

# **TUULIVOIMAPUISTON KUNNOSSAPITOTOIMITUKSEN ARVI- OINTI**

Veeti Valle  
Opinnäytetyö AMK  
Kevät 2025  
Energiatekniikka  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikka

Tekijä: Veeti Valle

Opinnäytetyön otsikko: Tuulivoimapuiston kunnossapitotoimituksen arviointi

Työn ohjaajat: Eero Länsimäki, Henri Vanha ja Timo Kiviahde

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2025

Sivumäärä: 41 + 0 liitettä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella tuulivoimapuiston kunnossapitosopimukseen liittyviä riskejä, kun kunnossapitotoimitus siirtyy alkuperäiseltä laitevalmistajalta ulkopuoliselle palveluntarjoajalle. Tarkastelu kohdistui yksittäisen tuulipuiston kunnossapitomallin muutokseen ja sen seurauksiin käytettävyytensä, raportointiin ja varaosalogistiikkaan. Työssä sovellettiin, sopimusteknistä vertailua sekä FMEA-menetelmää, jolla kartoitettiin operatiivisia, vahingollisia ja taloudellisia riskejä.

Tuulivoimatuotanto perustuu laitteiston tekniseen käytettävyyteen, jonka ylläpito ja seuranta ovat kunnossapitosopimusten ytimessä. Kunnossapidon laatu, vastaukset, raportoinnin kattavuus ja varaosien saatavuus vaikuttavat suoraan puiston käyttöasteeseen ja kannattavuuteen. Työssä havaittiin, että palveluntarjoajan vaihdos voi lisätä riskejä esimerkiksi dokumentaation siirtymättömyydestä, huoltoprosessien hajanaisuudesta ja osaamisen henkilöstoriippuvuudesta. Lisäksi havaittiin, että käyttöasteeseen sidotun korvausmallin muutos sopimuksen vaihdon yhteydessä voi heikentää kunnossapidon taloudellista ohjausvaikutusta.

Työn tulosten perusteella voidaan todeta, että kunnossapitosopimuksen ehtojen huolellinen määrittely on tärkeää tuulivoimapuiston tuotannon ja kannattavuuden kannalta. Riskienhallinta edellyttää kattavaa raportointia, teknisen tiedon saatavuutta, varaosalogistiikan suunnitelmallisuutta sekä suoritusperusteisten korvausmallien käyttöä. Sopimusmuutoksen yhteydessä tehtiin myös kustannus- ja vaikutusanalyysia, jotta mahdolliset tuotantotappiot ja hallintariskit voidaan minimoida.

# ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Program in Energy Technology

Author: Veeti Valle

Title of thesis: Evaluation of Wind Farm Maintenance Agreement

Supervisors: Eero Länsimäki, Timo Kiviahde and Henri Vanha

Term and year when the thesis was submitted: Spring, 2025

Number of pages: e.g. 41 + 0 appendices

This thesis examines the risks related to the change of a maintenance contract in a wind power park, where maintenance responsibilities are transferred from the original equipment manufacturer to an independent service provider. The aim was to identify and analyze the key operational and economic risks from the perspective of the service purchaser, focusing particularly on the impacts on availability, technical data management, spare part logistics, and maintenance accountability. The study was carried out as a case study based on a real-life wind farm in Finland. The analysis included a qualitative comparison of two maintenance agreements and applied a risk evaluation framework, including an FMEA method.

The findings indicate that a change in the service provider can introduce various challenges, such as lack of technical documentation, reduced transparency in reporting, and less responsive spare part logistics. Furthermore, the new compensation model based on a fixed payment for availability loss was found to offer less financial alignment with the actual production losses, compared to the previous model where penalties were scaled with underperformance.

The thesis highlights the importance of precise contract definitions, effective reporting practices, and performance-based compensation models in ensuring the technical and economic efficiency of wind power operations under third-party maintenance agreements.

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ .....	2
ABSTRACT .....	3
SISÄLLYS .....	4
SANASTO .....	5
1 JOHDANTO .....	6
2 TUULIVOIMAMARKKINA SUOMESSA.....	7
2.1 Tuulivoiman syöttötariffi, tuotantokilpailutus ja PPA .....	10
2.2 Sähkömarkkinat.....	13
3 TUOTANTO-OMAISUUDEN HALLINTA .....	17
4 KUNNOSSAPITO .....	22
4.1 Kunnossapitostrategiat.....	23
4.1.1 Ehkäisevä kunnossapito.....	25
4.1.2 Kuntoon perustuva kunnossapito .....	25
4.1.3 Luotettavuuskeskeinen kunnossapito.....	27
4.1.4 Tuottava kunnossapito .....	28
4.2 Kunnossapidon ulkoistaminen.....	29
5 RISKIENHALLINTA .....	33
6 TUULIPUISTON CASETUTKIMUS .....	36
7 POHDINTA .....	37
LÄHTEET .....	38

## SANASTO

CBM	Condition Based Maintenance eli kuntoon perustuva kunnossapito. Kunnossapitotoimet perustuvat mittauksilla tai havainnoilla saatuihin tietoihin laitteen tai järjestelmän kunnosta.
O&M	Operations and Maintenance eli käyttö ja kunnossapito. Laitoksen, prosessin tai järjestelmän käyttö ja sen kunnossapito.
OPEX	Operational Expenditure eli käyttökustannukset. Organisaation toiminnan jatkuviin menoihin, kuten henkilöstö-, energia- ja huoltokuluihin, liittyvät kustannukset.
PPA	Power Purchase Agreement eli sähköntoimitussopimus. Pitkäaikainen sopimus sähköön ostamisesta ja myymisestä.
RCM	Reliability Centered Maintenance eli luotettavuuskeskeinen kunnossapito. Menetelmä, jossa määritellään kriittiset kunnossapitotarpeet varmistamaan järjestelmän luotettavuus.
TPM	Total Productive Maintenance eli kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito. Kunnossapitofilosofia, joka tähtää tuotantolaitteiden maksimitehokkuuteen koko henkilöstön osallistumisella.

# 1 JOHDANTO

Tuulivoimasta on kehittynyt keskeinen energiantuotantomuoto sekä globaalisti että myös Suomessa. Päästöttömänä ja skaalautuvana energianlähteenä tuulienergia on tyypillisesti osana maakohtaisia energiastrategioita. Tuulivoimalan tyypillinen elinkaari on 20–35 vuotta ja sen aikana niiden taloudellista kannattavuutta ja suorituskykyä hallitaan mm. tuotanto-omaisuuden hallinnan ja kunnossapidon menetelmillä. Onnistunut tuotanto-omaisuuden hallinta ja kunnossapito lisäävät investointien kannattavuutta, ja niillä voidaan vaikuttaa tuulivoimalan elinkaaren keston.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan tuulivoimaloiden kunnossapitosopimuksia ja niihin liittyviä teoreettisia viitekehyksiä, kuten tuotanto-omaisuudenhallintaa, kunnossapitoa ja riskienhallintaa. Yleisesti ottaen tuulivoiman kunnossapitotoiminnossa hyödynnetään usein laitevalmistajan palveluita. Tämän opinnäytetyön tapaustutkimuksessa selvitetään vaikutuksia ja riskejä, jotka syntyvät, kun kunnossapitotoimittaja vaihdetaan ulkopuoliseen toimijaan. Työn ajankohtaisuus korostuu, kun Suomen asennettu tuulivoimakapasiteetti kasvaa vuosi vuodelta sekä laitekanta vanhenee. Myös syöttötariffijärjestelmään aikanaan liittyneet tuulivoimapuistot ovat alkaneet poistua järjestelmästä, mikä muuttaa puistojen tulorakenteita. Tämä johtaa useasti käyttökustannusten, kuten kunnossapidon, tarkempaan tarkasteluun ja vaihtoehtoisten palvelutoimittajien vertailuun.

Työn varsinainen tapaustutkimusosio ei ole julkinen, mutta toimeksiantajan päätökset voivat toimia esimerkkinä muille alan toimijoille. Tuloksilla on mahdollista edistää uusien kunnossapitotoimijoiden toimintaa markkinassa, johon uusilla toimijoilla voi olla haastavaa päästä toimimaan.

## 2 TUULIVOIMAMARKKINA SUOMESSA

Kasvava sähkönkulutus ja globaaleihin sekä paikallisiin ilmastotavoitteisiin vastaaminen edellyttävät jatkuvaa uuden sähköntuotantokapasiteetin lisäämistä. Tämän tarpeeseen vastaaminen perustuu merkittävältä osalta uusiutuvien energialähteiden hyödyntämiseen. Näistä tuulivoima edustaa teknistaloudellisesti toimivaa ratkaisua, sillä sen tuotantokustannukset ovat alhaiset ja teknologia tarjoaa skaalautuvan sekä kilpailukykyisen vaihtoehdon sähköntuotannon kapasiteetin kasvattamiseksi.

Suomessa sähköntuotanto perustuu monipuoliseen energiayhdistelmään, jossa yhdistyvät uusiutuvat energiamuodot, ydinvoima ja fossiiliset polttoaineet. Suurimpana tuotantomuotona vuonna 2024 oli ydinvoima vastaten 39 prosenttiin koko sähköntuotannosta. Tuulivoima nousi toiseksi merkittävimmäksi tuotantomuodoksi, ja sen osuus on kasvanut 25 prosenttiin. Vesivoima oli kolmanneksi suurin sähköntuotantomuoto 18 prosentin osuudella. Tuulivoima on tällä hetkellä Suomen edullisin sähköntuotantomuoto, mikä tekee siitä hyvän tuotantomuodon niin kuluttajien kuin teollisuuden näkökulmasta. Vaikka tuulivoimatuotanto on sääriippuvaista, sen lisääminen tasapainottaa sähkön hintaa pitkällä aikavälillä. (Energiateollisuus ry s.a. a.)

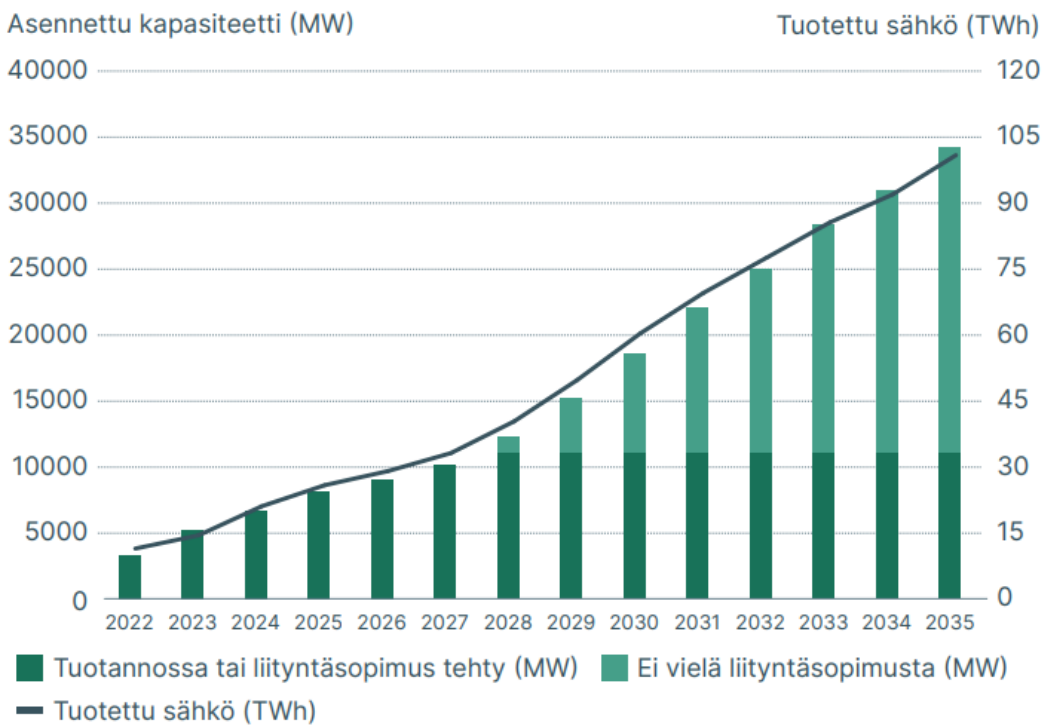
Tällä hetkellä Suomessa on yli 100 GW:n edestä tuulivoimaa eri suunnitteluvaiheissa. Laaja tuulivoimaportfolio auttaa vastamaan kasvavaan sähkönkulutukseen nopeasti. Kun tuulivoimahanke on saanut tarvittavat luvat, voidaan sähkön tuotanto aloittaa 2–3 vuoden kuluessa. (Suomen Uusiutuvat s.a. a.) Eri suunnitteluasteilla olevan tuulivoimakapasiteetin määrää tarkastellessa on syytä huomioida, että vain pieni osa näistä hankkeista toteutuu. Laaja suunnitteluputki kuitenkin kuvastaa rakentamiseen kohdistuvaa kiinnostusta.

Suomessa oli vuoden 2024 lopussa 1835 tuulivoimalaa, joiden kokonaiskapasiteetti oli 8358 MW. Vuonna 2024 tuulivoimakapasiteetti kasvoi 20 %, mikä tekee vuodesta historian toiseksi vilkkaimman rakennusvuoden. (Suomen Uusiutuvat s.a. b.) Kuvassa 1 esitetään tuulivoimakapasiteetin kasvuennuste vuoteen 2035 asti.

## Tuulivoima

Fingridin ennuste, syyskuu 2024.

**FINGRID**

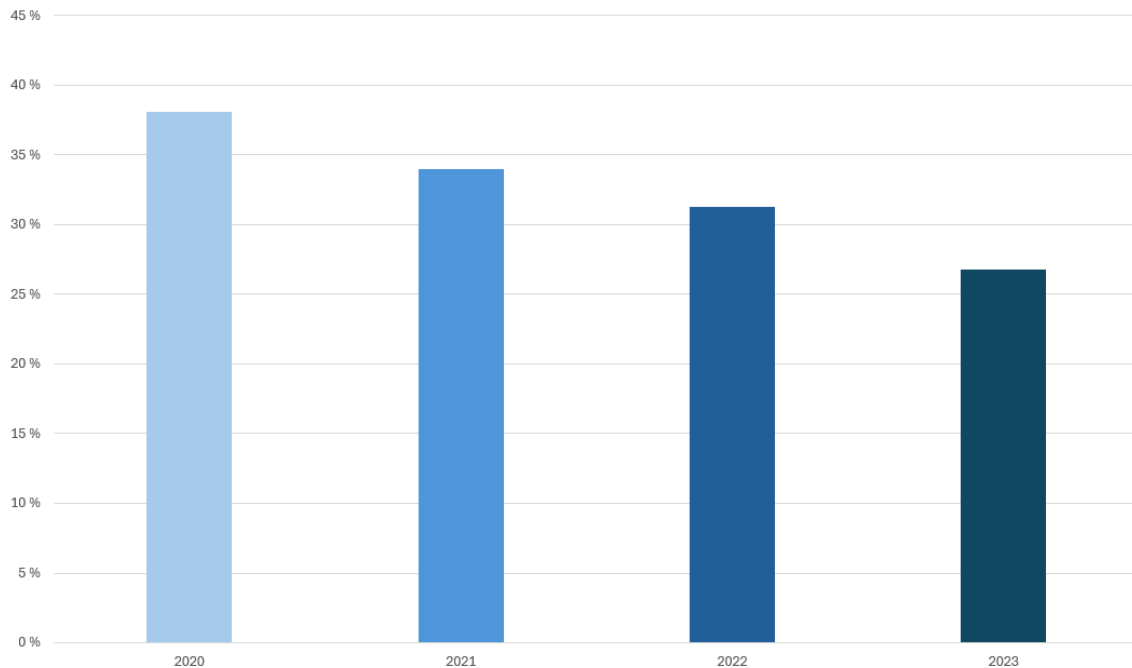


*KUVA 1. Tuulivoiman ennustettu kehitys Suomessa vuosille 2022–2035 (Fingrid 2024a)*

Fingridin tuulivoimaennusteen toteutuminen vaatii merkittävää sähkönkulutuksen kasvua, ja vastaavasti kulutusennusteen toteutuminen edellyttää, että edullista ja matalapäästöistä sähköä on saatavilla riittävästi. Valtaosa uudesta sähköntuotannosta perustuu sääriippuaiseen sähköntuotantoon, erityisesti maatuulivoimaan. Suomella on suuri maapinta-ala ja matala asukastiheys, mikä on Suomelle merkittävä kilpailuetu. Teollisuuden sähkönkulutus on kuitenkin tyypillisesti vakaata, jolloin tuulivoimatuotannon kehitys edellyttää kulutusjouston, säätövoiman sekä energian varastointikapasiteetin merkittävää lisäystä Suomessa. (Fingrid 2024a.)

Tuulivoiman käyttöaste vaihtelee vuosittain muun muassa tuulisuuden, teknisten tekijöiden ja huoltojen mukaan. Voimalaitoksen käyttöaste kertoo, kuinka suuri osa sen teoriassa mahdollisesta sähköntuotannosta saadaan tosiasiasa hyödynnettyä. Kuva 2 havainnollistaa käyttöasteen kehitystä Suomessa vuosina

2020–2023. Vaikka tuotantokapasiteetti on kasvanut voimakkaasti, käyttöasteessa on nähtävissä laskua. Tämä selittyy osittain vaihtelevilla tuuliolosuhteilla, mutta myös sillä, että suuri osa tuulivoimaloista on sijoitettu Länsi-Suomeen. Jos tällä alueella tuulee poikkeuksellisen vähän, tuotanto laskee koko maan tasolla, vaikka muualla olisikin paremmat olosuhteet.



*KUVA 2. Tuulivoimaloiden käyttöaste vuosina 2020–2023 (Fingrid s.a. b)*

Käyttöaste on laskettu kaavalla 1:

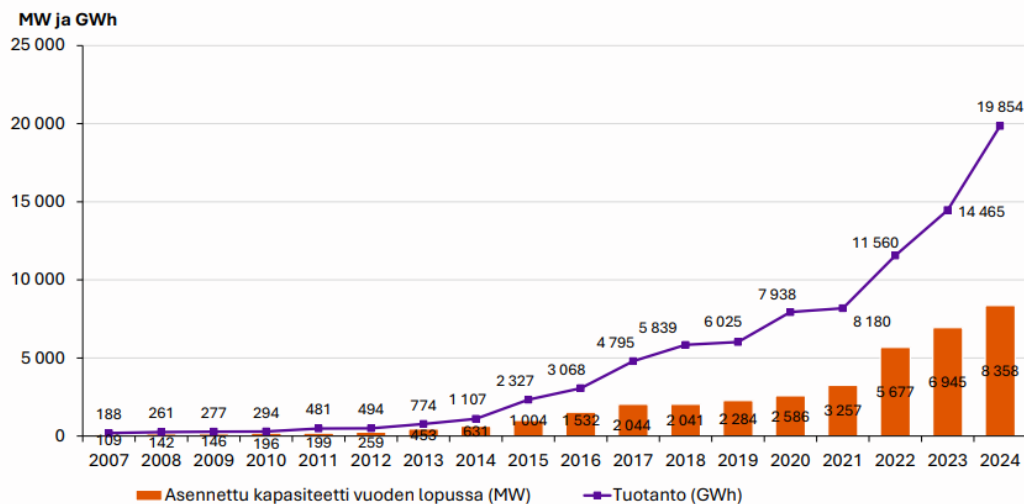
$$\text{Käyttöaste (\%)} = \left( \frac{\text{Vuotuinen sähköntuotanto}}{\text{Nimellisteho} \cdot 8760 \text{ h}} \right)$$

KAAVA 1

Tuulivoiman käyttöasteen laskennassa herää kysymys siitä, onko perusteltua käyttää vuoden kokonaistuntimäärää eli 8760 tuntia vertailulukuna, kun sähkömarkkinalla esiintyy negatiivisia hintoja ja tuotantoa rajoitetaan markkinaehtoisesti. Tilanne, jossa sähköntuotanto ajetaan alas taloudellisista syistä, johtaa laskennallisesti alempaan käyttöasteeseen, vaikka teknisiä esteitä tuotannolle ei ole. Negatiivinen sähkön hinta ei poista teknistä valmiutta tuottaa sähköä, vaan heijastaa markkinoiden hetkittäistä ylitarjontaa. Tällaiset tilanteet rinnastuvat muihin käyttöastetta alentaviin tekijöihin, kuten huoltotarpeisiin tai sääolosuhteisiin.

Sähkömarkkinan vaikutuksesta huolimatta 8760 tuntia on perusteltu referenssiluku käyttöasteen laskentaan. Kyseessä on teoreettinen maksimikäyttöaika, jonka avulla mitataan, kuinka suuren osan ajasta tuotantokapasiteetti on ollut käytössä täydellä teholla. Tämä mahdollistaa objektiivisen vertailun eri tuotantomuotojen ja laitosten välillä riippumatta niiden käyttöprofiileista tai ulkoisista markkinavaikutuksista.

Käyttöasteen vertailuun eri vuosien välillä tulee myös suhteuttaa asennetun tuulivoimakapasiteetin määrään, joka on viime vuosina kasvanut merkittävästi. Vuosina 2020–2024 tuulivoimaloiden nimellisteho kasvoi 7948 MW:sta 8358 MW:iin. Asennetun kapasiteetin kasvu on esitetty kuvassa 3.



KUVA 3. Asennettu tuulivoimakapasiteetti Suomessa vuosina 2007–2024 (Energiateollisuus 2025b)

## 2.1 Tuulivoiman syöttötariffi, tuotantokilpailutus ja PPA

Suomessa otettiin vuonna 2011 käyttöön tuulivoiman syöttötariffijärjestelmä, jonka tavoitteena oli kehittää uusiutuvan energian markkinaa. Järjestelmän tarkoituksena oli tarjota kaupallista vakautta ja ennustettavuutta tuulivoimahankkeille maksamalla tukea sähkön markkinahinnan ja tavoitehinnan erotuksen perusteella. Tuulivoimatuotannolle asetettu tavoitetuotantohinta on 83,50 €/MWh. Jos sähköntukku markkinan hinta on tämän alle, tuottajalle maksetaan erotus

osittain valtion tuen muodossa. Tukea maksetaan kuitenkin enintään 53,50 €/MWh. Järjestelmä suljettiin vuonna 2017, mutta sen aikana rakennetut voimalat kuuluvat edelleen tariffin piiriin. Tukea maksetaan 12 vuoden ajan voimalan valmistumisesta. Tukea on pidetty julkisuudessa kalliina, mikä selittyy osaksi sillä, että syöttötariffin taso määriteltiin vuonna 2009, jolloin referenssinä käytettiin sen aikaista teknologiaa. Tuen avulla saatiin kuitenkin liikkeelle merkittävät tuulivoimainvestoinnit Suomeen, mikä on tärkeä osa Suomen energijärjestelmän kehittymistä. (Yle 7.3.2024.)

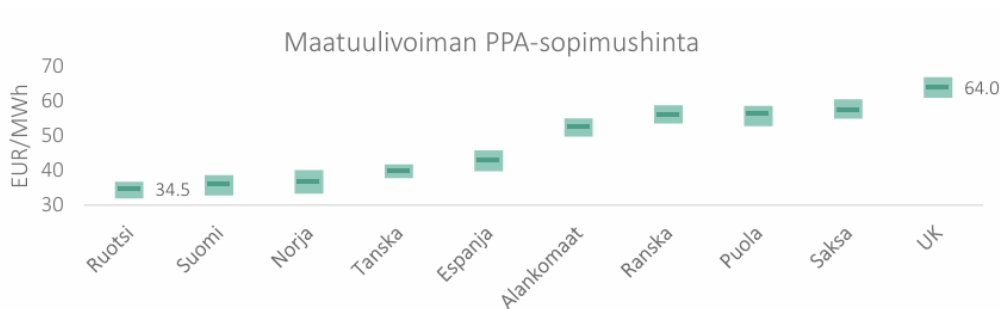
Tuulivoimapuistoja on tuettu jonkin verran myös syöttötariffin jälkeen, tosin erilaisella ja resurssitehokkaammalla tavalla. Syöttötariffijärjestelmän tilalle otettiin teknologianeutraali tuotantotuen kilpailutus, eli se oli avoin kaikille uusiutuvan energian tuotantomuodoille. Kilpailun ensimmäinen kierros järjestettiin vuonna 2018, jolloin kilpailuun osallistui 26 tarjousta, joista kaikki olivat tuulivoimahankkeita. Tarjouskokonaisuudesta 7 hyväksyttiin. Tukijärjestelmään hyväksyttiin halvimmat tarjoukset, joiden keskihinnaksi muodostui 2,49 €/MWh. Jokainen hyväksytty tuottaja saa tukea oman tarjouksensa mukaisella lisähinnalla. Tuki maksetaan täysimääräisenä, mikäli sähkön kolmen kuukauden markkinahinnan keskiarvo on korkeintaan 30 €/MWh. Tukea maksetaan enintään 12 vuoden ajan. (Energiavirasto 13.6.2023.)

Syöttötariffin ja tuotantotuen kilpailutuksen jälkeen alkoi aikakausi, jonka jälkeen tuulivoimaa rakennettiin Suomessa kokonaisvaltaisesti markkinaehtoisesti. Nykyään ennustettavuutta ja vakautta tuulivoimapuistolle, saadaan alalla yleistyneillä PPA-sopimuksilla, eli pitkäaikaisilla sähkönostosopimuksilla (Power Purchase Agreement). Sopimuksessa suuri sähkönkuluttaja tai ryhmittymä pienempiä kuluttajia sitoutuu ostamaan tietyn määrän sähköenergiaa ennalta sovittuun hintaan. Tyypillinen aikaväli sopimuksille on 10–20 vuotta. Sopimuksella molemmat osapuolet vähentävät sähkömarkkinan volatiliteetin negatiivisia vaikutuksia omaan toimintaansa. (Suomen Uusiutuvat s.a. c.)

PPA-sopimuksilla voidaan hallita sähkömarkkinasta johtuvia riskejä, mutta myöskään nämä sopimukset eivät ole riskittömiä. Esimerkkitapauksena, ruotsalainen Aldermyrbergetin tuulipuisto tuotti sähköä kaivosyhtiö Bolidenille kiinteään hintaan ja kiinteällä määrällä. Tuulipuiston tuotanto ei kuitenkaan aina riittänyt

täyttämään sopimusvelvoitteita ja tuulipuiston omistava yhtiö joutui ostamaan sähköä markkinoilta korkealla hinnalla, mikä johti merkittäviin tappioihin ja lopulta konkurssiin hakeutumiseen. PPA-sopimus oli tehty 15 vuoden aikajänteelle. (Tigerstedt 5.12.2023.)

Kansainvälisestä vertailusta ilmenee, että Suomen maatuulivoiman PPA-sopimushinnat ovat Euroopan kolmen edullisimman maan joukossa. Lähivuosina investointiympäristössä on tapahtunut merkittäviä muutoksia, suurimpana korkotason nousu, joka on huomattavasti hidastanut uusien tuulivoimainvestointien päättöksiä Suomessa vuonna 2023. Toisaalta tilanne on ollut verrokkimaissa sama, joten Suomi on oletettavasti säilyttänyt asemansa samankaltaisena. (Fingrid ja Gasgrid 2023, 11–12.)



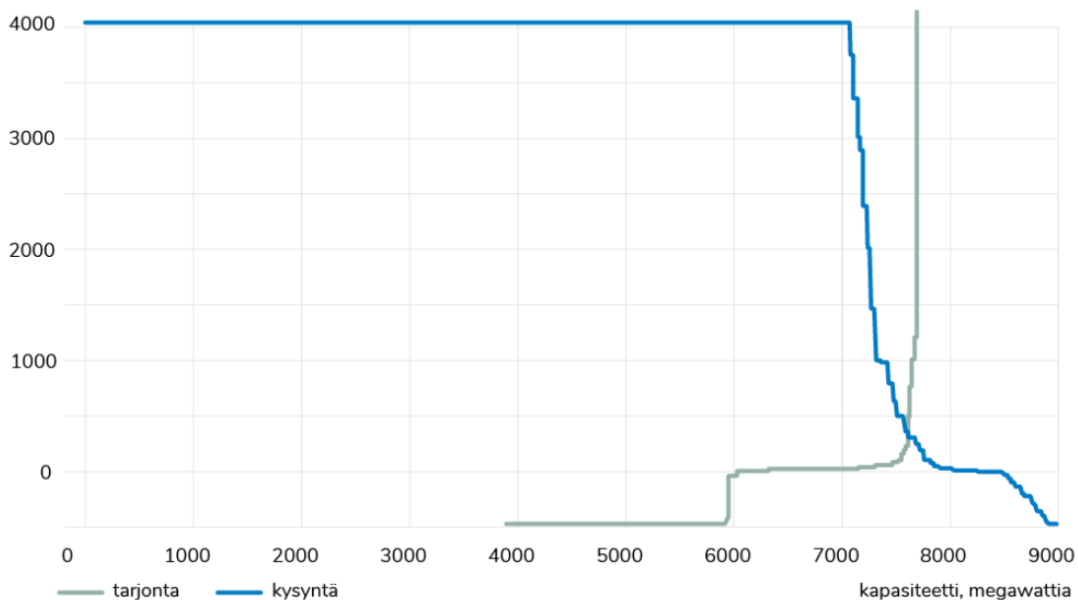
KUVA 4. PPA-sopimushintojen vertailu (Fingrid ja Gasgrid 2023, 12)

Yhteenvedona, Suomeen on suhteellisen lyhyellä aikavälillä muodostunut uusi, pääomaintensiivinen sekä perinteisiin sähköntuotantomuotoihin verrattuna hyvin hajautettu sähköntuotannon malli. Tuulivoima-alan nopea teknologinen kehitys ja asennetun kapasiteetin kasvu on osaltaan edellyttänyt kantaverkon kapasiteetin vahvistamista ja vaikuttanut siihen, että Suomeen on tällä hetkellä syntynyt Eurooppaan verraten keskihinnaltaan edullinen sähkömarkkina, joka lisää investointimahdollisuuksia Suomeen, esimerkiksi datakeskusten tai vihreän vedyn tuotannon kannalta. Vaikka tuulivoima on jo vakiintunut osa Suomen energiatuotantoa, tietyt tukitoiminnot, kuten kunnossapito, ovat vielä mahdollisen muutoksen edessä. Näiden toimintojen kehittäminen on keskeistä kilpailukyvyyn varmistamiseksi tulevaisuudessa.

## 2.2 Sähkömarkkinat

Sähkömarkkinat ovat osa energiajärjestelmää, jotka koostuvat markkinapaikoista, joissa toimivat sähköntuottajat, sähkön kuluttaja-asiakkaat ja sähköverkot. Sähkömarkkinoiden tehtävänä on tasapainottaa kysyntää ja tarjontaa sekä mahdollistaa yhteiskunnan sähkönsaanti kustannustehokkaasti. Markkinapaikoilla muodostuvat hinnat ohjaavat markkinan sidosryhmien tuotanto- ja kulutus päätöksiä lyhyellä aikavälillä sekä investointeja energiajärjestelmään pitkällä aikavälillä.

Sähkömarkkinoiden erilaiset kaupankäyntimekanismit tarjoavat sähköntuottajille ja -kuluttajille vaihtoehtoja sähkön ostamiseen ja myymiseen. Tärkeimpänä markkinapaikkana voidaan pitää yhteiseurooppalaista vuorokausimarkkinaa, joka tunnetaan myös nimellä day-ahead tai tukkusähkömarkkina. Tukkusmarkkinoilla tarkoitetaan pörssimarkkinoita, kuten Nord Pool. Siellä sähkön hinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan perusteella seuraavalle vuorokaudelle, ja se toimii pohjana monille sähkön hinnoittelumalleille. Vuorokausimarkkinoilla muodostuvaa sähkönhinta tunnetaan myös termillä pörssisähkön hinta. (Fingrid s.a. c.) Kuvassa 4 esitetään sähkön hinnan määräytyminen markkinatasapainopisteessä.



*KUVA 5. Esimerkkitunnin sähkön hinta määräytyy markkinatasapainopisteessä, jossa kysyntä- ja tarjontakäyrät leikkaavat toisensa (Vaasan Sähkö 2025)*

Vuorokausimarkkinoiden lisäksi toimii päivänsisäinen markkina, jossa sähkön myyjät ja ostajat voivat tehdä kauppaa vielä lähempänä käyttöhetkeä. Tämä antaa mahdollisuuden tasapainottaa sähkötasetta tuotanto- ja kulutusennusteiden tarkentuessa. Päivänsisäinen kaupankäynti jatkuu Suomessa aina käyttötunnin alkuun asti. Lisäksi markkinoilla on reservimarkkinat, joiden tehtävänä on varmistaa sähköjärjestelmän tasapaino tilanteissa, joissa tuotannon ja kulutuksen välillä ilmenee äkillisiä vaihteluita. Reservimarkkinoilla sähköntuottajat tarjoavat nopeaa säätövoimaa, kuten vesivoimaa tai kysyntäjoustoa, järjestelmän vakauden turvaamiseksi. Vähittäismarkkinat puolestaan mahdollistavat sähkönmyyntiyhtiöiden tarjoaman sähkön myynnin kotitalouksille ja yrityksille. Kuluttajat voivat valita erilaisia sähkösopimuksia, kuten kiinteähintaisia sopimuksia, joissa sähkön hinta pysyy samana koko sopimuskauden ajan, tai pörssisähkösopimuksia, joissa hinta seuraa tukkumarkkinoiden hintavaihteluita ja sisältää myyjän perimän välitysmaksun. Näiden lisäksi markkinoilla toimivat myös johdannaismarkkinat, joiden avulla yritykset voivat suojautua sähkön hinnan vaihteluilta tekemällä pitkäaikaisia hintasopimuksia tulevaisuuden sähkön hinnan määrittämiseksi. (Fingrid s.a. b.)

Sähkömarkkinoiden hintojen vaihtelu vaikuttaa siihen, miten tuulivoimaloiden kunnossapitotoimet kannattaa ajoittaa. Tuulivoimayhtiöt pyrkivät maksimoimaan tuotonsa hyödyntämällä korkeita sähkön hintoja sekä sopivaa tuulisuutta, joten huoltotoimet pyritään suunnittelemaan tyypillisesti ajankohtiin, jolloin tuulituotannon menetyksestä aiheutuva kustannus on pienin. Ennakoivan kunnossapidon hyödyntäminen korostuu dynaamisessa sähkömarkkinassa. Voimaloita tarkkailaan digitaalisilla järjestelmillä ja kuntoantureilla, jotta potentiaaliset viat voidaan korjata ennakkoon, silloin, kun voimaloiden pitäminen tuotannossa ei ole kannattavaa.

Sähkömarkkinoiden suuremmat hintavaihtelut ovat tuoneet myös tarpeen reagoida joustavammin vikatilanteissa. Jos ennuste näyttää vaikkapa poikkeuksellisen matalaa sähkönhintaa seuraavalle viikolle, saattavat operaattorit aikaistaa joitain huoltotöitä tuohon ajankohtaan. Vastaavasti, jos on odotettavissa huippukalliita hintoja tai sopivaa tuulisuutta, voidaan vähemmän kiireellisiä huoltoja lykätä, jotta kaikki mahdollinen tuotantokapasiteetti olisi käytössä tuottoisalla

hetkellä. Kunnossapidon ajoituksella tuottajat tavallaan osallistuvat markkinadynamiikkaan pitämällä käyttöasteen korkeana kalliin sähkön aikana ja hyväksymällä seisokit, kun sähkö on halvempaa. Tämä optimointi vaatii huoltourakoitsijoilta joustavuutta.

Kunnossapitohenkilöstöä tulisi olla valmiudessa kohtuullisen matkan päässä, jotta vikatilanteet voidaan korjata nopeasti missä tahansa tuulipuistossa. Tuulivoimaloiden määräaikaishuollot voidaan suunnitella ennakkoon, mutta vikakorjaukset voivat tulla yllättäen koska tahansa. Tällöin markkinadynamiikka näkyy siten, että voimalan omistajalla on vahva taloudellinen insenttiivi saada laite takaisin tuotantoon nopeasti etenkin, jos vika osuu kovan kysynnän ja hintojen aikaan. Nopea reagointi vähentää tasevastaavalle koituvaa tasapainottamiskustannusta, eli jos tuotanto jää alle myydyn määrän, erotus pitää ostaa kalliisti säätösähkömarkkinoilta sekä minimoi menetetyn myyntitulon.

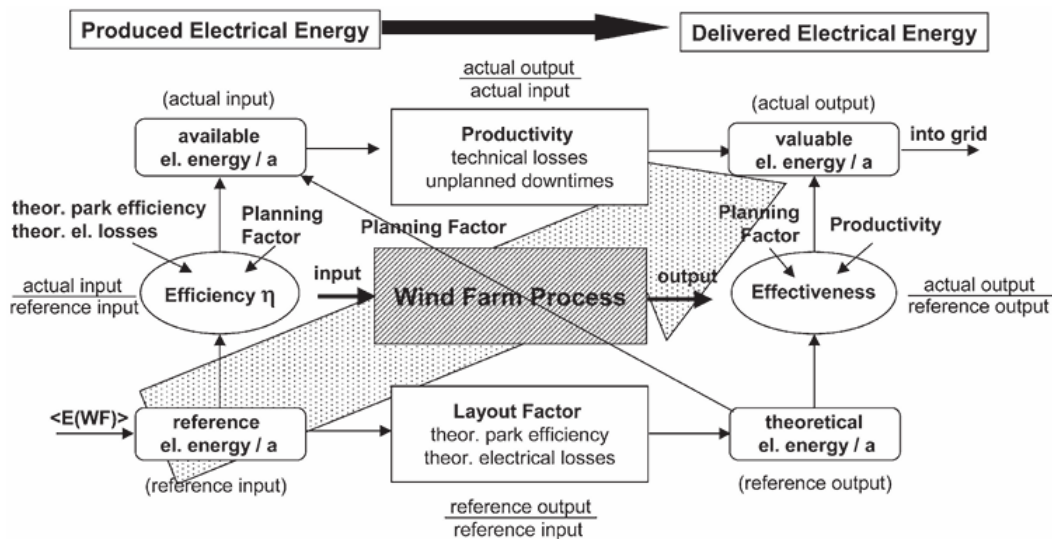


Fig. 2. The Wind Farm Process: production process definitions of Fig. 1 interpreted for wind farms.

### KUVA 6. Tuulipuiston sähköntuotantoprosessi (Krokoszinski 2003, 2166)

Tuulipuiston sähköntuotantoprosessi kuvaa sitä, miten tuulesta syntyy sähköä, joka lopulta siirtyy sähköverkkoon käyttöön. Prosessi alkaa siitä energiasta, joka tuulessa on saatavilla, tätä kutsutaan kaaviossa saatavilla olevaksi sähköenergiaksi. Osa tästä energiasta menetetään heti alkuvaiheessa esimerkiksi

kaapeleiden sähköhäviöiden takia. Kun tätä verrataan teoreettisesti laskettuun arvoon, saadaan niin selville hyötysuhde, eli kuinka tehokkaasti sähkönsiirtojärjestelmä toimii. Seuraavaksi varsinainen tuulipuisto muuntaa saatavilla olevan tuulienergian sähköksi. Tässä vaiheessa syntyy lisää häviöitä, esimerkiksi jos turbiineja ei pystytä pyörittämään huoltojen tai vikojen vuoksi. Näitä kutsutaan teknisiksi häviöiksi, ja ne vaikuttavat siihen, kuinka paljon sähköä saadaan oikeasti tuotettua. Lopuksi katsotaan, kuinka paljon tästä tuotetusta sähköstä on sellaista, että se voidaan syöttää sähköverkkoon. Kaikkea tuotettua sähköä ei välttämättä voida hyödyntää, jos se ei sovi verkon tarpeisiin juuri sillä hetkellä – esimerkiksi silloin, kun verkossa on muutenkin jo riittävästi tuotantoa. Koska sähköä ei voida varastoida suuria määriä, ylijäämä täytyy joskus leikata pois, eli tuotantoa rajoitetaan. Lopputulos kertoo, kuinka hyödyllistä tuotettu sähkö todellisuudessa on. Kuvassa 5 nämä eri vaiheet on yhdistetty kokonaisuudeksi, joka näyttää, miten suunnittelu, tekniset ratkaisut ja kunnossapito vaikuttavat siihen, kuinka paljon sähköä tuulipuisto lopulta pystyy tuottamaan ja toimittamaan käyttöön. (Krokoszinski 2003, 2167–2168.)

### 3 TUOTANTO-OMAISUUDEN HALLINTA

Asset Management eli tuotanto-omaisuuden hallinta on kokonaisvaltainen toimintamalli kunnossapidon johtamiselle. Tuotanto-omaisuuden hallinnan avulla voidaan hallita ja optimoida infrastruktuuria, laitteistoa sekä muita arvokkaita omaisuuseriä koko niiden elinkaaren ajan. Organisaatiokohtaiset omaisuudenhallintatavoitteet koskevat kaikkia organisaation tasoja ja osastoja, sillä jokainen niistä vaikuttaa omaisuusportfolion arvon tuottamiseen. Siksi on tärkeää, että koko organisaatio ja arvoketju ymmärtävät organisaation tavoitteet, tarkoituksen ja sen, miten omaisuudenhallinta tukee näiden saavuttamista. (SFS-ISO 55000:2024:en 2024.)

Tuotanto-omaisuuden hallintaan liittyviä standardeja:

- SFS ISO 55000: 2024 Omaisuudenhallinta. Yleiskuvaus, periaatteet ja termit
- SFS ISO 55001:2024 Omaisuudenhallinta. Hallintajärjestelmät. vaatimukset
- SFS-EN 16646:2014 Maintenance with physical asset management.

Matos, Neves & Gonçalves (2015, 1) määrittelevät omaisuudenhallinnan seuraavasti: "Omaisuudenhallinta voidaan määritellä järjestelmällisiksi toiminnoiksi ja käytännöiksi, joita organisaatio käyttää hallitakseen infrastruktuuriaan optimoiden suorituskykyä, riskejä ja kustannuksia koko elinkaaren ajan."

Fyysisten omaisuuserien hallintastrategia kattaa pitkän aikavälin suunnittelun, johtamisen näkökulmat ja operatiiviset ohjaustoimet omaisuuden elinkaaren eri vaiheissa. Näitä strategisia toimia voidaan jäsentää kolmelle tasolle: (El-Akruti & Dwight 2013, 403.)

1. Strateginen suunnittelu ja linjausten määrittäminen
2. Hallinnointisuunnitelmat ja strategian toteutus

### 3. Operatiivinen toiminnan ohjaus

Tämä hierarkkinen jaottelu tukee kokonaisvaltaista omaisuudenhallintaa, jossa strategiset päätökset ohjaavat hallinnointia ja käytännön operatiivisia toimia.

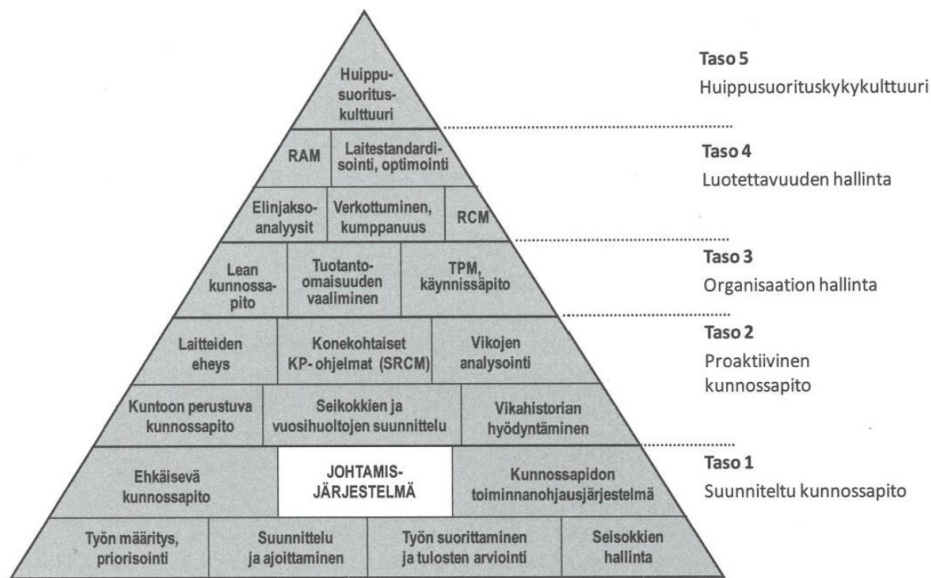
Strategisella tasolla omaisuudenhallinta keskittyy sisäisiin ja ulkoisiin haasteisiin, jotka liittyvät markkinaympäristöön, odotuksiin ja vaatimuksiin. Strategisen suunnittelun tarkoituksena on huomioida sidosryhmien tarpeet pitkän aikavälin johtamisessa ja muuntaa nämä tarpeet palvelutavoitteiksi. Taloudellisen suunnittelun aikajänne on yleensä 10–25 vuotta, mutta liiketoiminnan luonteen mukaan strategisia linjauksia voidaan tehdä myös tätä pidemmälle aikavälille. (Haider 2013, 18–19.)

Taktinen omaisuudenhallinta tarkoittaa strategisella tasolla asetettuja tavoitteita ja visiota. Tällä tasolla laaditaan yksityiskohtaiset prosessit, toimintamallit ja suunnitelmat, joiden avulla varmistetaan palvelutason saavuttaminen. Taktisessa suunnittelussa määritellään kunnossapidon hallinta, resurssien käyttö ja strategia, jotta pitkän aikavälin kustannustehokkuus voidaan varmistaa. (Haider 2013, 19–20.)

Suunnitelmien käytännön toteutus tapahtuu operatiivisella tasolla omaisuudenhallinnassa. Tällä tasolla laaditaan toimintasuunnitelmat, jotka ohjaavat konkreettista toteutusta lyhyellä aikavälillä, eli yleensä 1–3 vuodessa. Suunnitelmia päivitetään vuosittain tai kahden vuoden välein, jotta ne pysyvät ajan tasalla. Operatiivinen taso muuntaa taktisen tason suunnitelmat käytännön toimenpiteiksi ja priorisoi tehtävät kulloisenkin toimintaympäristön mukaan. (Haider 2013, 20–21.)

Tuotanto-omaisuuden hoitamisen tavoitteena on hoitaa tuotantolaitteiden toimintaa, niin että yritys saavuttaa liiketoiminnalliset tavoitteensa kustannukset minimoiden. Tavoitteeseen pääseminen on vaativaa ja edellyttää tuotanto-omaisuuden osa-alueiden kunnossa olemista. Näitä osa-alueita ovat päivittäisen työskentelyn hallinta, ehkäisevän kunnossapidon hallinta, saumaton yhteistyö yrityksen eri osastojen kesken, erityisesti käytön ja kunnossapidon, sekä koneiden luotettava toiminta. (Järviö & Lehtiö 2017, 126.)

Onnistunut tuotanto-omaisuuden hallinta vaatii yritykseltä pitkän aikavälin suunnittelua, jossa otetaan huomioon eri toiminnot ja organisaation rakenteet. Tuotanto-omaisuuden hallinnan kokonaisuudessa kunnossapidolla on keskeinen merkitys, sillä se varmistaa laitteiden tuottavuuden ja käyttöiän maksimoimisen. Tuotanto-omaisuuden hallinnassa voidaan käyttää viitekehyksenä pyramidia, joka esittää kunnossapidon suorittamisen eri vaiheita. Pyramidi on ns. kypsyysmatriisi, jonka avulla kunnossapitoa suorittava osasto voi sijoittaa itsensä pyramidin eri tasoille. (Järviö & Lehtiö 2017, 126.) Pyramidi on esitetty kuvassa 7.



KUVA 7. Kunnossapidon tasot (Järviö & Lehtiö, 2012, 122)

Kunnossapidon vaikutus yrityksen tuloksen muodostumiseen on epäsuora. Tämän vaikutuksenmekanismien tunteminen on kuitenkin välttämätöntä, jotta pystytään selvittämään esimerkiksi kunnossapitopanostusten synnyttämät tuotot. (Mikkonen 2009, 38.)

Tuulivoimalan käyttökustannuksiin (OPEX) lasketaan vakuutukset, vuokrat, tekninen ja kaupallinen valvonta sekä huollot ja korjaukset, joiden osuus kustannuksista on merkittävin. Toki tuulivoimalan elinkaaren vaihe vaikuttaa huoltojen ja korjauksien kustannuksiin. (Palmu 2016, 19.)

Tuulivoimaloissa käyttö- ja huoltokustannukset (O&M) eivät jakaudu tasaisesti ajan myötä. Ne tyypillisesti kasvavat sitä mukaa, kun aikaa kuluu käyttöönnotosta.

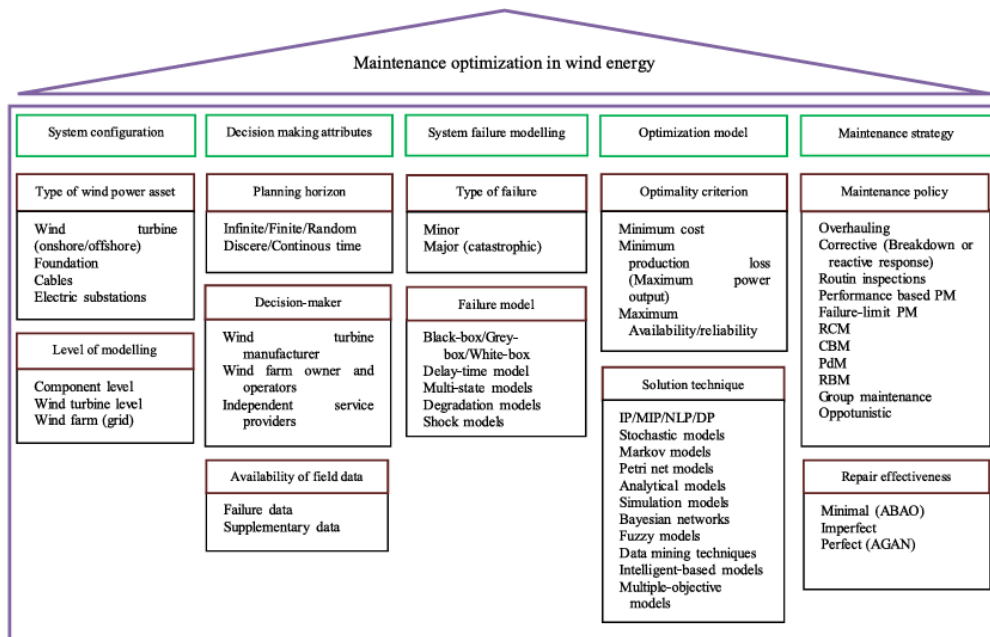
Tämä johtuu siitä, että komponenttien vikaantumisen todennäköisyys kasvaa ajan myötä, ja kun vika ilmenee, se tapahtuu usein valmistajan takuuajan ulkopuolella.

Tuulivoimapuistojen elinkaarikustannuksista merkittävä osa muodostuu siis kunnossapito- ja käyttökustannuksista. Näiden kustannusten optimointi on siksi tärkeää, jotta tuulivoimainvestointi pysyy taloudellisesti kannattavana koko elinkaarensa ajan. Jos kunnossapitostrategia perustuu reaktiiviseen eikä ennaltaehkäisevään huoltoon, kunnossapitokustannukset voivat nousta merkittävästi. (Krokozinski 2003, 2166.)

Tarkasteltaessa tuulivoimaloiden kunnossapidon ja käyttökustannusten optimointia osana tuotanto-omaisuuden hallintaa voidaan hyödyntää kuvassa 7 olevaa luokittelukehystä. Kehyksessä on keskeiset näkökulmat, jotka liittyvät tuulivoimaloiden hallintaan. Nämä näkökulmat ovat: (Shafiee & Sørensen 2017, 2.)

- Järjestelmän konfiguraatio. Millaisia fyysisiä omaisuuseriä hallitaan ja millä tarkkuustasolla (esim. yksittäinen komponentti, tuulivoimala tai koko tuulipuisto)?
- Päätöksenteon ominaisuudet. Suunnitteluajankäyttö, päätöksentekijät sekä käytettävissä olevan kenttädatan määrä ja laatu.
- Järjestelmän vikaantumismallinnus. Vikaantumisten luokittelu ja mallintamistavat, jotka mahdollistavat kunnossapitotarpeiden ennakoinnin.
- Optimointimalli. Tavoitteet ja ratkaisumenetelmät, joilla kunnossapidon ja käytön kustannustehokkuus maksimoidaan.
- Kunnossapitostrategia. Käytetyt huoltomenetelmät ja korjauksen vaikuttavuus, joilla hallitaan omaisuuden suorituskykyä ja elinkaarta.

Tuulivoimaloiden kunnossapidon hallinnan viitekehystaulukko on esitetty kuvassa 8.



KUVA 8. Tuulivoimaloiden kunnossapidon hallinnan viitekehystaulukko (Shafiee & Sørensen 2017, 3)

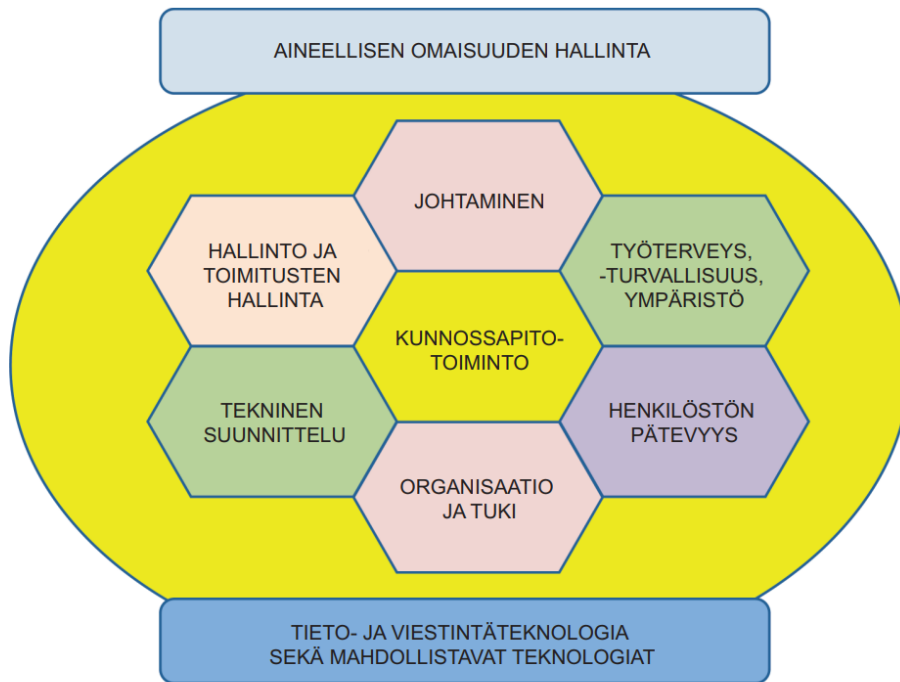
Kuvassa esitetty rakenne kuvaa, kuinka tuulipuiston tuotanto-omaisuutta voidaan hallita ja kehittää systemaattisesti eri luokitteluiden kautta. Tämä lähestymistapa tukee organisaatioiden tavoitteita varmistaa käyttövarmuus, maksimoida tuotanto sekä optimoida elinkaarikustannukset (Shafiee & Sørensen 2017, 2–3).

## 4 KUNNOSSAPITO

Kunnossapidon ensisijainen tehtävä on nykykäsityksen mukaan pitää laitteet jatkuvasti käyttökunnossa. Vaikka kunnossapitoon toki kuuluu edelleen rikkoutuneiden laitteiden tai komponenttien korjaukset, ei korjaustoiminta ole missään nimessä kunnossapidon päätarkoitus. Kunnossapito ei myöskään nykynäkemyksen mukaan ole kustannus, vaan tärkeä tuotannontekijä, jonka avulla pystytään varmistamaan tuotanto-omaisuuden kilpailukyky ja kannattavuus. (Mikkonen 2009, 12.)

Kunnossapidon käsitteeseen kuuluu muun muassa se, että kunnossapitoa painotetaan suhteessa yrityksen kokonaistuloihin ja -menoihin, että kunnossapito nähdään kokonaistuottavuutta lisäävänä tekijänä, jolla vaikutetaan työn, pääoman ja materiaalin tuottavuuteen ja että kunnossapito on yhteistyötä asentajien, keskustyöpajojen ja käytön koneenhoitajien kesken kunnossapitotehtävien jakamiseksi tarkoituksen mukaisesti ja kunnossapitotarpeen minimoimiseksi. (Laine 2010, 43.)

Kunnossapitotoimintojen tarkoitus on pitää organisaation fyysinen omaisuus toimintakunnossa, jotta se pystyy suoriutumaan sille asetetuista tehtävistä. Tämän takia kunnossapidon johtamisen tulee nivoutua tiiviisti organisaation ydinprosesseihin. Kunnossapitotoiminto koostuu kuudesta alatoiminnosta, fyysisen omaisuuden hoidon menetelmistä sekä tieto- ja viestintätekniikan ja mahdollistavien teknologioiden laitteistosta ja ohjelmistosta. (SFS-EN 15341:2019+A1:2022, 6–7.) Kunnossapitotoiminnon malli esitetään kuvassa 9.



KUVA 9. Kunnossapitotoiminnon malli (SFS-EN 15341:2019+A1:2022)

#### 4.1 Kunnossapitostrategiat

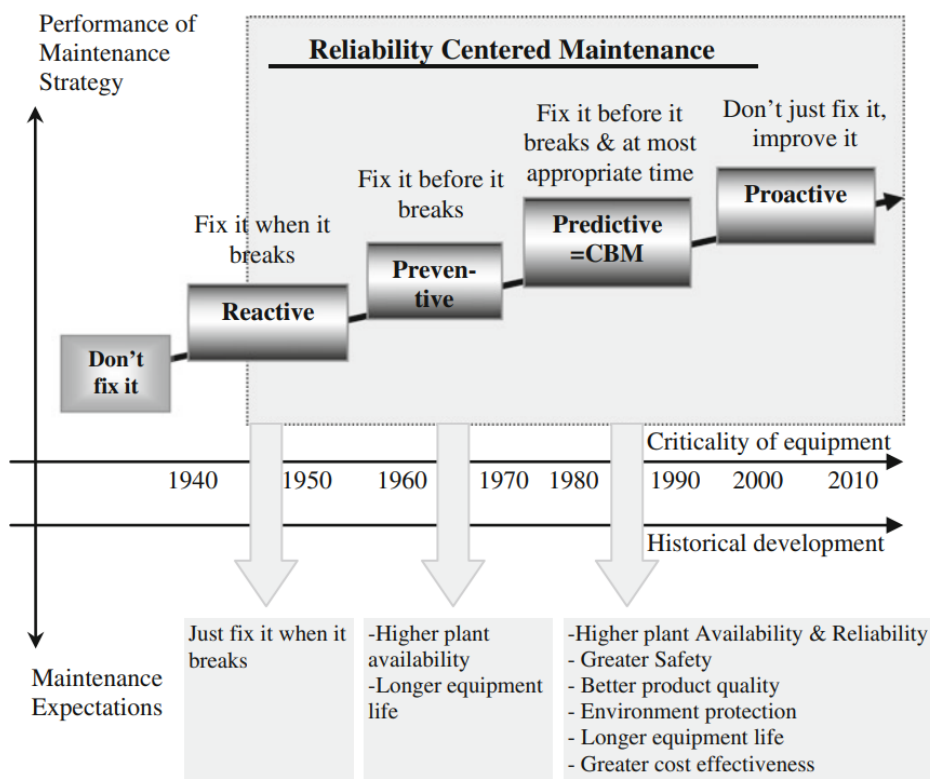
Kunnossapitostrategioita on kehitetty huomattavasti viime vuosisadan aikana, jolloin huollon merkitys on kasvanut yhdeksi keskeisimmistä prosesseista sekä tuotanto-, että palveluorganisaatioissakin. Aiemmasta toimintatavasta, kun kunnossapitoa ei ollut käytännössä lainkaan, on siirrytty kohti järjestelmällisiä ja optimoituja lähestymistapoja. Nykyään laitteiden ja järjestelmien kunnossapitoon käytetään huolellisesti valittua strategiaa, joka soveltuu kyseisen kohteen käyttötarkoitukseen, kriittisyyteen ja toimintaympäristöön. (Stamboliska, Rusiński, Moczko 2015, 12.)

Yleisesti ottaen voidaan kunnossapitostrategioista erottaa neljä päätyyppiä:

- Reaktiivinen kunnossapito, jossa vikoihin puututaan vasta rikkoutumisen jälkeen.
- Ehkäisevä kunnossapito tai aikaperusteinen kunnossapito, jossa huolto- toimenpiteet tehdään säännöllisin väliajoin riippumatta laitteen todellisesta kunnosta.

- Ennustava kunnossapito tai kuntoon perustuva kunnossapito, jossa huollon ajoitus perustuu laitteen kunnon seurantaan ja mittausdataan.
- Proaktiivinen kunnossapito, jossa mahdolliset vikaantumiset pyritään ehkäisemään jo suunnitteluvaiheessa muuttamalla rakenteita tai materiaaleja siten, että huoltotarvetta ei synny lainkaan.

Kaikki nämä strategiat voivat olla tarkoituksenmukaisia ja kustannustehokkaita riippuen käytettävästä laitteistosta ja sen käyttökohteesta järjestelmässä. (Stamboliska ym. 2015, 12.)



KUVA 10. Kunnossapitostrategioiden päätyypit (Stamboliska ym. 2015, 12)

Nykyaikaisen kunnossapito-organisaation perusta on ennakoida tulevia tapahtumia, suunnittelemaan ja aikatauluttamalla korjaus- ja parannustoimenpiteitä etukäteen.

Oikein suunniteltu kunnossapitostrategia voi parantaa tuulivoimapuiston taloudellista tehokkuutta vähentämällä suunnittele mattomia seisokkiaikoja, optimoimalla huoltoaikatauluja ja parantamalla varaosien hallintaa. Erityisesti siirtyminen

ennakoivaan kunnossapitoon on osoittautunut merkittäväksi parannuskeinoksi suhteessa reaktiiviseen kunnossapitoon. (Krokoszinski 2003, 2170.)

#### **4.1.1 Ehkäisevä kunnossapito**

Ehkäisevän kunnossapidon keinoin seurataan kohteen suorituskykyä tai sen parametreja. Päämäärä on vähentää vikaantumisen todennäköisyyttä tai koneen tai osan toimintakyvyn heikkenemistä. Ehkäisevä kunnossapito on aikataulutettua tai jatkuvaa tai sitä tehdään vaadittaessa. Tulosten perusteella voidaan suunnitella ja aikatauluttaa kunnossapidon tehtäviä. (Järviö & Lehtiö 2017, 50.)

Ennakoivan huollon toimenpiteisiin kuuluvat keskeiset kunnossapitotoimet, kuten puhdistus, voitelu, kohdistus, säädöt, suodatus, tasapainotus ja hyvät käyttömenetelmät. Lisäksi määräaikaisiin huoltoihin kuuluvat osittaiset tai täydelliset huoltokierrokset. Tehokkaan ennakoivan huollon toteuttaminen edellyttää hyvin organisoitua ja dokumentoitua järjestelmää, jossa huoltotoimenpiteet ajoitetaan, löydökset arvioidaan ja havaintojen perusteella tehdään korjaustoimenpiteitä. Kaikkien löydösten ja korjaustoimenpiteiden seuranta on keskeistä, jotta ennakoivasta huollosta saadaan täysi hyöty. Markkinoilla on saatavilla useita ohjelmistoja, esimerkiksi SAP, SKF Marlin, CMMS PMXpert, FastMaint CMMS ja EVAM-SPM, jotka tukevat organisaatioita ennakoivan huollon ohjauksessa. (Stamboliska ym. 2015, 13–14.)

#### **4.1.2 Kuntoon perustuva kunnossapito**

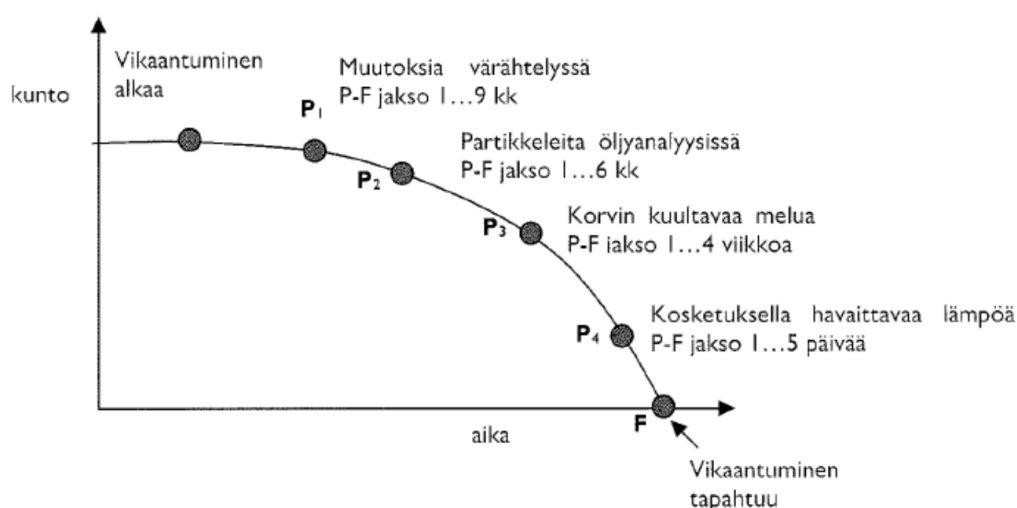
Kuntoon perustuva kunnossapito on kunnossapitostrategia, jossa laitteiden kuntoa seurataan käytön aikana ennakoivasti, jotta huoltotoimenpiteet voidaan ajoittaa mahdollisimman tehokkaasti ennen vikaantumista. Menetelmä ei estä vikoja suoraan, vaan tarjoaa tietoa siitä, milloin vika on kehittymässä. Tämän ansiosta kunnossapito voidaan suunnitella ennakkoon ja toteuttaa hallitusti. (Stamboliska ym. 2015, 14–15.)

Kuntoon perustuva kunnossapito hyödyntää tilastollisen toiminnanohjauksen periaatteita sen arvioimiseksi, että milloin kunnossapitotoimenpiteet ovat

tarpeellisia. Esimerkiksi monissa kunnonvalvontamenetelmissä, kuten laakerin tärinän seurannassa, perinteinen kunnossapito havaitsisi jo tapahtuneen vaurion ja laakeri jouduttaisiin vaihtamaan. Kuntoon perustuvan menetelmän avulla sen sijaan voidaan käyttää trendianalyysia arvioimaan laakerin kuntoa parametrien ja käyttöolosuhteiden kehitystä hyödyntäen ja selvittämään, että milloin vika todennäköisesti ilmenee. Kun vikaantuminen havaitaan tarpeeksi ajoissa, korjaavat toimenpiteet voidaan ajoittaa ennakoivasti. (Stamboliska ym. 2015, 15.)

Strategian keskeinen osa on siis kunnonvalvonta. Kunnonvalvonta lähtee siitä perusolettamuksesta, että jokaista vaurioitumista ennakoi usein astein havaittavia tai soveltuvilla menetelmillä mitattavissa olevia muutoksia koneen käyttäytymisessä ja lopullista vaurioitumista edeltää ajanjakso, jonka aikana vikaantumiseen viittaavia oireita voidaan seurata ja vaurioitumista ennustaa. (Mikkonen 2009, 140.)

Voidaan sanoa, että kuntoon perustuvan kunnossapidon perustana toimii kuvassa 10 esitetty P-F käyrä. Siitä voidaan havaita, että missä vikaantumiseen alkaa ja milloin se havaitaan (P) erilaisilla menetelmillä. Vikaantumista voidaan seurata ja vaurioita (F) ennustaa. Jos vaurioituminen voidaan ennustaa, voidaan se usein myös estää tai ainakin vakavat seuraukset voidaan eliminoida. (Mikkonen 2009, 140–141.)



KUVA 11. Esimerkki erilaisia vierintälaakerin oireista ennen vikaantumista (Mikkonen 2009, 141)

### 4.1.3 Luotettavuuskeskeinen kunnossapito

Luotettavuuskeskeinen kunnossapito on Suomessa vakiintunut yhdeksi kunnossapidon suunnittelun tärkeimmäksi työkaluksi, ja se tunnetaan yleisesti nimellä RCM, eli Reliability Centered Maintenance. RCM-menetelmä on lähtöisin lentokoneiteollisuudesta, jossa on ollut tarve kehittää systemaattinen kunnossapitojärjestelmä lentokoneiden käyttövarmuuden lisäämiseksi. RCM on varsinaisesti menetelmä, jonka avulla pyritään tekemään mahdollisimman vähän kunnossapittoa vaarantamatta kuitenkaan laitteen tai laitoksen toimintaa. (Mikkonen 2009, 77.)

Yksi perinteisen kunnossapidon perusongelmista on ollut ehkäisevän kunnossapidon suunnittelu. RCM-toimintamallin avulla kunnossapito-ohjelman suunnittelu aloitetaan selvittämällä, että missä prosesseissa kunnossapittoa tarvitaan eniten. Kun prosessit on määritelty ja asetettu tärkeysjärjestykseen, selvitetään, mitä laitteita ja koneita prosessit sisältävät. Tämän jälkeen tarkastellaan, millä tavalla kyseiset laitteet voivat vikaantua ja että millaiset seuraukset vikaantumisilla on. Seuraavassa vaiheessa selvitetään, että mitä kunnossapidon keinoja on olemassa ja onko niiden käyttö perusteltua. Näiden tietojen perusteella kirjoitetaan tuotantolaitoksen kunnossapito-ohjelma uudestaan. (Järviö & Lehtiö 2017, 163.)

RCM on menetelmä, jota käyttämällä suunnitellaan kunnossapidettävän kohteen kunnossapito. Keskeisimmät päämäärät ovat seuraavat: (Järviö & Lehtiö 2017, 167.)

- Priorisoidaan prosessien laitteet, ja näin kohdistetaan kunnossapito niihin laitteisiin, joissa sitä eniten tarvitaan. Yleisimmät priorisointikriteerit ovat kustannukset, turvallisuus, ympäristövaatimukset ja laatu.
- Selvitetään laitteiden vikaantumismekanismit ja näin luodaan pohja oikeiden, tehokkaiden kunnossapitomenetelmien käytölle.
- Saatetaan kunnossapidon piiriin myös sellaiset raja- ja turvalaitteet, jotka ovat prosessien toimiessa passiivisia.
- Laaditaan vikaantumisen ilmettyä valmiit toimintaohjeet käytettäväksi sellaisille laitteille, joille ei löydy tehokkaita ehkäisevän kunnossapidon menetelmiä.

- Opetetaan koneiden käyttöhenkilökunta seuraamaan kriittisten komponenttien toimintaa.
- Luodaan edellytykset analysoida kunnossapidon kustannuksia, parantaa prosessin tuottavuutta sekä laitteiden luotettavuutta.

Fischerin & Tjernbergin (2012, 2–10) tekemässä tutkimuksessa kokeiltiin RCM-kunnossapitomenetelmää kahteen eri sukupolven Vestaksen valmistamaan tuulivoimalaan, V44-600kW ja V90-2MW. Tutkimuksessa tarkasteltiin tuulivoimalan neljää kriittistä alajärjestelmää, vaihteistoa, generaattoria, sähköjärjestelmää ja hydraulijärjestelmää. Näiden alajärjestelmien valinta tutkimukseen perustui tilastolliseen vikadataan sekä asiantuntijahaastatteluihin. RCM-analyysin avulla pystyttiin tunnistamaan voimalamallien yleisimmät vikatilanteet ja niiden aiheuttajat. Vaihteistossa tyypillisiä ongelmakohtia olivat laakeriviat, hammasratasvial ja mekaanisten osien riittämätön voitelu. Generaattorissa yleisimmät vial liittyivät käämeihin ja laakereihin, jotka usein vikaantuivat tärinän tai sähkövirran aiheuttaman eroosion seurauksena. Sähköjärjestelmissä haasteita aiheuttivat erityisesti tehoelektronikan komponentit ja kosteus. Hydraulijärjestelmässä ongelmia syntyi venttiilien kulumisesta ja öljyvuodoista.

Tutkimuksessa todettiin, että suurin osa käyttökatoista johtuu harvoista mutta toistuvista vikatyypeistä. 15 % vioista aiheutti 75 % vuotuisesta seisonta-ajasta. Tämä osoittaa, että kunnossapitoresurssit kannattaa kohdistaa juuri näihin keskeisiin kohteisiin. RCM-tutkimuksen keskeisenä johtopäätöksenä oli, että kunnossapidon suunnittelussa tulee siirtyä reaktiivisesta ennakoivaan malliin, jossa päätöksenteko perustuu luotettavuusdataan ja elinkaarikustannusten optimointiin. Tämä parantaa tuuliturbiinien käytettävyyttä, pidentää käyttöikää ja vähentää kokonaiskustannuksia pitkällä aikavälillä. (Fischer & Tjernberg 2012, 2.)

#### **4.1.4 Tuottava kunnossapito**

Tuottava kunnossapito (TPM) on kokonaisnäkemys kunnossapidon vaikutuksista tuotannossa. TPM tarkoittaa sitä, että koko organisaatio sitoutuu ylläpitämään, kehittämään ja huoltamaan tuotantokapasiteettia. (Laine 2010, 42.)

TPM:ssä kokonaisvaltaisuus korostuu kolmessa asiassa: kokonaistehokkuudessa, eli pyritään tehokkuuteen, jota mitataan taloudellisilla mittareilla, kokonaiskattavuudessa, eli kunnossapitotarpeen pienentämisessä, jolla tarkoitetaan kunnossapitotoimien helpottaminen rakenteellisilla muutoksilla sekä viimeisenä kokonaisvaltaisessa osallistumisessa, jonka tuloksena on häiriötön toiminta, jonka osatekijöinä ovat kaikki yrityksen osastot ja ihmiset asemasta riippumatta. (Mikkonen 2009, 79.)

TPM:n päätavoitteiden saavuttamista seurataan keskeisillä mittareilla:

- Kokonaislaitteiden tehokkuus (OEE)
- Suorituskykysuhde
- Laatuaste

TPM-filosofiaan liittyy tärkeänä osana myös kunnossapidon panoksen/tuotoksen optimointi. Toinen tärkeä näkökulma on se, että TPM:n tarkoituksena on hyödyntää olemassa oleva käyttöomaisuus tehokkaasti. Näin TPM toimii myös pohjana erilaisille Asset Management-malleille. Strategialle on siis ominaista, että kunnossapidon määritelmä laajennetaan osaksi kokonaistuottavuutta, kun ennen keskityttiin vain korjaavaan ja ennakoivaan huoltoon. (Mikkonen 2009, 80.)

## **4.2 Kunnossapidon ulkoistaminen**

Kunnossapito yrityksen tukitoimintona ei ole poikkeus ulkoistamisen suhteen. Teknisille järjestelmille tunnuksenomaista on ainutlaatuisuus ja monimutkaisuus, joten kunnossapidon ulkoistaminen voi olla ongelmallista, jos sitä ei hoideta asiallisesti. Tuotantolaitteiden kunnossapito on strateginen kysymys, jota on käsiteltävä tarkasti. Nämä asiat osoittavat, että myös kunnossapidon ulkoistamista tarkastellaan operatiivisella, taktisella ja strategisella tasolla. (Pintelon & Parodi-Herz 2008, 24–25.)

- Operatiivinen ulkoistaminen on yksinkertaisin ja yleisin ulkoistamisen muoto. Tällä tasolla teetetään jotain tiettyjä, yksittäisiä tehtäviä ja

asiakassuhde rajoittuu yksinkertaiseen ostaja-myyjä asetelmaan. Ulkoistamisen vaikutus asiakkaan sisäiseen organisaatioon on rajallinen.

- Taktisen ulkoistamisen tarve syntyy, kun suhde toimittajan ja asiakkaan välillä muuttuu ja ulkoistaminen etenee organisaatiossa ylöspäin. Tällä tasolla asiakas jakaa osan johtamisvastuusta toimittajalle, ja osapuolien välille syntyy yksinkertainen kumppanuus. Taktisella tasolla ulkoistamisella on merkittävämpi vaikutus asiakkaan sisäiseen toimintaan.
- Strateginen ulkoistaminen voidaan toteuttaa organisaation ylimmällä tasolla, kun kyseessä on kriittinen kunnossapitopalvelu. Tätä kutsutaan myös transformaatiulkoistamiseksi, koska sillä on suuri vaikutus asiakkaan sisäiseen organisaatioon. Asiakkaan ja toimittajan välille muodostuu vahva kumppanuus ja koko kunnossapitotoiminta siirretään asiakkaalta toimittajalle.

Ulkoistamisessa toimittajalta ostetaan palvelukokonaisuus. Palveluiden suorittaminen voi tapahtua myös monen eri yrityksen toimesta, jolloin yhteiset rajapinnat lisääntyvät, joten sopimuksissa tulee rajata palveluprosessin vastuualueet organisaatiotasolla, esittää palveluverkoston tavoitteet ja selkeästi määrittää eri toimijoiden osatavoitteet ja vastuut kokonaisuudessa. (Järviö & Lehtiö 2012, s. 198–202.)

Päätökset siitä, ulkoistetaanko kunnossapitotoimintoja, ovat monimutkaisia ja vaativat huolellisesti suunnitellun ja rakenteellisen ulkoistusprosessin. Kuten mainittiin, kunnossapidon ulkoistaminen voi kattaa useita vaihtoehtoja. Perinteisen ulkoistamisen lisäksi, esimerkiksi laitetoimittajille tai pienille paikallisille yrityksille, markkinoilla on yhä enemmän keskikokoisia ja suuria ulkoistamisyrityksiä. Nämä yritykset tarjoavat laajan valikoiman palveluita, kuten konsultointia, erikoistuneita palveluita ja jopa täyden palvelun kokonaisuuksia, jotka mahdollistavat strategisen ulkoistamisen onnistumisen.

Alkuperäiset laitevalmistajat ovat perinteisesti hallinneet huoltomarkkinoita hyötyen kokemuksesta, mittakaavaeduista, teknisestä osaamisesta ja varaosien saatavuudesta. Laitevalmistajat saavat suhteellisen korkeat katteet tällä liiketoiminta-alueella, ja ne pystyvät tarjoamaan laadukasta huoltoa ja nopeaa reagoimista yllättävien huoltotarpeiden ilmetessä. Kuitenkin kokeneemmat

tuulivoimaloiden omistajatahot, joilla on suurempia voimalakokonaisuuksia, ovat yhä enemmän siirtyneet turbiinien huollon itsepalveluun. Monet tutkimukseen osallistuneet ennustivat itsepalvelun lisääntyvän ajan myötä, mikä tarjoaa mahdollisuuden merkittäviin käyttökustannusten vähennyksiin ja helpottaa omistajia tekemään kompromisseja käyttökustannusten, laitoksen suorituskyvyn ja kannattavuuden välillä. On kuitenkin tärkeää tunnistaa, että itsepalvelun mahdollistamat alemmat kustannukset sisältävät myös suurempia riskejä. (Wiser, Bolinger & Lantz 2019, 14–15.)

Kunnossapidon ulkoistaminen tuulivoima-alalla on yleistä, koska se auttaa omistajaosapuolia hallitsemaan huolto- ja käyttökustannuksia sekä hyödyntämään erikoistuneiden kunnossapitoyritysten osaamista. Tuulivoiman kunnossapito vaatii investointeja logistiikkaan, asiantuntijahenkilöstöön ja erikoistyökaluihin, joten sen hoitaminen omana toimintana ei ole monessa tapauksessa perusteltua. Tästä syystä kunnossapito ulkoistetaan usein palveluntarjoajille, jotka ovat erikoistuneet kyseiseen toimintaan ja voivat toteuttaa sen tehokkaammin. Usein käytetään suorituskykyperusteisia sopimuksia, joissa huoltoyhtiön korvaus perustuu tuulivoimaloiden käytettävyyteen eli siihen, kuinka suuren osan ajasta laitteet ovat tuotantovalmiudessa. (Marugan, Marquez & Perez 2022, 2.)

Tällaisissa sopimuksissa sähkön markkinahinnan merkitys tuulipuiston hallinnassa korostuu. Tuulivoimalan liiketoiminnallinen tuotto vaihtelee sekä tuulisuuden että myös sähkön markkinahinnan mukaan, ja korkean hinnan hetkellä tuotannon keskeytyksellä voi olla merkittävä taloudellinen vaikutus. Siksi kunnossapitosopimusten kannustinjärjestelmien tulee ohjata kunnossapitotoimintaa siten, että käytettävyys on mahdollinen silloin, kun sähkön hinta on korkea. Tuulivoimalan omistajan tavoitteena on maksimoida myydyn sähkön määrä sekä myyntihinta ja samalla minimoida laitoksen käyttökustannukset. Kunnossapitotoimittajan näkökulmasta tärkeintä on minimoida sopimussanktiot, joita aiheutuu alhaisesta käytettävyydestä, sekä saavuttaa mahdollisimman paljon suoritusbonuksia. (Marugan, Marquez & Perez 2022, 4.)

Kuvassa 11 havainnollistetaan tuulivoimalan omistajan ja kunnossapitotoimittajan taloudelliset tavoitteet ja niiden välinen vuorovaikutus.

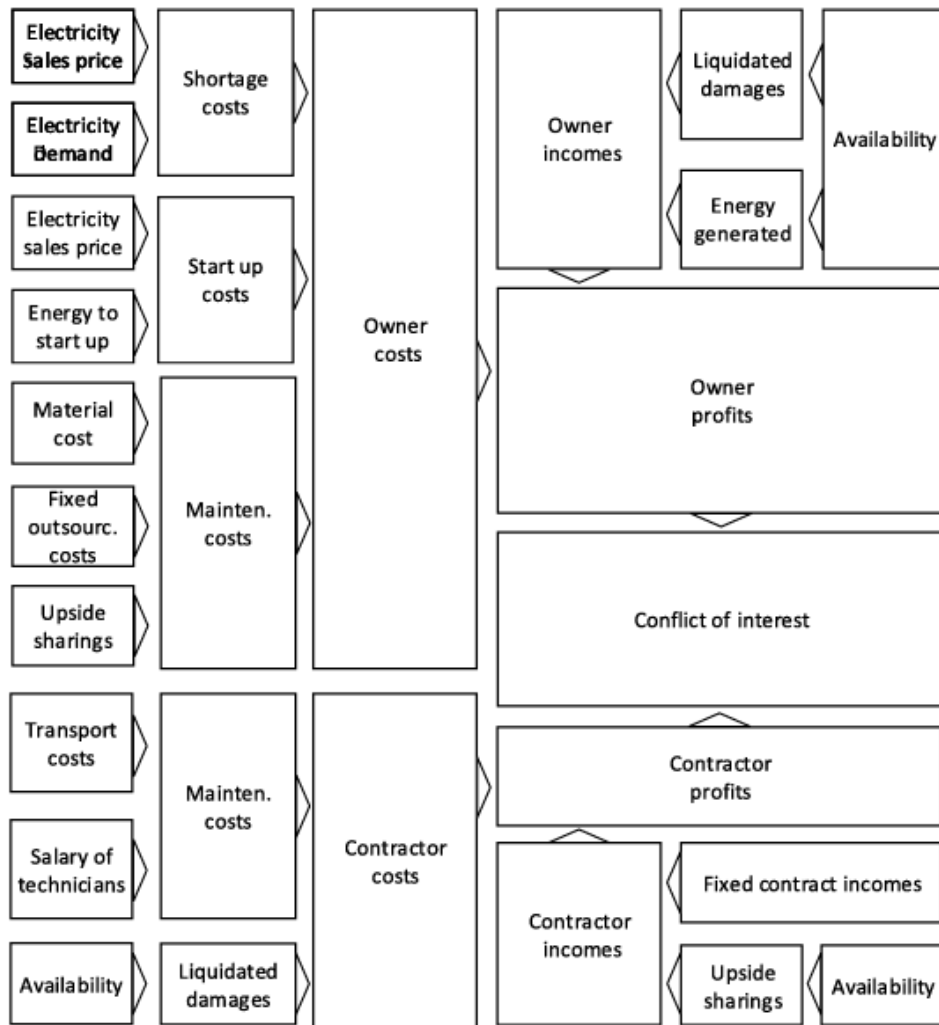


Fig. 1. Scheme of cost-income model for both parties.

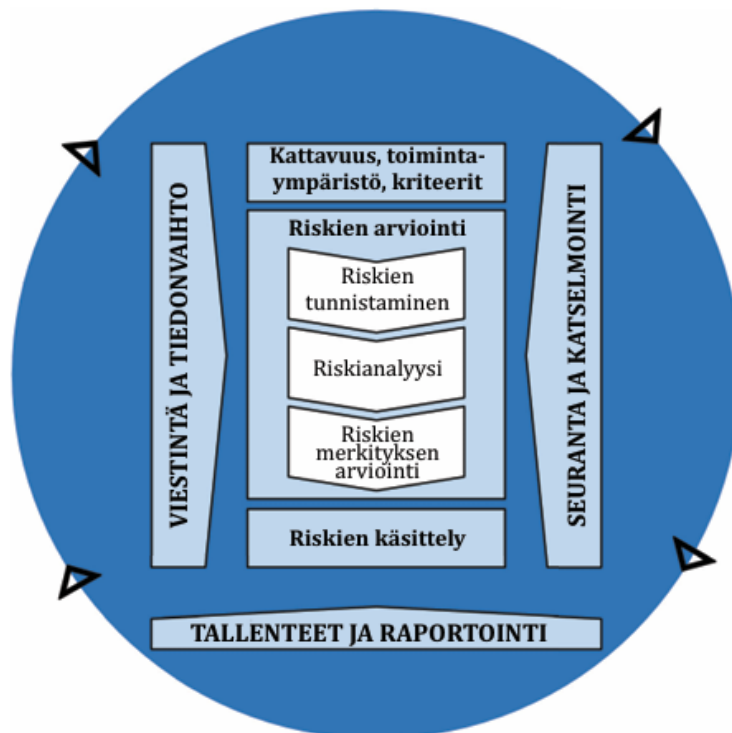
*KUVA 12. Kaavio omistajan ja kunnossapitotoimittajan tulo- ja kustannusrakenteesta (Marugan, Marquez, & Perez 2022, 4)*

Omistajan tulot määräytyvät tuotetun energian ja sen markkinahinnan perusteella, kun taas huoltoyhtiön tulot riippuvat sopimukseen sisältyvistä kannustimista ja sanktioista, jotka liittyvät tyypillisesti voimaloiden käytettävyyteen. Malli auttaa hahmottamaan, miten sopimuksen rakenteella voidaan vaikuttaa molempien osapuolten tuottoihin. (Marugan ym. 2022, 4.)

## 5 RISKIENHALLINTA

Riskienhallinta on keskeinen osa tuotanto-omaisuuden hallintaa, erityisesti järjestelmissä, joissa toimintavarmuus ja käyttöasete vaikuttavat suoraan liiketoiminnan tulokseen. SFS-ISO 31000 -standardi (2018, 6) määrittelee riskin epävarmuutena, joka vaikuttaa tavoitteiden saavuttamiseen. Kunnossapidon osalta riskit voivat liittyä muun muassa palvelun laatuun, vasteaikoihin, varaosien saatavuuteen, henkilöstöresursseihin tai ulkoisen toimittajan toimintavarmuuteen.

Riskienhallintaprosessi koostuu toimintaperiaatteiden, menettelyjen ja käytäntöjen järjestelmällisestä soveltamisesta viestintään ja tiedonvaihtoon sidosryhmien kanssa, toimintaympäristön määrittelemisestä sekä riskien arvioinnista, käsitteystä, seurannasta, katselmoinnista, kirjaamisesta ja raportoinnista. (SFS-ISO 31000:2018, 14.) Riskienhallinnan prosessikaavio on esitetty kuvassa 13.



KUVA 13. Riskienhallintaprosessi (SFS-ISO 31000:2018, 14)

Riskien luokittelu on olennainen osa riskienhallintaa ja tunnistamista. Tyypillinen käytäntö riskien kategorisoimisessa on jakaa ne neljään eri luokkaan, riskin

lähteen ja tyyppin mukaan, eli strategisiin, operatiivisiin, taloudellisiin ja vahinkoriskeihin. (Ilmonen, Kallio, Koskinen & Rajamäki 2013, 64.) Riskikategoriat ovat esitetty kuvassa 14.

<b>Strategiset riskit</b>	<b>Taloudelliset riskit</b>	<b>Operatiiviset riskit</b>	<b>Vahinkoriskit</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Liiketoiminnan kehitykseen liittyvät riskit</li> <li>2. Liiketoimintaympäristöön liittyvät riskit</li> <li>3. Markkinariskit</li> <li>4. Teknologiariskit</li> <li>5. Poliittiset, taloudellisen ja kulttuurillisen kehityksen riskit</li> <li>6. Regulaatoriskit</li> <li>7. Globaaleista ilmiöistä johtuvat riskit (ilmasto, ympäristö jne.)</li> <li>8. Viestintäriskit</li> <li>9. M&amp;A-riskit</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Likviditeettiriskit</li> <li>2. Korkoriskit</li> <li>3. Valuuttariskit</li> <li>4. Vastapuoliriskit</li> <li>5. Maariskit</li> <li>6. Sopimusriskit</li> <li>7. Veroriskit</li> <li>8. Kirjanpidon ja talousraportoinnin riskit</li> <li>9. Pääomarakenteen riskit</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Organisaatioon ja johtamiseen liittyvät riskit</li> <li>2. Informaatioteknologiaan liittyvät riskit</li> <li>3. Tietoturvallisuusriskit</li> <li>4. Tuotannolliset, toimintaprosesseihin ja tehokkuuteen liittyvät riskit</li> <li>5. Liiketoiminnan keskeytysriskit</li> <li>6. Tuottavuusriskit</li> <li>7. Projektitoimintaan liittyvät riskit</li> <li>8. Sopimus- ja vastuuriskit</li> <li>9. Kriisitilanteisiin liittyvät riskit</li> <li>10. Rikoseriskit</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Työterveys- ja työturvallisuusriskit</li> <li>2. Henkilöstöriskit</li> <li>3. Ympäristöriskit</li> <li>4. Vahingoittumisriskit</li> <li>5. Luonnonkatastrofeihin liittyvät riskit</li> <li>6. Toimitilaturvallisuuden riskit</li> </ol>

*KUVA 14. Riskikategoriat (Ilmonen ym. 2013, 65)*

Strategiset riskit voidaan jakaa yrityksen strategian laadintaan liittyviin riskeihin ja strategian toteuttamiseen liittyviin riskeihin. Strategian laadintaan liittyvät riskit aiheutuvat puutteellisista tai vääristä taustatiedoista. Strategian toteuttamisen esteet johtuvat usein organisaation toiminnasta. Strategisten riskien tunnistamiseen ja analysointiin on olemassa työkaluja. Olennaista on pohtia systemaattisesti eri vaihtoehtojen vaikutukset operatiivisessa toiminnassa, innovaatioissa ja asiakkuuksissa. Systemaattinen pohdinta kannattaa kirjata ylös ja arvioida useamman henkilön toimesta ryhmätyönä. (Juvonen ym. 2014, 34.)

Operatiivisten riskien hallinta edellyttää kaikkien päätösten tarkastelua myös niiden aiheuttamien uhkien kautta. Uhkia voivat olla esimerkiksi kiristynvä kilpailu tai olemassa olevien asiakkaiden menettäminen. Samalla kun arvioidaan mahdollisuudet, tulee arvioida myös uhat. Mahdollisuuksien huomioon ottamista on syytä korostaa, koska kaikkia strategiset päätökset ja niistä johdetut operatiiviset

toiminnot vaikuttavat aina kassavirtaan positiivisesti tai negatiivisesti. Liiketoimintamahdollisuudet ovatkin toimintaa ylläpitäviä tekijöitä. Yritysten operatiiviset riskit kohdistuvat yleisellä tasolla kolmeen osa-alueeseen:

- toimittajaverkoston ylläpitämiseen ja kehittämiseen
- tuotteiden ja palveluiden tuottamiseen
- tuotteiden ja palveluiden tarjoamiseen ja/tai jakeluun. (Juvonen ym. 2014, 41.)

Taloudellisten riskien hallinnalla on suuri merkitys yrityksen voitonteonkyvyn kannalta. Yrityksen taloudellinen tilanne vaikuttaa riskinkantokykyyn. Yrityksen riskinkantokyky ja riskinotto kyky määrittävät sen taloudellisen perustan, jonka mukaan yrityksen on toimittava. Riskinkantokyvystä riippuu, kuinka rohkeasti voi tarvittaessa uudistua. Samalla riskinkantokyky määrittää, voiko yritys tavoitella kasvua, vai ainoastaan kannattavuutta. (Juvonen ym. 2014, 31.)

## 6 TUULIPUISTON CASETUTKIMUS

Tässä tapaustutkimuksessa käydään läpi erään tuulipuiston kunnossapitotoimituksen vanhaa sekä uutta sopimusta. Syöttötariffijärjestelmää, sähkömarkkinoita sekä riskinhallinnan ja kunnossapidon teoreettisia viitekehyksiä sovelletaan tämän kunnossapitotoimituksen tarkastelussa. Yksityiskohtainen tapaustutkimus ei ole esillä työn julkisessa versiossa.

Tapaustutkimuksen tuulipuisto toimi aiemmin syöttötariffijärjestelmässä, sekä puistosta solmittiin puiston valmistuessa laitevalmistajan kanssa kunnossapitosopimus. Tuulipuisto poistui hiljattain syöttötariffijärjestelmästä ja se toi muutoksen puiston tulorakenteeseen. Kunnossapitosopimuksen jatko-optiota ei lunastettu ja puistoon valittiin uusi kunnossapitotoimittaja. Tässä tutkimuksessa vertailaan vanhan ja uuden kunnossapitosopimuksen kohtia sekä pohditaan, mitä riskejä palvelutoimittajan vaihtoon liittyy. Lopullisena tuloksena pohditaan, että miten varsinainen päätöksenteko onnistui ja että miten päätös voi skaalautua muihin tuulipuistoihin.

## 7 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön aiheena arvioidaan kunnossapitotoimittajan vaihtamiseen liittyviä riskejä, sekä positiivisia ja negatiivisia vaikutuksia tuulivoimapuiston omistajatahon näkökulmasta. Työssä tarkastellaan, millaisia vahingollisia, operatiivisia ja taloudellisia riskejä syntyy, kun kunnossapito siirtyy alkuperäiseltä laitevalmistajalta ulkopuoliselle toimittajalle. Tutkimus perustuu sopimusvertailuun, riskien tunnistamiseen ja FMEA-menetelmällä toteutettuun arviointiin.

Tulosten perusteella havaitaan, että toimittajavaihdokseen liittyy tiettyjä riskejä, kuten dokumentaation siirtymiseen, varaosien hallintaan ja logistiikkaan, sekä tekniseen käytettävyyssasteeseen. Näihin riskeihin voidaan kuitenkin varautua, ja ne ovat hallittavissa oikeilla sopimusteknisillä ja operatiivisilla ratkaisuilla.

Kokonaisuudessaan kunnossapitotoimittajan vaihtoa voidaan pitää perustellusti hyvänä ratkaisuna, jolla saavutetaan käyttökustannusten alenemista. Uusi toimittaja tuo markkinoille alalla toimivan kunnossapitoyrityksen, joka voi edistää kustannustehokkuutta, kehittää palvelutasoa ja laajentaa osaamista. Tämä voi edistää koko suomalaisen tuulivoimamarkkinan kehittymistä kohti monitoimittajamallia, jossa kunnossapitopalvelut eivät ole sidottuja yksinomaan laitevalmistajiin.

Opinnäytetyön tuloksia voidaan pitää luotettavina rajatussa kontekstissaan, sillä tapaustutkimus pohjautui käytössä olevaan tuulipuistoon ja sen sopimusdokumentaatioon. Sovellettavuus alalle on hyvä. Tuulivoima-alalla toimivat omistajaorganisaatiot voivat harkita strategista riippumattomuutta laitevalmistajista omissa kohteissaan. Työn rajoituksena voidaan mainita, että lopullinen käytännön toteutus jäävät tämän työn ulkopuolelle. Näitä voitaisiin tarkastella myöhemmin esimerkiksi seurantatutkimuksena tai taloudellisena elinkaarianalyysinä.

Opinnäytetyön tekijän näkökulmasta työ tarjosi mahdollisuuden syventyä teknisen sopimuksellisiin asioihin, tuotantoriskien hallinnan ja kunnossapitostrategian yhdistämiseen käytännön projektissa. Työn kautta syntyi ymmärrystä siitä, miten tekninen ja taloudellinen päätöksenteko kytkeytyvät toisiinsa tuulivoiman operatiivisessa johtamisessa.

## LÄHTEET

El-Akruti, K. & Dwight, R. A framework for the engineering asset management system 2013. Luettavissa: [https://www.researchgate.net/publication/263683128\\_A\\_framework\\_for\\_the\\_engineering\\_asset\\_management\\_system](https://www.researchgate.net/publication/263683128_A_framework_for_the_engineering_asset_management_system). Luettu: 28.3.2025.

Energiateollisuus ry s.a. a. Sähköntuotanto. Luettavissa: <https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/sahkontuotanto/>. Luettu: 28.3.2025.

Energiateollisuus ry s.a. b. Energiavuosi 2024. Luettavissa: [https://energia.fi/wp-content/uploads/2025/01/Sahkovuosi-2024\\_20250115.pdf](https://energia.fi/wp-content/uploads/2025/01/Sahkovuosi-2024_20250115.pdf). Luettu: 17.4.2025.

Energiavirasto 13.6.2023. Uusiutuvan energian tarjouskilpailusta tukea seitsemälle hankkeelle – hyväksytyjen tarjousten keskihinta 2,5 euroa/MWh. Luettavissa: <https://energiavirasto.fi/-/uusiutuvan-energian-tarjouskilpailusta-tukea-seitsemalle-hankkeelle-hyvakstytyjen-tarjousten-keskihinta-2-5-euroa-mwh>. Luettu: 17.3.2025.

Fingrid 2024a. Sähkön tuotannon ja kulutuksen kehitysnäkymät. Luettavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/tiedotteet/ajankohtaista/sahkontuotannon-ja-kulutuksen-kehitysnakymat-q3-2024-fingrid.pdf>. Luettu: 27.2.2025.

Fingrid s.a. b. Avointa dataa sähkömarkkinoista ja voimajärjestelmästä. Luettavissa: <https://data.fingrid.fi/>. Luettu: 28.2.2025.

Fingrid s.a. c. Yleistietoa sähkömarkkinoista. Luettavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/yleistietoa-sahkomarkkinoista/?tag=3462&page-Size=5&page=1&language=fi>. Luettu: 27.2.2025.

Fingrid ja Gasgrid 2023. Energian siirtoverkot vetytalouden ja puhtaan energiajärjestelmän mahdollistajina. Luettavissa: <https://gasgrid.fi/wp-content/uploads/Energian-siirtoverkot-vetytalouden-ja-puhtaan-energiajarjestelman-mahdollistajina-Loppuraportti.pdf>. Luettu: 1.3.2025.

Gonçalves, B., Neves, L. & Matos, J. 2019. Asset management. Luettavissa: <https://www.researchgate.net/publication/282355195> Asset Management. Luettu: 8.3.2025.

H.-J. Krokoszinski. 2003. Efficiency and effectiveness of wind farms—keys to cost optimized operation and maintenance. Luettavissa: <https://www.researchgate.net/publication/239369529> Efficiency and effectiveness of wind farms-keys to cost optimized operation and maintenance Luettu: 10.3.2025.

Ilmonen, I., Kallio, J., Koskinen, J. & Rajamäki, M. 2013. Johda riskejä: Käytännön opas yrityksen riskienhallintaan. Finva. Helsinki.

Juvonen, M., Koskensyrjä, M., Kuhanen, L., Ojala, V., Pentti, A., Porvari, P. & Talala, T. 2014. Yrityksen riskienhallinta. Hansaprint. Vantaa.

Järviö, J. & Lehtiö, T. 2012. Kunnossapito, tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 5. painos. KP-Media Oy. Helsinki.

Järviö, J & Lehtiö T. 2017. Kunnossapito, tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 6. täydennetty painos. Promaint ry. Helsinki.

Laine H. 2010. Tehokas kunnossapito, tuotettavuutta käynnissäpidolla. KP-Media Oy. Helsinki

Marugan, A. Marquez, F. & Perez, J. 2022. A techno-economic model for avoiding conflicts of interest between owners of offshore wind farms and maintenance suppliers. Luettavissa: [A techno-economic model for avoiding conflicts of interest between owners of offshore wind farms and maintenance suppliers - ScienceDirect](#). Luettu: 28.3.2025.

Mikkonen H. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. KP-Media Oy. Helsinki.

Palmu K. 2016. Tuulivoimaloiden huoltokäytännöt Saksassa. Prizztech. Luettavissa: <https://www.prizz.fi/media/energiaratkaisut/energiaratkaisut-materiaalit/tuulivoimaloiden-huoltokaytannot-saksassa.pdf>. Luettu 15.3.2025.

Pintelon, L. & Parodi-Herz, A. 2009. Maintenance: An Evolutionary Perspective. Luettavissa: [https://www.researchgate.net/publication/226230194\\_Maintenance\\_An\\_Evolutionary\\_Perspective](https://www.researchgate.net/publication/226230194_Maintenance_An_Evolutionary_Perspective). Luettu: 25.3.2025

SFS-ISO 31000:2018. Riskienhallinta. Ohjeet. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki. Luettevissa: <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/ISO/ID2/3/652941.html.stx>. Vaatii lisenssin. Luettu: 15.3.2024.

SFS-ISO 55000:2024: en. Asset management — Vocabulary, overview and principles. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki. Luettavissa: <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/ISO/ID2/5/1325112.html.stx>. Vaatii lisenssin. Luettu: 26.3.2024.

SFS-EN 15341:2019+A1:2022. Kunnossapito. Kunnossapidon avaintunnusluvut. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki. Luettavissa: <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/1299936.html.stx>. Luettu: 20.4.2025.

Shafiee, M. & Sørensen, J. 2017. Maintenance optimization and inspection planning of wind energy assets: Models, methods and strategies. Luettavissa: [Maintenance optimization and inspection planning of wind energy assets: Models, methods and strategies - ScienceDirect](#). Luettu: 15.3.2025.

Suomen Uusiutuvat. s.a. a. Suomella on yli 100 GW tuulivoimaa suunnitteluputkessa. Luettavissa: <https://suomenuusiutuvat.fi/suomella-on-yli-100-gw-tuulivoimaa-suunnitteluputkessa/>. Luettu: 25.3.2025.

Suomen Uusiutuvat. s.a. b. Tuulivoimavuosi 2024: Suomen tuulivoimakapasiteetti kasvoi 20 prosenttia. Luettavissa: <https://suomenuusiutuvat.fi/tuulivoimavuosi-2024-suomen-tuulivoimakapasiteetti-kasvoi-20-prosenttia/>. Luettu: 19.4.2025.

Suomen Uusiutuvat. s.a. c. Pitkäaikainen sähkönostosopimus (PPA). Luettavissa: <https://suomenuusiutuvat.fi/tuulivoima/faktapaperit-tuulivoimasta/pitkaikainen-sahkonostosopimus-ppa/>. Luettu: 19.4.2025.

Stamboliska Z. Rusiński E. Moczko P. 2015. Proactive Condition Monitoring of Low-Speed Machines. Springer. Wrocław.

Tigersted, A. 5.12.2023. Another Swedish wind farm faces PPA-driven bankruptcy. Montel News. Luettavissa: <https://montelnews.com/news/1532599/another-swedish-wind-farm-faces-ppa-driven-bankruptcy>. Luettu: 19.4.2025

Vaasan Sähkö 14.3.2025. Pörssisähkön hinnan muodostuminen – miten hinta muodostuu? Luettavissa: <https://www.vaasansahko.fi/energianeuvonta/porssisahkon-hinnan-muodostuminen-miten-hinta-muodostuu/>. Luettu: 25.4.2025.

Yle 7.3.2024. Näin kalliiksi tuulivoimatuet ovat tulleet – vanhat sopimukset maksavat vielä pitkään. Luettavissa: <https://yle.fi/a/74-20072141>. Luettu: 25.3.2025.