

Tuulivoimalan lapojen kierrätettävyyden esiselvitys



Tuulivoimalan lapojen kierrätettävyyden esiselvitys

Jani Peltoniemi • Heli Pesonen

Tuulivoimalan lapojen kierrätettävyyden esiselvitys

LTKT2.0 – Lapin teollinen kiertotalous 2.0 –
Lapin teollisen kiertotalouden vahvistaminen -hanke

B. Tutkimusraportit ja kokoomateokset 18/2021

© Lapin ammattikorkeakoulu ja tekijät

ISBN 978-952-316-413-0 (pdf)
ISSN 2489-2637 (verkkajulkaisu)

Lapin ammattikorkeakoulun julkaisuja
B. Tutkimusraportit ja kokoomateokset 18/2021

Rahoittajat: Lapin liitto, Euroopan
aluekehitysrahasto, Vipuvoimaa EU:lta

Kirjoittajat: Jani Peltoniemi, asiantuntija,
Uudistuva teollisuus, Lapin ammattikorkeakoulu
& Heli Pesonen, asiantuntija, Uudistuva
teollisuus, Lapin ammattikorkeakoulu

Kansikuva: PIXNIO | lukasbieri
Taitto: Videcam Oy, Arto Huhta

Lapin ammattikorkeakoulu
Jokiväylä 11 C
96300 Rovaniemi

Puh. 020 798 6000
www.lapinamk.fi/julkaisut

Lapin ammattikorkeakoulu ja Lapin yliopisto
muodostavat yhdessä Lapin korkeakoulukonsernin.



Tämä teos on lisensoitu Creative Commons
Nimeä 4.0 Kansainvälinen -käyttöluvalla.

Sisällys

1. JOHDANTO	7
2. TUULIVOIMA SUOMESSA	9
2.1 Nykytila ja tulevaisuus	9
2.2 Tuulivoimaloiden maantieteellinen sijoittuminen	10
2.3 Suurimmat tuulivoimalavalmistajat ja -omistajat	12
3. TUULIVOIMALAN RAKENNE	13
3.1 Tuulivoimalatyypit	13
3.2 Perustukset	15
3.3 Runko ja konehuone	15
3.4 Lavat	17
4. TUULIVOIMALAN HIILIJALANJÄLKI JA RAKENTEIDEN KIERRÄTETTÄVYYS	19
4.1 Tuulivoimalan hiilijalanjälki	19
4.2 Tuulivoimalan purkaminen	19
4.3 Lapojen kierrättäminen	20
4.3.1 Klinkkerin valmistus	20
4.3.2 Lämpökäsittelymenetelmät	21
4.3.3 Kemialliset käsittelymenetelmät	21
4.4 Käsitellyn komposiitin uudelleenkäyttökohteita	21
5. KYSELY TUULIVOIMATOIMIJOILLE	23
6. YHTEENVETO	25
LÄHTEET	27
LIITTEET	31

1. Johdanto

”Tuulivoima on nyt tulikuuma.” kirjoitti Lähteenmäki (2021) Talouselämä-lehden verkkosivuilla 3.7.2021. Uusia tuulivoimalahankkeita on meneillään useita ja vuonna 2023 Suomessa pyörii jo noin 1300 tuulivoimalaa. Energiategiikan arvion mukaan vuonna 2035 neljäsosa Suomen energiantuotannosta saadaan tuulivoimasta. (Lähteenmäki 2021.) Tuulivoima on lähes päästötön, uusiutuva energiantuotantomuoto, jota tarvitaan hiilidioksidipäästötavoitteiden vähentämisen saavuttamiseksi. (Motiva 2021a.)

Laatikainen ja Nurmi (2021) kirjoittavat Tekniikka ja Talous -lehdessä kesällä 2021 Suomen tarpeesta saada oma kierrätysjärjestelmä tuulivoimaloiden lapajätteelle. Toistaiseksi suurin osa Suomessa kertyvästä lapajätteestä viedään ulkomaille käsiteltäväksi. Tähän mennessä Suomessa on purettu vain aivan vanhimpia tuulivoimaloitamme. Tuulivoimaloiden purkaminen tulee lisääntymään erityisesti 2030 luvulla, jolloin useita tuulivoimaloita tulee käyttöikänsä päähän. Vuonna 2021 lapajätettä syntyy Suomessa 675 tonnia. (Laatikainen & Nurmi 2021.)

Selvityksen tarkoituksena on kartoittaa tuulivoimalan lapojen kierrättämisen haasteita, keinoja ja mahdollisuuksia. Kierrättämiseen on olemassa erilaisia vaihtoehtoja laboratorioasteelta käytännön toteutukseen. Lavat ovat kooltaan suuria ja niiden liikuttelu on haasteellista. Olisiko Meri-Lapin alue sopiva paikka lapajätteen kierrättämiselle? Mitä lapojen käsittely vaatii ympäristöltä ja kierrätysmenetelmiltä? Selvitystä varten tehtiin kysely tuulivoimatoimijoille tuulivoimalan lapojen kierrätettävyyden haasteista. Kyselyn tulokset koottiin yhtenäiseksi pohdinnaksi.

Lapin teollinen kiertotalous 2.0 - Lapin teollisen kiertotalouden vahvistaminen (LTKT2.0) -hankkeen tausta on Lapin alueella 2010-luvulta lähtien tehdyssä systemaattisessa teollisen kiertotalouden edistämistyössä. Tuloksena tästä työstä teollinen kiertotalous on noussut yhdeksi Lapin kärkiosaamisalueeksi sekä tärkeäksi osaksi Lapin älykkään erikoistumisen strategiaa. LTKT2.0 -hankkeen tavoitteena on vahvistaa lappilaisten yritysten kilpailukykyä ja kiertotaloustoimintaa sekä määrällisesti että laadullisesti. Hankkeen puitteissa pyritään tukemaan yrityksissä esiin nousevia innovaatiomahdollisuuksia kohti pilotointia ja uutta tai uudistettua liiketoimintaa. LTKT2.0 -hankkeen on rahoittanut Lapin liitto Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) Vipuvoimaa EU:lta rahoituksella. Hanke alkoi 1.6.2020 ja päättyy 31.3.2023. Hankkeen päätoteuttajana on Kemin Digipolis Oy ja

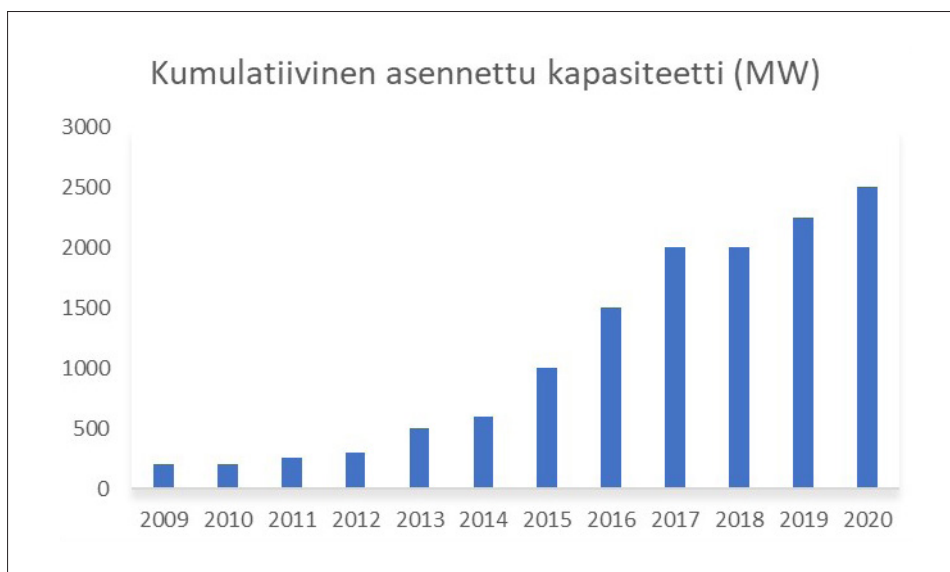
osatoteuttajina mukana ovat Lapin ammattikorkeakoulu Oy sekä Kemi-Tornionlaakson koulutuskuntayhtymä Lappia. Hankkeen kokonaisbudjetti on 1 864 282 €, josta EAKR-rahoituksen osuus on 1 491 423 €. (Lapin ammattikorkeakoulu 2020.)

2. Tuulivoima Suomessa

Suomen ensimmäinen sähköverkkoon kytketty tuulivoimala oli vuonna 1986 rakennettu Kopparnäsin 300 kW koelaitos. Suomen teollinen tuulivoima lähti kehittymään 1990-luvulla ja vuonna 1991 rakennettiin Kornäsiin Suomen ensimmäinen, neljän 200 kW:n voimalan, tuulivoimapuisto. Kemin ensimmäiset tuulivoimalat rakennettiin 1990-luvun alkupuolella. Alkuvaiheessa tuulivoiman kehittyminen ja tuulivoimaloiden määrän nouseminen tapahtui aaltoillen. Ensimmäinen suuri harppaus tuulivoimatuotannossa tapahtui 1990-luvun loppupuolella Kauppa- ja teollisuusministeriön tuulivoimahankkeille myöntämän 40 %:n energiainvestointituen myötä. 2000-luvun alussa tuulivoiman rakentaminen jälleen väheni, lähtien nopeaan kasvuun vuosikymmenen vaihteessa syöttötariffilainsäädännön myötä. Ensimmäinen markkinaehtoinen ilman valtion tukea rakennettu tuulivoimalahanke julkaistiin vuonna 2018. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2021a.)

2.1 NYKYTILA JA TULEVAISUUS

Suomessa oli vuoden 2020 lopussa yhteensä 821 toiminnassa olevaa tuulivoimalaa, joiden yhteenlaskettu tuulivoimakapasiteetti oli 2 586 MW. Sähköntuotantomäärä oli vuoden 2020 aikana 7,8 TWh, mikä vastasi 12 % Suomen sähköntuotannosta. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2021b.) Kuvassa 1 on esitetty tuulivoiman kumulatiivinen tuotantokapasiteetti.



Kuva 1 Asennetun tuulivoiman kumulatiivinen kapasiteetti MW vuosien 2009-2020 välillä (mukaillen Suomen Tuulivoimayhdistys 2020)

Suomen Tuulivoimayhdistys ry:n Tuulivoimahankkeet Suomessa 1/2021 raportin mukaan Suomessa oli vuoden 2021 alkupuolella suunnitteilla noin 250 tuulivoimaprojektia (mukaan lukien hankkeet esisuunnitteluvaiheesta rakenteilla oleviin), joista maatuulivoimalahankkeita oli 240 kpl. Näissä maatuulivoimaloita on yhteensä 4 089 kpl ja kapasiteetti 18 561 MW. Merituulivoimalahankkeita on raportin mukaan 9 kpl, joissa tuulivoimaloita on yhteensä 318 kpl ja kapasiteettia 2 847 MW. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2021c.)

Tuulivoiman osuus energiantuotannossa on viime vuosina kasvanut voimakkaasti myös muissa Pohjoismaissa. Pohjoismaiden vakaa poliittinen tilanne ja tuulivarmat olosuhteet luovat varmuutta tuulivoimasijoittajille. Tuulivoimainvestoinnit ovat tänä päivänä kilpailukykyisiä, minkä lisäksi vähäpäästöisenä energiantuotantomuotona tuulivoimalle ennustetaan jatkossakin tuotannon kasvua. Lisää tuotantoa tarvitaan, koska sähköä kulutetaan Suomessa enemmän kuin tuotetaan. Tämän eron odotetaan pienenevän tulevaisuudessa tuulivoimatuotannon kasvamisen sekä Olkiluoto 3 valmistumisen myötä. (Gasum 2020.)

2.2 TUULIVOIMALOIDEN MAANTIETEELLINEN SIOJITTUMINEN

Tuotantoon soveltuvat erityisesti rannikko-, meri- ja tunturialueet. Tuulivoimaloiden sijoittuminen pyritään optimoimaan mahdollisimman hyvin. (Motiva 2021a.) Tuuliolosuhteiden lisäksi on huomioitava teknistoloudellinen näkökulma sekä alueen muu käyttö ja ympäristöarvo. Alueella olemassa oleva infrastruktuuri (tiestö sekä sähkön jakelu- ja siirtoverkko) ehkäisevät rakennuskustannusten karkaamista liian

suuriksi hankkeen kannattavuuteen nähden. Kantaverkon siirtokapasiteettia tarvitaan runsaasti, koska yli 60 % tuulivoimatuotannosta keskittyy Pohjanmaalle ja Pohjois-Suomeen, kulutuksen ollessa suurinta Etelä-Suomessa. (Motiva 2021 b.)

Tuulivoimaloiden tuotantoteho on kasvanut voimaloiden koon ja teknologian kehittymisen myötä. Tuulivoimalan tuotanto on ollut korkeimmillaan Suomessa noin 50 % asennetusta kapasiteetista kuukautta kohden. Tuulivoimatuotanto painottuu Suomessa vahvasti talvikauteen. (Gasum 2020.)

Tuulivoimaloiden kumulatiivinen tuotantokapasiteetti jakautuu.

- Pohjois-Pohjanmaa 35 %
- Pohjanmaa 17%
- Lappi 15 %
- Satakunta 10 %
- Etelä-Pohjanmaa 9 %
- Keskipohjanmaa 4 %
- Kainuu 3 %
- Varsinais-Suomi 2 %
- Kymenlaakso 1%
- Muut yhteensä 4 %

Kumulatiivinen tuotantokapasiteetti kunnittain (top 10)

- Kalajoki
- Raahе
- Närpiö
- Pyhäjoki
- Ii
- Simo
- Pori
- Kristiinankaupunki
- Suomussalmi
- Tornio

(Suomen Tuulivoimayhdistys 2020.)

2.3 SUURIMMAT TUULIVOIMALAVALMISTAJAT JA -OMISTAJAT

Tuulivoimayhdistyksen julkaiseman tilaston mukaan vuonna 2020 noin 60 % Suomen tuulivoimaloista on suomalaisomistuksessa. Taulukossa 1 on esitetty eri tuulivoimalavalmistajien kumulatiivisen kapasiteetin osuudet. Vestas on toimittanut puolet Suomen tuulivoimaloista, mutta 63 %:sta viime vuonna asennetusta kapasiteetista vastasi Nordex Acciona. Suomessa voimaloiden omistajuus on jakaantunut laajasti. Taulukkoon 2 on koottu kahdeksan suurinta tuulivoimalaomistajaa. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2020.)

Taulukko 1. Tuulivoimalavalmistajien osuudet (%) kumulatiivisesta kapasiteetista vuonna 2020 (mukaiillen Suomen Tuulivoimayhdistys 2020)

Tuulivoimalavalmistaja	Osuus kumulatiivisesta kapasiteetista 2020 (%)
Vestas	50
Nordex Acciona	30
Siemens Gamesa	12
Enercon	4
Alstom (GE)	2
Muut yhteensä	2

Taulukko 2. Suomen tuulivoimaloiden suurimmat omistajat ja tuotannon osuus (MW) kumulatiivisesta kapasiteetista (mukaiillen Suomen Tuulivoimayhdistys 2020)

Omistaja	Osuus kumulatiivisesta kapasiteetista 2020 (MW)
Exilion Tuuli Ky	14
EPV Tuulivoima Oy	9
Taaleri Pääomarahastot Oy	8
Suomen Hyötytuuli Oy	7
wdp Finland Oy	6
IKEA	6
Gigawatti Oy	5
Allianz Capital Partners	4

3. Tuulivoimalan rakenne

Tuulivoimala muuttaa tuulen liike-energian mekaaniseksi pyörimisenergiaksi. Yksinkertaistettuna tuuli saa voimalan lavat pyörimään ja lavat pyörittävät voimalan akselia, joka pyörittää sähköä tuottavaa generaattoria. (Tuulivoimayhdistys 2021d.) Voimala tarvitsee toimiakseen 3,5 - 25 m/s tuulennopeuden, yli 25 m/s tuulen nopeudella tuulivoimala pysäytetään turvallisuussyistä. Täydellä teholla tuulivoimala toimii tuulen nopeuden ollessa 12 - 14 m/s. Tuulivoimalat kääntyvät automaattisesti tuulen suuntaan ja voimalat asennetaan yleensä ryhmiin riittävän etäälle toisistaan, jolloin voidaan minimoida vierekkäisten tuulivoimaloiden lapojen pyörimisen aiheuttama mahdollinen tehohäviö. Tuulivoimapuiston sijainnin tuuliolosuhteet vaikuttavat voimaloiden tarvitsemaan etäisyyteen toisistaan. (Vattenfall 2021.)

3.1 TUULIVOIMALATYYPIT

Tuulivoimalat voivat olla 1-, 2-, 3- tai monilapaisia. Kolmilapainen on yleisimmin käytössä oleva voimalatyyppi. Se on sekä pyörähdyssymmetrisesti että massahitaisuvoimiltaan tasapainossa akseleidensa suhteen. Yksi- ja kaksilapaisissa ongelmana on koneistoa rasittava värinä. Yli kolmilapaiset voimalat eivät tuota kustannuksiin suhteutettuna merkittävästi enempää energiaa kuin kolmilapaiset. Tuulivoimaloiden rakenteissa ja toiminnassa on valmistajakohtaisia eroja. Suomessa teollisessa tuulivoimatuotannon käytettyjen voimaloiden tornin korkeus on yleensä 140 - 175 m, roottorin halkaisija 130 - 160 m, nimellistehon ollessa 4 - 5 MW. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2021e.)

Tuulivoimalat voivat olla vaaka- tai pystyakselisia. Nimitys tulee siitä, miten tuulivoimalan turbiinin akseli on sijoitettu. Yleisimmin teollisessa tuotantokäytössä olevat tuulivoimalat ovat vaaka-akselisia (Kuva 2) ja kolmelapaisia taloudellisuutensa ja tehokkuutensa vuoksi. Tuulivoimalan tuotto on suoraan verrannollinen sen lapojen pyyhkäisyypinta-alaan. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2021d.) Pystyakselisen (Kuva 3) tuulivoimalan etuna on sen toimivuus vaaka-akselista tuulivoimalaa paremmin pyörteilevässä tuulessa (Suomen Tuulivoimayhdistys 2021f). Pystyakselista tuulivoimalaa ei tarvitse kääntää tuulen suunnan vaihtuessa (Suomen Tuulivoimayhdistys 2021e).



Kuva 2 Vaaka-akselinen tuulivoimala (Pixnio 2021)

Vaaka-akselituulivoimalan päätyypit ovat etutuuli- ja takatuulivoimalat. Nykyään käytetään yleensä etutuulivoimaloita, joissa roottori on tornin suhteen tuulen etupuolella. Takatuulivoimalat olivat ennen melko yleisiä. Niissä roottori sijaitsee torniin nähden tuulen alapuolella. Takatuulivoimaloiden etuna on, että suuntauskoneisto voidaan jättää pois, sillä lavat kääntävät voimalan tuuliviirin tavoin oikeaan suuntaan. Ongelmana kuitenkin on tornin taakse syntyvät pyörteet sekä melu ja värinä. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2021e.)

Tekniikka & Talous lehti uutisoi lokakuussa 2021 Pohjanmerelle rakennettavasta maailman suurimmasta kelluvasta tuulivoimapuistosta. Hywind Tampen -tuulivoimapuisto on tavoitteena ottaa käyttöön syksyllä 2022 ja se tulee koostumaan 11:stä kahdeksan MW:n voimalasta. Tuulivoimapuisto tulee tuottamaan sähköä



Kuva 3 Pystyakselinen tuulivoimala (Ashley Dace 2012)

kahdelle Equinor-yhtiön öljy- ja kaasukentälle. Equinor yhteistyökumppaneineen on perustanut myös vuonna 2017 käyttöön otetun maailman ensimmäisen kelluvan tuulivoimapuiston. (Virtanen 2021.)

3.2 PERUSTUKSET

Tuulivoimala vaatii kestävän perustuksen. Tyypillisin Suomessa käytettävä perustusten tekotapa on valaa voimalalle raudoitettu laattaperustus. Laattaperustusta varten kaivetaan 2 - 3 m syvä, halkaisijaltaan 20 - 30 m oleva alue. Betonia tämänkokoiseen perustukseen kuluu noin 400 - 800 m³. Pehmeälle maaperälle rakennettaessa tuulivoimalalle voidaan joutua tekemään paalutus. (Paalatie 2019a.) Kallioisilla alueilla on usein hyvät tuuliolosuhteet, mutta kallio aiheuttaa kuitenkin haasteita tuulivoimalan perustusten tekemiselle (Peikko 2021). Suomalainen tuulivoimaloiden perustuksia tekevä Peikko on kaupallistanut teknologian, jolla voidaan tehdä kallioankkuroitu perustus. Kallioon louhitaan perustus pohja ja porataan kallioon reiät (40 - 60 kpl) 12 m pitkille kallio pulteille. Betonia tarvitaan vain noin 20 m³. (Paalatie 2019a.)

Merituulivoimalan perustuksen tekeminen on haasteellista ja se muodostaa merkittävän rakentamiseen liittyvän riskin. Perustuksen suunnittelussa on otettava huomioon muun muassa merenpohjan ominaisuudet, meriveden liike sekä nopeasti muuttuvat sääolosuhteet. Suomessa haasteita aiheuttavat lisäksi ahtojäät erityisesti Perämeren alueella. (Tuulivoimarakentamisen edistäminen 2021, 120.) Tuulivoimala voidaan rakentaa myös keinosaareskeelle (Jääskeläinen, Rantala & Sundelin 2012, 9). Merituulivoiman potentiaalia pidetään Suomessa huomattavana ja sen arvioidaan olevan tulevaisuudessa merkittävä tekijä päästöjen vähentämisessä. Merituulivoiman investointikustannukset ovat kuitenkin toistaiseksi paljon maatuulivoimaa suuremmat. Merituulivoimatuotanto ei ole Suomessa vielä markkinaehtoisesti kannattavaa, mutta sen on ennustettu lähtevän kasvuun 2030-luvulla. (Tuulivoimarakentamisen edistäminen 2021, 16.)

3.3 RUNKO JA KONEHUONE

Tuulivoimalan rungon, niin sanotun tornin, napakorkeus on nykypäivänä noin 140 - 175 m. Tuulivoimalan korkeuden kasvaessa saadaan suurempi sähköntuotanto voimalasta. Torni voi olla putkirakenteinen teräs- tai hybriditorni. Useimmiten Suomessa käytetään terästoreja. Hybriditornin alaosa on tehty betonista. Erittäin suurissa torneissa alin tornilohko voi olla niin suuri, että sen kuljettaminen aiheuttaa suuria haasteita. Tällöin voidaan valita rakenteeksi hybridi- tai teräslevytorni. Teräslevytorni kootaan tuulivoimalan rakennuspaikalla, mikä helpottaa osien kuljettamista. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2021d.) Runko ei ole yhtenäinen kappale vaan se koostuu useammasta renkaasta. Kuvassa 4 on tornilohkon osa. Kuvassa 5 näkyvät rungon sisällä olevat huoltoportaat/hissi ja sähkökaapelit.



Kuva 4 Tuulivoimalan tornilohkon osa (Wikimedia Commons 2018)



Kuva 5 Tuulivoimalan runko sisältä (Wikimedia Commons 2008)

Tuulivoimalan konehuone on yleensä valmistettu teräksestä ja siinä on komposiitista tehty suojakuori. Konehuoneen sisälle on sijoitettu vaihteisto, generaattori, muuntaja sekä säätö- ja ohjausjärjestelmät. Mikäli konehuoneen kokonaispainoa on tarvetta pienentää, voidaan muuntaja sekä ohjauskeskukset sijoittaa myös tuulivoimalan alaosaan. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2021d.) Tuulivoimalat voidaan jakaa eri tyyppeihin myös sen mukaan, onko käytössä vaihdelaatikko vai suoravetotekniikka. Vaihdelaatikon tarkoituksena on muuntaa roottorin kierrosluku generaattorille sopivaksi. Suoravetotekniikassa ei ole vaihdelaatikkoa vaan suoravetoinen generaattori. Tyyppien suorituskyky on verrattain sama. Vaihdelaatikkotekniikan etuna suoravetoiseen verrattuna on edullisempi hinta ja kevyempi paino. Toisaalta suoravetoisessa on vähemmän liikkuvia osia. (Triventus Wind Power AB 2013, 22.)

3.4 LAVAT

Tuulivoimalan lavat (Kuva 6) valmistetaan komposiittimateriaaleista. Lavat ovat yhdistelmä lasikuitua, hiilikuitua, balsapuuta, metallia sekä kertamuoveja, epoksia ja polyesteriä, jotta ne kestävät niihin kohdistuvaa kuormitusta. (Paalatie 2020.) Suomessa pisimmät käytössä olevat lavat ovat noin 75 m pitkiä ja painoa niillä on yli 10 000 kg. Lapojen asentoa säätämällä ne toimivat myös tuulivoimalan tehonsäätö- ja pysäytysmekanismina. (Suomen Tuulivoimayhdistys 2021d.) Lapojen muotoilu on tarkkaan harkittu ja optimoitu. Lavat ovat taipuisia ja rakenteeltaan kerroksittaisia, jotta ne kestävät niihin kohdistuvan tuulen voiman. Tuulivoimalan siivessä voi olla lisäksi lämmityselementti estämässä lapojen jäätymistä arktisissa olosuhteissa. (Paalatie 2019b.)



Kuva 6 Tuulivoimalan lapa (Wikimedia Commons 2011)

4. Tuulivoimalan hiilijalanjälki ja rakenteiden kierrätettävyys

4.1 TUULIVOIMALAN HIILIJALANJÄLKI

Tanskan teknisen yliopiston laskelmien mukaan tuulivoimalan koko elinkaaren aikaiset päästöt ovat 7 gCO₂/kWh (Laatikainen & Nurmi 2021). Tuulivoimalan elinkaaren vaiheet voidaan jaotella neljään eri vaiheeseen: komponenttien ja raaka-aineiden tuotanto, logistiikka ja operaatiot toimintapaikalla, toiminta- ja huoltovaihe ja kierrätys -sekä hävitysvaihe. Tuulivoimalan päästöt syntyvät suurelta osin sen elinkaaren alku- ja loppupäässä. Komponenttien ja raaka-aineiden tuotannon aikana hiilijalanjälkeen vaikuttavia tekijöitä ovat raaka-aineiden hankkimiseen ja käsittelyyn kuluva energia. Voimalan osien kuljetus tuulivoimapuiston alueelle sekä logistiikan tarvitseman infrastruktuurin rakentaminen tuottaa osan päästöistä. Toiminta- ja huoltovaiheen aikana päästöjä muodostuu pääasiassa huoltotoimenpiteistä. Elinkaaren päätepuolella päästöjä muodostuu materiaalien kierrättämisestä ja hävittämisestä. Metallien osalta kierrätysaste on yli 90 %, kun taas perustuksien kierrätysaste on hyvin alhainen tai jopa 0 %. (Sievi-Korte 2018.)

4.2 TUULIVOIMALAN PURKAMINEN

Tuulivoimalan käyttöikä arvioidaan olevan noin 25 - 30 vuotta. Voimala puretaan omistajan toimesta viimeistään maximikäyttöikänsä saavuttamisen myötä. Maanvuokrausopimusta tehtäessä maanvuokraaja ja tuulivoimalan omistaja voivat sopia purkamisrahaston perustamisesta tai vakuuden asettamisesta, jolla varmistetaan purkukustannusten kattaminen esimerkiksi tuulivoimalan omistajan konkurssin varalta. (Motiva 2021c.)

Tuulivoimalaa purettaessa on otettava huomioon maankäyttö- ja rakennuslakisäännökset. Alue on jätettävä sellaiseen kuntoon, ettei se vaaranna turvallisuutta tai rumenna ympäristöä. Perustukset voidaan jättää maahan ja maisemoida alue tai ne voidaan purkaa pois. Tuulivoimala-alue on houkutteleva alue uusille tuulivoimalahankkeille. Alueella on valmiina sekä tiestön että sähköverkon infrastruktuurit. Mahdollisen uuden voimalahankkeen toteutus on kuitenkin

aloitettava aina luvitusta myöten alusta. (Motiva 2021c.) Perustuksia ei voida hyödyntää uuden voimalan rakentamisessa, koska jokaiselle tuulivoimalalle tulee laskea voimalan omien mittojen mukaiset perustukset. Lisäksi perustuksen lujuuslaskelmat on tehty tietyn elinkaaren ajalle. (Paalatie 2019a.) Voimalassa olevien metallikomponenttien (teräs, kupari, alumiini, lyijy) kierrätysaste on lähes 100% (Motiva 2019c).

4.3 LAPOJEN KIERRÄTTÄMINEN

Lapojen kierrättämisen haasteena on niiden materiaali ja valtava koko. Lavat on tehty kestäväksi vaatuvia olosuhteita, joten jo niiden murskaaminen tuottaa haasteita. Vuonna 2021 lapajätettä kertyy Suomessa noin 675 tonnia. (Laatikainen & Nurmi 2021.) Lapojen komposiittimateriaali on lasikuitumuovijätettä. Lavat eivät ole vaarallista jätettä. Koska lavat ovat kooltaan ja massaltaan valtavia, täytyy niitä yleensä pilkkoa pienemmiksi ennen kuljetusta jatkokäsittelyyn. Lapajätteen jatkokäsittelyn näkökulmasta jätettä kertyy pistemäisesti. (Paalatie 2020.) Lapojen kierrätettävyyttä tulisi ottaa entistä enemmän huomioon jo tuulivoimaloiden suunnitteluvaiheessa (Stena Recycling 2021).

Lapajätettä voidaan polttaa muun jätteen seassa jätteenpolttolaitoksessa. Haasteeksi muodostuu niiden melko heikko lämpöarvo suhteessa muodostuvan tuhkan määrään. Lapajätteen sijoittaminen kaatopaikalle ei ole järkevää eikä tiukentuvan lainsäädännön myötä jatkossa mahdollistakaan. Komposiittimuovimateriaaleja voidaan käsitellä siten, että niiden sisältämä lasi- ja hiilikuitu saadaan talteen uudelleen käyttöä varten. Tulevaisuudessa tällaisia tapoja voisivat olla mm. hidas ja nopea pyrolyysi, solvolyyysi, nesteytys ja kaasutus. Menetelmistä pyrolyysi on jo käytössä teollisessa mittakaavassa esimerkiksi lentokoneteollisuudessa syntyvän hiilikuitukomposiitin käsittelyssä. (Paalatie 2020.) Lorna Bennett (2021) on käsitellyt raportissa ”Sustainable Decommissioning: Wind Turbine Blade Recycling” tuulivoimalan lapojen kierrätysmenetelmiä tarkastellen erityisesti lapojen kierrättämistä uusilla ja toistaiseksi haasteellisillakin tavoilla. (Bennett 2021.)

4.3.1 Klinkkerin valmistus

Lapajätettä sekä muita komposiittimuoveja voidaan käyttää klinkkerin eli sementin välituotteen valmistuksessa. Kyseessä on rinnakkaisprosessointi, jossa 1 450 °C asteen kuumuudessa muovikomposiittijätteen muovit toimivat fossiilisten polttoaineiden korvaajina ja lujitteet käytetään raaka-aineena klinkkerin valmistuksessa. Komposiittimuovien hyödyntäminen pienentää sementin valmistuksen CO₂-päästöjä. Keski-Euroopassa suurin osa lapajätteestä päätyy klinkkerin valmistukseen. (Paalatie 2020.)

Suomessa ei ole muovikomposiitille vielä yhtenäistä kierrätysmallia. Muoviteollisuus ry:n komposiittijaoston KiMuRa (Kierrätetty, Murskattu Raaka-aine) -hanke vie eteenpäin muovikomposiittien kierrättämistä Suomessa. Projektin toteutusajankaus on 12/2020 - 09/2022. (Muoviteollisuus ry 2021). KiMuRa-hankkeessa luodaan ja

pilotoidaan muovikomposiittimateriaalien kierrätysketjua (mukaan luettuna tuulivoimaloiden lavat). Toistaiseksi lapajätettä kertyy Suomessa satunnaisesti, koska Suomen tuulivoimalat ovat vielä suhteellisen uusia. Lapajätevirta tulee kasvamaan 2030 -luvulla, minkä vuoksi lapajätteen kierrätysjärjestelmän kehitystyö on käynnistetty. Kuusakoski Oy on mukana KiMuRa-hankkeessa kiertotaloustoimijana. Kuusakoski Oy suunnittelee ja toteuttaa muovikomposiittijätteen murskauksen ja seulonnan. Käsittelymenetelmässä huomioidaan erityisesti murskauksessa ja seulonnassa syntyvän terveydelle haitallisen hienojakoisen lasikuitupölyn hallinta. Kuusakoski Oy kerää muovikomposiittijätettä kuudelle jätepihalle eri puolilla Suomea. Murskaus ja seulonta suoritetaan kuitenkin keskitetysti yhdellä paikkakunnalla. Yksi keräyspisteistä on suunnitteilla Kalajoelle. Murskattu muovikomposiittijäte toimitetaan sementin raaka-aineeksi Finnsementti Oy:lle. (Paalatie 2021.)

4.3.2 Lämpökäsittelymenetelmät

Pyrolyysi mahdollistaa jopa 90 % mekaanisten ominaisuuksien säilyvyydestä tietyillä materiaaleilla. Pyrolyysi soveltuu erityisesti hiilikuituisten osien ja valmistusjätteen käsittelyyn, kun taas lasikuitu ei kestä yhtä hyvin lämpökäsittelyä. Komposiittien hartsi ja hiilikuitu irrotetaan toisistaan 350 - 700 °C lämpötilassa hapettomissa olosuhteissa. Prosessointilämpötila on riippuvainen prosessiin syötetystä materiaalista ja materiaali on mekaanisesti hajotettava pienemmäksi ennen käsittelyä. Uusia käsittelymenetelmiä kehitetään, muun muassa leijupetipyrolyysillä on arvioitu säilytettävän jopa 70 - 80 % kuidun mekaanisista ominaisuuksista. Lisäksi tutkimuksia tehdään mikroaaltoavusteisten menetelmien sekä höyrypyrolyysin parissa. (Bennett 2021.)

4.3.3 Kemialliset käsittelymenetelmät

Solvolyysi sopii hiilikuidun ja korkealaatuisen lasikuidun käsittelyyn. Se on melko tuore energiaintensiivinen menetelmä ja on tällä hetkellä toteutettavissa pienessä mittakaavassa. Kuidut käsitellään 350 - 500 °C lämpötilassa liuottimen kanssa (esim. alkoholi-, fenoli- ja amiinipohjaiset liuottimet). Solvolyysi mahdollistaa pyrolyysista poiketen materiaalin keruun toisessa olomuodossa. Haittapuolena on prosessissa muodostuva biomateriaali ja sen erottaminen tuotteen pinnalta. Solvolyysimenetelmillä on saavutettu hyviä tuloksia korkealaatuisen lasikuidun sekä hiilikuidun ominaisuuksien säilymisessä. (Bennett 2021.)

4.4 KÄSITELLYN KOMPOSIITIN UUELLEENKÄYTTÖKOHTEITA

Uudelleen käsittelyvaiheista saatuja uusiomateriaaleja voidaan käyttää eri käyttökohteissa eri muodoissa. Riippuen käsittelytavasta komposiitista saadaan jauhettua ja pilkottua kuitua sekä kuitupellettejä ja kuitukangasta. Näitä voidaan käyttää mm. eri tuotteiden täyte- ja lisäaineina, komposiittien valmistuksessa, levy- ja massapuristuksen materiaalina sekä kuitunauhan valmistusmateriaalina ja betonin seassa vahvikkeena. (Bennett 2021.)

Jauhettu kuitu on vakiintunut menetelmä lasikuidun kierrätyksessä. Jauhettu hienojakoinen kuitu on mekaanisen jauhamisen tuotos, jota voidaan käyttää

täyte- tai lisäaineena, jos se on saatu kertamuovikomposiiteista. Kestomuovikomposiiteista tuotettu jauhettu kuitu soveltuu uudelleen puristettavaksi. Uusiomateriaalin käyttö komposiitissa nostaa sen viskositeettia, minkä vuoksi seostettavien aineiden suhdetta toisiinsa on tarkkailtava. Jauhetun kuidun lyhyt kuitupituus estää sen käytön rakenteissa, vastaavasti taas pidemmät kuidut voidaan hyödyntää vahvikkeina levynmuovaus- ja massanmuovauskomposiiteissa. Mikäli hartsin energiasisältö on korkea, on jauhetun kuidun käyttö energianlähteenä varteenotettava vaihtoehto. (Bennett 2021.)

Pilkottua kuitua muodostuu pyrolyysin tai solvolyyysin lopputuotteena. Pilkottua kuitua voidaan käyttää levy- ja massapuristuksen materiaalina, kuitunauhan valmistusmateriaalina ja betonin seassa vahvikkeena. Kierrätetyt kuidut voidaan pilkkoa pienemmiksi samaa kokoluokkaa oleviksi kuiduiksi, mikä mahdollistaa niiden hyödyntämisen vaihtoehtoisissa tuotteissa (mm. levy- ja massapuristuksessa). Liiallinen pilkkominen voi aiheuttaa kuitujen epähomogeenisuutta, mikä heikentää kuidun uusiokäytettävyyttä. (Bennett 2021.)

Pelletointia käytetään hiilikuitujen käsittelyssä, mutta lasikuitujen osalta se on vielä demonstrointivaiheessa. Menetelmä on matalakustanteinen, mutta se ei ole vielä sovellettavissa riittävän suureen mittakaavaan tuulivoimalateollisuuden kierrätystarpeita ajatellen. Pellettejä käytetään tällä hetkellä komposiittien ruisku- ja päällevalussa. Uusiomateriaalissa on ollut haasteita kuidun mitan ja rasiuksen keston kanssa. Tutkimuksissa on valmistettu uusiomateriaalista pellettejä, joiden ominaisuudet olivat verrattavissa neitseelliseen polypropyleenin ja polyamiinin kanssa seostettuun hiilikuituun. (Bennett 2021.)

Kuitukangasmatto on kaupallistettu menetelmä kierrätettyjen kuitujen käyttökohteena, mutta nykyinen mittakaava ei ole riittävä tuulivoimalateollisuuden tarpeisiin. Kuitukangasmattoa hyödynnetään muun muassa puristusmuovauksessa, hartsi-infuusio- menetelmässä, märkäpuristusmuovauksessa ja levypuristekomposiitin valmistuksessa. Kuitukangasmattomenetelmä on edullinen, mutta haasteena ovat kuitujen käsittelypölyt. Tuotettu uusiomateriaali on helposti työstettävä hartsin kanssa ja hyödynnettävissä esimerkiksi palonsuojamattona epoksin kanssa. (Bennett 2021.)

Lasikuituvahvistetuissa kertakäyttömuoveissa uusiokäyttö on tulossa kaupalliseen käyttöön kohtuuhintaan, mutta käyttökohteet ovat hyvin rajatut (esimerkiksi tuulimyllyjen lapojen osittainen käyttö rakennustekniikassa ja rakentamisessa). Tällä kierrätysmenetelmällä on kuitenkin pienin ympäristöön kohdistuva rasitus, koska lavat voidaan uusiokäyttää ilman niiden muodon muuttamista ja jauhamista esimerkiksi ääniesteenä moottoritien varrella tai muihin vastaaviin kohteisiin sopivaan kokoon käsitellen. Lisäksi lavan kiinnityskohtaa voidaan käyttää säiliönä, siiven vahvikkeita esimerkiksi ikkunankaihtimina, penkkien ja ulkopöytien materiaalina tai pyöräkatoksien kattona. Käsittelymenetelmä on energiankulutukseltaan pienin vaihtoehdoista, mutta lapojen koon kasvaessa jatkojalostuskohteiden löytäminen voi aiheuttaa haasteita (esimerkiksi 25 metriä pitkän lavan hyödyntämisikohteet verrattuna 100 metriä pitkiin lapoihin). (Bennett 2021.) Rotterdamissa on vanhoista tuulivoimalan lavoista tehty jopa lasten leikkipuisto (Belton 2020).

5. Kysely tuulivoimatoimijoille

Esiselvitystä varten kartoitettiin kokemuksia tuulivoimalan lapojen kierrätettävyydestä eri tahoilta. Kesäkuussa 2021 lähetettiin sähköpostikysely 16:lle Lapin ja Pohjois-Pohjanmaan alueen tuulivoimatoimijalle liittyen tuulivoimalan lapojen kierrätettävyyden haasteisiin. Toimijat valikoituivat kyselyyn tuulivoimayhdistyksen tilaston (Suomen Tuulivoimayhdistys 2021g) perusteella. Kysely lähetettiin kaikille tilastossa oleville toimijoille, joiden yhteystiedot olivat saatavilla. Kyselyyn vastasi seitsemän toimijaa. Vastaukset käsiteltiin anonymisti ja ne koottiin yhteenvedoiksi kysymyksittäin.

1. Arvionne tuulivoimalan lapojen keskimääräisestä käyttöiästä?

- Arviot tuulivoimalan lapojen käyttöiästä vaihtelevat 15 - 35 vuoden välillä. Lapojen arvioidaan kestävän pääsääntöisesti lähes koko voimalan käyttöiän ajan. Käyttöikään vaikuttaviksi tekijöiksi vastauksissa mainitaan voimalan sijainti, lapavalmistaja sekä sattuma. Voimalan sijainti vaikuttaa lapojen kestävyteen siten, että sääolosuhteet voimaloiden alueilla poikkeavat toisistaan. Satunnaisia lapojen vaihtamiseen johtavia vaurioita voi syntyä esimerkiksi lapaan osuvasta salamaniskusta.

2. Poikkeako lapojen käyttöikä koko tuulivoimalan käyttöiästä?

- Vastaukset jakoutuivat kolmeen ryhmään: ”ei kommentoitavaa”, ”lapojen käyttöiän oletetaan vaihtelevan” sekä ”käyttöiän oletetaan olevan yhtä pitkä kuin koko tuulivoimalan käyttöikä”. Näistä viimeiseen avattiin perusteluja seuraavasti. Pyritään siihen, että lavat kestävät voimalan käyttöiän ajan. Mikäli lavat jouduttaisiin vaihtamaan lähellä voimalan käyttöiän loppua, olisi siinä vaiheessa järkevää harkita koko voimalan vaihtamista uuteen ja tehokkaampaan, koska tekniikka kehittyy nopeasti.

3. Onko voimaloissanne vaihdettu lapoja?

- Osa vastanneista tuulivoimaoperaattoreista ei ole joutunut vaihtamaan yhtään lapa. Osa operaattoreista on joutunut vaihtamaan muutamia lapoja. Lapojen vaihtamisen syynä on useimmiten ollut ulkopuolinen syy.

4. Miten olette käsitelleet vaihdetut lavat?

- Vaihdetujen lapojen käsittely on hoidettu tuulivoimalan toimittajan tai huoltoyhtiön toimesta. Lisäksi muutama lapa on varastoitu ja näiden jatkokäsittely on vielä avoin. Vastauksessa on huomioitava, että vain muutama vastanneista tuulivoimatoimijoista on joutunut vaihtamaan lavan/lapoja, muilla ei ollut tähän kysymykseen kommentoitavaa.

5. Miten olette kierrättäneet lavat / suunnitellut niiden kierrätyksen?

- Vastauksissa nousi esille erilaisia suunnitelmia lapojen kierrättämiseksi. Lavat voidaan kierrättää siinä vaiheessa, kun koko voimala puretaan ja kaikki osat kierrätetään samalla. Tällöin purku tapahtuu todennäköisesti ulkopuolisen toimijan toimesta. Tuulivoimalan toimittaja voi huolehtia lapojen kierrätyksen. Yksittäisten lapojen kierrätys voidaan myös vastuuttaa huoltoyhtiölle. Kierrätysvastuu tuulivoimalan omistajan ja huoltoyhtiön välillä voi olla myös riippuvainen siitä, mistä syystä lapa joudutaan vaihtamaan.

6. Millaisia haasteita olette kohdannut lapojen kierrätyksessä?

- Suomen tuulivoimalat ovat suhteellisen uusia ja kierrätyksen haasteiden koetaan olevan vielä edessäpäin. Kysymys kierrätyksen haasteista herätti runsaasti pohdintaa aiheesta.
- Kierrätettävyyden haasteena on pitkät etäisyydet. Lavat ovat kooltaan suuria ja raskaita, eikä niiden kuljettaminen pitkiä matkoja ole järkevää. Olisi hyvä, jos lavat voitaisiin pilkkoa helpommin kuljetettaviin osiin voimalan luona ja jatkokäsittely esimerkiksi varsinaisen murskaus tehtäisiin ammattimaisissa olosuhteissa huomioiden pölynhallinta ja murskeen leviämisen estäminen. Toiminta etenisi ammattimaisesti, siististi ja kierrätysketju olisi läpinäkyvä. Tällöin lapajätteen loppusijoitus ja kierrätystapa olisivat tiedossa. Lavat ovat rakenteeltaan ja materiaaleiltaan haasteellisia kierrättää. Kiertotalousmallin mukaan materiaalien kierrätykseen ja uudelleen käyttöön tulisi kiinnittää huomiota jo suunnitteluvaiheessa. Voisivatko lavat olla standardoituja, jolloin niiden rakenne ja materiaalit olisivat kaikkien tiedossa tai voisiko käytetyt materiaalit olla helpommin kierrätettäviä? Ongelmana on, että tällä hetkellä ei ole tarjolla kohtuullisella etäisyydellä olevaa lapajätteen käsittelyketjua.
- Kierrätysmateriaalien määrät ovat pieniä, joten vastaanottajia on vielä löytenyt. Yleisellä tasolla mietityttää, mihin materiaalit laitetaan sitten, kun elinkaari on lopussa. Kierrätyksen kehittämiseen on kuitenkin useita projekteja menossa tällä hetkellä ja toimijat uskovat, että kierrätystarpeen konkretisoituessa siihen liittyvät haasteet on jo ratkaistu. Suomen osalta on tarpeen seurata esimerkiksi Saksassa, Tanskassa ja Ruotsissa olevia voimaloita, jotka ovat iältään vanhempia ja siten niiden kierrätyksestä voi saada hyviä esimerkkejä Suomessa toteutettavaksi.

6. Yhteenveto

Suomessa kulutetaan sähköä enemmän kuin tuotetaan. Suomi on sitoutunut kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Tuulivoiman lisääminen vastaa näihin molempiin haasteisiin. Tuulivoima on paitsi uusiutuva myös lähes päästötön energiantuotantomuoto. Kasvava kotimainen tuulisähkön tuotantomäärä korvaa suurempipäästöisiä energiantuotantomuotoja ja vähentää samalla sähköntuontiriippuvuuttamme. Talviaika on Suomessa tuulista ja erityisesti juuri silloin tarvitsemme energiaa kotien lämmittämiseen.

Tuulivoimaloiden kasvava määrä tuo mukanaan niiden kierrättämisen haasteet. Tällä hetkellä tuulivoimaloiden kierrätys muun muassa metallisosien suhteen on erittäin hyvä, mutta ongelmia tuottaa komposiittirakenteisten lapojen kierrättäminen. Tuulivoimalan lavat ovat kooltaan valtavia. Jatkokäsittelyä ja kierrättämistä varten ne on paloiteltava pienempiin osiin. Käsittelyssä on otettava huomioon pölynsitominen, jotta kuitupölyn leviäminen ympäristöön sekä käsittelyä suorittavien työntekijöiden työturvallisuus tulee huomioitua riittävän hyvin ja laaja-alaisesti. Suomen tuulivoimalat ovat suhteellisen uusia, mutta kierrätystarve tulee kasvamaan 2030-luvulla. Tuossa vaiheessa myös kierrätysjärjestelmän tulisi olla valmiina.

Selvityksen aikana tehdyn kyselyn tulosten perusteella tarve toimivalle, ketterälle ja läpinäkyvälle kierrätystoiminnalle on olemassa. Meri-Lapin alueella voisi olla potentiaalia lapojen kierrättämiselle. Kemin Ajos ja ehkä Veitsiluodon alue voisivat toimia lapojen kierrätyspisteinä. Kuljetus laivoilla Ajoksen satamaan tai jopa suoraan Veitsiluodon alueelle voisi olla logistisesti varteenotettava vaihtoehto.

Lähteet

- Ashley Dace 2012. Pystyakseli tuulivoimala kuva. Viitattu 8.11.2021. <https://www.geograph.org.uk/photo/3116833>.
- Belton, P. 2020. What happens to all the old wind turbines? BBC News 7.2.2020. Viitattu 4.11.2021. <https://www.bbc.com/news/business-51325101>.
- Bennet, L. 2021. Sustainable decommissioning wind turbine blade recycling, Viitattu 16.7.2021. https://ore.catapult.org.uk/wp-content/uploads/2021/03/CORE_Full_Blade_Report_web.pdf
- Gasum 2020. Selvitystyö Suomen tuulivoimasta –visio 2030. Viitattu 18.8.2021. https://tuulivoimayhdistys.fi/media/selvitystyö_2020_julkinen-versio-1.pdf.
- Jääskeläinen, M., Rantala, L. & Sundelin, A 2012. Merituulipuiston rakentaminen raportti. Viitattu 30.6.21. <https://www.prizz.fi/media/energiaratkaisut/energiaratkaisut-materiaalit/merituulipuistonrakentaminen2012.pdf>.
- Laatikainen, T. & Nurmi, R. 2021. Tuulivoimaloiden lapajäte viedään yhä ulkomaille. Tekniikka & Talous 17.6.2021. Viitattu 18.10.2021. <https://www.tekniikkatalous.fi/ez.lapinamk.fi/uutiset/tuulivoiman-lapajatetta-syntyy-suomessa-675-tonnia-vuodessa-digitaalinen-supergraafi-nayttaa-kuinka-tuulivoimala-kierratetaan/e20c9442-d546-419b-9e55-65897adfo964>.
- Lapin ammattikorkeakoulu 2020. Lapin teollinen kiertotalous 2.0 – Lapin kiertotaloustoiminnan vahvistaminen. Viitattu 27.10.2021. <https://www.lapinamk.fi/fi/Yrityksille-ja-yhteisolle/Lapin-AMKin-hankkeet?RepoProject=4206000066>.
- Lähteenmäki, P. 2021. Suomessa pyörii parin vuoden päästä jo lähes 1 300 tuulivoimalaa – katso tästä mihin voimalat nyt nousevat ja kuka niistä hyötyy: ”Meillä on kaksi ihmistä, jotka kampaavat koko ajan läpi Suomen karttaa”, sanoo saksalaisyhtiön johtaja. Taloussanomien 3.7.2021. Viitattu 31.10.2021. <https://www.talouselama.fi/uutiset/suomessa-pyorii-parin-vuoden-paasta-jo-lahes-1-300-tuulivoimalaa-katso-tasta-mihin-voimalat-nyt-nousevat-ja-kuka-niista-hyotyy-meilla-on-kaksi-ihmistä-jotka-kampaavat-koko-ajan-lapi-suomen-karttaa-sanoo-saksalaisyhtion-johtaja/cfa24edo-e0c7-44d5-bb76-53c3e85a51e2>.
- Motiva 2021a. Tuulivoima. Viitattu 18.10.2021 https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusutuva_energia/tuulivoima.

- Motiva 2021b. Voimalan sijoittaminen. Viitattu 2.11.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoima_suomessa/voimalan_sijoittaminen.
- Motiva 2021c. Tuulivoimaloiden purkaminen ja kierrätys. Viitattu 4.11.2021. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoimaloiden_purkaminen_ja_kierratys.
- Muoviteollisuus ry 2021. KiMuRa -projekti. Viitattu 2.7.2021. https://www.plastics.fi/projektit/kimura_-_projekti/.
- Paalatie, H. 2019a. 100 tarinaa tuulivoimasta. Osa 32. tuulivoimalan perustus. Tuulivoimalehti 13.3.2019. Viitattu 28.6.2021. <https://www.tuulivoimalehti.fi/aiheet/osa-32.-tuulivoimalan-perustus.html?p29=12>.
- Paalatie, H. 2019b. 100 tarinaa tuulivoimasta. Osa 21. Tuulivoimalan lavat. Tuulivoimalehti 13.3.2019. Viitattu 3.11.2021. <https://www.tuulivoimalehti.fi/aiheet/56-tarinaa-tuulivoimasta/osa-21.-tuulivoimalan-lavat.html>.
- Paalatie, H. 2020. Käytöstä poistuneet lavat – mitä niille voidaan tehdä? Tuulivoimalehti 21.12.2020. Viitattu 4.11.2021. <https://www.tuulivoimalehti.fi/aiheet/kaytosta-poistuneet-lavat-mita-niille-voidaan-tehda.html>.
- Paalatie, H. 2021. KiMuRa ratkaisee lapajätehaastetta. Tuulivoima 1/2021. Viitattu 2.7.2021. <https://www.e-julkaisu.fi/sty/tuulivoima/1-2021/mobile.html#pid=1>.
- Peikko 2021. Onshore-tuulivoimalaperustukset-Kuvaus. Viitattu 2.11.2021. <https://www.peikko.fi/tuotteet/tuulivoimaloiden-perustusratkaisut/kuvaus/>.
- Pixnio 2021. Vaaka-akseli tuulivoimala kuva. Viitattu 8.11.2021. <https://pixnio.com/miscellaneous/alternative-ecology-environment-energy-turbine-electricity-wind-sky-windmill>.
- Sievi-Korte, S. 2018. Aurinkosähkön ja tuulivoiman elinkaariarviointi ja hiilijalanjälki. Viitattu 31.8.2021 <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/26046/Sievi-Korte.pdf?sequence=4>.
- Stena Recycling 2021. Stena Recyclingin ratkaisu mahdollistaa tuulivoimaloiden siipien kierrätyksen. Viitattu 4.11.2021. <https://www.stenarecycling.fi/kestava-kierratys/yhteisty-asiakkaiden-kanssa/tuulivoimaloiden-kierratys/>.
- Suomen Tuulivoimayhdistys 2020. Tuulivoima Suomessa 2020 10.2.2020. Viitattu 30.10.2021. https://tuulivoimayhdistys.fi/media/tuulivoima_vuositilastot_2020_julkaisuun-10.2.pdf.
- Suomen Tuulivoimayhdistys 2021a. Tuulivoima Suomessa. Viitattu 30.10.2021. <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoima-suomessa-ja-maailmalla/tuulivoima-suomessa>.
- Suomen Tuulivoimayhdistys 2021b. Toiminnassa olevat & puretut voimat. Viitattu 20.8.2021. <https://tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoima-suomessa/toiminnassa-olevat-puretut>.
- Suomen Tuulivoimayhdistys 2021c. Tuulivoimahankkeet Suomessa 1/2021 17.2.2021. Viitattu 30.10.2021. https://tuulivoimayhdistys.fi/media/final-16.2.-julkaisuun-tuulivoimahankelista-1_2020.pdf.

Suomen Tuulivoimayhdistys 2021d. Tuulivoimaloiden rakenne, Viitattu 9.7.21. <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka/tuulivoimaloiden-rakenne>.

Suomen Tuulivoimayhdistys 2021e. Eri tuulivoimalatyyppjä. Viitattu 3.11.2021. <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka/eri-voimalatyyppja>.

Suomen Tuulivoimayhdistys 2021f. Yleistä pientuulivoimalasta. Viitattu 3.11.2021. <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/pientuulivoima/yleista-pientuulivoimasta>.

Suomen Tuulivoimayhdistys 2021g. Toiminnassa olevat ja puretut tuulivoimalat. Tuulivoimayhdistys, 3.8.2021. Viitattu 24.6.2021. https://tuulivoimayhdistys.fi/media/tuulivoima_vuositilastot_julkinen-lista-3.8.2021.xlsx.

Triventus Wind Power AB 2013. Västervikin tuulivoimapuiston YVA-selostus Osa 2. Viitattu 3.11.2021. https://www.ymparisto.fi/fi-fi/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Ymparistovaikutusten_arviointi/YVAhankkeet/Vastervikin_tuulivoimapuisto_Kristiinankaupunki.

Tuulivoimarakentamisen edistäminen 2021. Keinoja sujuvaan hankekehitykseen ja eri tavoitteiden yhteensovitukseen. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:51. Viitattu 3.11.2021. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163302/VNTEAS_2021_51.pdf.

Virtanen, S. 2021. 88 MW:n verran pelkkää viherpesua? Maailman suurin kelluva tuulivoimala-alue tuottaa pian sähköä öljynporauslaitoille. Tekniikka & Talous 12.10.2021. Viitattu 3.11.2021. <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/88-mwn-verran-pelkkaa-viherpesua-maailman-suurin-kelluva-tuulivoimala-alue-tuottaa-pian-sahkoa-oljynporauslaitoille/6270071c-d774-420c-9470-69ba2d37cdao>.

Vattenfall 2021. Tuulivoima. Viitattu 3.11.2021. <https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/tuotantomuodot/tuulivoima/>.

Wikimedia commons 2008. Tuulivoimalan runko sisältä. Viitattu 8.11.2021. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Inside_Turbine_Tower_No_17_-_geograph.org.uk_-_953836.jpg.

Wikimedia commons 2011. Tuulivoimalan siipi. Viitattu 8.11.2021. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rotor_Blade_Oulunsalo_20110731.JPG.

Wikimedia commons 2018. Tuulivoimalan rengas. Viitattu 8.11.2021. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wind_turbine_tower_-_detail_02.jpg.

Liitteet

Liite 1: Kysely tuulivoimatoimijoille tuulivoimalan lapojen kierrätettävyydestä

Hei,

otamme yhteyttä LTKT2.0-Lapin teollinen kiertotalous - Lapin kiertotaloustoiminnan vahvistaminen-hankkeen tiimoilta (Lapin liitto, EAKR, 2020-2023). Hankkeen toteuttajina ovat Digipolis Oy, Lapin ammattikorkeakoulu Oy ja Kemi-Tornionlaakson koulutuskuntayhtymä Lappia. Hankkeen tavoitteena on vahvistaa Lapin teollisen kiertotalouden alueellista kilpailukykyä ja luoda edellytyksiä uusille kiertotalousinvestoinneille sekä kiertotaloutta hyödyntäville liiketoimintamalleille.

Olemme toteuttamassa hankkeessa esiselvitystä liittyen tuulivoimaloiden lapojen kierrätysmahdollisuuksiin ja lapajätämäärään erityisesti Pohjois-Suomen alueella.

Esiselvitystä varten haastattelemme alueen tuulivoimatoimijoita. Toivomme, että voisitte vastata seuraaviin kysymyksiin. Vastaukset käsitellään anonyymisti.

1. Arvionne tuulivoimalan lapojen keskimääräisestä käyttöiästä?
2. Poikkeako lapojen käyttöikä koko tuulivoimalan käyttöiästä?
3. Onko voimaloissanne vaihdettu lapoja?
4. Miten olette käsitelleet vaihdetut lavat?
5. Miten olette kierrättäneet lavat / suunnitellut niiden kierrätyksen?
6. Millaisia haasteita olette kohdannut lapojen kierrätyksessä?

Lisätietoja Tuulivoimalan lapojen kierrätettävyyden esiselvityksestä saa projekti-insinööri Heli Pesoselta, Lapin AMK (heli.pesonen@lapinamk.fi, 040 198 4563) ja projekti-insinööri Jani Peltoniemeltä, Lapin AMK (jani.peltoniemi@lapinamk.fi, 040 158 1605). Lisätietoja hankkeesta saa hankkeen projektipäällikkö Sanna Tyniltä, Lapin AMK (sanna.tyni@lapinamk.fi, 040 674 7964) ja hankkeen koordinaattorilta Tuomas Pussilalta, Kemin Digipolis Oy (tuomas.pussila@digipolis.fi, 050 461 1236).

Tuulivoimatuotantoa lisätään Suomessa kiihtyvällä tahdilla ja tulevaisuudessa vastassa on koko ajan kasvava tarve käytöstä poistuvien tuulivoimaloiden kierrättämiselle. Tässä julkaisussa tarkastellaan tuulivoimalan, erityisesti lapojen, kierrätysmahdollisuuksia.

LTKT2.0 - Lapin teollinen kiertotalous 2.0 – Lapin kiertotaloustoiminnan vahvistaminen -hankkeen tavoitteena on vahvistaa lappilaisten yritysten kilpailukykyä ja kiertotaloustoimintaa sekä määrällisesti että laadullisesti. Hankkeen puitteissa pyritään tukemaan yrityksissä esiin nousevia innovaatiomahdollisuuksia sekä kehittää kiertotaloustoimintaa Lapin alueella.



DIGIPOLIS

LAPIN AMK⁷
Lapland University of Applied Sciences

LAPPIA



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

LAPIN AMK⁷
Lapland University of Applied Sciences

www.lapinamk.fi

ISBN 978-952-316-413-0