energia-alan tilastoihin. Lisäksi tarkastellaan, miten taloudelliset riskienhallintakeinot, kuten vakuutukset ja finanssi-instrumentit, voivat vaikuttaa investointistrategioihin ja vähentää tuulivoimaprojekteihin liittyviä merkittäviä ylimääräisiä kustannuksia. Tutkimusmenetelmäksi valittiin kirjallisuuskatsaus, koska

tutkimus tarkastelee tuulivoimainvestointeja makrotasolla, yksittäisen yrityksen näkökulman sijasta. Tarkastellessa laajemmalla tasolla on tutkimuksessa mahdollista hyödyntää laajempaa tutkimuskantaa sekä niihin liittyviä ajankohtaisia virnaomaisaineistoja vertailun tukena. Tämä mahdollistaa kattavan näkemyksen tuulivoimainvestointien riskitekijöistä ja niiden hallintakeinoista.

Tutkielmassa hyödynnetään pääasiassa tieteellisiä artikkeleita, viranomaisraportteja (esim., Fingrid, Energiavirasto) sekä alan järjestöjen tuottamaa aineistoa (esim. Uusiutuvat ry, Tuulivoimayhdistys, WindEurope). Energiatalouteen liittyviä tilastoja ja markkina-analyysyjä hyödynnetään erityisesti sähkön hinnan vaihtelun ja riskienhallinnan tarkastelussa. Lähdeaineistot ovat ajankohtaisia, sillä tutkielmassa käytetään pääasiassa 2020–2025 vuosina julkaistuja aineistoja, jotta analyysi kuvastaisi tuulivoimamarkkinoiden viimeaikaista kehitystä, mutta myös vanhempia yhä ajankohtaisia lähteitä on käytössä.

Jotta tutkielma pysyy rajattuna alkuperäiseen tutkimusaiheeseen, on se rajattu tietyille osa-alueille. Maantieteellisesti tutkielma keskittyy pääsääntöisesti Suomen ja Euroopan tuulivoimamarkkinoihin, sillä alueellisilla sääntelyillä ja tukimekanismeilla on merkittäviä vaikutuksia investointipäätöksiin. Näiden tekijöiden vaihtelu voisi johtaa ristiriitaisiin tulkkintoihin, mikä korostaa rajausten merkitystä. Tutkielma painottuu erityisesti poliittisten ja teknisten riskien sekä taloudellisten riskienhallintamekanismien tarkasteluun, mutta ei syvenny yksittäisten turbiinimallien teknisiin ominaisuuksiin, kuten turbiinien aerodynaamisiin ratkaisuihin tai tehontuottopotentiaaleihin. Yksittäisten turbiinien tarkastelu voisi johtaa tutkielman liialliseen laajentumiseen, eikä se kuvastaisi yleisesti tuulivoimamarkkinoiden riskejä. Myöskään tuulivoiman ympäristövaikutukset, kuten alueen luonto, eläimistö tai maisemaan liittyvät seuraukset, on jätetty tutkielman ulkopuolelle. Näiden rajausten ja menetelmien avulla tutkielmassa pyritään tarjoamaan kattava analyysi tuulivoiman investointiriskeistä ja niiden hallinnasta makrotasolla, ilman että tarkastelu hajaantuu yksittäisten ongelmien yksityiskohtaiseen analyysiin. Seuraavassa luvussa tarkastellaan tarkemmin tuulivoimainvestointien rakennetta ja niihin liittyviä riskitekijöitä.

2 Tuulivoiman investointiprosessi

Kuten kaikissa investointiprosesseissa, myös tuulivoimanhankkeissa suunnitteluvaihe on kriittinen projektin onnistumisen kannalta. Investointiprosessin suunnittelu täytyy toteuttaa huolella, sillä epäonnistunut suunnittelu voi johtaa koko investointihankkeen kaatumiseen tai lisäkustannuksiin myöhemmissä vaiheissa. Tuulivoiman investointiprosessin suunnittelu alkaa usein lainsäädäntöön, kaavoitukseen ja lupaprosesseihin perehtymisestä (Suomen tuulivoimayhdistys ry, 2019, s. 2) (Ympäristöministeriö, 2016, s. 16). Tuulivoimaloiden sijoittaminen ja rakentaminen edellyttää maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999, MRL) mukaista kaavoitusta. Kaavoituksen 10a-luvussa on erikseen tuulivoimarakentamista koskeva yleiskaava.

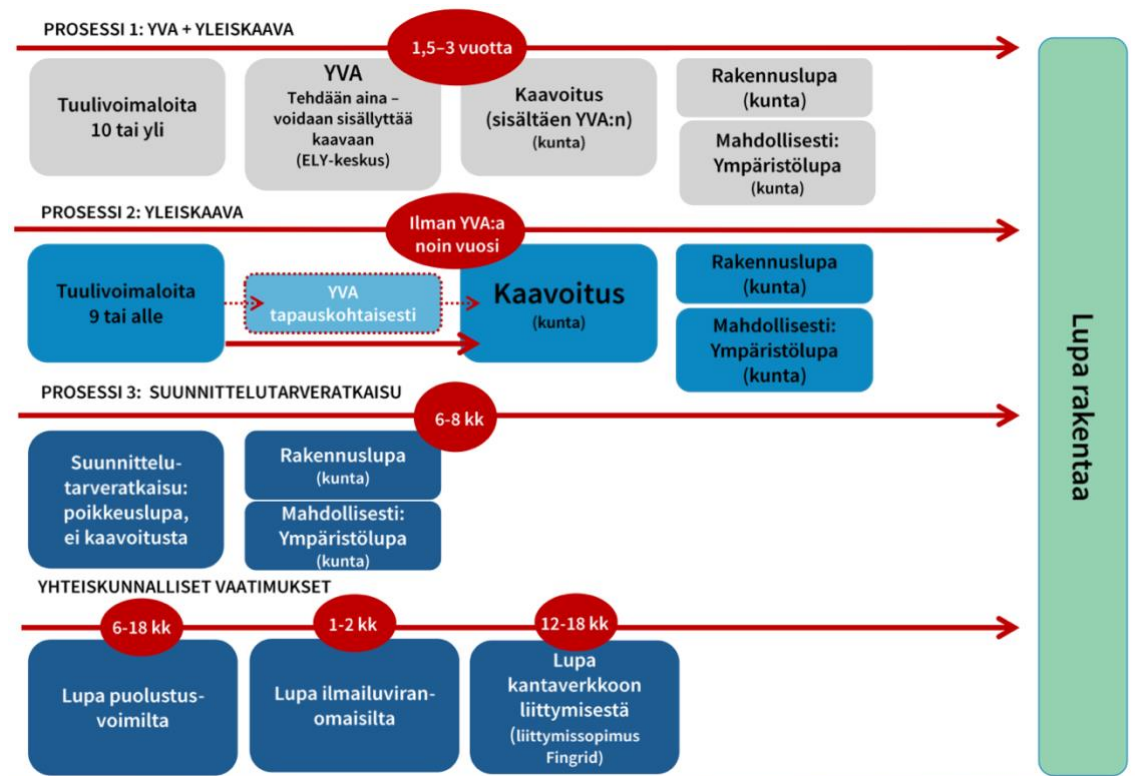
Kaavoituksen ja lupaprosessin aloittaminen kannattaa tehdä hyvissä ajoin, sillä ne voivat kestää useita vuosia ja vaatia laajoja selvityksiä ennen päätösten tekemistä (Suomen tuulivoimayhdistys ry, 2019, s. 2). Esimerkiksi kunnalliset kaavoituspäätökset voivat viivästyttää hankkeita tai jopa estää niiden toteutumisen, jos paikalliset asukkaat vastustavat niitä tai hanke ei täytä ympäristövaatimuksia. Lainsäädännön lisäksi tuulivoimaloiden suunnittelussa tulee huomioida aluekohtaiset lupa- ja ympäristövaatimukset (Ympäristöministeriö, 2016, s. 10). Ympäristövaikutusten selvitystä vaaditaan aina kaavoitushanketta tehdessä, minkä lisäksi YVA-lain (252/2017) mukaista yksittäistapausharkintaa tai ympäristövaikutusten arviointimenettelyä voidaan edellyttää joissain tapauksissa (Ympäristöministeriö, 2016, s. 17). Ympäristönsuojelulla (YSL 527/2014), pyritään ehkäisemään ympäristön pilaantumista ja saastumista (Eduskunta, 2014). Ympäristölain avulla turvataan terveellinen ja turvallinen elinympäristö. Tuulivoimalat voivat vaatia ympäristövaikutuksen arviointia hankkeen suuruuden mukaan. Luonnonsuojelulaki (YSL 9/2023), suojelee Suomen luontoa ja sen monimuotoisuutta (Eduskunta, 2023). Tuulivoiman kannalta luonnonsuojelulaki liittyy lähinnä uhanalaisten lintujen hyvinvointiin ja niiden elinympäristön turvaamiseen. Näiden lakien lisäksi voi jotkin alueet edellyttää vesilain (587/2011, VL) edellyttämää vesilupaa tai ilmailulain (1194/2009) perusteella

lentoestelupaa. Tuulivoiman investointien suunnittelussa tulisi ottaa tarkasti huomioon eri alueilla tarvittavat luvat.

Suunnitteluvaiheessa on tärkeää huomioida myös rahoituksen hankkiminen. Tuulivoimahankkeet vaativat suuria pääomainvestointeja, mikä tekee rahoituksen suunnittelusta ja hankinnasta erittäin tärkeän osan projektin onnistumisesta. Ilman rahoitusta tuulivoimahanke pysähtyy kokonaan. Rahoituksesta tekee entistä haasteellisemman tuulivoimahankkeisiin vaadittavan rahoituksen suuruus. Uusiutuvien energialähddehankkeiden rahoituksen tarve voi olla jopa nelinkertainen hiilellä ja viisinkertainen kaasulla toimiviin voimalahankkeisiin verrattuna (Iskandarova, 2021, s. 3). 1900-luvulla suurin osa energiayhtiöistä ja jakeluverkoista olivat valtion omistuksessa, jolloin myös rahoitus saatiin valtiolta. Kuitenkin 1900-luvun loppupuolella sähkömarkkinoiden uudistukset ja yksityistäminen muuttivat julkisen vallan omistaman monopolisen mallin, yritysten ja sijoittajien omistukseen (Iskandarova, 2021, s. 3). Myös rahoitusvaihtoehdot oli löydettävä muualta, jolloin energiantuotannon rahoituslähteet laajenivat. Yleisimpiä rahoitusmuotoja tuulivoimahankkeissa ovat perinteiset pankkilainat, yritysten ja sijoittajien rahoitus, vakuutusyhtiöt, säätiöt sekä erilaiset valtion tuet ja EU-rahoitus. Myös monet velkainstrumentit kuten joukkovelkakirjat sekä luotto- ja takaisinmaksujärjestelmät ovat yleisiä tuulivoimahankkeiden investoinneissa. Suunnitteluvaiheen valmistuttua voidaan aloittaa itse hankkeen rakentaminen.

Rakennusvaihe vaatii tarkkaa suunnittelua ja ammattitaitoa, jotta monimutkaiset järjestelmät saadaan asennettua asianmukaisesti. Rakennusvaihe alkaa, kun rakennuslupa on saatu rakennusvalvontaviranomaiselta (Ympäristöministeriö, 2016, s. 37). Tuulivoimalan rakentaminen käynnistyy maarakennustöillä, jotka kattavat tiestön ja voimaloiden perustan rakentamisen sekä kaapelointien ja sähköaseman asennuksen (Suomen uusiutuvat ry, n.d.). Maanrakennustöiden laajuuden vuoksi niihin kuluu rakennusvaiheessa eniten aikaa. Kun maarakennustyöt saadaan valmiiksi, on aika pystyttää itse voimala. Turbiinien, tornien ja generaattoreiden suuri koko tekee niiden kuljetuksesta ja asennuksesta haastavaa. Suuren kokonsa vuoksi komponenttien kuljetus

edellyttää erityiskuljetuksia ja muita logistisia järjestelyitä. Erityiskuljetukset ovat lähes poikkeuksetta voimalatoimittajan vastuulla (Suomen uusiutuvat ry, n.d.). Osien saavuttua rakennusalueelle voidaan aloittaa asennusprosessi. Tuulivoimalan asennusprosessi edellyttää korkeita nostureita, jotta komponentit voidaan asentaa turvallisesti. Asennusprosessissa tulee ottaa huomioon sääolosuhteet, sillä tuulet, sade ja kylmyys voivat hankaloittaa työntekoa tai jopa keskeyttää sen. Etenkin Suomessa, jossa kesän ja talven lämpötilaerot ovat suuret, on tuulivoimahankkeen rakentamisessa otettava aikataulutus tarkasti huomioon. Tuulivoimalan pystytys toteutetaan kahden nosturin avulla: roottori voi olla koottuna tai sen voi nostaa lapa kerrallaan ja tornilohkot sekä konehuone nostetaan yleensä kokonaisuutena (Suomen uusiutuvat ry, n.d.). Kun tuulivoimala on saatu pystyyn ja kaikki komponentit asennettua, voidaan se liittää sähköverkkoon sähkön tuottamista varten. Kuvasta 1 nähdään tuulipuiston luvittamisen prosessi alusta loppuun. Prosessiin kannattaa varata hyvin aikaa ja suunnitella kaavoitukset huolella.



Kuva 1 Tuulipuiston luvittaminen (Suomen tuulivoimayhdistys ry, 2019, s. 2).

Kun tuulivoimala on liitetty sähköverkkoon, se alkaa tuottaa sähköenergiaa. Tuulivoimaloiden elinkaari on noin 25 vuotta ja uudemmissa voimaloissa elinkaari voi olla jopa yli 30-vuotta (Suomen uusiutuvat ry, n.d.). Tuulivoimaloiden käyttöikä ei kuitenkaan aina saavuta odotettua elinkaarta, lukuisten syiden vuoksi. Jotta voimalat tuottaisivat mahdollisimman pitkään energiaa, vaativat ne jatkuvaa huoltoa. Voimalan omistaja voi tuottaa huollot itse tai ulkoistaa ne toiselle yritykselle. Huoltosopimukset ovat tavallisesti useiden vuosien tai jopa yli vuosikymmenen mittaisia. Voimalatoimittajat edellyttävät usein huoltosopimuksia takuun ollessa voimassa (Suomen uusiutuvat ry, n.d.). Tuulivoimalan päästyä elinkaarensa loppuun, se täytyy purkaa ja käyttää osat uudelleen. Voimalan rakentamiseen käytetyt arvokkaat metallit voidaan myydä tai hyödyntää seuraavissa tuulivoimainvestoinneissa. Tuulivoimaloiden muovikomposiitista tehdyt lavat, menevät murskaukseen ja tämän jälkeen kierrätykseen.

3 PESTEL-analyysi

PESTEL-analyysi on strateginen työkalu, jonka avulla voidaan tarkastella ulkoisten makrotaloudellisten tekijöiden vaikutuksia. Analyysissa kartoitetaan eri näkökulmista keskeiset muutosvoimat, jotka vaikuttavat organisaation toimintaan kunkin kirjaimen edustamalla osa-alueella (Vuorinen & Huikkola, 2023). Sana PESTEL voidaan jakaa kirjainten perusteella poliittiset (Political), Taloudelliset (Economical), sosiaaliset (Social), teknologiset (Technological), Ympäristölliset (Environmental) ja Lainsäädännölliset (Legal). Tuulivoimainvestointiriskejä kartoittaessa voidaan käyttää PESTEL-analyysiä kattavan kokonaiskuvan saamiseksi mahdollisista riskeistä. Tuulivoimainvestointiin liittyvät lainsäädännölliset ja ympäristölliset riskit käsiteltiin kattavasti luvussa 2 ja, joten niitä ei erikseen käsitellä tässä luvussa. Lisäksi lainsäädännöllisiin ja ympäristöllisiin riskeihin palataan poliittisia ja sosiaalisia riskejä käsittelevien kappaleiden yhteydessä.

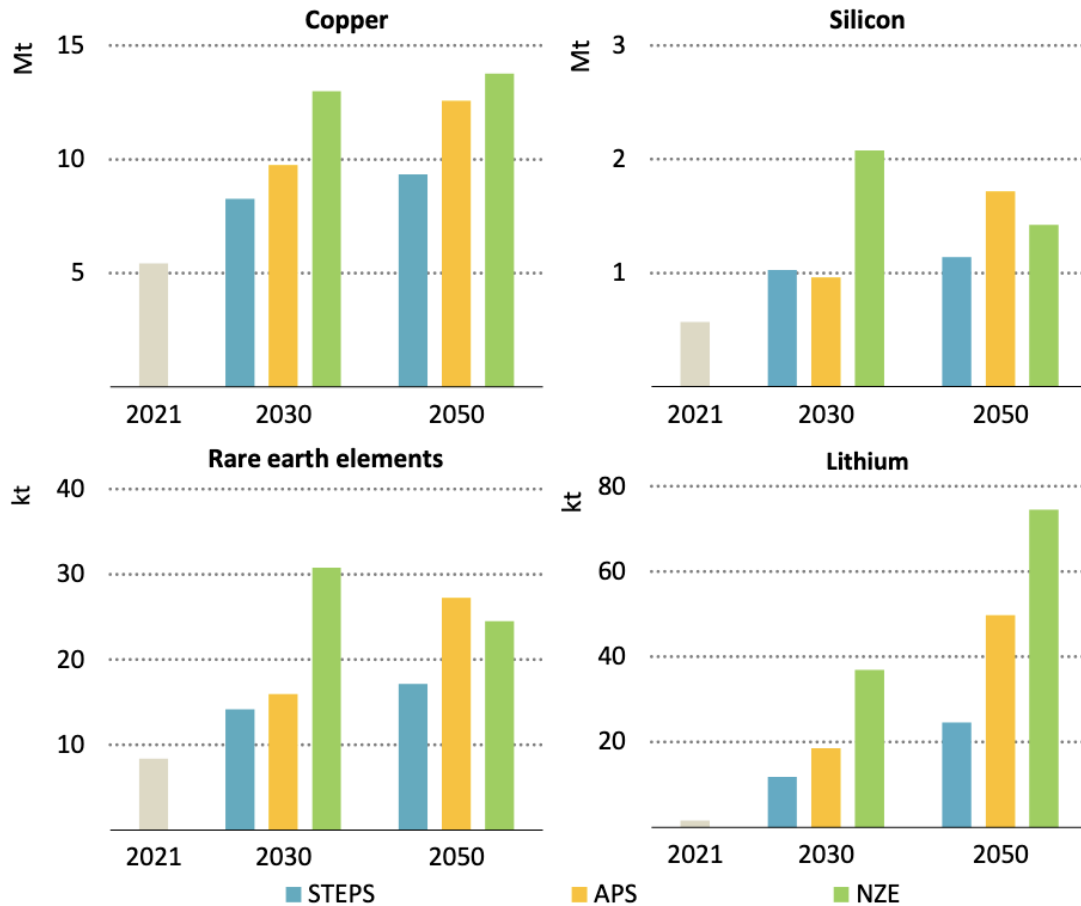
3.1 Poliittiset riskit (Political)

Tuulivoimalahankkeeseen liittyy useita poliittisia riskejä, jotka voivat merkittävästi vaikuttaa investoinnin kannattavuuteen. Nämä riskit johtuvat usein epävarmuudesta poliittisten ja menettelytapojen ja sääntelyn muutoksista. Erityisesti lainsäädäntöön ja sääntelykehukseen liittyvät muutokset voivat luoda epävarmuutta investointien tuotto-odotuksiin. Esimerkiksi hallitusten päätökset uusiutuvan energian tukijärjestelmien, kuten syöttötariffien ja verohelpotusten, muuttamisesta voivat kasvattaa investointiriskejä (Gatzert & Kosub, 2016, s. 992). Syöttötariffi on valtion maksama takuuhinta uusiutuvan energian tuottajille. Sen tavoitteena on tehdä uusiutuvasta energiasta houkuttelevampaa ja ennustettavampaa investoijille. Valtion vähentäessä tai poistaessa tariffeja, investoinnin kannattavuus saattaa heikentyä. Hyvänä esimerkkinä syöttötariffien riskeistä on Espanjan politiikka 2010-luvulla. Espanja tarjosi aiemmin paljon syöttötariffeja aurinko- ja tuulivoimainvestointeihin. Oikeuskehyselliset muutokset johtivat kuitenkin siihen, että valtio joutui luopumaan syöttötariffeista kokonaan ja joissain tapauksissa myös takautuvasti (European Court of Auditors, 2019).

Investoijien luottamus vähentyi tapauksen seurauksena merkittävästi. Poliittiset linjaukset ja säätelyuudistukset voivat toisaalta vaikuttaa myös positiivisesti tuulivoimainvestointiin, tarjoamalla parempia kannustimia ja vakautta uusiutuvan energian markkinoille. Maat saattavat tarjota myös veroetuja uusiutuvan energian investoinneille. Mikäli valtio myöhemmin päättääkin poistaa tai muuttaa verohelpotuksia, voi tämä johtaa investoinnin kannattamattomuuteen ja samantapaiseen tilanteeseen kuin syöttötariffien tapauksessa.

Geopoliittiset tekijät vaikuttavat tuulivoimainvestointeihin, erityisesti komponenttien saatavuuden ja energiariippuvuuden kannalta. Tuulivoimaloiden kysynnän kasvaessa, myös niihin tarvittavia materiaaleja tarvitaan entistä enemmän. Tuulivoimaloiden rakentamiseen tarvittavien materiaalien ja mineraalien saatavuuden turvaaminen on erityisen tärkeää hankkeen onnistumisen kannalta. Tuulivoimaloiden generaattoreissa käytetään useita harvinaisia mineraaleja, joita ei juurikaan tuoteta Euroopassa. Suuri osa maailman harvinaisista mineraaleista, kuten neodyymi ja dysprosium, tulee Kiinasta, mikä tekee Euroopan energiariippuvuudesta haavoittuvan poliittisille ja taloudellisille muutoksille (Biol, 2022, s. 218). Kuviossa 1 nähdään, miten tuulivoimaloissa käytettävien harvinaisten elementtien kysyntä kasvaa tulevaisuudessa. Kuviossa 1 lyhenne on kolme lyhennettä STEPS, APS ja NZE. Ne kuvaavat tulevaisuuden politiikan kehityskulkuja. STEPS kuvaa nykyistä politiikkaa ja jo säädettyjä lakeja ja ohjelmia. APS olettaa että kaikki ilmastolupaukset toteutuvat täysimääräisinä ja aikataulussa. NZE kuvaa tulevaisuutta, jossa maapallon keskilämpötilan nousu pysähtyy 1,5 °C:een. Tuulivoiman kasvavan kysynnän myötä myös edellä mainittujen harvinaisten mineraalien, tarve kasvaa merkittävästi, mikä voi nostaa niiden hintoja ja lisätä saatavuusriskejä (Biol, 2022, s. 321). Näiden elementtien hinnan nousu, nostaa siis samalla tuulivoimahankkeissa tarvittavien komponenttien hintoja. Hintojen nousut voivat aiheuttaa budjetillisiä ongelmia ja materiaalien saatavuudesta voi muodostua pullonkaula, mikäli niiden kysyntä kasvaa nopeammin kuin tuotantokapasiteetti pystyy vastaamaan tarpeeseen. Poliittiset päätökset kuten, kauppasodat, vientikiellot tai

tullimaksujen korotukset, voivat heikentää Euroopan tuulivoimateollisuuden kilpailukykyä ja estää kriittisten mineraalien tuontia.



Kuvio 1 Vuotuinen kysyntä valituille kriittisille mineraaleille, joita käytetään vähäpäästöisessä sähkön tuotannossa, varastoinnissa ja verkostoinnissa eri skenaarioiden mukaan vuosina 2021-2050 (Biol, 2022, s. 320).

3.2 Markkinariskit ja sähkön hinnan vaihtelut (Economic)

Sähkön hinnan volatilitteetti tarkoittaa sähkön markkinahinnan ennakointonta vaihtelua tietyllä aikavälillä. Tämä vaihtelu voi johtua useista syistä, kuten sääolosuhteista, kysynnän ja tarjonnan vaihtelusta tai poliittisista päätöksistä (Suomen uusiutuvat ry, n.d.). Markkinahinnan vaihtelut voivat aiheuttaa merkittäviä riskejä uusiutuvan energian, kuten tuulivoiman, kannattavuudelle ja investoinneille. Sähkön

hinnan vaihtelut ja hinnan lasku koituvat etenkin ongelmaksi, mikäli sähköä joudutaan myymään suunniteltua alhaisemmalla hinnalla. Tämä korostuu etenkin tilanteissa, joissa sähkön varastointimahdollisuudet ovat rajalliset, jolloin tuotettu energia on myytävä markkinoille alhaisesta hintatasosta riippumatta (Gatzert & Kosub, 2016, s. 992). Tuulivoiman tuotanto on erityisen altis sähkön hinnan volatiliteteetille, sillä tuotannon ajoitusta ei voida täysin hallita, vaan se on riippuvainen sääolosuhteista, erityisesti tuulen voimakkuudesta. Hintavolatiliteteetin vaikutuksia voidaan kuitenkin hillitä erilaisilla riskienhallintamekanismeilla, kuten pitkän aikavälin sähkönostosopimuksilla (PPA-sopimukset) ja erilaisilla johdannaisilla, joita käsitellään tarkemmin luvussa 3. Myös sähkön varastoinnin optimointi vähentää hinnanvaihtelun vaikutuksia.

Tuulivoimalan rakentaminen on erittäin kallis hanke, joka edellyttää huomattavasti suurempaa rahoitusta, kuin fossiilienergialla toimivat voimalat (Iskandarova ym., 2021, s. 3). Rahoitusta hankkiessa on huomioitava yleinen korkotaso sillä, korkotason nousu lisää velkarahoituksen kustannuksia. Korkotason ollessa korkealla, voi rahoituksen hankkiminen lainaamalla olla kannattamatonta. Toisaalta matala korkotaso laskee lainojen kustannuksia, mikä voi tehdä investoinnista houkuttelevamman. Tarkastellaan annuiteettilainan maksueriä yhtälöllä:

$$A = P \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (1)$$

Missä A on annuiteettilainan vuosittainen maksuerä, P on lainapääoma, r on korkokanta ja n on maksuerien lukumäärä. Annuiteettilaina tarkoittaa lainaa, jonka takaisinmaksuerä pysyy samana koko laina-ajan. Voimme verrata kahta eri korkotasoa 3 % ja 6 % ja sen vaikutusta korkojen lopulliseen kokonaismäärään. Yritys ottaa 1 000 000 € lainan tuulivoimahanketta varten ja 10 vuoden laina-ajalla.

$$A = 1\,000\,000 \times \frac{0,03(1+0,03)^{10}}{(1+0,03)^{10} - 1}$$

$$A \approx 1\,000\,000 \times 0,117231 = 117\,231/\text{vuosi}$$

$$10 * A = 10 \times 117\,231 = 1\,172\,310$$

Lainan kokonaiskustannukset 10 vuodessa ovat 1 172 310 € korkotason ollessa 3 %. Tästä summasta korkojen osuus on 172 310 €. Seuraavaksi tarkastellaan, kuinka paljon kokonaiskustannukset ovat 6 % korkotasolla.

$$A = 1\,000\,000 \times \frac{0,06(1+0,06)^{10}}{(1+0,06)^{10}-1}$$

$$A \approx 1\,000\,000 \times 0,135868 = 135\,868/\text{vuosi}$$

$$10 \times A = 10 \times 135\,868 = 1\,358\,680$$

Lainan kokonaiskustannukset 10 vuodessa ovat 1 358 680 € korkotason ollessa 6 %. Tästä summasta korkojen osuus on 358 680 €. Korkokustannukset 6 % korkotasolla ovat yli kaksinkertaiset verrattuna 3 % korkotasoon. 3 % korkotasolla korkokustannukset vastaavan noin 17 % lainan alkuperäisestä määrästä, kun taas 6 % korkotasolla osuus nousee noin 36 prosenttiin. Todellisuudessa tuulivoimainvestointeihin tarvittavat rahoitukset ovat vielä huomattavasti suurempia ja voivat olla jopa satoja miljoonia euroja. Tällöin korkotason merkitys kasvaa vielä entisestään. Korkotaso vaikuttaa myös tulevaisuudessa saatavien kassavirtojen nykyarvoon. Tulevien kassavirtojen muuntamista nykyarvoksi kutsutaan diskonttaukseksi (De La O & Myers, 2021, s. 1339). Diskonttauskorolla tarkoitetaan korkokantaa, jolla tulevat rahavirrat muutetaan nykyarvoon. Se kuvaa sijoittajan tai yrityksen vaatimaa vähimmäistuottoa sijoitukselle, huomioiden sijoitukseen liittyvän riskin sekä vaihtoehtoiskustannukset.

$$PV = \frac{FV}{(1+i)^n} \quad (2)$$

Missä PV tarkoittaa nykyarvoa, FV tulevaa arvoa, i diskonttauskorkoa ja n ajanjaksojen määrää. Tarkastellaan tilannetta, jossa vuoden kuluttua saadaan miljoona euroa. Diskonttauskoron on arvioitu olevan noin 10 %.

$$PV = \frac{1\,000\,000}{(1+0,1)^1}$$

$$PV \approx 909\,090,1$$

Vuoden kuluttua tulevan miljoonan euron arvo nykyrahassa olisi vain noin 909 090 euroa. Vaihtoehtokustannuksilla tarkoitetaan niitä tuottoja, jotka jäävät saamatta, kun valitaan tietty vaihtoehto toisen sijaan. Diskonttauskorkojen ollessa korkealla menettävät tulevaisuuden tulot arvoaan nopeammin, mikä heikentää investoinnin kannattavuutta.

3.3 Sosiaaliset riskit (Social)

Tuulivoimahankkeisiin liittyy useita sosiaalisia riskejä, jotka voivat vaikuttaa hankkeen etenemiseen tai keskeyttää sen kokonaan. Riskit liittyvät yleisesti alueella asuvien ihmisten yleiseen vastustukseen. Vaikka tuulivoimaa pidetään hyvin puhtaana ja yleisesti toivottuna energianlähteenä, saattavat hankkeet kohdata ongelmia paikallisilta asukkailta. Keskustelut ongelmista kohdistuvat pääsääntöisesti maisema-, välke- ja äänihaitoista, mutta hyväksyvyyttä voi heikentää myös epäoikeudenmukaisuuden tunne (Pelli, 2024). Pellin (2024) mukaan epäreiluudet näkyvät esimerkiksi maanomistajien välillä, sillä tuulivoimaloille vuokraavat omistajat saavat hyvää vuosivuokraa sekä pääsevät mukaan neuvotteluihin alusta alkaen.

Paikallinen vastustus voi näkyä kaavoitus- tai lupaprosessien valituksissa. Vahva sosiaalinen vastustus on joissain tapauksissa jopa johtanut tuulivoimahankkeen

peruuntumiseen. Vuonna 2017 Sievin kunnassa Pohjois-Pohjanmaalla Jakoistenkallion eteläiselle alueelle suunniteltiin tuulivoimapuistoa. Kyläalueella esiintyneen suuren vastustuksen vuoksi kunta esitti, että tämä alue poistetaan suunnitelmaista. Tämä huomioitiin myöhemmin maakuntakaavoitusluonnoksessa, johtaen hankkeen keskeytymiseen (Council of Oulu Region, 2016, s. 32).

3.4 Tekniset riskit (Technological)

Tuulivoimahankkeisiin liittyy usein teknisiä riskejä, jotka voivat vaikuttaa investointien kannattavuuteen ja lyhentää voimaloiden käyttöikä. Teknologian nopea kehitys, mekaaniset viat ja ylläpidon haasteet voivat aiheuttaa lisäkustannuksia ja odottamattomia hidastuksia (Santelo ym., 2022, s. 515). Tuulivoimaloiden komponentit altistuvat jatkuvasti voimakkaille sääolosuhteille, kuten tuulelle, sateelle ja jäätymiselle. Tämä voi johtaa materiaalivaurioihin, jotka johtavat tuulivoimalan hetkelliseen pysäyttämiseen (Gatzert & Kosub, 2016, s. 987). Materiaali- ja huoltokustannusten lisäksi jokainen käyttökatos aiheuttaa tuulivoimalalle myös tulomenetyksiä. Tuulivoimala on saatava nopeasti takaisin toimintaan, jotta ylimääräisiltä kustannuksilta vältytään. Etenkin talviolosuhteissa, voivat korjaukset aiheuttaa pitkiä viivästyksiä ja tulla kalliiksi. Mikäli korvaavia komponentteja ei ole saatavilla, voi ongelman laajuus kasvaa merkittävästi ja käyttökatos pitkittyä. Tuulivoimaloiden kriittiset komponentit, kuten lapakulmajärjestelmä, taajuusmuuntaja, generaattori, konehuoneen suuntajärjestelmä, vaihteisto, sensorit ja ohjausjärjestelmän viestintä, lavat sekä roottorin napa aiheuttavat noin 20% vioista, mutta jopa 80% käyttökatkoksista (Santelo, 2022, s. 516). Suurin osa tuulivoimaloiden komponenttien vioista ei siis johda käyttökatkoksiin, mutta kriittisten komponenttien asianmukainen huolto ja riittävä ennakointi ovat tarpeellisia tuulivoimalan ylläpidossa.

Tuulivoiman teknisillä ongelmilla on vaikutus myös sen elinkaareen. Tuulivoimaloiden elinkaaren pituuden ennusteet ovat yleensä 25–30-vuotta (Suomen uusiutuvat ry, n.d.). Voimaloiden elinkaaret ovat kuitenkin todellisuudessa usein paljon lyhyemmät.

Esimerkkinä teknisistä riskeistä ovat Haminaan vuonna 2010 valmistuneet tuulivoimalat. Tuulivoimalat jouduttiin purkamaan vain noin 13 vuotta valmistumisensa jälkeen, vaikka elinkaaren ennuste oli noin 25 vuotta (Koskinen & Kaipainen, 2023). Voimaloiden purkamisen syynä oli vaikeus saada varaosia valmistajan konkurssin vuoksi sekä tariffijärjestelmän loppuminen purkukesänä. Komponenttien kulumisen johti siis tuulivoimaloiden elinkaaren puolittumiseen, koska varaosien hankinta toiselta valmistajalta ei ollut taloudellisesti kannattavaa. Varaosia voi vaihtoehtoisesti hankkia myös muilta valmistajilta, mutta se kasvattaa yleensä kustannuksia ja samalla heikentää investoinnin kannattavuutta. Voimalat ovat siis erittäin riippuvaisia niiden komponenttien ja varaosien valmistajista. Toimittajan konkurssi, vetäytyminen markkinoilta tai teknologian vanhentuminen aiheuttaa usein suuria riskejä, kuten varaosien saatavuuden loppumisen. Voimaloiden elinkaaren ennakoimattomuus vaikeuttaa investoinnin taloudellista suunnittelua ja voi lisätä sijoittajien epävarmuutta.

Tuulivoima on vahvasti riippuvainen optimaalisista sääolosuhteista. Tuulivoiman tuotanto on erittäin vaihtelevaa, sillä se edellyttää tiettyjä tuulennopeuksia toimiakseen. Tuulivoimalat tuottavat eniten energiaa tuulen nopeuden ollessa 10-15 m/s ja voivat tuottaa sähköä tuulen nopeuden ollessa 3-25 m/s (Anne, nd, s. 2). Tuulen nopeuden ollessa ali 3 m/s tai yli 25 m/s tuulivoimalat lakkaavat toimimasta. Tällöin ne eivät tuota lainkaan energiaa ja ovat pois käytöstä. Tuulen nopeuden vaihtelut aiheuttavat vaihtelevaa tuotantoa ja haasteita sähköverkon vakaudelle. Tuulivoimalan tulee myös kohdata sähköverkon tekniset vaatimukset. Mikäli voimala ei vastaa vaatimuksia voi edessä olla vuosien mittainen johtojen, muuntajien tai katkaisijoiden uudelleenrakentaminen (Fingrid, nd s. 9). Sähköverkon vaatimukset voivat aiheutua kalliiksi investoinnin kannalta, mikäli niitä ei ole otettu tarkasti huomioon teknistä suunnittelua tehdessä.

4 Riskienhallintastrategiat ja finanssimekanismit

Tuulivoimainvestoinnit sisältävät useita riskejä, joihin kuuluu esimerkiksi poliittiset päätökset, markkinan heilahtelut, teknologian epävarmuudet ja lainsäädännölliset muutokset. Näitä riskejä analysoitiin edellisessä luvussa PESTEL-viitekehyksen avulla. Jotta investoinnin kannattavuus voidaan varmistaa, täytyy näitä riskejä pystyä tunnistamaan, arvioimaan ja hallitsemaan systemaattisesti. Tässä luvussa tarkastellaan millaisia strategioita ja työkaluja voidaan hyödyntää tuulivoimahankkeiden riskienhallinnassa. Ensimmäiseksi esitellään riskienhallinnan peruseriaatteet ja -prosessit, minkä jälkeen käsitellään keskeisiä finanssimekanismeja, sähkömarkkinoiden suojauskeinoja ja vakuutuksia. Lisäksi tarkastellaan, miten ympäristö- ja vastuullisuusvaatimukset vaikuttavat investointipäätöksiin ja sijoittajien odotuksiin. Kokonaisuudessaan tavoitteena on muodostaa kattava kuva siitä, miten erilaisia riskejä voidaan ennakoida ja hallita tuulivoimainvestointien eri vaiheissa.

4.1 Riskienhallinnan peruseriaatteet

Riskienhallinta alkaa riskien tunnistamisesta. Riskeiltä varautuessa täytyy laatia kattava lista riskeistä, joita on ilmennyt aiemmissa tuulivoimaprojekteissa, jotta ne voidaan välttää tulevassa hankkeessa. Huolellisella ennakkoinnilla voidaan vähentää merkittävästi projekteissa esiintyvien ongelmien määrää ja negatiivisia vaikutuksia (Mäntyneva, 2025, s. 135). Hankkeen koordinoinnista vastaa projektipäällikkö. Projektipäällikön vastuulla riskienhallinnassa on tunnistaa riskit ja varautua niihin. Vaikka projektipäällikkö kantaa kokonaisvaltaisesti vastuun riskienhallinnasta, käytännön tasolla voidaan vastuita jakaa myös muille sidosryhmille. Riskejä tunnistuessa on hyvä ottaa sidosryhmien kuten asukkaiden, viranomaisten ja sijoittajien näkökulmat huomioon, sillä he voivat tuoda esille riskejä, joita sisäinen riskienhallintaryhmä ei ole huomionnut. Mikäli hankkeen aikana ilmenee odottamattomia ongelmia, on hyvä varautunut niihin myös ajallisesti. Hankkeen aikatauluun kannattaa varata hieman puskuria, jotta yllättävät ongelmat eivät viivästytä lopullista hankkeen valmistumisajankohtaa. Ongelmien sattuessa on

projektipäällikön myös pidettävä listaa henkilöistä, joihin hän voi olla yhteydessä apua tarvittaessa (Mäntyneva, 2025, s. 137). Riskienhallinnan määrä tulisi mitoittaa hankkeen suuruuden perusteella. Kattava riskinhallinta on oleellista kaikissa hankkeissa, mutta liiallinen varautuminen voi kuluttaa hankkeen resursseja ja hankaloittaa sen etenemistä. Tämän vuoksi riskinkartoituksessa tulee tehdä kattava kustannus-hyöty analyysi (Mäntyneva, 2025:144; Abba ym., 2022:6).

Kun riskit on tunnistettu, voidaan aloittaa niiden analysoiminen. Riskienhallinnan keskiössä on riskien vakavuuden ja ilmenemisen todennäköisyyden hahmottaminen (Mäntyneva, 2025, s. 139). Analyysissa voidaan hyödyntää työkaluja kuten riskimatriisia. Riskimatriisi on riskienhallinnassa laajassa käytössä oleva työkalu, jolla arvioidaan todennäköisyyttä riskien esiintymiselle ja sitä kuinka vakavia seurauksia riskillä on. Taulukko 1 havainnollistaa riskimatriisin mahdollisen rakenteen. Siirryttäessä sarakkeissa oikealle riskin vakavuus kasvaa. Rivit taas osoittavat riskin todennäköisyyden. Vakavin riski sijoittuu matriisiin oikeaan alalaitaan, kun taas mitättömin riski vasempaan ylälaitaan. Värit hahmottavat riskien merkittävyyttä ja niihin vaadittavia toimenpiteitä. Riskienhallinnassa tulee suhteuttaa riskin eliminointiin käytettävä aika ja toimenpiteiden kustannukset riskin vakavuuteen ja todennäköisyyteen (Mäntyneva, 2025, s. 140). Riskienhallintaa tukevat myös standardit. Riskien tunnistamisessa ja arvioinnissa voidaan käyttää apuna kansainvälistä ISO 31000 riskienhallinta standardia (Suomen standardit RY, 2020). Standardi antaa toimintamallin, jolla riskienhallinta saadaan osaksi koko organisaation toimintaa. ISO 31000 ei sisällä vaatimuksia vaan on enemmän suuntaa antava toimintamalli, jota organisaatio voi seurata ja käyttää hyväksi päätöksenteossaan. ISO 31000 standardin mukaan riskiä voidaan kuvailla organisaation tavoitteiden saavuttamiseen liittyvänä epävarmuutena (Abba ym., 2022, s. 2)

| Todennäköisyys | Vakavuus | | | |
|----------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Mitätön riski | Vähäinen riski | Kohtalainen riski | Kohtalainen riski |
| 2 | Vähäinen riski | Kohtalainen riski | Merkittävä riski | Merkittävä riski |
| 3 | Kohtalainen riski | Merkittävä riski | Erittäin vakava riski | Erittäin vakava riski |
| 4 | Kohtalainen riski | Merkittävä riski | Erittäin vakava riski | Erittäin vakava riski |

Taulukko 1 Riskimatriisi

Taulukko 2 havainnollistaa mahdollista tuulivoimainvestoinnin riskienhallinnassa käytettävää riskimatriisia. Kun riskien todennäköisyydet ja vakavuudet on arvioitu, voidaan aloittaa riskien ennaltaehkäiseminen. Tämä ennakoiva riskienhallinta keskittyy toimenpiteisiin, joilla pyritään estämään riskien toteutuminen tai pienentämään niiden vaikutuksia ennen kuin ne ilmenevät. Vaikka riskit olisi huomioitu ja niitä varten olisi varauduttu, ei kaikkeen kuitenkaan voi varautua (Mäntyneva, 2025, s. 141). Tuulivoimalahankkeen kaltaisessa monimutkaisessa projektissa ilmenee hyvin todennäköisesti yllättäviä ongelmia, joita ei olisi voitu tunnistaa aiemmin. Tällöin tarvitaan reaktiivista riskienhallintaa, jossa varaudutaan nopeasti toteutettaviin korjaaviin toimiin. Reaktiivista riskienhallintaa tukee etukäteen laadittu suunnitelma, johon on listattu korjaavia toimenpiteitä yllättäviä tilanteita varten. Näin voidaan minimoida jo tapahtuneiden riskien vaikutuksia ja saada hanke etenemään mahdollisimman nopeasti.

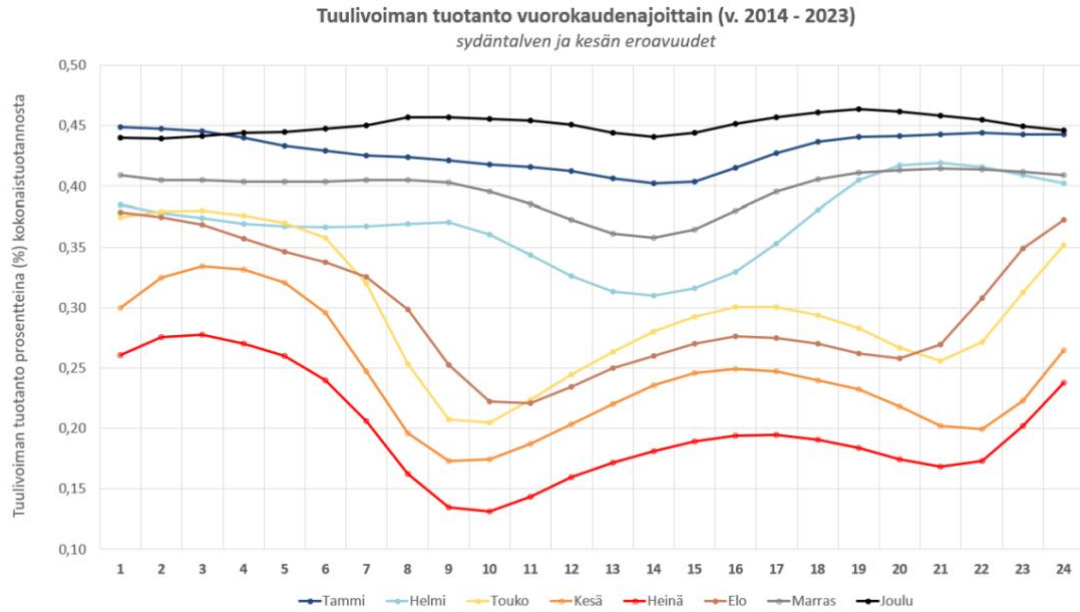
| Todennäköisyys | Vakavuus | | | |
|----------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Työntekijän sairastuminen | Tekninen vika | Kriittinen teknologinen vika | Syöttötariffien poliittinen muutos |
| 2 | Huolto ja kunnossapito-ongelmat | Tuulen poikkeavuudet | Uhanalaisen eläimen pesimäalue | Lentoestelupa evätty |
| 3 | Mineraalien hintojen nousu | Paikallisyhteisön vastustus | Sähkön hinnan voimakas lasku | Komponenttien toimitusviiveet |
| 4 | Teräksen hinnan nousu | Komponenttien toimitusviiveet | Erittäin vakava riski | Kaavoitusprosessin viivästyminen |

Taulukko 2 Riskimatriisi tuulivoimainvestoinnissa

4.2 Sähkömarkkinoiden suojausmekanismit

Tuulivoimainvestoinneille sähkön markkinahinnan vaihtelut ovat ongelma, jolta ei voida välttyä. Tuotannon ennakoimattomuus yhdistettynä sähkön hinnan volatiliteettiin luo merkittäviä taloudellisia riskejä, etenkin silloin kun varastointimahdollisuudet on rajalliset, jolloin myynti on välttämätöntä (Gatzert & Kosub, 2016, s. 992). Kuvasta 2 nähdään tuulivoimatuotannon vaihtelut vuorokaudenajoittain vuosilta 2014-2024 (Korpela, 2024). Vaihtelua esiintyy ympäri vuoden, mutta etenkin kesäkuukausina tuotanto vaihtelee päivän mittaan hyvin paljon. Kuvasta 2 voidaan myös päätellä, että vuodenajalla on merkittävä vaikutus tuulivoiman tuotannon määrään. Markkinahinnan ja tuotannon vaihteluiden aiheuttamia riskejä, voidaan kuitenkin minimoida, hyödyntämällä erilaisia suojausmekanismeja. Keskeisimpiä markkinariskien

hallintakeinoja on johdannaisten, pitkäaikaisten sähkönostosopimusten (PPA) ja energian varastoinnin hyödyntäminen (Gatzert & Kosub, 2016, s. 990, 992).



Kuva 2 Tuulivoiman tuotanto vuorokaudenajoittain (v. 2014 - 2024), (Korpela, 2024).

4.2.1 Termiinisopimukset

Sähkön varastoinnin ollessa haastavaa, on tärkeää hyödyntää muita riskienhallintamekanismeja, jotka vähentävät sähkön hinnan vaihteluista koituvia tappioita. Termiinisopimukset sopivat tähän tilanteeseen hyvin, sillä niiden avulla sähkön hinta voidaan määrittää etukäteen. Termiinisopimukset ovat johdannaisia, joissa sovitaan hinnasta, jolla ostetaan tai myydään omaisuutta tai sijoituskohdetta tiettyyn hintaan tulevaisuudessa (Hull, 2022, s. 28). Termiinisopimukset eivät ole julkisilla markkinoilla noteerattavia, vaan ehdot ovat osapuolten itse neuvoteltavissa. Näissä sopimuksissa osapuolten välillä voidaan sopia sekä pitkän että lyhyen position ottamisesta. Toinen osapuolista ottaa pitkän position ja sitoutuu ostamaan omaisuuden tiettyyn sovittuun hintaan tiettyinä sovittuna päivänä. Lyhyen position ottava osapuoli sitoutuu myymään omaisuuden kyseisenä päivänä sovittuun hintaan.

Tuulivoimatuotannossa termiinisopimuksella määritetään etukäteen hinta, jolla tuotettua sähköenergiaa myydään toisille osapuolille. Näin sähkön markkinahinnan vaihtelut eivät enää vaikuta hintaan, vaan pelkästään ennalta sovitulla hinnalla on merkitystä. Jos sähkön markkinahinta on myyntihetkellä matalampi kuin sopimuksessa oleva hinta, tekee sähkön myyjä voittoa. Sähkön markkinahinnan taas ollessa korkeampi kuin sopimuksessa oleva hinta, voittoa tekee sähkön ostaja. Termiinihintaa voidaan laskea kaavalla (Huisman ym., 2021, s. 1260):

$$F = E(S) - k \times var(s) + \gamma + skew(S) \quad (3)$$

Kaavassa F on termiinihintaa eli hinta, jolla sähköä sovitaan myytäväksi tulevaisuudessa. $E(s)$ on odotettu spot-hinta, eli hinta, jolla odotetaan, että sähköä tullaan myymään tulevaisuudessa. $Var(s)$ on odotettujen hintojen varianssi, mikä mittaa hintojen epävarmuutta ja vaihtelua. $Skew(s)$ kertoo odotettujen hintojen vinouden, eli sen kuinka symmetrisesti hinnat jakautuvat. Vinous voi viitata esimerkiksi siihen, onko alhaisten vai korkeiden hintojen esiintyminen todennäköisempää.

4.2.2 Futuurit vai termiinisopimukset

Termiinisopimusten lisäksi futuurisopimukset on sähkön hinnan volatilitettiin liittyvä riskinhallintakeino. Futuurisopimukset on hyvin samankaltaisia kuin termiinisopimukset, mutta futuurisopimuksilla käydään kauppaa yleisesti pörssissä (Hull, 2022, s. 30). Jotta kaupankäynti pörssissä on mahdollista, futuurisopimukset ovat standardisoitu kaiken paitsi hinnan osalta (Hull, 2022:30; Campbell, 2004:3). Termiinisopimukset tehdään suoraan osapuolten välillä, joten toisen osapuolen maksukyvyttömyyteen liittyy aina riski. Futuurisopimuksilla käydään kauppaa pörssissä, jolloin toisen osapuolen maksukyvyttömyys ei ole mahdollinen riski. Molemmat sopimustyyppit ovat erinomaisia suojautumiskeinoja sähkön markkinahinnan vaihtelulta. Termiinisopimukseen liittyy suurempi riski, mutta ne ovat yksilöllisempiä ja mahdollistavat sopimuksen räätälöimisen tilanteeseen sopivaksi.

4.2.3 Power Purchase Agreement

Power Purchase Agreement (PPA), on sähkönostosopimus, jolla sähkön tuottaja sopii myyvänsä sähköä sovittuna ajanjaksona asiakkaalle tiettyyn hintaan (Jain, 2022:1; Suomen uusiutuvat ry, 2024:1). PPA-sopimusten ajanjaksot vaihtelevat, mutta ovat yleisesti erittäin pitkiä ja vaihtelevat 10–25-vuoden välillä. Asiakas sitoutuu ostamaan tuotetun sähköenergian, jolloin tuulivoiman tuotannon vaihtelusta aiheutuvat tuotannon ylijäämät eivät aiheuta tappioita tuulivoiman tuottajalle. Sopimuksilla vältetään sähkön markkinahinnan volatilitietin sekä tuotannon ylijäämän aiheuttamat tappiot. Vaikka PPA-sopimukset määrittelevät asiakkaan olevan velvollinen ostamaan sähköä ennalta sovitulla hinnalla, eivät ne ole täysin riskittömiä, sillä asiakkaan maksukyvyttömyys voi aiheuttaa taloudellisia tappioita tuulivoiman tuottajalle (Jain, 2022:1; Gartzert & Kosub, 2016;990). Tämän vuoksi on tärkeää tehdä kattava taustatutkimus asiakkaasta ennen PPA-sopimuksen solmimista.

4.2.4 Energian varastointi

Tuulivoimatuotannon vaihteluita voidaan erilaisten sähkönostosopimusten lisäksi hallita tuotetun energian varastoinnilla. Mikäli tuotettua energiaa voidaan varastoida, vältytään energian myymiseltä alihintaan, kun tuotanto on suurta. Kuten muukin teknologia, energian varastointi on kehittynyt merkittävästi viime vuosina. Energiaa voidaan varastoida erilaisilla energianvarastointijärjestelmillä, kuten vesivarastoinnilla, paineilmalla, vetyvarastoilla, vauhtipyörällä, magneettisilla energiavarastoilla sekä akkuvarastoinnilla (de Siqueira & Peng, 2021:1 Díaz-González ym., 2016:93).

Vesivarastointi on edellä mainituista energian varastointijärjestelmistä teknologisesti kehittynein ja samalla yleisin suuritehoisissa sovelluksissa (Khalid, 2023, s. 178) (Díaz-González ym., 2016, s. 94). Vesivarastointi toimii veden potentiaalienergiaa hyödyntäen.

Kahden eri korkeudella olevan vesialtaan välillä siirretään vettä altaasta toiseen. Kun sähkön hinta on matala, pumpataan alemmasta altaasta vettä ylempään altaaseen. Sähkön hinnan noustessa voidaan ylempää altaasta vapauttaa vettä turbiiniin, joka tuottaa sähköenergiaa. Vesivarastoinnin käyttökustannus on arvioitu olevan alhaisin verrattuna muihin varastointimuotoihin (Khalid, 2023, s. 179).

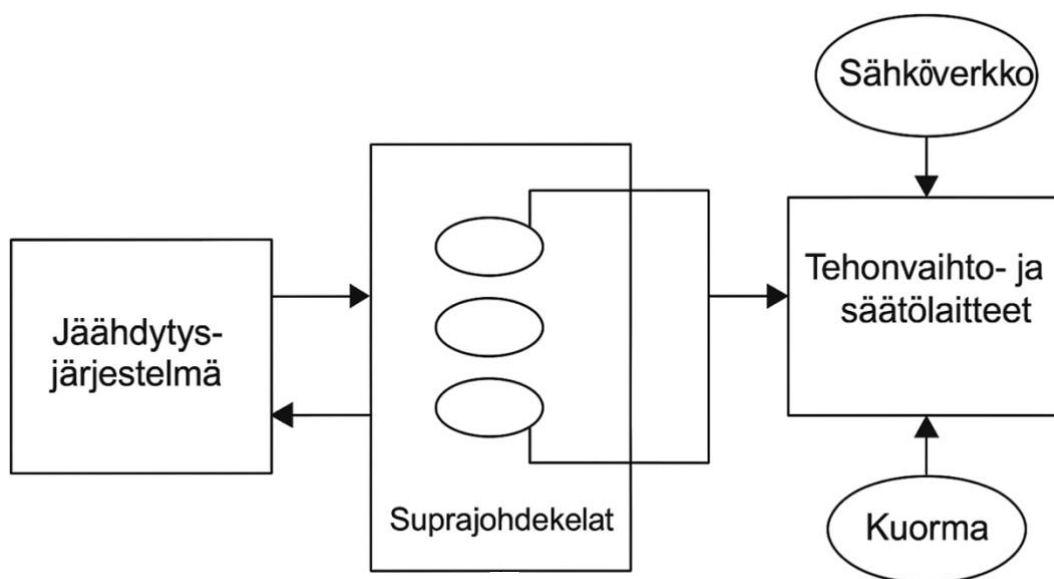
Paineilmavarastointi on myös suosittu varastointimuoto, jossa hyödynnetään paineilmaa energian varastoinnissa. Paineilmavarastointi perustuu ilman puristamiseen ja säilömiseen korkeassa paineessa kompressorien avulla, sähkön hintojen ollessa alhaiset. Paineilmaa säilötään joko säiliöihin maan päälle tai syvälle maan alle. Sähkön hinnan noustessa paineilmaa voidaan lämmittää ja johtaa turbiinien läpi, jolloin paine-energia muuttuu pyörimisenergiaksi (Khalid, 2023:178; Díaz-González ym., 2016:96). Paineilmavarastointi on hyvin kustannustehokasta ja sillä on pitkä käyttöikä, mutta siihen liittyy etenkin geologisia ongelmia. Paineilmasäiliöt vaativat optimaalisia maaluolia, jotta niiden käyttöä voidaan edes harkita. Vuonna 2011 Iowaan suunniteltu 400 miljoonaa maksava paineilman varastointijärjestelmän hanke jouduttiin peruuttamaan, sillä geologiset tutkimukset osoittivat että suunniteltuun mittakaavaan nähden varastointisäiliö ei ole sopiva (Schulte, 2011:1; Díaz-González ym., 2016:96). Tällä hetkellä maapallolla on vain kaksi paineilman varastointijärjestelmää, toinen Yhdysvalloissa ja toinen Saksassa (Khalid, 2023, s. 178).

Vetyvarastointi perustuu vedyn tuottamiseen. Vetyä tuotetaan yleensä fossiilisilla polttoaineilla, mutta tuulivoimalla tuotettua sähköä voidaan myös käyttää vedyn tuottamiseen (Díaz-González ym., 2016, s. 112). Tuulivoimaa hyödyntäen vetyvarastointi on täysin uusiutuva. Vesivarastointi tuulivoiman varastointikeinona toimii veden elektrolyysin avulla. Sähkön hinnan ollessa matalaa hajotetaan sähkövirran avulla vettä vedyksi ja hapeksi. Elektrolyysin avulla tuotettu vety voidaan varastoida paineistettuna kaasuna tai nestemäisenä ja hyödyntää myöhemmin sähkön hinnan ollessa korkealla. Kun vetyä halutaan hyödyntää se johdetaan polttokennoon missä se reagoi hapen kanssa muodostaen sähköenergiaa, lämpöä ja vettä (Díaz-González ym., 2016, s. 112).

Vetyvarastointi ei ole erityisen kustannustehokasta, sillä elektrolyysin ja polttokennon hyötysuhde on yleensä vain 60–70 prosentin välillä. Kun sähkö muutetaan vedyksi ja takaisin sähköksi jää hyötysuhde vain noin 42 prosentin tasolle (Díaz-González ym., 2016, s. 114).

Vauhtipyörää voidaan myös hyödyntää tuulivoimasta tuotetun energian varastoinnissa. Vauhtipyörä toimii varastoimalla tuotettua energiaa kineettiseksi energiaksi (Khalid, 2023, s. 177) (Díaz-González ym., 2016, s. 114). Tuulivoimasta tuotettu energia kiihdyttää vauhtipyörän moottoria, jolloin vauhtipyörän nopeus kasvaa. Kun energiaa tarvitaan käyttöön vauhtipyörä alkaa päinvastoin purkamaan energiaa generaattorin avulla (Díaz-González ym., 2016, s. 115). Vauhtipyörät eivät pysty varastoimaan energiaa pitkiksi ajoiksi mikä rajoittaa niiden käyttöä. Varastoidusta energiasta purkautuu noin 20% tunnissa, mikä rajoittaa energian säilömisen vain muutamaan tuntiin (Díaz-González ym., 2016, s. 116). Vauhtipyörien etuna on niiden korkea, jopa 90 % hyötysuhde. Hyötysuhdetta voidaan optimoida sijoittamalla vauhtipyörä tyhjiöön ja käyttämällä magneettisia laakereita, mikä minimoi vauhtipyörän ilmanvastuksen sekä kitkan (Khalid, 2023:177; Díaz-González ym., 2016:115).

Suprajohtava magneettinen energiavarasto (SMES) toimii varastoimalla energiaa magneettikenttään, joka syntyy kun tasavirtaa syötetään erittäin matalissa lämpötiloissa suprajohtavan kelan läpi (Díaz-González ym., 2016:116; Khalid, 2023:179). Energiaa säilytetään erittäin matalassa lämpötilassa, jotta resistanssi on mahdollisimman pieni ja häviöt pysyvät minimissään. SMES-järjestelmään voidaan syöttää ja ottaa käyttöön nopeasti suuria määriä energiaa, mikä on eduksi suurissa tuulivoiman tuotantovaihteluissa (Díaz-González ym., 2016, s. 120). Muita hyötyjä SMES-järjestelmissä ovat niiden hyötysuhteet. Hyötysuhde voi parhaimmillaan olla jopa 95%, mutta energiaa purkautuu järjestelmästä noin 10-15% varastoidusta energiasta tunnissa, mikä rajoittaa sen käyttöä pidempiaikaisessa varastoinnissa (Díaz-González ym., 2016:120; Khalid, 2023:179).



Kuva 3 Suprajohtava magneettinen energianvarastointijärjestelmä (Khalid, 2023, s. 180)

Energian varastoinnista puhuttaessa tulee usein ensimmäisenä mieleen perinteiset akkuvarastoinnin muodot. Akut toimivat varastoimalla tuulivoimalla tuotettua sähköenergiaa kemiallisena energiana (Khalid, 2023, s. 177) (Díaz-González ym., 2016, s. 97). Kuten muissakin energian varastointimuodoissa, sähkön hinnan noustessa kemiallinen energia voidaan vapauttaa takaisin sähköenergiaksi. Akkuvarastoinnin etuja ovat korkea energiatiheys, hyötysuhde ja pitkä käyttöikä energiaksi (Khalid, 2023:177; Díaz-González ym., 2016:102). Akkuvarastointiin liittyy kuitenkin myös haasteita. Akuissa on rajoitettu kyky toimia korkeilla tehotasoilla pitkiä aikoja, mikä rajoittaa sen käyttömahdollisuuksia. Akut voivat tuottaa lataus- ja vapautusvaiheessa vaarallisia kaasuja, joka täytyy myös ottaa huomioon käytettäessä akkuvarastointijärjestelmää. Lisäksi akkujen sisältämien haitallisten aineiden hävittäminen on suoritettava turvallisesti ja säädösten mukaisesti.

4.3 Rahoituksen ja vakuutusten keinot

4.3.1 Vakuutukset ja takuut

Tuulivoimahankkeiden odottamattomia riskejä, voidaan suojata vakuutuksilla. Vakuutuksia hakiessa jokainen hanke arvioidaan erikseen, mutta yleisesti tuulivoimahankkeiden vakuutukset kattavat laajasti rakennus- ja käyttövaiheen riskejä, kuten kuljetuksen, laiteviat, omaisuusvahingot, viivästykset, oikeuskulut ja liiketoiminnan keskeytykset (Gatzert & Kosub, 2016:994; Allianz, nd:3, 4, 7). Rakennusvaiheessa vakuutukset kattavat tyypillisesti työmaalla tapahtuvat vahingot ja tapaturmat. Käyttövaiheessa vakuutusten rooli korostuu etenkin käyttökatkoissa, mutta osa vakuutuksista kattaa myös luonnonolosuhteista johtuvat viat. Hankkeen luvittamisesta ja erimielisyyksistä sidosryhmien kanssa, voi aiheutua oikeudellisia kuluja, mitkä kuuluvat usein vakuutusten piiriin. Etenkin maalle rakennettaviin tuulivoimaloihin ei vakuutusten saaminen yleensä tuota ongelmia. Merelle rakennettaviin voimaloihin voi vakuutusten saaminen olla vaikeampaa, sillä rakennus- ja huoltokulut ovat maavoimaloita suuremmat eikä vahinkotietoja ole riittävästi (Gatzert & Kosub, 2016, s. 994). Vakuutusten lisäturvana on käyttö- ja huoltosopimukset. Voimaloiden toimittajat tarjoavat usein pitkäaikaisia käyttö- ja huoltosopimuksia, jotka kestävät yleisesti noin 10-12-vuotta (Gatzert & Kosub, 2016:994; Suomen uusiutuvat ry, n.d.). Toimittajat edellyttävät myös usein huoltosopimusta, jotta takuu pysyy voimassa.

4.3.2 Rahoitusmekanismit

Tuulivoimalahankkeet vaativat valtavia pääomia, joten rahoitukseen liittyvien riskienhallinta on välttämätöntä (Iskandarova ym., 2021, s. 3). Tuulivoimalahankkeiden rahoituksessa voidaan hyödyntää joukkovelkakirjoja sekä pankkilainoja (Raikar & Adamson, 2024, s. 69). Joukkovelkakirjat ovat rahoitusinstrumentteja, joilla yritykset voivat kerätä rahoitusta suuriin hankkeisiin. Joukkovelkakirjat mahdollistavat suurten lainojen jakamisen useille sijoittajille, jotka ostavat lainan osia ja saavat korkotuotot

itselleen. Joukkovelkakirjoja voidaan kutsua myös joukkolainoiksi (Wuolijoki, 2025). Vihreät joukkokirjat toimivat kuten normaalit joukkokirjat, mutta niistä saatu rahoitus käytetään ympäristöystävällisiin hankkeisiin (Flammer, 2021, s. 499). Tuulivoimahankkeiden rahoituksessa voidaan siis käyttää vihreitä joukkovelkakirjoja, mikä voi sujuvoittaa rahoitusprosessia. Rahoitusta voidaan hakea myös lainaamalla suoraan pankilta rahoitusta. Pankkilainoissa ja joukkovelkakirjoissa riskinä on viitekorkojen vaihtelut. Viitekorkojen noustessa investoinnin kannattavuus voi pienentyä merkittävästi. Tätä varten voidaan hyödyntää korkojenvaihtosopimuksia (Lee, 2014, s. 8). Korkojenvaihtosopimus on johdannaisopimus, jonka avulla voidaan vaihtaa korkoja yrityksen ja pankin välillä. Esimerkiksi tilanteessa, jossa tuulivoimalahankkeen toteuttavan yrityksen joukkovelkakirjan marginaalikorko on 1 % ja viitekorko 2 %, yritys voi olla huolissaan viitekoron mahdollisesta noususta lähitulevaisuudessa. Yritys voi sopia pankin kanssa korkojenvaihtosopimuksen, josta seuraa, että yritys maksaa pankille kiinteän 4 % koron, mutta saa pankilta takaisin vaihtuvan viitekoron. Viitekoron noustessa yritys tekee sopimuksesta voittoa. Mikäli viitekorko kuitenkin laskee, on sopimus yritykselle kannattamatonta. Korkotasolla on suuri merkitys pääomien nykyarvon laskelmissa. Mitä korkeampi diskonttaus korko on, sitä pienempiä ovat tulevaisuuden tulojen nykyarvot, mikä vähentää investointihalukkuutta.

4.3.3 Tukijärjestelmät

Koska tuulivoimahankkeet ovat merkittävästi kalliimpia kuin fossiiliset voimalat, politiikalla on keskeinen rooli osana uusiutuvan energian kannattavuuden varmistamisessa (Iskandarova ym., 2021:3; Lee, 2014:2). Uusiutuvan energian politiikan tavoitteena on erityisesti houkutella sijoittajia, jotta hankkeet saavat tarvittavan rahoituksen. Yleisimpiä tukimuotoja ovat syöttötariffit ja muut energiatuet. Euroopan Unionin uusiutuvan energian direktiivin mukaan EU-maiden tulee myöntää tukea uusiutuvalla energialla tuotetulle sähkölle (European Commission, nd). Poikkeuksia tuen maksamisen velvollisuudesta voidaan sallia pienimuotoisille sekä syrjäisille alueille sijoitettaville hankkeille. Suomessa energiatukea maksetaan hankkeille, jotka tukevat

uusiutuvan energian käyttöä tai muulla tavalla parantavat energiatehokkuutta tai energian säästöä. Myös järjestelmille, jotka ovat siirtymässä kohti vähähiilisyttä voidaan myöntää energiatukea (Paavola ym., 2020, s. 3). Paavolan ym., tekemän kyselyn mukaan jopa 80 % vastaajista olisi jättänyt hankkeen toteuttamatta tai toteuttanut sen muulla tavalla, mikäli energiatuki olisi ollut 20 % pienempi. Energiatuki vaikuttaa siis selvästi halukkuuteen investoida uusiutuvan energian hankkeisiin. Tuulivoimalahankkeen kustannuksia arvioidessa tulee ottaa huomioon myös mahdolliset verohelpotukset. Useat valtiot tarjoavat uusiutuvan energian hankkeisiin verohelpotuksia ja verohyvityksiä (Bölük & Kaplan, 2022, s. 26662). Verohyvityksillä tarkoitetaan hankkeesta aiheutuneita kuluja, joita voi vähentää verotuksessa. Verohelpotukset ovat valtiokohtaisia, joten hanketta suunnitellessa on tärkeää ottaa myös sijainnista aiheutuvat kustannukset huomioon.

Tukijärjestelmät ovat valtava kannustin uusiutuvan energian hankkeille, mutta niihin liittyy omat riskinsä. Mikäli hallitus peruuttaa jo olemassa olevan tukipolitiikan, voi sijoittajille koitua suuret tappiot (Steckel & Jakob, 2018, s. 26). Päätökset tukipolitiikan lakkauttamisesta vähentävät myös sijoittajien halukkuutta investoida uusiutuvaan energiaan tulevaisuudessa. Uusiutuvan energian projekteille myönnetyt tukisopimukset, kuten syöttötariffit on yleensä myös sidottu aikaan. Sopimusten kesto voi olla esimerkiksi kymmenen vuotta, jonka jälkeen ei ole varmuutta sopimuksen uudistamisesta (Lee, 2014, s. 8). Tämän kaltaisten poliittisten riskien varalta turvautumiseksi uusiutuvan energian investoinneille on tarjolla politiikkariskien vakuutuksia. Poliittisilla vakuutuksilla tarkoitetaan vakuutuksia, jotka suojaavat hallitusten politiikkamuutoksilta ja sopimusrikkomuksista aiheutuvilta tappioilta (Steckel & Jakob, 2018, s. 26). Multilateral Investment Guarantee Agency (MIGA), tarjoaa vakuutuksia poliittisia riskejä varten. Suurin osa vakuutuksista kohdistuu kuitenkin kehitysmaihin, joissa hallinnon päätöksiin voi liittyä epävarmuuksia (Steckel & Jakob, 2018:26; Gatzert & Kosub, 2016:993). Poliittista riskivakuutusta harkitessa pitäisi tarkasti arvioida hankkeen toteutusmaan poliittinen tilanne ja vakuutuksen tarpeellisuus.

Syöttötariffien lisäksi valtiot voivat tarjota uusiutuvan energian hankkeille myös muita tukijärjestelmiä. Suomen energiavirasto lakkautti syöttötariffijärjestelmän tuulivoiman osalta vuonna 2017 (Työ- ja elinkeinoministeriö, nd). Lakkautettuaan syöttötariffijärjestelmän energiavirasto hyväksyi preemiojärjestelmän, jonka avulla siihen vuonna 2019 hyväksytyille tuulivoimahankkeille maksetaan preemion mukaista tukea kahdentoistavuoden ajan. Preemiojärjestelmässä sähköntuottajalle maksetaan sähkön markkinahinnan lisäksi tukea eli niin sanottua preemiota (Energiavirasto, 2024, s. 2). Tuen määrä riippuu markkinahinnan tasosta suhteessa asetettuun viitehintaan ja preemioon. Sähkön markkinahinnan ollessa yhtä suuri tai pienempi kuin viitehintaa, saa sähkön tuottaja täyden preemion mukaisen tuen. Mikäli markkinahinta on korkeampi kuin viitehintaa, mutta matalampi kuin viitehinnan ja preemion summa, tuottaja saa alennettua tukea. Jos markkinahinta on yhtä suuri tai suurempi kuin viitehintaa sekä preemio, tukea ei makseta ollenkaan. Preemiojärjestelmän tukea ei siis uusiin hankkeisiin enää myönnetä, mutta tulevaisuuden hankkeiden suunnittelussa on myös tärkeää olla tietoinen aiemmista tukijärjestelmistä. Useat voimalat saavat edelleen preemiojärjestelmän tukea, mikä voi vaikuttaa uusien hankkeiden kilpailuasemaan. Myös tieto siitä, että valtio on aiemmin tukenut uusiutuvaa energiaa ennakoitavasti, voi lisätä investoijien ja rahoittajien luottamusta tuleviin hankkeisiin.

4.4 Vastuullisuus

4.4.1 ESG-riskienhallinta ja vastuullinen sijoittaminen

ESG riskien hallinta on olennainen osa tuulivoimahankkeiden toteutusta. ESG on lyhenne sanoista Environmental (ympäristölliset), Social (sosiaaliset) ja Governance (hallinnolliset) (Adu-Boahen ym., 2024:276; Lu & Li, 2024:1). ESG riskienhallinta antaa kokonaisvaltaisemman kuvan hankkeen suoriutumuksesta ottamalla huomioon ympäristöllisiä, sosiaalisia ja hallinnollisia riskejä taloudellisten riskien lisäksi (Adu-

Boahen ym., 2024, s. 273). ESG:llä on vaikutus tuulivoimainvestointeihin, sillä se tuo varmuutta sijoittajille, sekä lisää yhteiskunnallista kestävyyttä (Lu & Li, 2024, s. 1).

Ympäristölliset riskit ovat pitkälti hankekohtaisia, mutta ne tulee ottaa varhaisessa vaiheessa hanketta huomioon. Linnut ovat tuulivoimahankkeissa usein ongelma, mutta niiden suojelemiseksi on kehitetty järjestelmiä, kuten tutkia, jotka tunnistavat linnut ennen kuin ne lentävät lapoja päin ja pysäyttävät turbiinin (Adu-Boahen ym., 2024, s. 277). Ympäristöllisten riskien lisäksi hankkeet voivat kaatua myös sosiaalisiin riskeihin. Vaikka sosiaaliset riskit ovatkin arvaamattomia, voidaan niitä ennaltaehkäistä koko hankkeen aikana. Läpinäkyvä ja varhainen viestintä hankkeen alkuvaiheissa sidosryhmille, kuten paikallisille asukkaille tulee ottaa huomioon, jotta tuulivoimahankkeen epäluuloja voidaan vähentää ja hyväksyttävyyttä parantaa. Asianmukaisesti toteutettu tuulivoimahankkeen sosiaaliset vaikutukset voivat olla myös positiivisia, sillä ne voivat tuoda etenkin rakennusvaiheen aikana paljon työpaikkoja paikallisille asukkaille. Paikallistaloudelliset hyödyt voivat lieventää sosiaalisia riskejä, jos keskustelu on avointa ja ne otetaan selkeästi esille (Adu-Boahen ym., 2024, s. 274, 275). Hyvä hallintotapa tukee avoimuutta, vastuullisuutta ja eettisiä toimintaperiaatteita, jotka ovat keskeisiä sijoittajien luottamuksen kannalta sekä säätelyn näkökulmasta. Yleisten standardien kuten ISO 31000, voidaan ohjata hallinnollisia toimia ja varmistaa hankkeen onnistuminen (Adu-Boahen ym., 2024, s. 275). ESG riskien tunnistaminen vaatii tarkkaa analyysiä ympäristöllisistä, sosiaalisista ja hallinnollisista näkökulmista. Kattavalla analyysillä varmistetaan hankkeen menestys koko sen elinkaaren ajan.

4.4.2 EU:n raaka-aine ja vastuullisuusstrategiat

Tuulivoimahankkeiden investoijilla on rajalliset mahdollisuudet vaikuttaa raaka-aineiden saatavuuteen, mutta Euroopan Unioni pyrkii parantamaan sisämarkkinoidensa raaka-aineiden saatavuutta tulevaisuudessa. Pitkät ja monivaiheiset toimitusketjut Aasiasta Eurooppaan voivat kasvattaa logistiikkakustannuksia ja lisätä toimitusviiveiden riskiä, mikä voi viivästyttää hankkeen valmistumista ja laskea kannattavuutta. Euroopan Unioni

on julkaissut kriittisten raaka-aineiden strategian, jonka tavoitteena on vähentää riippuvuutta kolmansista maista ja lisätä Euroopan omaa tuotantoa (Euroopan Komissio, nd). Pitkällä aikavälillä Euroopan Unionin tavoitteet ja omien mineraalivarojen hyödyntäminen ja kierrätys voivat vähentää riippuvuutta Kiinan ja muiden maiden tuotannosta.

5 Johtopäätökset ja yhteenveto

Tässä kandidaatintutkielmassa tarkasteltiin tuulivoimainvestointeihin liittyviä poliittisia, markkinallisia, sosiaalisia, teknisiä, ympäristöllisiä ja oikeudellisia riskejä sekä esitettiin keinoja riskienhallintaan ja rahoitukseen. Tutkimus osoitti, että tuulivoimatuotanto on tärkeässä roolissa siirryttäessä uusiutuvan energiantuotantoon. Samalla nämä investoinnit kohtaavat kuitenkin riskejä, jotka vaativat huolellista arviointia ja riskienhallintaa. Riskien tunnistuksessa käytettiin pääsääntöisesti PESTEL-analyysiä, jonka avulla keskeisimmät riskit voitiin arvioida.

Poliittiset riskit liittyvät erityisesti epävarmuuksista ja muutoksista lainsäädännössä, tukipolitiikassa ja hankkeen luvittamisessa. Tukijärjestelmien muutokset kuten syöttötariffijärjestelmien poistaminen tai vain hetken Suomessa voimassa ollut preemiojärjestelmä osoittavat, kuinka tärkeää on tiedostaa tulevaisuuden tukipolitiikan muutosten vaikutukset myös tulevaisuuden investointeihin. Lisäksi geopoliittiset tekijät voivat vaikuttaa komponenttien ja raaka-aineiden saatavuuteen, materiaalien kysynnän kasvaessa. Poliittisten riskien hallinta edellyttää jatkuvaa seuranta, vakuutusratkaisuja ja toimintaympäristön tuntemista. Etenkin suuret tuulivoimahankkeet vaativat luotettavan poliittisen kehityksen, jotta rahoittajien ja sijoittajien luottamus säilyy.

Tuulivoimainvestointien markkinariskit liittyvät pääsääntöisesti sähkön hinnan vaihteluihin. Hinnan vaihtelut voivat aiheuttaa investoinnin kannattamattomuutta, mikäli sähköä joudutaan myydä alhaisilla hinnoilla. Markkinahintojen vaihteluilta voidaan välttyä varastoimalla sähköenergiaa hintojen ollessa alhaiset. Tutkielmassa tarkasteltiin energian varastoinnin lisäksi sopimusmalleja, joiden avulla sähkön hinnan vaihteluista aiheutuvat ongelmat voidaan hallita. Power Purchase Agreement (PPA), eli sähkönostosopimus, takaa sähkön tuottajalle kiinteän hinnan, jolla asiakas ostaa sähköä pitkäaikaisesti. Sähkönostosopimuksen ohella hyvin samankaltaiset futuuri- ja termiinisopimukset mahdollistavat tuottajalle tietyn sähkön myyntihinnan tulevaisuudessa, mikä tekee sähkön myynnistä ennustettavampaa.

Tuulivoimainvestointien tekniset riskit puolestaan liittyvät rakentamisen, huollon, tuotannon sekä sääolosuhteiden epävarmuuksiin. Tuulivoimaloiden vauriot, huoltotoimenpiteiden laiminlyönti ja kriittisten komponenttien saatavuusongelmat voivat merkittävästi heikentää hankkeiden kannattavuutta. Ennakoiva kunnossapito ja kattavat huoltosopimukset ovat edellytyksiä tuulivoimalahankkeen pitkän aikavälin onnistumiselle. Samalla varaosien ja materiaalien saatavuuden turvaaminen sekä valmistajariippuvuuden vähentäminen nousevat tärkeiksi tekijöiksi teknisten riskien pienentämisessä. Tuulivoimalan komponenttien on lisäksi vastattava sähköverkon vaatimuksia, mikä edellyttää tarkkaa suunnittelua suurten uudelleenrakentamiskustannusten välttämiseksi.

Rahoitusmekanismeilla on erityisen tärkeä rooli tuulivoimainvestoinneissa. Tutkielmassa tarkasteltiin useita rahoitusmekanismeja ja niiden merkitystä riskienhallinnassa. Vihreät joukkovelkakirjat ja muut uusiutuvaa energiaa tukevat rahoitusmallit tarjoavat mahdollisuuksia tuulivoimahankkeiden rahoittamiseen, houkuttellen samalla vastuullisuutta painottavia sijoittajia. Joukkovelkakirjojen lisäksi perinteiset pankkilainat ovat yleisiä. Korkotaso ja sen vaihtelut aiheuttavat rahoitukseen merkittäviä epävarmuuksia. Sekä joukkovelkakirjojen, että pankkilainojen viitekorkojen vaihteluista aiheutuvia riskejä voidaan hallita esimerkiksi korkojenvaihtosopimuksilla.

ESG-vaatimusten ja vastuullisen sijoittamisen merkitys korostui tutkielman edetessä. Uusiutuvan energian investoinnit vaikuttavat hankkeen ympäristövastuullisuuteen ja ESG vastuullisuus voi paitsi houkuttella sijoittajia myös vähentää rahoituskustannuksia. Sijoittajat arvioivat sijoituskohteitaan yhä enemmän vastuullisuuden ja kestävyyskriteerien pohjalta, mikä tekee vastuullisuudesta olennaisen osan projektin onnistumista. Samalla EU:n raaka-aine ja vastuullisuusstrategiat pyrkivät parantamaan raaka-aineiden saatavuutta ja edistämään kestävästä siirtymää Euroopassa, mikä voi tukea uusiutuvan energian investointeja tulevaisuudessa.

Kestävän kehityksen hiilineutraalisuustavoitteet ja ilmastopoliittiset sopimukset luovat painetta sekä yksityiselle että julkiselle sektorille investoida uusiutuvaan energiaan. Uusiutuvan energian hankkeiden menestyksellinen toteuttaminen edellyttää strategista riskienhallintaa ja vastuullisuuden huomioimista investointivaiheessa. Voidaan todeta, että tuulivoimainvestointien onnistuminen perustuu monien osa-alueiden yhteensovittamiseen. Poliittisten, teknisten ja taloudellisten riskien hallinta, kestävän rahoituksen hyödyntäminen, ESG-vaatimukseen vastaaminen sekä kunnossapidosta huolehtiminen ovat kaikki keskeisiä tekijöitä investointien kannattavuuden ja tulevaisuuden varmistamiseksi. Tulevaisuudessa etenkin vastuullisuuden ja kestävän kehityksen merkitys tulee kasvamaan entisestään ja näkymään sekä rahoittajien että sijoittajien vaatimuksissa.

Lähteet

- Abba, Z. Y. I., Balta-Ozkan, N., & Hart, P. (2022). A holistic risk management framework for renewable energy investments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *160*, 112305. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112305>
- Adu-Boahen, J., Nnaji, J., Mupa, M. N., & Pamful, E. (2024). Integrating ESG Factors in Investment Decision-Making for Renewable Energy Projects. *Journal of Engineering Studies and Research*, *8*, 273–293. Noudettu 14. huhtikuuta 2025, osoitteesta https://www.researchgate.net/profile/Munashe-Naphtali-Mupa/publication/383205692_Integrating_ESG_Factors_in_Investment_Decision-Making_for_Renewable_Energy_Projects/links/67764652894c5520853c141b/Integrating-ESG-Factors-in-Investment-Decision-Making-for-Renewable-Energy-Projects.pdf
- Allianz. (nd). *WIND POWER OPERATIONAL ALL RISKS POLICY OVERVIEW*. Noudettu 14. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://www.allianz.co.uk/content/dam/onemarketing/azuk/allianzcouk/broker/docs/engineering/renewables/wind/wind-operational-all-risks-policy-overview-ace3572.pdf>
- Anne, S. (nd.). *Tuulivoiman yleisopas*. Noudettu 19. helmikuuta 2025, osoitteesta <https://www.elykeskus.fi/documents/10191/57296/Tuulivoiman+yleisopas.pdf/9f0ed0a3-7df6-ee6c-81ed-e90279b264fe?t=1636093932871>
- Birol, F. (2022). World Energy Outlook 2022. Noudettu 7. helmikuuta 2025, osoitteesta *IEA*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- Bitaraf, H., & Rahman, S. (2018). Reducing Curtailed Wind Energy Through Energy Storage and Demand Response. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, *9*(1), 228–236. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*. <https://doi.org/10.1109/TSTE.2017.2724546>

- Blaabjerg, F., & Ma, K. (2017). Wind Energy Systems. *Proceedings of the IEEE*, 105(11), 2116–2131. *Proceedings of the IEEE*.
<https://doi.org/10.1109/JPROC.2017.2695485>
- Bölük, G., & Kaplan, R. (2022). Effectiveness of renewable energy incentives on sustainability: Evidence from dynamic panel data analysis for the EU countries and Turkey. *Environmental Science and Pollution Research International*, 29(18), 26613–26630. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17801-y>
- Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., Cheung, W. W. L., Connors, S., Denton, F., Diongue-Niang, A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Jones, C., ... Péan, C. (2023). *IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.* (First). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Campbell, R. G. (2004). Energy Future and Forward Contracts, Safe Harbors and the Bankruptcy Code. *American Bankruptcy Law Journal*, 78, 1. Noudettu 7. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://heinonline.org/HOL/Page?handle=hein.journals/ambank78&id=11&div=&collection=>
- Council of Oulu Region. (2016, syyskuuta 5). Noudettu 26. maaliskuuta 2025, osoitteesta <https://pohjois-pohjanmaa.fi/wp-content/uploads/2020/08/5256.pdf> *POHJOIS-POHJANMAAN MAAKUNTAKAAVAN UUDISTAMINEN 3. VAIHEMAAKUNTAKAAVAN LUONNOS.*
- De La O, R., & Myers, S. (2021). Subjective Cash Flow and Discount Rate Expectations. *Journal of Finance (John Wiley & Sons, Inc.)*, 76(3), 1339–1387. <https://doi.org/10.1111/jofi.13016>
- de Siqueira, L. M. S., & Peng, W. (2021). Control strategy to smooth wind power output using battery energy storage system: A review. *Journal of Energy Storage*, 35, 102252. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102252>

- Díaz-González, F., Sumper, A., & Gomis-Bellmunt, O. (2016). *Energy Storage in Power Systems*. John Wiley & Sons, Incorporated. Noudettu 9. huhtikuuta 2025, osoitteesta <http://ebookcentral.proquest.com/lib/tritonia-ebooks/detail.action?docID=4443208>
- Eduskunta. (2014, kesäkuuta 27). *527/2014 | Lainsäädäntö*. Noudettu 2. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2014/527>
- Eduskunta. (2023, tammikuuta 5). *9/2023 Suomen säädöskokoelma*. Noudettu 2. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saadaskokoelma/2023/9>
- Energiavirasto. (2024, heinäkuuta 4). *Preemio-ohje*. Noudettu 17. huhtikuuta 2025, osoitteesta [https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12854466/Preemio-ohje.pdf?t=1720094748710](https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12854466/Preemio-ohje/d0d71701-c9a3-122a-1f53-8ec1b97ab8ca/Preemio-ohje.pdf?t=1720094748710)
- Euroopan Komissio. (nd.). *EU:n kriittisiä raaka-aineita koskeva säädös—Euroopan komissio*. Noudettu 24. huhtikuuta 2025, osoitteesta https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan/european-critical-raw-materials-act_fi
- European Commission. (nd.). *Support schemes for renewable energy*. Noudettu 22. huhtikuuta 2025, osoitteesta https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/financing/support-schemes-renewable-energy_en
- European Court of Auditors. (2019). *Tuuli- ja aurinkovoima sähköntuotannossa: EU:n tavoitteiden saavuttamiseksi tarvitaan merkittäviä toimia*. Publications Office of the European Union. Noudettu 27. helmikuuta 2025, osoitteesta <https://data.europa.eu/doi/10.2865/422369>
- Fetting, C. (2020). THE EUROPEAN GREEN DEAL. *ESDN Office*. Noudettu 10. helmikuuta 2025, osoitteesta https://www.esdn.eu/fileadmin/ESDN_Reports/ESDN_Report_2_2020.pdf
- Fingrid. (nd.). *Tuulivoimaliittyjän opas*. Noudettu 12. maaliskuuta 2025, osoitteesta https://suomenuusiutuvat.fi/media/188-fingrid_tuulivoimaliittyjan_opas.pdf

- Flammer, C. (2021). Corporate green bonds. *Journal of Financial Economics*, 142(2), 499–516. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.01.010>
- Gatzert, N., & Kosub, T. (2016). Risks and risk management of renewable energy projects: The case of onshore and offshore wind parks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 982–998. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.103>
- Huisman, R., Koolen, D., & Stet, C. (2021). Pricing forward contracts in power markets with variable renewable energy sources. *Renewable Energy*, 180, 1260–1265. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.08.086>
- Hull, J. (2022). *Options, Futures, and Other Derivatives, Global Edition*. Noudettu 4. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://bookshelf.vitalsource.com/reader/books/9781292410623/pageid/28>
- Iskandarova, M., Dembek, A., Fraaije, M., Matthews, W., Stasik, A., Wittmayer, J. M., & Sovacool, B. K. (2021). Who finances renewable energy in Europe? Examining temporality, authority and contestation in solar and wind subsidies in Poland, the Netherlands and the United Kingdom. *Energy Strategy Reviews*, 38, 100730. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100730>
- Suomen standardit RY. (2020, syyskuuta 22). SFS. Noudettu 20. helmikuuta 2025, osoitteesta <https://sfs.fi/standardeista/tutustu-standardeihin/suosittu-standardit/iso-31000-riskienhallinta/>
- Jain, S. (2022). Exploring structures of power purchase agreements towards supplying 24x7 variable renewable electricity. *Energy*, 244, 122609. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122609>
- Khalid, M. (Toim.). (2023). *Sustainable Energy Systems: Emerging Technologies and Practices in Renewable Energy Storage*. MDPI. <https://doi.org/10.3390/books978-3-0365-8915-2>
- Korpela, P. (2024, lokakuuta 29). *Sään vaihtelut vaikuttavat sähkölaskuihin – tuuli- ja aurinkovoima muokkaavat energiamarkkinoita*—Ilmatieteen laitos. Noudettu 8. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/puheenvuoro/6OJ9HERxGI6fAmSOlyzds0>

- Koskinen, H., & Kaipainen, M. (2023, elokuuta 22). *Jättimäisiä tuulivoimaloita puretaan ennen aikojaan – Ellin, Esterin ja Hugon linkaari jäi vain puoleen suunnitellusta*. Yle Uutiset. Noudettu 20. helmikuuta 2025, osoitteesta <https://yle.fi/a/74-20046142>
- Lee, C. W. (2014). Risk Management Methods Applied to Renewable and Sustainable Energy: A Review. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.11648/j.jeeee.s.2015030101.11>
- Lu, J., & Li, H. (2024). The impact of ESG ratings on low carbon investment: Evidence from renewable energy companies. *Renewable Energy*, 223, 119984. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.119984>
- Mäntyneva, M. (2025). *Hallittu projekti*. Noudettu 27. maaliskuuta 2025, osoitteesta [https://kauppakamaritieto-fi.proxy.uwasa.fi/ammattikirjasto/teos/hallittu-projekti-3-painos-2025#kohta:Hallittu\(\(20\)projekti](https://kauppakamaritieto-fi.proxy.uwasa.fi/ammattikirjasto/teos/hallittu-projekti-3-painos-2025#kohta:Hallittu((20)projekti)
- Paavola, H., Riipinen, T., Rauhala, A.-M., & Mutikainen, M. (2020). *Energiätuen vaikuttavuuden* Noudettu 22. huhtikuuta 2025, osoitteesta https://tem.fi/documents/1410877/170991616/Loppuraportti_TEM_energiatuen+vaikuttavuus_010720.pdf/25485f4e-a812-377a-84e9-c506f9b1dd10/Loppuraportti_TEM_energiatuen+vaikuttavuus_010720.pdf?t=1692093897326
- Pelli, P. (2024, huhtikuuta 14). *Sähkö | Selvitys: Tuulivoiman hyväksyttävyyys on koetuksella*. Helsingin Sanomat. Noudettu 26. maaliskuuta 2025, osoitteesta <https://www.hs.fi/talous/art-2000010356717.html>
- Raikar, S., & Adamson, S. (2024). *Renewable Energy Finance: Theory and Practice*. Elsevier. Noudettu 15. huhtikuuta 2025, osoitteesta https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=xQ7zEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Renewable+Energy+Finance:+Theory+and+Practice&ots=sCwEpcaspx&sig=FwdEcTjx2_YIEbHA5WsvfR144ZI&redir_esc=y#v=onepage&q=Renewable%20Energy%20Finance%3A%20Theory%20and%20Practice&f=false

- Regueiro-Ferreira, R. M., & Cadaval Sampedro, M. (2023). Renewable energy taxes and environmental impacts: A critical reflection from the wind tax in Spain. *Energy & Environment*, 34(5), 1722–1744. <https://doi.org/10.1177/0958305X221083249>
- Salo, M. (2019). *Energia ja ilmastonmuutos Webinaari*. Noudettu 2. huhtikuuta 2025, osoitteesta https://www.ilmastoviisas.fi/wp-content/uploads/2019/02/SaloMiikka_Webinaari-LUKE-280319_s.pdf
- Santelo, T. N., De Oliveira, C. M. R., Maciel, C. D., & De A. Monteiro, J. R. B. (2022). Wind Turbine Failures Review and Trends. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 33(2), 505–521. <https://doi.org/10.1007/s40313-021-00789-8>
- Schulte, R. (2011). *Iowa Stored Energy Park Project Terminated*. Noudettu 9. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://www.nrc.gov/docs/ML1202/ML12026A781.pdf>
- Steckel, J. C., & Jakob, M. (2018). The role of financing cost and de-risking strategies for clean energy investment. *International Economics*, 155, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2018.02.003>
- Suomen tuulivoimayhdistys ry. (2019, toukokuuta). *Tuulivoimahankkeen luvitus Suomessa*. Noudettu 20. helmikuuta 2025, osoitteesta https://suomenuusiutuvat.fi/media/1397-sty_tuulivoiman_luvittaminen_5_2019.pdf
- Suomen uusiutuvat ry. (nd.). *Sähkömarkkinat*. Noudettu 2. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://suomenuusiutuvat.fi/usein-kysyttya/tuulivoimasta/sahkomarkkinat/>
- Suomen uusiutuvat ry. (nd.). Tuulivoimapuiston rakentaminen. *Suomen uusiutuvat ry.* Noudettu 19. helmikuuta 2025, osoitteesta <https://suomenuusiutuvat.fi/tuulivoima/tuulivoimahankkeen-suunnittelu-ja-toteutus/tuulipuiston-rakentaminen-ja-voimaloiden-pystytys/>
- Suomen uusiutuvat ry. (2024, lokakuuta 10). Pitkäaikainen sähkönostosopimus (PPA). *Suomen uusiutuvat ry.* Noudettu 8. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://suomenuusiutuvat.fi/tuulivoima/faktapaperit-tuulivoimasta/pitkaaikainen-sahkonostosopimus-ppa/>

- Suomen uusiutuvat ry. (2025, tammikuuta 3). *Tuulivoima Suomessa 31.12.2024*. Suomen uusiutuvat ry. Noudettu 10. helmikuuta 2025, osoitteesta https://suomenuusiutuvat.fi/media/tuulivoima_vuositilastot-2024.pdf
- Suomen uusiutuvat ry. (n.d.). Tuulivoimalat. *Suomen uusiutuvat ry*. Noudettu 2. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://suomenuusiutuvat.fi/useinkysyttya/tuulivoimasta/tuulivoimalat/#accordion-mika-on-tuulivoimalan-elinkaari-ja-voiko-ne-kierrattaa-8>
- Työ- ja elinkeinoministeriö. (nd.). *Uusiutuvan energian tuet*. Työ- ja elinkeinoministeriö. Noudettu 17. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://tem.fi/uusiutuvan-energian-tuet>
- Työ- ja elinkeinoministeriö. (2022). *Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiasstrategia*. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-811-0>
- Vuorinen, T., & Huikkola, T. (2023). *Strategiakirja: 25 työkalua*. [https://bisneskirjasto-almatalent-fi.proxy.uwasa.fi/teos/GAJBIXETEB#/kohta:OSA\(\(20\)2\(\(20\)STRATEGIATY\(\(d6\)KALUT\(\(20\)JA\(\(20\)MENETELM\(\(c4\)T\(\(20\)ERI\(\(20\)TILANTEISIIN\(:4\(\(20\)Strategiaty\(\(f6\)kaluja\(\(20\)asemointiin\(:PESTEL-analyysi/piste:t2P9](https://bisneskirjasto-almatalent-fi.proxy.uwasa.fi/teos/GAJBIXETEB#/kohta:OSA((20)2((20)STRATEGIATY((d6)KALUT((20)JA((20)MENETELM((c4)T((20)ERI((20)TILANTEISIIN(:4((20)Strategiaty((f6)kaluja((20)asemointiin(:PESTEL-analyysi/piste:t2P9)
- Wuolijoki, S. (2025, huhtikuuta 15). *Oikeustiede:joukkovelkakirja – Tieteen termipankki*. Noudettu 15. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://tieteentermipankki.fi/wiki/Oikeustiede:joukkovelkakirja>
- Ympäristöministeriö. (nd.). *Pariisin ilmastopimus*. Ympäristöministeriö. Noudettu 2. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://ym.fi/pariisin-ilmastosopimus>
- Ympäristöministeriö. (2016). *Tuulivoimarakentamisen suunnittelu*. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4634-3>