



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

EMILIA VÄLIKANGAS

Tuulivoimalan perustuksen raken- nustyövaiheiden tarkistuslista tilaa- jalle

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN TUTKINTO-
OHJELMA
2023

Tekijä(t) Välikangas, Emilia	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 11.11.2023
	Sivumäärä 29	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Tuulivoimalan perustuksen rakennustyövaiheiden tarkistuslista tilaajalle		
Tutkinto-ohjelma Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka		
Tuulivoimatuotanto ja tuulipuistojen rakentaminen on ollut viime vuosina kovassa kasvussa Suomessa. Suomen hallitus on linjannut tavoitteen, jonka mukaan vuoteen 2035 mennessä Suomi olisi hiilineutraali valtio. Tämä tavoite on kasvattanut entisestään tuulivoimatuotantoa, sen ollessa lähes päästötön energiantuotantomuoto. (Työ- ja elinkeinoministeriö, n.d.) Tässä opinnäytetyössä toteutettiin tuulivoimalan perustuksen työvaiheiden tarkistuslista opinnäytetyön tilaajalle, Suomen Hyötytuuli Oy:lle. Opinnäytetyön tavoitteena oli saada tilaajalle käyttöön selkeä perustuksien rakentamisvaiheiden tarkastuslista valvonnan tueksi, jonka avulla voi seurata perustuksen työn etenemistä, varmistaa laadukas työnjälki sekä tarkistaa työvaiheiden oikea kulku. Opinnäytetyössä tarkasteltiin tuulivoimaa yleisesti, sekä sen kehitystä ja perehdyttiin tuulivoimapuistojen rakentamisen vaiheisiin. Pääpaino opinnäytetyössä oli tuulivoimalan perustuksen rakentamisen työvaiheissa. Tuulivoimalan perustamistavat ja perustuksen työvaiheet eroteltiin ja käytiin läpi mitä kuhunkin työvaiheeseen kuuluu ja mitä tilaajan tulee ottaa itse työvaiheissa huomioon. Tarkistuslistan avulla tilaaja pystyi näkemään työvaiheiden selkeän kulun ja tavan, miten työvaiheet etenevät.		
Avainsanat Tuulivoima, tuulivoimala, tuulivoimalaperustus, laadunvarmistusohje, tarkistuslista		

Author(s) Välikangas, Emilia	Type of Publication Bachelor's thesis	Date 11.11.2023
	Number of pages 29	Language of publication: Finnish
Title of publication Checklist of the construction work phases of the wind turbine foundation for the customer		
Civil and construction engineering		
Wind power production and the construction of wind farms have been growing in Finland in recent years. The Finnish government has outlined the goal that by 2035 Finland would be a carbon-neutral country. This goal has further increased wind power production, as it is an almost emission-free form of energy production. (Ministry of Labor and the Economy, n.d.) In this thesis, a checklist of the work stages of the foundation of the wind turbine was implemented for the client of the thesis, Suomen Hyötytuuli Oy. The aim of the thesis was to make available to the client a clear checklist of the construction stages of the foundations to support supervision, which can be used to monitor the progress of the foundation work, ensure a high-quality work track and check the correct flow of the work stages. The thesis looked at wind power in general, as well as its development, and familiarized itself with the stages of building wind farms. The main focus in the thesis was on the construction phases of the wind turbine foundation. The methods of setting up a wind power plant and the work phases of the foundation were separated and we went through what each work phase includes and what the customer must take into account in the work phases themselves. With the help of the checklist, the customer was able to see the clear flow of the work phases and the way in which the work phases progress.		
Keywords Wind power, wind turbine, foundation of wind turbine, quality assurance instruction, checklist		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 TUULIVOIMA YLEISESTI	6
2.1 Tuulivoimalatyytit	8
2.2 Tuulivoimaloiden sijoittaminen	10
3 TUULIVOIMAPUISTON RAKENNUSVAIHEET	12
3.1 Perustamistapalausunto	14
3.2 Tuulivoimalan eri perustamistavat	15
3.3 Asiakirjat ja standardit	19
4 PERUSTUKSEN TYÖVAIHEET	20
5 LAADUNVARMISTUSOHJEEN LAADINTA TYÖVAIHEITTAIN	23
6 POHDINTA	24
LÄHTEET	26
LIITE 1: TUULIVOIMALAN PERUSTUKSEN TYÖVAIHEIDEN TARKISTUSLISTA	29

1 JOHDANTO

Suomen hallituksen vuoden 2019 tavoite on saada Suomesta hiilineutraali valtio vuoteen 2035 mennessä. (Ympäristöministeriö, n.d.) Suomen ilmastotavoitteena on myös saada uusiutuvan energian osuus loppukulutuksesta vähintään 51 %:iin vuoteen 2050 mennessä. Tämä tavoite vaatii lisää lähes päästötöntä energiatuotantoa. (Työ- ja elinkeinoministeriö, n.d.)

Tuulivoimatuotanto on lähes päästötön energiantuotantomuoto, sillä siinä päästöt syntyvät pääosin rakentamisen ajalta, ei tuotannon ajalta. Tämän ansiosta tuulivoimapuistojen kasvu ja rakentaminen on lisääntynyt Suomessa viimeisen kymmenen vuoden aikana. Tuulivoimatuotannon pääraaka-aine, eli tuuli, on uusiutuvaa ja jatkuvaa. Lisäksi tuulivoimalat eivät aiheuta päästöjä ilmaan, maaperään tai vesistöihin. (Suomen Hyötytuuli Oy) Suomen tuulivoima-alan tavoite onkin, että tuulivoimalla saataisiin tuotettua sähköä 30 TWh vuonna 2030. (Suomen Tuulivoimayhdistys Ry, 2018) Vuonna 2021 tuulivoimalla tuotettu sähkö oli 8,1 TWh. (Motiva Oy, n.d.)

Tämä opinnäytetyö, Tuulivoimalan perustuksen rakennustyövaiheiden tarkistuslista tilaajalle, on tehty Suomen Hyötytuuli Oy:n toimeksiantona. Opinnäytetyön tavoitteena on saada Suomen Hyötytuuli Oy:n käyttöön tuulivoimaperustusten työvaiheiden tarkistuslista, joka palvelee projektipäälliköitä sekä muuta henkilöstöä. Tarkistuslistalla pystytään valvomaan perustuksen työn suorituksen oikeaa etenemistä. Tällä hetkellä Hyötytuulen käytössä ei ole virallista tarkistuslistaa perustusten työvaiheiden suoritusten seurantaan.

Tarkistuslista laaditaan opinnäytetyön tilaajan näkökulmasta. Suomen Hyötytuuli Oy toimii tuulivoimapuistojen rakennuttamisen tilaajana ja urakoitsijat, sekä laitetoimittajat vastaavat pääosin laadunvarmistuksesta. Tilaajan rooliin jää täten tarkastelu ja työn etenemisen seuranta, joten tarkistuslista tuulivoimalan perustuksen rakentamisen työvaiheisiin on tarpeellinen ja aika säästävä.

Työn alussa käydään läpi tuulivoimatuotantoa yleisesti ja sen esiintyvyyttä Suomessa. Lisäksi perehdytään tuulivoimapuiston rakennusvaiheisiin ja sen rakentamisen etenemiseen. Pääpaino

työssä tulee sijoittumaan voimalan perustuksen rakentamisen työvaiheisiin ja lopuksi laadunvarmistusohjeen tekoon.

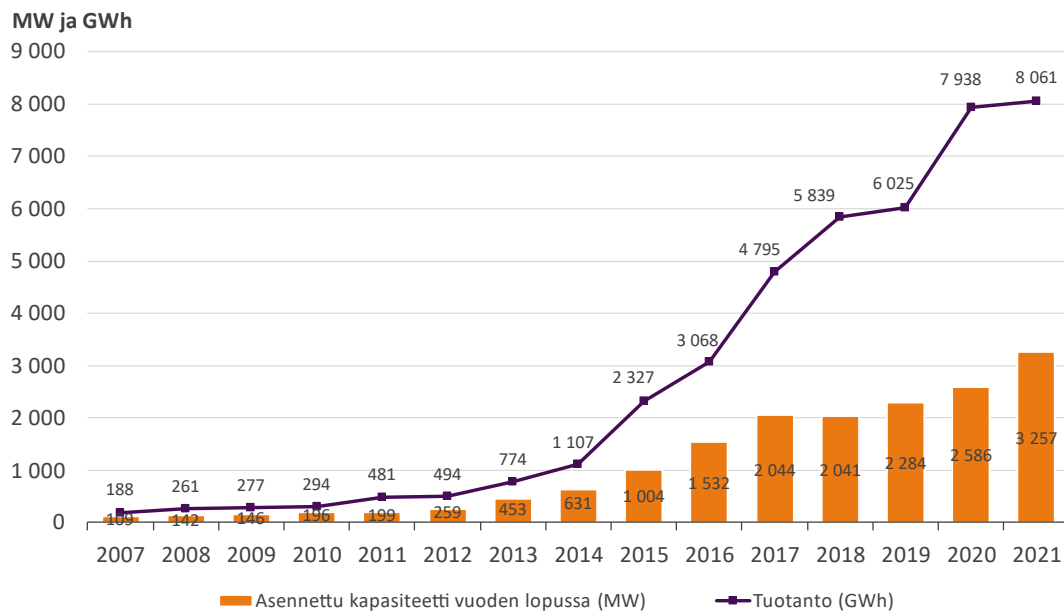
Tämä opinnäytetyö aloitettiin vuonna 2022 ja tiedon kerääminen tapahtui pitkälti rakennusprojektia seuraamalla ja siihen osallistumalla. Tämän takia työ valmistuu vuonna 2023.

2 TUULIVOIMA YLEISESTI

Kun maailman raaka-aineiden ja resurssien määrä on rajallinen, on entistä enemmän alettu panostamaan ilmastopolitiikkaan ja luotu yhteiset kansainväliset energiatavoitteet. Myös EU:lla on omat energiatavoitteensa, joihin Suomi on sitoutunut. (Suomen Tuulivoimayhdistys, 2021) Suomen tavoite on vuoteen 2035 mennessä olla fossiilivapaa valtio, joka luo painetta sekä tavoitteita uusiutuvan energian tuotantoon. Suomi pyrkii entistä omavaraisempaan asemaan energiantuotannon osalta. (Ympäristöministeriö, n.d.)

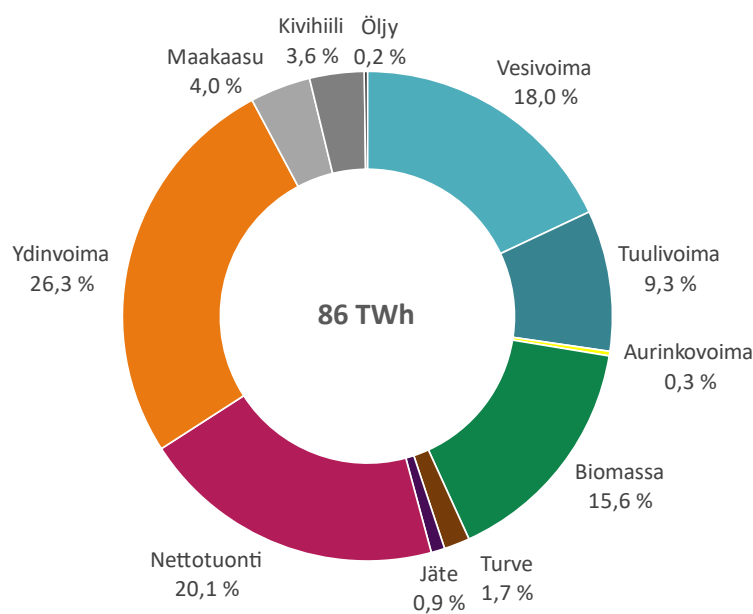
Ensimmäinen tuulivoimala Suomeen tuli jo vuonna 1989, joka oli 300 kW voimalaitos. Seuraavat tulivat 1990-luvun alussa, niiden olleen teholtaan 200kW, kun taas ensimmäiset megawatin tuulivoimalat rakennettiin vuonna 1999 Poriin. 90-luvun lopulla valtion antama tuki tuulivoimatuotantoon ja sen rakennuttamiseen nosti tuulivoimapuistojen rakentamista entisestään. Toinen selvä kasvu tuulivoimatuotannossa tapahtui 2010-luvulla syöttötariffijärjestelmän käyttöönoton jälkeen. Vuonna 2018 Suomeen tuli ensimmäinen täysin markkinaehtoisesti rakennettu tuulivoimapuisto. (Suomen Tuulivoimayhdistys Ry, n.d.)

Kuvasta 1 näkyy selkeästi, miten tuulivoiman kapasiteetti ja tuotanto on kasvanut viimeisen viidentoistavuoden aikana. Tuulivoimatuotannon kapasiteetti kasvoi 26 % vuonna 2021 vuoteen 2020 verrattuna ja tuotanto kasvoi puolestaan 1,5 %. Vuonna 2021 tuotanto oli jo 8061 GWh ja kapasiteetti ylsi yli 3000 MW (3257 MW).



Kuva 1. Suomen tuulivoimatuotannon kapasiteetti ja tuotanto vuosina 2007–2021. (Energiateollisuus, 2022)

Kuvassa 2 on esitetty vuoden 2021 sähköntuotanto. Tuulivoimalla katetiin Suomen sähköntuotannosta 9,3 %. Vuonna 2021 Suomessa oli 962 tuulivoimalaa. (Energiateollisuus, 2022)

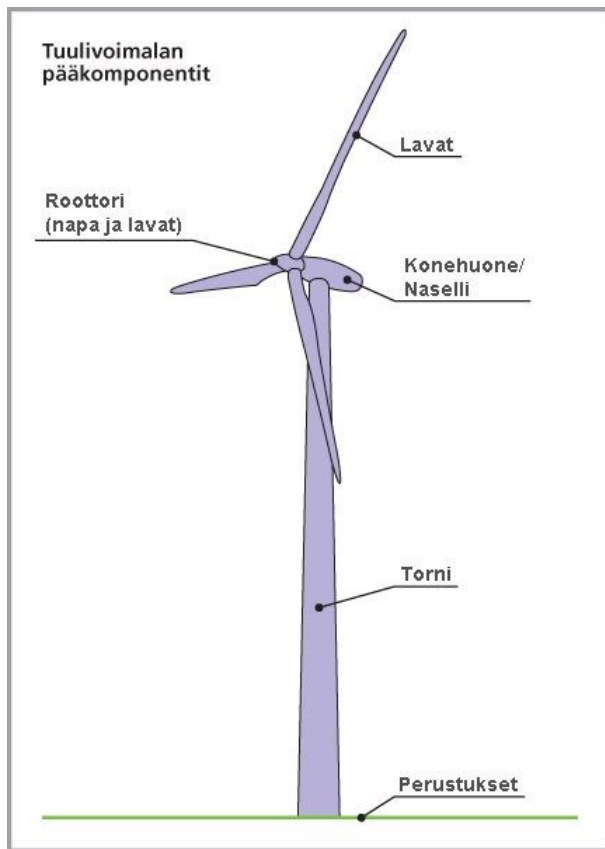


Kuva 2. Sähköntuotanto energialähteittäin vuonna 2021 + nettotuonti. (Energiateollisuus, 2022)

Sähköä saadaan tuotettua voimaloilla, kun tuulen liike-energia muutetaan voimalan siipien pyörimisen avulla mekaaniseksi energiaksi. Ilmamassojen sekä paine-erojen pyrkiessä tasaantumaan, syntyy tuulta. Yleisesti voimala tarvitsee tuulta vähintään 3 m/s, jotta sen lavat alkavat pyörimään ja sitä kautta tuottamaan sähköä. Nimellistehon voimala saavuttaa tuulen ollessa 10–15 m/s, eli suurimman tehon (megawatti/MW), jonka voimala voi tuottaa. Tuulen yltyessä yli 25–30 m/s voimalat pysäyttävät itse itsensä, jotta välttyttäisiin osien sekä rakenteiden mahdolliselta vaurioitumiselta. Tuulivoimaloissa siivet ja roottori on suunnattu aina kohti tuulta ja se kääntyy aina tuulensuunnan mukaan. (Suomen Tuulivoimayhdistys Ry, n.d.)

2.1 Tuulivoimalatyypit

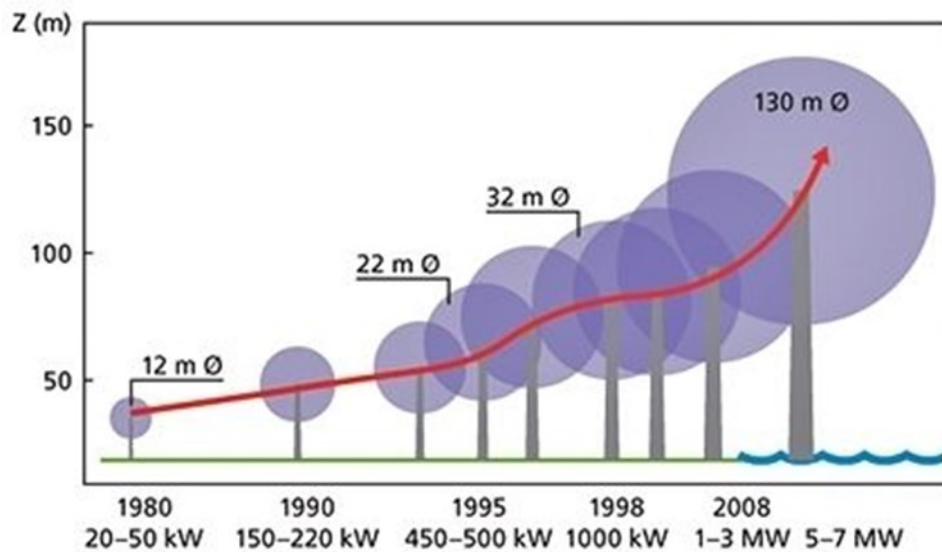
Yleisimmät tuulivoimalatyypit ovat yleensä kolmilapaisia ja vaaka-akselisia. Tuulivoimaloiden torni on yleensä terästä tai se voi olla niin sanottu hybridi, jossa alaosa on betonia ja yläosa terästä. Vastaavasti voimalan torni voi olla kokonaan betonia. Voimalan komponentteihin kuuluu torniosat (Kuva 3), lavat, eli siivet, napa, johon siivet kiinnittyvät, sekä naselli, eli konehuone, jossa sijaitsee muun muassa generaattori ja vaihteisto. Siivet ovat pääosin valmistettu lasikuidusta.



Kuva 3. Tuulivoimalan komponentit. (Motiva, n.d.)

Tuulivoimaloiden kokonaiskorkeus on vuosien aikana noussut huomattavasti (Kuva 4.). Aikoinaan 22 metrin tuulivoimalakorkeus on kasvanut jo liki 180 metriin. Tuulivoimalan tehot vuonna 1999 Suomessa oli 1 MW, kun nykyään merellä on jopa 10 MW voimaloita. Roottorin halkaisija on puolestaan kasvanut 15 metristä yli 150 metriin. (Suomen tuulivoimayhdistys Ry, n.d.)

Korkeat voimalat mahdollistavat hyvät tuuliolosuhteet, eikä ympäröivästä metsästä tai kalliosta aiheutu haittaa tuulelle tai roottorin pyörimiselle. Merelle sijoitetuissa voimaloissa ei tarvita yhtä korkeaa tornia, kuin maalla, sillä siellä ei ole korkeita esteitä. Myös roottorin halkaisija voi täten olla isompi ja kun halkaisija on isompi, niin on pyyhkäisyypinta-alakin. (Suomen Hyötytuuli Oy, n.d.)

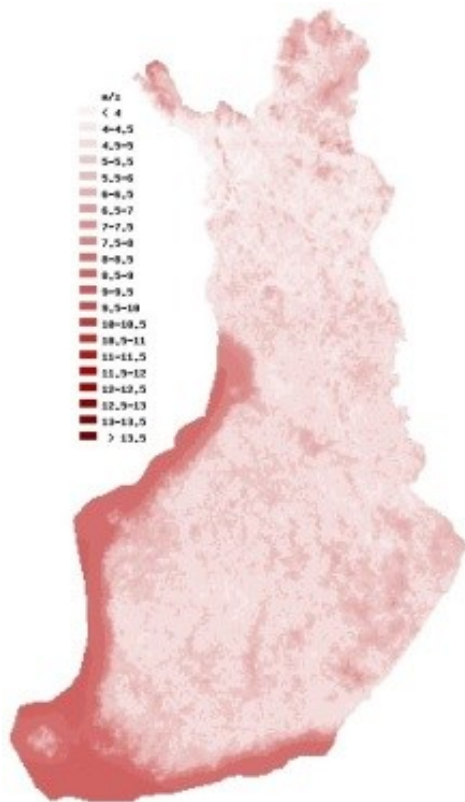


Kuva 4. Tuulivoimaloiden korkeuden ja roottorihalkaisijan kehitys. (Motiva n.d.)

Nykyään voimaloiden kokonaiskorkeus voi olla liki 300 metriä. Tämä mahdollistaa isommat siivet ja laajemman alueen tuulen hyödyntämiseen, sekä paremmat tuuliolosuhteet korkeammalla maanpinnasta. Lapojen pyyhkäisyypinta-ala on suoraan verrannollinen voimalan tuotantoon. Napakorkeus voimaloilla vaihtelee nykyään noin 140–175 metrissä. Lapojen pituudet puolestaan 60–75 metriä. Voimaloiden nimellisteho vaihtelee noin 5–8 MW välillä ja merelle sijoitetuissa voimaloissa jopa 10 MW. (Suomen Tuulivoimayhdistys Ry, n.d.)

2.2 Tuulivoimaloiden sijoittaminen

Tuulivoimaloiden sijoittamiseen vaikuttaa sekä tekniset, että taloudelliset tekijät. Näihin tekijöihin lukeutuu sähköverkon sijainti, olemassa oleva tiestö, tuuliolosuhteet ja mahdolliset hankkealueet, sekä alueiden ominaisuudet. Potentiaalisia tuulivoima-alueita etsittäessä on hyvä ottaa huomioon tuuliolosuhteet. Suomessa on tehty vuonna 2009 mallinnus tuuliolosuhteista, hanke on nimeltään Tuuliatlas. Kuvassa 3 näkyy tuuliolosuhteet koko Suomen laajuudella; mitä punaisempi, sen tuulisempi alue. Kuvasta voi havaita etelä- ja länsirannikon olevan parhaimmat alueet tuulisuuden osalta. Myös Lappiin ja Keski-Suomeen on pystytetty useita tuulivoimapaistoja. Meri lisää tuuliolosuhteita myönteisesti, täten Länsi-Suomeen on tiiviisti sijoitettu tuulivoimaloita. (Motiva Oy, n.d.)



Kuva 5. Suomen tuuliolosuhteet, Tuuliatlas-hanke. (Ilmatieteen laitos, n.d.)

Taloudellisesta näkökulmasta katsottuna on hyvä ottaa huomioon myös sähkön siirtoverkon sijainti. Mikäli sähköverkko on kaukana, siihen liittyminen lisää hankkeen kustannuksia ja voi hankaloittaa asioita maanvuokrasopimuksissa. Myös sähköasemiin voidaan joutua tekemään muutoksia tai niitä joudutaan rakentamaan lisää.

Infrastrukturi, eli tiestöt ja yhteydet hankealueelle ovat tärkeitä. Erityisesti rakennusvaiheessa, kun kuljetetaan voimaloiden raskaita komponentteja ja teillä kulkee raskaita ajoneuvoja, kuten betoniautoja, vaatii se tiestöiltä kestävyyttä ja lujuutta. Mikäli hankealueella on jo olemassa olevia tiestöjä ja niitä voidaan hyödyntää, pienentää se jo kokonaiskustannuksia huomattavasti. (Motiva Oy, n.d.)

3 TUULIVOIMAPUISTON RAKENNUSVAIHEET

Opinnäytetyön tilaajana toimii Suomen Hyötytuuli Oy. Suomen Hyötytuuli Oy on uusiutuvaa energiaa tuottava yhtiö, joka on perustettu vuonna 1998. Yhtiön omistaa kahdeksan kaupunkienergiayhtiötä. Tällä hetkellä yhtiöllä on seitsemän tuotannossa olevaa tuulipuistoa ja rakenteilla kolme tuulipuistoa, sekä useita kehityshankkeita. Tuulipuistot sijaitsevat Porissa, Kalajoella, Raahessa ja Pyhäjoella. Tuotannossa olevien tuulipuistojen vuosituotanto on noin 750 GWh. Suomen Hyötytuuli Oy on Suomessa tuulivoimatuotannon edelläkävijä, sillä se rakensi ensimmäiset megawatin tuulivoimalat Suomeen vuonna 1999. Lisäksi Suomen Hyötytuuli Oy rakensi maailman ensimmäisen jääolosuhteisiin suunnitellun merituulipuiston Porin Tahkoluotoon vuonna 2017. (Suomen Hyötytuuli Oy, n.d.)

Opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa tilaajalle selkeä tarkastuslista tuulivoimalan perustusten rakentamisen työvaiheisiin, jonka avulla pystytään seuraamaan ja valvomaan työn etenemistä, sekä suoritusta. Opinnäytetyön teon aikana on seurattu yhtiöllä rakennusvaiheessa olevien hankkeiden kulkua ja ammennettu tietoa sen pohjalta, sekä työskennelty projektissa mukana. Lisäksi on keskusteltu yhtiön henkilöstön kanssa rakennusvaiheen edetessä.

Tuulivoimahankkeen rakennusvaiheen käynnistyessä poistetaan ensimmäisenä puusto. Puuston poistoon tehdään erillinen suunnitelma, josta sovitaan yhdessä maanomistajan kanssa. Puuston poistossa täytyy voimalapaikan lisäksi ottaa huomioon myös komponenttien kuljetus, sillä tien kaarteissa tarvitaan riittävästi tilaa. Ilmajohtojen (110 kV) asennus voidaan aloittaa heti, kun puusto ilmajohdon reitiltä on poistettu.

Puuston poiston jälkeen työstetään maa-aineksenottoaluetta (Kuva 6), louhosta, jota hyödynnetään projektin aikana. Maa-aineksenottoon edellytetään toimiva suunnitelma, sekä lupa kunnalta maa-aineksenottoon.



Kuva 6. Maa-aineksenottoalue. (Suomen Hyötytuuli Oy)

Kun puuston poisto on tehty ja maa-aineksenottoalue on otettu käyttöön, voidaan aloittaa tien tekeminen. Tuulivoimapuiston alueella hyödynnetään mahdollisimman paljon jo mahdollisesti olemassa olevaa tieverkostoa. Teiden rakentamisen yhteydessä aloitetaan perustusten, sekä nostoalueiden maatyöt, kuten massanvaihdot, täytöt ja lopuksi kantavan kerroksen asennus.

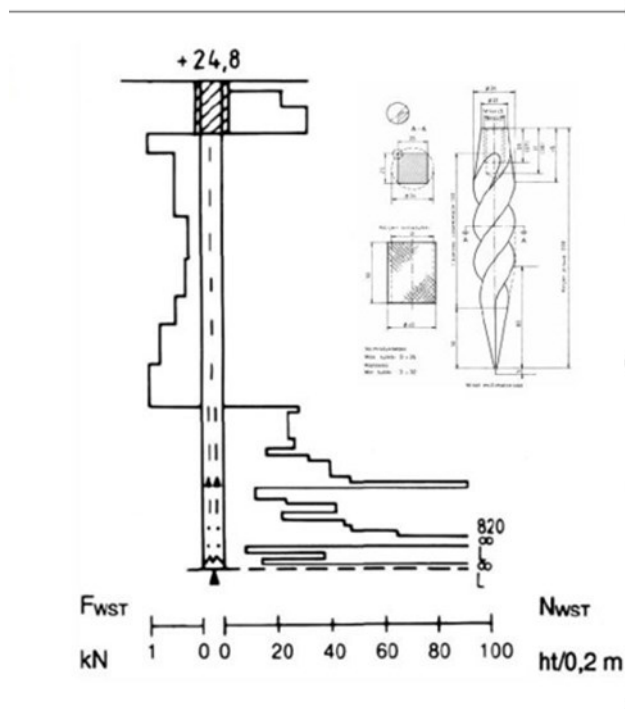
Maakaapeleiden asennukset, sekä veto perustuksiin tapahtuu maatöiden jälkeen. Maakaapeleiden vedon jälkeen pystytään aloittamaan perustusten raudoitus ja muottien kasaaminen. Tästä luonnollisesti päästään siirtymään perustuksen betonointivaiheeseen. Betonin jälkihoidon aikana ja perustusten rakentamisvaiheessa, on myös sähköaseman tai sähköasemien rakentamisen aika. Betonoinnin ja sen jälkihoidon jälkeen on vuorossa voimaloiden asennus ja pystytys. Voimalan pystytyksen jälkeen tehdään käyttöönotto ja voimala siirretään tuotantoon.

3.1 Perustamistapalausunto

Perustamistapalausunto vaaditaan yleensä tuulivoimapuiston suunnittelun alkuvaiheessa. Rakennuslupaa haettaessa tulee perustamistapalausunto olla laadittuna. Lausuntoa varten tarvitaan maaperätutkimukset alueilta, joihin tuulivoimaloita on suunniteltu rakennettavan. Maaperätutkimukset voidaan suorittaa maastokatselmuksena paikan päällä, jolla saadaan kartoitettua alue. Myös kartta- ja ilmakuvatulkinnan käyttöä hyödynnetään. Lopulta tehdään kairaukset ja muut geotekniset erikoismittaukset, sekä mahdolliset tarkemmat laboratoriotutkimukset maa-aineksisista. Maastokatselmuksen aikana pystytään havainnoimaan maaperän pinnanmuodot, kasvi-
peite, mahdolliset kalliopaljastumat, kivisyys, lohkaraisuus, kuopat ja kaivannot. Myös pinta-
vesiesiintymät, esimerkiksi avo-ojat ja lammikot, sekä alueen mahdolliset rakenteet ja perus-
tukset saadaan havaittua katselmuksen avulla. Maastokatselmuksen perusteella voidaan laatia
lopullinen maaperätutkimusohjelma.

Maaperätutkimuksilla saadaan selvitettyä muun muassa pohjan tärkeät tekijät, kuten pinnan-
muodot rakennuskohteissa, maapohjan kerrosrakenteet, kalliopinnan sijainti ja syvyys eri koh-
dissa, maakerrosten ja kallion geotekniset ominaisuudet, esimerkiksi rakeisuus ja lujuus. Li-
säksi saadaan selvitettyä pohjavedenpinnan korkeus ja sen vaihtelurajat, maaperän routivuus ja
mahdollinen radonpitoisuus, sekä arvio tulva- ja sortumariskeistä.

Yleisimpiä maaperän tutkimusmenetelmiä ovat muun muassa paino- ja heijarikairaus, joilla
saadaan tieto maakerrostumista ja kantavan maa-aineksen syvyydestä. Pohjavedenpinnan tut-
kimukseen käytetään yleensä pohjavesiputkea. Porakonekairauksella kohdennetaan puolestaan
kallionpinta ja sen avulla saadaan tarkempaa tietoa kallionlaadusta.



Kuva 9. Painokairaus-diagrammi. (Suomen geoteknillinen yhdistys, 2005).

3.2 Tuulivoimalan eri perustamistavat

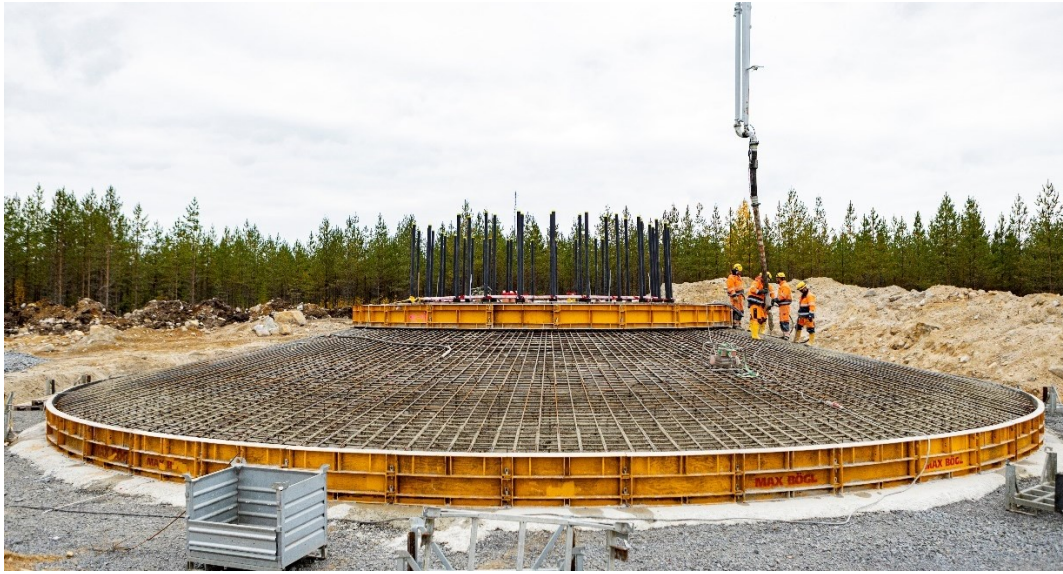
Tuulivoimalan perustustapaan vaikuttaa maaperä, sen laatu ja muut geotekniset ominaisuudet. Tuulipuistot saattavat sijaita alueilla, joissa vaaditaan eri perustustapoja voimaloille pohjaolosuhteiden vaihtelun takia. Perustusten tarkoituksena on siirtää rakenteen, tässä tapauksessa voimalan, kuormat perustuksen kautta maapohjaan aiheuttamatta murtumista tai painumista. Sen tarkoituksena on myös pitää rakenne pystyssä. Yleisesti käytössä on kolme eri voimalan perustustapaa, jotka ovat: kallioankkuroitu perustus, paaluperustus, sekä gravitaatioperustus. (DNV/RISØ, 2002)

Gravitaatioperustus, eli maanvarainen perustus, on yleisin Suomessa käytettävä tuulivoimaloiden perustamistapa. Siinä ehtona on, että suunnitellun perustuksen kohdan maaperän kantavuus on riittävä. Yleensä hyvin kantavia, tiiviitä maa-aineksia ovat moreeni ja erilaiset luonnonsorat. Tiiveys ja kantavuus voidaan arvioida esimerkiksi painokairaustulosten perusteella. Kun

painokairaa joudutaan kiertämään yli 100 puolikierrosta per 0,2 m voidaan todeta maaperän olevan tiivis. Tässä tapauksessa, kun maaperä on kantavaa, poistetaan perustuksen alta pinta-maa-ainekset, kuten humus. Kaivu tapahtuu yleensä noin kolmen metrin syvyyteen. Myös massanvaihtoa voidaan harkita, mikäli kantava maa-aines sijaitsee syvemmällä maaperässä. Tällöin maaperään tehdään kaivu kantavaan tasoon asti, joka yleensä tavoitetaan 5–10 metrin syvyydessä. Tämän jälkeen suoritetaan täyttö painumattomalla kiviaineksella, esimerkiksi murskeella. (Pöyry Finland Oy, 2018)

Kun kantava maaperä on saavutettu, tasoitetaan alue esimerkiksi murskeella, jonka päälle tehdään tasausvalu. Tasausvalun päälle asennetaan pulttikehä ja raudoitus, joka valetaan myöhemmin betonilla. Gravitaatioperustus on halkaisijaltaan noin 20–30 m leveä ja puoliympyrän muotoinen betoniantura (kuva 7). Tämä muoto vastaa voimalan aiheuttamaa momenttikuviota, jonka avulla saadaan säästettyä raudoituksen ja betonin määrää. (Leino, 2014)

Tämän suuren betonianturan tarkoitus on siirtää voimalan aiheuttamat voimat laajalle alueelle maaperään ja siten estää voimalaa muun muassa kaatumasta. (Ramboll Finland Oy)



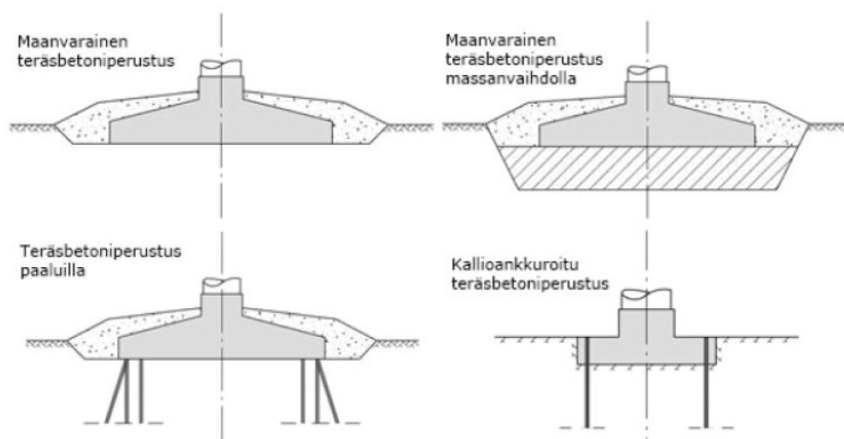
Kuva 7. Gravitaatioperustuksen raudoitus, Peuralinna. (Suomen Hyötytuuli Oy, 2021)

Kallioankkuroitu perustus (Kuva 8) on nimensä mukaan kallion päälle perustettavan tuulivoimalan perustamistapa. Kallion tulee täten olla joko näkyvissä tai lähellä maanpintaa, sekä ehjä, jotta perustus voidaan asentaa. Kallioankkuroidussa perustuksessa kallioon porataan reiät. Reikien porauksen jälkeen tehdään vesimenekkikoe, jolla voidaan havaita, mikäli kallio ei ole riittävän tiivis ja vuotokohtia ilmenee. Mikäli vesimenekkikoe ei täytä vaadittuja arvoja, kallio injektoidaan, eli tiivistetään. Injektoinnin jälkeen reiät porataan uudelleen auki ja toistetaan vesimenekkikoe. Ennen teräsankkurien asennusta reikiin tehdään juotosvalu, yleensä käyttäen sementtipohjaista juotosvalua, jonka avulla saadaan siirrettyä ankkureihin kohdistuvia voimia ympäröivään kallioon. Tämän jälkeen ankkurit voidaan esijännittää. Kallioankkuroinnin hyvät puolet on kustannusten säästö varsinkin betonin ja raudoitteen määrässä, sillä se ei vaadi yhtä isoa perustusta kallion ansiosta, mitä maanvarainen tuulivoimaperustus puolestaan vaatii. (Leino, 2014)



Kuva 8. Kallioankkuriperustuksen raudoitus (Suomen Hyötytuuli Oy, n.d.)

Paaluperustus tulee toteutukseen siinä vaiheessa, kun kantava maakerros on liian syvällä, eikä massanvaihto ole kustannussyistä oikea ratkaisu. Paalujen tarkoituksena on johtaa rakenteesta tulevat voimat kantavaan maaperään. Paalut valitaan maaperän ja sen geoteknisten ominaisuuksien perusteella. Pohjatutkimustulokset auttavat yleensä oikeanlaisen paaluperustuksen valinnassa. (Markkanen, 2016)



Kuva 9. Eri perustamistapoja. (Ramboll Finland Oy, n.d.)

3.3 Asiakirjat ja standardit

Tuulivoimarakentamisessa noudatetaan maankäyttö- ja rakennuslakia (MRL) yhtä lailla kuin muussakin rakentamisessa. Tuulivoimasuunnittelussa maankäyttö- ja rakennuslaki vaikuttaa muun muassa kaavoituksessa. Maankäyttö- ja rakennuslain muutos (134/2011) kohdistuen tuulivoimarakentamiseen ja suunnitteluun tuli voimaan 1.4.2011. Siinä muutos koskee yleiskaavaa, jota on mahdollista käyttää tuulivoimarakentamisen suunnitteluvälineenä vuodesta 2011 eteenpäin. Rakennuslupia voidaan myöntää myös suoraan pohjautuen yleiskaavaan, mikäli tarvittavat edellytykset täyttyvät. Kustannukset, jotka syntyvät tuulivoimayleiskaavan laatimisesta, voi kunta veloittaa hankekehittäjältä. (Suomen tuulivoimayhdistys Ry, n.d.)

Tuulivoimalan perustuksissa ja niiden suunnittelussa, sekä maanrakennustöissä noudatettavia asiakirjoja ovat muun muassa seuraavat:

InfraRYL, osa 1	Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, osa 1 Väylät ja alueet
InfraRYL, osa 3	Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, Osa 3 Sillat ja rakennustekniset osat
RIL 132-2000	Talonrakennuksen maarakenteet
SFS-EN 1992-1 1	Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännökset ja ohjeet
RIL 207-2017	Geotekninen suunnittelu. Eurokoodin EN 1997-1 suunnitteluohje
RIL 261-2013	Routasuojaus, -rakennukset ja infrarakenteet
	Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista
International Standard IEC-61400-1	Wind turbines Part 1: Design requirements
DNVGL-ST-0437	Loads and site conditions for wind turbines

Taulukko 1. (Afrý Finland Oy, 2019)

Lisäksi huomioon on otettava laite- ja voimalavalmistajien omat ohjeistukset perustusten rakentamiseen ja toteutukseen. (Afrý Finland Oy, 2019)

4 PERUSTUKSEN TYÖVAIHEET

Perustusten rakentaminen aloitetaan, kun puuston poisto, tiestö, sekä nostokentät on saatu valmiiksi. Ensimmäisenä tehdään perustuskaivannot poistamalla pintamaata niin, että saavutetaan kantava maaperä. Kantava maaperä saavutetaan yleensä noin 5 metrin syvyydessä. Kaivantotoissa, joissa kaivussyvyys on yli 2 m, tulee tehdä kaivantosuunnitelma. (InfraRYL, 2022) Massanvaihto tapahtuu kaivun jälkeen, eli poistettu pintamaa korvataan kantavalla maa-aineksella, yleensä murskeella (Ramboll Finland Oy).

Massanvaihdon jälkeen maanpinta tiivistetään ja tasoitetaan. Varausputket kaapeleille asennetaan ennen betonivalujen aloittamista, jotta myöhemmin vedettävät kaapelit saadaan asennettua. Kun perustuksen pohja on saatu valmiiksi, on vuorossa kantavuusmittaus. Yleisin kantavuudenmittausmenetelmä on levykuormituskoe, jossa mitataan pohjan tiiveys ja kantavuus. Perustuksen maadoitukset tehdään ennen työvalua.

Työ-. eli, tasausvalu voidaan valaa edellä mainittujen työvaiheiden ollessa valmiita. Tasausvalu on ohut betonilaatta, jonka päälle tehdään raudoitus. Se helpottaa työvaiheita, kuten raudoituksen ja ankkurikehän asennusta ja valutyötä. Tasausvalun jälkeen saadaan asennettua ankkurikehä, sekä raudoitus ja niiden maadoitus. Ankkurikehän ja raudoituksen asennusohjeet tulevat yleensä voimalatoimittajalta, kuin myös maadoitusohjeet. Välikkeet, jotka pitävät huolen riittävästä betonipeitepaksuudesta, tulee tarkastaa raudoituksen tarkastuksen yhteydessä, että ne vastaavat suunnitelmia. Myös raudoitustankojen kunto tulee tarkastaa, tangot eivät saa olla liian ruostuneita.



Kuva 10. Ankkurikehä. (Peikko Oy, n.d.)

Kun asennukset on hoidettu toimittajan tai valmistajan ohjeiden mukaisesti, voidaan siirtyä muottien asennukseen. Reunamuotit ovat nopeita asentaa ja yleensä muottimateriaalina on käytetty teräs- tai vanerimuotteja. Muottipinnat käsitellään öljyllä, jolla estetään betonin kiinnittyminen muottipintaan. Kuvassa 7 näkyy gravitaatioperustuksen muotit.

Valu suoritetaan, kun muottityö on saatu valmiiksi. Muotit ja niiden rakenne, sekä tiiveys tarkastetaan ennen valutyön aloittamista. Hyvissä ajoin ennen betonoinnin aloittamista on tehtävä betonointisuunnitelma. Betonointisuunnitelma tulee tehdä kaikissa 2 ja 3 toteutusluokan betonirakenteissa, tuulivoimalan betonirakenteet kuuluvat toteutusluokkaan 3. Betonointisuunnitelmassa käy ilmi muun muassa, käytettävä betonimassa ja sen ominaisuudet, sekä vaatimukset, betonitoimittaja, siirto, siirtoon kuluva aika, betonin määrä, valu- ja tiivistysmenettelyt ja jälkihoito. (Suomen betoniyhdistys ry, 2022)

Betonoinnin tulee vastata suunnitelma-asiakirjojen laatuvaatimuksia ja sen tulee täyttää Suomen rakentamismääräyskokoelman, By65, Betoninormit, 2021., vaatimukset. Käytettävä sementti ja betonin lisäaineet puolestaan tulee olla CE-merkittyjä. (InfraRYL, 2022)

Betoni kuljetetaan työmaalle yleensä pyörintäsäiliöautolla, joka varmistaa sen, että betonimassa pysyy työstettävänä. Betoni pystytään vielä sekoittamaan ennen valun aloitusta. Tämän jälkeen pumppuauto pumppaa letkulla betonia raudoituksen ympärille. Betoni tulee tiivistää, eli täryttää tärysauvan avulla niin, että se on tasaisesti raudoituksen ympärillä. Kun perustus on valettu ja valmis, tehdään tarkastukset betonipinnalle. Siinä tarkastetaan, että betoni on oikein jälkihoitettu, eikä betonissa ole esimerkiksi halkeamia. Jälkihoitomenetelminä käytetään betonin suojaamista ja kastelua, sekä lämpötilanseurantaa, jolla estetään betonin liian nopea kuivuminen, sekä halkeilu ja varmistetaan betonin saavuttavan halutut ominaisuudet. Talvibetonointi tulee suorittaa siinä vaiheessa, mikäli keskilämpötila on +5 celsiusastetta tai sen alle. (InfraRYL, 2022)

Muottien purku voidaan toteuttaa betonin saavuttaessa suunnitelmienmukaisen lujuusarvon. Vaakarakenteissa betonin saavuttaessa 60-80 % nimellislujuudestaan muotit voidaan purkaa tai vastaavasti betonin saavuttaessa 5MPa lujuuden, mikäli erillistä lujuusarvoa ei ole suunnitelmassa kerrottu. (Suomen betoniyhdistys ry, 2018, s. 95)

Puristuslujuuden tarkastus tapahtuu yleensä 28 vuorokauden jälkeen valusta. Koekappaleet, eli kuutiot otetaan betonista, kun valu aloitetaan ja puristuslujuuden testaus tehdään 28 päivän iässä. Puristuslujuuden tarkastelussa käytetään standardia SFS-EN 206 Betoni. (Suomen betoniyhdistys ry, 2018, s. 85)

Tämän jälkeen voidaan suorittaa kaapelien veto voimalalle, jonka jälkeen voidaan toteuttaa perustuksen ympärystän täyttö. Täyttö tapahtuu yleensä murskeella. Ankkurikehän juotosvalu, eli valu, joka yhdistää torniosan perustukseen ja täten siirtää tornin voimat perustukselle, tehdään kun edellisten työvaiheiden valmistuttua. Juotosvaluna käytetään korkealujuusbetonia (>C50/C60), kuten perustuksen betonoinnissakin.

Kun kyseessä on kallioankkuroitu perustus, siinä perustuksen betonoinnin jälkeen porataan kallioon reiät ja tehdään vesimenekkikoe. Reikiä varten on asennettu raudoituksen yhteydessä tai ennen betonointia putket, joiden kautta ankkurien poraus tapahtuu. Ensimmäisenä porataan reiät, jotta saadaan tartuntapinnat, sen jälkeen mahdollinen injektointi ja injektointien jälkeen uudelleenporaus. Ennen injektointia suoritetaan injektointitöiden työsuunnitelma. Juotosvalu

tehdään reikien uudelleenporauksen jälkeen ja tämän jälkeen voidaan asentaa ankkurit. Juotosvalu toimii ankkureihin kohdistuvien voimien siirtäjänä niitä ympäröivään kallioon. Kun kallioankkurit on juotettu kiinni ja juotosten lujuudet on varmistettu, voidaan tehdä ankkurien jännitys. Viimeisenä on pulttien suojaus ja perustuksen maisemointi.



Kuva 11. Kallioankkurin juotos. (Suomen Hyötytuuli Oy, n.d.)

5 LAADUNVARMISTUSOHJEEN LAADINTA TYÖVAIHEITTAIN

Tuulivoimalan perustuksen rakennustyövaiheiden tarkistuslista laaditaan hyvin selkeään muotoon, jotta sitä on kaikkien helppo käyttää, kun perustusten rakennusvaihe alkaa. Tarkistuslista tulee opinnäytetyön tilaajan käyttöön. Pääsääntöisesti tarkistuslista on tehty projektijohdon

avuksi perustusten rakentamisen työvaiheiden suoritusten valvonnan ja aikataulussa etenemisen seurannan tueksi. Tarkistuslista, eli tässä tapauksessa laadunvarmistusohje tilaajalle, on esitetty liitteessä 1.

Työvaiheittain jaoteltu tarkistuslista on tehty tilaajan näkökulmasta. Suuri osa rakennustyön vastuusta on pääurakoitsijalla ja voimalatoimittajilla, mutta halutun laadun, sekä aikataulun seuranta ovat tilaajalle tärkeitä. Tarkistuslista on jaoteltu työvaiheittain ja tarkoituksena on lisätä kommentit samaan dokumenttiin. Tarkistuslistassa on otettu huomioon mitä dokumentteja ja raportteja Tilaajan kuuluu saada urakoitsijalta rakennustöiden edetessä. Mikäli kommentoitavaa on, tulee kyseiset puutteet tarkastaa urakoitsijan kanssa välittömästi, joka edelleen tarkastaa puutteet työntekijöidensä ja aliurakoitsijoiden kanssa. Tarkistuslistan käyttö edellyttää, että urakoitsija pitää Tilaajan ajan tasalla missä vaiheessa rakennustyötä mennään, ellei Tilaaja itse seuraa työmaalla rakennustyön etenemistä. Urakoitsija voi pitää Tilaajan ajan tasalla esimerkiksi viikkoraporttien tai työmaakokousten avulla. Tiedot tarkistuslistaan on saatu rakennustyöprojekteissa mukana työskentelemällä ja seuraamalla tilaajan, urakoitsijan ja valvojien työtä. Omien havaintojen avulla on myös saatu koottua tärkeimpiä välivaiheita tarkistuslistaan. Tarkistuslistaa tahdistavat ja rakentavat isommat työvaiheet, kuten raudoitus, valujen suoritus ja päällystäyttö, joita ennen tarvitsee tiettyjen työvaiheiden olla valmiita. Nämä työvaiheet tulee tehdä, tarkistaa ja hyväksyä ennen seuraavaan työvaiheeseen siirtymistä.

6 POHDINTA

Opinnäytetyössä tarkoituksena oli saada tilaajalle, Suomen Hyötytuuli Oy:lle, käyttöön tarkistuslista tuulivoimalan perustuksen rakentamisen työvaiheisiin. Sen avulla saadaan kaikille tuulivoimapuiston rakennusvaiheessa työskenteleville työntekijöille tieto siitä, kuinka tuulivoimalan perustuksen rakentamisen kuuluisi edetä. Tarkistuslistasta selviää mitä tilaajan näkökulmasta on tärkeä ottaa huomioon työvaiheiden edetessä, sekä tarkistaa, että työt etenevät aikataulussa ja suunnitelmien mukaisesti.

Itse tiedonhaku oli perustuksen työvaiheisiin ja sen spesifimpiin rakennusvaiheisiin hieman haastavaa, mutta tietoa saatiin myös paljon osaavilta kollegoilta, sekä rakennusprojektissa mukana työskenneltäessä. Oma kokemusta löytyy myös rakennuspuolelta, sekä tuulivoimapuistojen, että talonrakentamisen työmailta, joka auttoi myös tiedonkeräämisessä. Seurasin ja olin mukana peräti kolmen rakennusvaiheessa olevan tuulivoimapuiston projektissa, josta tietoa ja näkemystä tähän opinnäytetyöhän kertyi paljon. Suomen tuulivoimatuotannon tiedot ovat vuoden 2021 pohjautuvia, sillä opinnäytetyö aloitettiin jo vuoden 2022 puolella.

Opinnäytetyö oli mielenkiintoinen ja opin itsekkin paljon uutta tuulivoimalan perustuksen rakentamisen vaiheista, esimerkiksi siitä, miten työt etenevät, mitä tarvitsee ottaa huomioon, mitkä ovat tärkeitä dokumentteja saada tilaajan roolissa, sekä yleisesti kokonaisuus tuulivoimaperustuksien laadinnassa. Tuulivoimalan perustukset ovat hyvin erilaisia, verrattuna esimerkiksi aiemmin tottumiini rakennusten perustuksiin. Ohje on myös selkeä ja se on tärkeä työkalu Tilaajalle tuulivoimalan perustuksien rakentamisen työvaiheiden seurantaan.

LÄHTEET

Afry Finland Oy. (2019). *Perustamistapalausunto Hyötytuulelle*.

DNV/RISØ. (2002). *Guidelines of design of wind turbines, 2nd ed.* Haettu 21. 11 2022

Energiateollisuus. (2022). *Sähköntuotanto*. Haettu 6. 4 2022 osoitteesta <https://energia.fi/>

Ilmatieteen laitos. (n.d.). *Tuuliatlas*. Haettu 7. 10 2023 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tuuliatlas>

Leino, R. (13. 12 2014). Diplomityö. *Tuulivoimalan kallioankkuroitu perustus*, 8-9. Haettu 5. 11 2022

Markkanen, J. (5 2016). Opinnäytetyö. *Tuulipuiston alue-ja pohjarakenteiden suunnittelu*. Haettu 15. 11 2022

Motiva Oy. (n.d.). *Tuuliatlas- tuulisuustiedot kartalle*. Haettu 7. 10 2023 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuuliatlas_tuulisuustiedot_kartalle

Motiva Oy. (n.d.). *Tuulivoima Suomessa*. Haettu 1. 11 2022 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima_suomessa

Motiva Oy. (n.d.). *Voimalan sijoittaminen*. Haettu 13. 04 2022 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima_suomessa/voimalan_sijoittaminen

Peikko Oy. (n.d.). *Maanvarainen perustus*. Haettu 7. 10 2023 osoitteesta <https://www.peikko.fi/tuotteet/tuulivoimaloiden-perustusratkaisut/maanvarainen-perustus/>

Pöyry Finland Oy. (2018). *Polusjärven tuulivoimapuisto, pohjatutkimus ja perustamistapalausunto*. Suomen Hyötytuuli Oy. Haettu 15. 11 2022

Rakennustieto. (30. 6 2022). InfraRYL. *Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset*. Haettu 21. 11 2022

Rakennustieto. (30. 6 2022). InfraRYL. *Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset*.

Ramboll Finland Oy. (n.d.). *Suolakangas YVA-ohjelma*. Haettu 21. 11 2022 osoitteesta https://www.ymparisto.fi/sites/default/files/documents/Suolakangas_YVAohjelma_29112017.pdf

Ramboll Finland Oy. (ei pvm). *Soinin Pesolan ja Korkeamaa tuulivoimahanke YVA*. Noudettu osoitteesta

https://www.ymparisto.fi/sites/default/files/documents/Pesola_Korkeamaa_tuulivoima_hanke_YVAohjelma.pdf

Ramboll Finland Oy. (ei pvm). *Teuvan YVA-selostus*. Haettu 10. 11 2022 osoitteesta <https://www.epvtuulivoima.fi/wp-content/uploads/sites/43/2017/03/Teuvan-YVA-selostus.pdf>

Suomen betoniyhdistys ry. (2018). Teoksessa *Betonitekniikan oppikirja* (s. 85). Suomen betoniyhdistys ry. Haettu 5. 12 2022

Suomen betoniyhdistys ry. (2018). Teoksessa *Betonitekniikan oppikirja* (s. 91). Suomen Betoniyhdistys ry.

Suomen betoniyhdistys ry. (2. 10 2022). *Betonointisuunnitelma*. Haettu 5. 12 2022 osoitteesta <https://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/betonilattiakurssi/betonointisuunnitelma-betonitieto.pdf>

Suomen geoteknillinen yhdistys. (2005). *Painokairaus*. Haettu 1. 11 2022 osoitteesta <https://sgy.fi/content/uploads/2017/04/pohjatutkimusmerkinnat-2005.pdf>

Suomen Hyötytuuli Oy. (30. 9 2021). Haettu 7. 10 2023 osoitteesta <https://www.m-files.com/fi/>

Suomen Hyötytuuli Oy. (n.d.). Haettu 7. 10 2023 osoitteesta <https://www.m-files.com/fi/>

Suomen Hyötytuuli Oy. (n.d.). *Alajoki-Peuralinnan tuulivoimahanke*. Haettu 7. 10 2023 osoitteesta <https://hyotytuuli.fi/tuulipuistot/alajoki-peuralinnan-tuulivoimahanke/>

Suomen Hyötytuuli Oy. (n.d.). *hyotytuuli.fi*. Haettu 20. 09 2022 osoitteesta <https://hyotytuuli.fi/tuulivoima/tuulivoimakaavoitus/>

Suomen Hyötytuuli Oy. (n.d.). *Tahkoluodon merituulipuisto*. Haettu 7. 10 2023 osoitteesta <https://hyotytuuli.fi/>

Suomen Hyötytuuli Oy. (n.d.). *Tuulivoimala ja puistot*. Haettu 7. 4 2022 osoitteesta <https://hyotytuuli.fi/tuulivoima/tuulivoimala-ja-puisto/>

Suomen Tuulivoimayhdistys. (1. 12 2021). *Selvitys: Hiilineutraaliuden saavuttaminen edellyttää kestäviä investointeja ja rakenteellisia muutoksia*. Noudettu osoitteesta <https://tuulivoimayhdistys.fi/>

Suomen Tuulivoimayhdistys Ry. (10. 12 2018). *Nollavuoden jälkeen vilkastuu – tuulivoimalan 2030-tavoitteesta täyttymässä jo 25 %*. Haettu 16. 06 2022 osoitteesta <https://tuulivoimayhdistys.fi>

Suomen Tuulivoimayhdistys Ry. (n.d.). *Tuulivoima Suomessa*. Haettu 6. 4 2022 osoitteesta <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoima-suomessa-ja-maailmalla/tuulivoima-suomessa>

Suomen tuulivoimayhdistys Ry. (n.d.). *Tuulivoimaloiden kaavoitus*. Haettu 7. 10 2023 osoitteesta <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tuulivoimastakunnille/tuulivoimahanke/tuulivoimaloiden-kaavoitus>

Suomen tuulivoimayhdistys Ry. (n.d.). *Tuulivoimatekniikka*. Noudettu osoitteesta <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka/tuulivoimatekniikka-2>

Työ-ja elinkeinoministeriö. (n.d.). *Uusiutuva energia*. Haettu 16. 06 2022 osoitteesta <https://tem.fi/uusiutuva-energia>

Ympäristöministeriö. (n.d.). *Hiilineutraali Suomi 2035*. Haettu 6. 4 2022 osoitteesta <https://ym.fi/hiilineutraalisuomi2035>

LIITE 1: TUULIVOIMALAN PERUSTUKSEN TYÖVAIHEIDEN TAR-
KISTUSLISTA

Työvaihe	Laatija	Laatuvaatimus	Mittaus	Dokumentointi	Hyväksytyksen Toimenpiteet
Tasausvalu					
Varauspöydien asennus ja tappalemsäriä tapetointisuunnitelman mukainen		Cable duct Layout, suunnitelma-asakirjat	siinänsääsin	ei erillistä dokumentointia	
Suodatinrangan		Oikea suodatinrangan oikien asennus	siinänsääsin	ei erillistä dokumentointia	
Kantavuu		Pohjan kantavuu	levykoruttuolue (E2/E1c2,3)/ infra	mittauspöytä	
Pöytä		Murakpinta tiivis ja tasotettu	siinänsääsin	ei erillistä dokumentointia	
Maadoitus		Maadoitus toteutettu suunnitelma-asakirjojen mukaan	siinänsääsin	maadoitusasennuspöytä	
Tasausvalun suoritus					
Betoniointi					
Betoniointisuunnitelma		Betoniointisuunnitelma toimitettu tilaajalle, tarkastettu ja hyväksytty		betoniointisuunnitelma	
Lämmönsiirtopöytä		Lämmönsiirtopöydien seuranta	lämpötila-anturi	lämmönsiirtopöytä	
Betonioidotus		Betonioidotus toimitettu tilaajalle, tarkastettu ja hyväksytty			
Betonioidotuspöytä		Betonioidotuspöytä toimitettu		betonioidotuspöytä	
Ankurihäkki		Ankurihäkki toimitettu ja kasattu	siinänsääsin		
Raudotus ja maadoitus		Raudotus ja maadoitus suunnitelman mukainen	siinänsääsin	maadoitusasennus, siinänsääsin	
Tarkastus		kaikki edellämäärätyt työvaiheet ok, ja raporttien dokumentointi tehty			
Valun suoritus					
Ympäristäytys					
Betonioidotus		Perustus valettu ja täytetty	siinänsääsin, suuvarjain		
Betonioidotus		Perustus jälkiohjeet	lämpötila-anturi		
Betonioidotus		Betonioidotus haikutuun	siinänsääsin		
Kuivapöytä		Mahdolliset kuivapöydät asennat	siinänsääsin		
Maadoitus		Maadoitus suunnitelman mukainen	siinänsääsin	maadoitusasennus	
Ympäristäytys suoritus					
Ankurihäkki					
Ankurihäkki		Voimalaittoimittajan dokumenttien täyttö ja mittauspöytäkirjojen toimitus			
Betoniointi					
Koekappaleet		Koekappaleiden puristuslujuuden tarkistus	puristuslujuus	pöytä	
Ankurihäkin juotosvalu		Juotosvalu tehty voimalaittoimittajan ohjeiden mukaisesti			
Juotosvalu		Juotosvalu tehty voimalaittoimittajan ohjeiden mukaisesti			
Juotosvalu		Juotosvalu puristuslujuuden tarkistus	puristuslujuus	pöytä	
Juotosvalu		Juotosvalu puristuslujuuden tarkistus	puristuslujuus	pöytä	
Kallioankurointi					
Porauspöytä		Porauspöytä vastatönnä ja hyväksytty		porauspöytä	
Juotosvalu		Juotosvalu puristuslujuuskoekappaleiden otto			
Juotosvalu		Juotosvalu puristuslujuuden tarkistus	puristuslujuus	pöytä	
Ankuroiden jännitys		Ankuroiden jännitys	puristuslujuus	jännityspöytä	