



samk

Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

ALIINA MIKKOLA

# **Lintututkan käyttö tuulivoimarakenn- tamisen ympäristövaikutusten arvioinnissa**

ENERGIA- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN  
TUTKINTO-OHJELMA  
2022

Tekijä Mikkola, Aliina	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä toukokuu 2022
	Sivumäärä 33 + 6	Julkaisun kieli suomi
Julkaisun nimi Lintututkan käyttö tuulivoimarakentamisen ympäristövaikutusten arvioinnissa		
Tutkinto-ohjelma Energia- ja ympäristötekniikka		
Tiivistelmä  <p>Tämä opinnäytetyö on tehty Suomen Hyötytuuli Oy:n toimeksiantona. Tuulivoimarakentamista ohjataan erilaisilla luonnonsuojelusopimuksilla ja säädöksillä, joilla pyritään minimoimaan tuulivoiman vaikutukset niin paikalliseen kuin muuttavaan linnustoon. Porin Tahkoluodossa sijaitsevalla Suomen Hyötytuuli Oy:n lintututkalla on kerätty tietoa linnuston käyttäytymisestä tuulipuistoalueella kevästä 2016 lähtien.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella lintututkan hyödyntämistä tuulivoimahankkeiden ympäristövaikutusten arvioinnissa edellytetyissä selvityksissä. Opinnäytetyössä perehdyttiin lintututkasta saatavan aineiston hyödyntämisen mahdollisuuksiin rajaamalla lintututkan keräämästä aineistosta kuikan, telkän, kaakkurin, haahkan, isokoskelon ja tukkakoskelon kevätmuuttolennot vuosien 2016 ja 2020 väliseltä ajalta. Lintututkasta saadun aineiston pohjalta tarkasteltiin tuulivoimaloiden vaikutusta edellä mainittujen lajien kevätmuuttoon.</p> <p>Saatujen tulosten perusteella lintututka soveltuu tuulivoimarakentamisen ympäristövaikutusten arvioinnissa edellytettyjen selvitysten työkaluksi. Lintututkalla pystytään vastaamaan tuulivoimarakentamisen ympäristövaikutusten arvioinnissa tehtävien selvitysten tavoitteisiin linnustovaikutusten osalta. Havaintojen perusteella merituulipuisto ei ole vaikuttanut kuikan, telkän, kaakkurin, haahkan, isokoskelon ja tukkakoskelon muuttolentoihin merkittävästi. Linnut eivät välttele tuulivoima-aluetta, vaan kiertävät yksittäiset tuulivoimalat alueen sisällä.</p>		
Avainsanat tuulivoima, lintututka, linnustovaikutukset, ympäristövaikutusten arviointi		

Author Mikkola, Aliina	Type of Publication Bachelor's thesis	Date May 2022
	Number of pages 33 + 6	Language of publication Finnish
Title of publication Use of Bird Radar in environmental impact assessment of wind power projects		
Degree programme Energy and Environmental Engineering		
Abstract  This thesis has been made by commission by Suomen Hyötytuuli Oy. Wind power construction is controlled by various nature conservation agreements and statutes aimed to minimize the impacts of wind power on both local and migratory birds. Suomen Hyötytuuli Oy's bird radar in Tahkoluoto Pori, has collected data on bird population behavior in the wind farm area since spring 2016.  The purpose of this thesis was to observe how a bird radar can be utilized in the studies required for the environmental impact assessment of wind power projects. The thesis examined the possibilities of utilizing the material obtained from the bird radar by limiting the spring migration flights of black-throated diver ( <i>Gavia arctica</i> ), common goldeneye ( <i>Bucephala clangula</i> ), red-throated diver ( <i>Gavia stellata</i> ), eider ( <i>Somateria mollissima</i> ), goosander ( <i>Mergus merganser</i> ) and red-breasted merganser ( <i>Mergus serrator</i> ) from the data collected by the bird radar between 2016 and 2020. Based on the data from the bird radar, the impact of wind turbines on the spring migration of the above-mentioned species was examined.  Based on the results obtained, a bird radar is suitable as a tool for the studies required to assess the environmental impacts of wind power construction. A bird radar can fulfil the objectives of the environmental impact assessment of wind power construction regarding to birdlife impacts. Based on the observations, the offshore wind farm has not had a significant impact on the migration flights of above-mentioned species. The birds do not avoid the wind power area but avoid individual wind turbines inside the area.		
Keywords wind power, bird radar, birdlife impacts, environmental impact assessment		

## ALKUSANAT

Kiitos Suomen Hyötytuuli Oy:lle kiinnostavasta aiheesta, sekä mahdollisuudesta tutustua lintututkaan ja sen toimintaan. Kiitos Juha Niemelle, Petteri Mäkelälle ja Miia Suuriniemelle avusta opinnäytetyön kanssa.

Kiitos ohjaajalleni Samuli Kivisaarelle.

Kiitos perheelleni, jonka apu oli korvaamatonta opinnäytetyötä tehdessä vauva-arjen keskellä. Kiitos miehelleni kaikesta tuesta ja kannustuksesta, ja erityisesti kiitos pienelle tyttärelleni, joka iloisuudellaan motivoi päivittäin tarttumaan työhön.

Porissa 5.5.2022

# SISÄLLYS

1 TUULIVOIMALOIDEN VAIKUTUS LINTUJEN KÄYTTÄYTYMISEEN .....	6
1.1 Linnustovaikutukset .....	6
1.1.1 Häirintävaikutukset .....	7
1.1.2 Törmäysvaikutukset.....	8
1.1.3 Muut vaikutukset.....	9
2 LINTUTUTKAN KÄYTTÖ MAASTOHAVAINNOINNIN RINNALLA .....	10
2.1 Maastohavainnointi.....	10
2.2 Maastohavainnointi lintututkan tukena.....	10
3 LINTUTUTKA.....	11
3.1 Robin Radar 3D–flex – lintututkajärjestelmä.....	12
3.2 Automaattinen hidastus- ja pysäytystoiminto.....	13
3.3 Lintututkasta saatavan aineiston rajaaminen.....	14
3.3.1 Tarkasteltava ajanjakso .....	14
3.3.2 Tarkasteltavien ajanjaksojen määrä .....	15
3.3.3 Vuorokaudenaika.....	15
3.3.4 Lentonopeus .....	15
3.3.5 Linnun koko .....	16
3.3.6 Lentoradan pituus .....	16
3.3.7 Lentoradan suunta.....	16
4 LINTUTUTKAN HYÖDYNTÄMINEN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINNISSA .....	16
4.1 Lintututkan hyödyntäminen tuulivoimahankkeiden suunnittelussa .....	17
4.1.1 Linnuston huomioiminen tuulivoimahankkeiden suunnittelussa .....	17
4.1.2 Lintututkan käyttö tuulivoimahankkeiden suunnittelussa .....	18
4.2 Lintututkan käyttö Tahkoluodon merituulipuiston ympäristövaikutusten arvioinnissa .....	19
4.2.1 Lintututkan pohjalta tehdyt havainnot Tahkoluodon merituulipuistossa .....	20
4.3 Lintututkan mahdollisuudet tulevaisuudessa .....	28
4.4 Lintututkajärjestelmän haasteet.....	29
4.4.1 Tuulivoimaloiden vaikutus tutkajärjestelmään.....	29
4.4.2 Lintututkasta saadun datan rajaaminen .....	30
5 YHTEENVETO.....	31
LÄHTEET	
LIITTEET	

# 1 TUULIVOIMALOIDEN VAIKUTUS LINTUJEN KÄYTTÄYTYMI- SEEN

”Tuulivoimaloiden linnustovaikutukset voidaan jakaa kahteen tekijään: törmäysriskeihin ja rakentamisen aiheuttamaan ympäristömuutokseen ja sen vaikutuksiin pesintään ja ravinnon etsimiseen. Vaikutukset vaihtelevat tuulivoimaloiden koon ja määrän, teknisten ratkaisujen, maantieteellisen sijainnin, ympäröivän alueen maaston muodon sekä alueen lintulajiston mukaan.” (Motiva, 2021)

## 1.1 Linnustovaikutukset

Tuulivoimaloiden määrän ja koon kasvaessa myös niiden vaikutukset ympäristöön kasvavat. Tuulivoimaloiden suurimmat vaikutukset linnustoon aiheutuvat lintujen törmäämisriskistä sekä käyntiäänien ja lapojen liikkeen häiritsevistä vaikutuksesta lintujen ravinnon hankkimiseen ja pesintään. (Suomen Tuulivoimayhdistys, n.d.)

Tuulivoimarakentamista ohjataan kansainvälisillä luonnonsuojelusopimuksilla, joihin lukeutuvat Itämeren suojelusopimus (HELCOM) ja Euroopan luonnonsuojelusopimus (Bernin sopimus). Niiden mukaan tuulivoimaa ei tule rakentaa linnuille tärkeille kerääntymisalueille ja muuton keskittymäalueille. Lisäksi riskialueiden tuntumaan suunniteltujen voimaloiden vaikutukset on arvioitava laaja-alaisesti koko vuosi- ja elinkierron alueella summautuvat vaikutukset huomioon ottaen. (Birdlife Suomi, n.d.)

Kesällä 2019 valmistuneen useiden vuosien ajanjakson kattaneen suomalaisen linnustoseurantatutkimuksen yhteenvedon mukaan tuulivoimaloiden vaikutukset muuttaviin lintuihin ja lintujen valtakunnallisesti tärkeisiin muuttoreitteihin ovat jääneet vähäisiksi (Motiva, 2021). Työ- ja elinkeinoministeriön

kirjallisuusselvityksen tuulivoimaloiden vaikutuksesta linnustoon ja lepakoihin (2019, s.17) seurantatulosten perusteella muuttavat linnut pyrkivät ensisijaisesti kiertämään tuulipuistot.

### 1.1.1 Häirintävaikutukset

”Tuulivoimalat voivat vaikuttaa lintuihin vähentämällä sopivaa elinympäristöä joko suoraan rakentamisvaikutuksen kautta tai epäsuoremmin rakentamisen, turbiinin pyörinnän, tai huoltoliikenteen aiheuttaman häirintävaikutuksen kautta.” (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2019, s.19) Linnut saattavat karttaa tuulivoimaloita ja niiden läheisyyttä erityisesti ruokailualueena, jolloin muuten sopiva ruokailuympäristö jää käyttämättä, ja linnut saattavat optimaalisten ruokailualueiden sijaan siirtyä huonommille alueille. Työ- ja elinkeinoministeriön teettämän kirjallisuusselvityksen (2019, s.20) mukaan aikaisempien havaintojen perusteella vesilinnuista etenkin, suula, kuikka ja kaakkuri välttävät merellisiä tuulivoimala-alueita. Lajien välillä on kuitenkin suuria eroja, osa lajeista, kuten merimetso, jopa suosii tuulivoimaloiden läheisyyttä ruokailemisessa.

Yleisesti ottaen häirintävaikutukset ovat merialueilla suurempia kuin maa-alueilla. Vaikutukset pienikokoisiin maalintulajeihin ovat hyvin vähäisiä, ja vaikutukset kasvavat lintujen koon ja vesialueiden suosimisen lisääntyessä. (Birdlife Suomi, n.d.) Suomen Tuulivoimayhdistyksen (n.d.) mukaan erityisesti muuttavat linnut välttelevät tuulivoimaloita ja niiden läheisyyttä. Pesimälintujen tiheyden ei ole todettu olevan alhaisempi tuulivoimaloiden läheisyydessä, eikä pesivien lintujen ole todettu häiriintyvän voimaloista. ”Vuodenaikojen, alueiden ja lajien välillä sekä lajin sisällä eri populaatioiden välillä on selvää vaihtelua siinä, kuinka kauas tuulivoimalan häirintävaikutus ulottuu ... Useimmiten häirintävaikutus ulottuu kuitenkin alle 100–200 metrin päähän tuulivoimalasta”. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2019, s.22)

Suomen Tuulivoimayhdistyksen (n.d.) mukaan merialueilla on lähes pelkästään meri- ja vesilintuja ja niiden pesät sijaitsevat saarilla tai luodoilla, eivät avovedessä. Tanskalaisen merialueiden tuulivoimaloiden linnustovaikutuksia

selvittäneen tutkimuksen mukaan merellä häirintävaikutukset ulottuvat selvästi maa-alueita kauemmas. Tutkimuksen mukaan kaikkien tutkimusalueella ruokailevien ja lepäilevien lintulajien tuulivoimaloiden välttämisetäisyys oli 2–4 kilometriä. Vaikutuksen todettiin olevan sama niin kuikkalinnuilla, sukeltajasorsilla kuin ruokkilinnuillakin.

Työ- ja elinkeinoministeriön kirjallisuusselvityksen (2019, s.22) mukaan pisimmät häirintäetäisyydet on havaittu hanhilla, sorsilla ja kahlaajilla, ja lyhimmat petolinnuilla ja varpuslinnuilla. Merellä sijaitsevien tuulivoimaloiden vaikutuksen on joillakin lajeilla, kuten kuikkalinnuilla, havaittu ulottuvan jopa kahden kilometrin päähän, mutta lähteen mukaan erilaisten tutkimusmenetelmien takia mantereella ja merellä sijaitsevien voimaloiden vaikutusmatkoja on vaikea suoraan verrata keskenään. Birdlife Suomi (n.d.) mukaan taas esimerkiksi kuikka- ja ruokkilinnut välttelevät tuulivoimaloita ja pelotevaikutus ulottuu avomerellä yli 10 kilometrin päähän tuulivoimaloista, kun maa-alueiden linnustotutkimusten mukaan häirintävaikutukset rajoittuvat muutamiin satoihin metreihin voimaloista. ”Etäisyyteen vaikuttaa lajisto, maan avoimuus ja vesialueiden sijainti.” (Birdlife Suomi, n.d.)

### 1.1.2 Törmäysvaikutukset

Suomessa lintujen törmäykset tuulivoimaloihin ovat havaintojen mukaan olleet harvinaisia (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2019, s.12). Tutkimusten mukaan paikalliset linnut tottuvat tuulivoimaloihin ja osaavat lähes poikkeuksetta väistää niitä. Tuulivoimaloihin törmäävien lintujen lukumäärä riippuu keskeisesti voimaloiden sijainnista. (Motiva, 2021) Suurikokoisten kaartelevien lintujen, kuten kotkien ja lokkien on havaittu törmäävän voimaloihin useimpia suoraan lentäviä lajeja yleisemmin. Muiden lajien törmäyksiä tapahtuu todennäköisimmin huonoissa olosuhteissa sateessa tai kovalla tuulella, silloin kun näkyvyys on huonontunut hämärän, pimeän tai sumun vuoksi, ja silloin kun linnut kuljettavat ruokaa poikasille tai ovat pelästyneet jotain. (Birdlife Suomi, n.d.) ”Törmäysten määriin vaikuttaa tuulivoimalaa ympäröivä maasto sekä suuressa mittakaavassa (etäisyys rannikosta, mantereiden muodot) että pienessä mittakaavassa



(yksittäiset kosteikot, harjanteet), joten molemmat mittakaavat tulee ottaa huomioon suunnittelussa.” (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2019, s.14)

Aikaisemmat tutkahavainnot ovat osoittaneet, että muuttavat linnut lähtevät kiertämään tuulivoimalaa hyvissä ajoin jopa yömuutoilla. Oletettavasti valkoinen väri, massiivinen koko sekä lapojen pitämä ääni ovat törmäyksiä ehkäiseviä ominaisuuksia. Muuttolintujen reitit saattavat lajista riippuen siirtyä tuulivoimaloiden rakentamisen jälkeen 50–500 metriä. (Suomen Tuulivoimayhdistys, n.d.)

### 1.1.3 Muut vaikutukset

Tuulivoimaloista aiheutuu linnuille törmäys- ja häirintävaikutusten lisäksi muitakin vaikutuksia, kuten ympäristömuutosriskejä. Näitä ovat tuulivoimaloiden aiheuttamat riskit lintujen elinympäristössä. (Birdlife Suomi, n.d.) Tuulivoimaloiden rakentaminen muuttaa olosuhteita paikallisesti, mikä voi aiheuttaa lintutiheyksien ja lajiston muutoksia varsin pienelläkin alueella. Lintujen elinympäristö, ruokailualueet ja pesintäalueet saattavat muuttua tai tuhoutua metsäalueiden pirstaloituessa. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2019, s.23) Lintujen energiankulutus kasvaa ruoanhakumatkojen pidennettyä ja mahdollisen tuulivoimaloiden kiertämisen vuoksi. Toisaalta tuulivoimaloiden estevaikutuksen on havaittu olevan pieni tai olematon monelle lajille, sillä linnut lentävät sujuvasti turbiinien väleistä. Estevaikutuksen voimakkuus riippuu pitkälti tuulivoimapuiston sijainnista suuressa mittakaavassa ja tuulivoimaloiden sijoittelusta alueella. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2019, s.24). Tuulivoimaloista aiheutuva ääni saattaa vaikeuttaa lähistöllä pesivien lintujen suojautumista pedoilta (Motiva, 2021).

On kuitenkin otettava huomioon, että näitä muutoksia aiheuttaa kaikki lintujen elinympäristössä tapahtuva rakentaminen, eivätkä muutokset johdu pelkästään tuulivoimaloiden rakentamisesta (Birdlife Suomi, n.d.). Käytön aikaisella seurannalla ja esimerkiksi voimaloiden hetkellisellä pysäyttämällä tarpeen

vaatiessa, voidaan vähentää tuulivoimaloiden haitallisia vaikutuksia linnustoon. Tämä vaatii aktiivisia seurantamenetelmiä, kuten tutkaseurantaa.

## 2 LINTUTUTKAN KÄYTTÖ MAASTOHAVAINNOINNIN RINNALLA

Lintututka parantaa lintujen lentokäyttäytymisen seuraamista tutkan vaikutusalueella Tahkoluodon merituulipuiston ympäristössä huomattavasti. Maastohavainnoinnin haasteena on etäisyyksien, ja parvissa muuttavien lintujen määrän arvioiminen. Lintututkan avulla etäisyydet, lentokorkeudet, lintujen määrä ja lentonopeus havaitaan tarkemmin. Lintututka havaitsee pienen kokoluokan lintuja 4 kilometrin päästä ja suuren kokoluokan lintuja jopa 10 kilometrin päästä (Suomen Hyötytuuli, n.d.).

### 2.1 Maastohavainnointi

Linnuston seuranta on aikaisemmin perustunut lähes kokonaan maastossa tehtyihin havaintoihin ja niiden asianmukaiseen kirjaamiseen. Järjestelmällisellä lintujen seurannalla havainnoinnin avulla on saatu kerättyä kattavaa tietoa lintujen käyttäytymisestä niin paikallisten kuin muuttavien lintujen osalta. Tehtyjen havaintojen pohjalta on voitu tunnistaa eri lajien muuttolentojen tavanomaiset ajankohdat ja lentoreitit. (Mäkelä, 2021)

### 2.2 Maastohavainnointi lintututkan tukena

Toimiva lintututkajärjestelmä tarvitsee rinnalleen maastohavainnoinnin. Lintututkaa kehitettäessä on maastohavainnointia tehty satoja tunteja Tahkoluodon alueella. Lintututkaa on kehitetty vertaamalla tutkan keräämää dataa samaan aikaan tehtyyn maastohavainnointiin. Tämän vertailun avulla eri lajeille tyypillisiä lentonopeuksia, -korkeuksia, -suuntia sekä lintujen kokoja on pystytty määrittämään, mikä on oleellista lintututkan dataa suodatettaessa. Lintututka

itsessään ei tunnista lajeja, mutta sen keräämästä datasta pystytään tarkkojen hakukriteerien avulla suodattamaan melko hyvällä varmuudella haluttujen lintulajien lentoja (Niemi, 2021). Lintututkasta saatua dataa ja samaan aikaan alueella tehtyä maastohavainnointia vertailemalla voidaan tehdä tarkempia johtopäätöksiä havaittujen lintujen lajeista. Säännöllinen ja järjestelmällinen maastohavainnointi tukee lintututkajärjestelmän toimintaa alueella. (Mäkelä, 2021)

Lintututkan käytön tavoitteena ei ole korvata maastohavainnointia linnuston tarkkailussa, sillä maastohavainnointi täydentää lintututkan toimintaa. Maastohavainnoin korvaaminen lintututkalla tarkoittaisi käytännössä lintututkajärjestelmän modifioimista sellaiseksi, että se tunnistaa lintulajit reaaliajassa. Tämä tarkoittaisi suuria investointeja tutkateknologiaan.

### 3 LINTUTUTKA

Porissa sijaitsevan Tahkoluodon tuulipuiston rakennustyöt aloitettiin keväällä 2016, ja kymmenen tuulivoimalan puisto otettiin käyttöön elokuussa 2017 (Suomen Hyötytuuli, n.d.). Tuulivoimaloiden vaikutuksesta alueen runsaaseen ja monipuoliseen linnustoon ei ollut aikaisemmin tutkittua tietoa. Lintututka asennettiin tuulipuiston tuntumaan 25.5.2016, ennen tuulipuiston rakennustöitä. Lintututkan käyttöönoton taustalla oli tarve suojella alueen lintuja ja minimoida tuulivoimaloiden vaikutus niihin. Lintututkan ensisijainen tavoite on suojella uhanalaisia, vaarantuneita lintulajeja ja kerätä tietoa tuulivoimaloiden linnustovaikutuksista tulevia merituulipuistohankkeita varten. Lisäksi halutaan saada tietoa tuulivoimaloiden vaikutuksesta sekä paikallisten että muuttolintujen käyttäytymiseen, kerätä ainestoa lintujen lennoista tuulipuistoalueella ja kehittää lintututkajärjestelmää jatkuvasti. (Mäkelä, 2020)

”Tahkoluodon merituulipuiston rannalla sijaitseva lintututka antaa tietoa ympäristövaikutuksista alueen linnustolle. Tutka tuottaa kolmiulotteista paikkatietoa

ja tallentaa tietoa lintulajeista, lintujen koosta ja käyttäytymisestä, lukumäärästä, lentoreiteistä, lentokorkeudesta, lentonopeudesta ja säätilasta.” (Suomen Hyötytuuli, n.d.) Lintututka erottaa pienet linnut enintään 4 km:n säteellä ja suuret linnut sekä parvet noin 10 km:n säteellä. Lisäksi tutka voi antaa tarvittaessa hidastumis- tai pysähtymiskäskyn yksittäisille tuulivoimaloille. (Suomen Hyötytuuli, n.d.)

Huomioitavaa on, että vaikka lintututkalla saadaan parasta saatavilla olevaa tietoa, lintututkan havaitsemien lentojen määrä ei ole suoraan verrannollinen lintujen määrän kanssa. Lentojen määrä vastaa alueen lentojen määrää varsin tarkasti, mutta niiden pohjalta tehdyt havainnot lintuyksilöiden määrästä on suuntaa antava arvio todellisesta tilanteesta.



Kuva 1. Suomen Hyötytuuli Oy:n lintututka Tahkoluodon tuulipuiston läheisyydessä. (Suomen Hyötytuuli, verkkosivut, haettu 16.2.2022)

### 3.1 Robin Radar 3D–flex – lintututkajärjestelmä

Robin Radar 3D-flex- tutkajärjestelmä koostuu kahdesta erillisestä tutkasta, horisontaali- ja vertikaalitutkasta, sekä niiden tietoja käsittelevästä palvelimesta. Horisontaali- ja vertikaalitutka tuottavat yhdessä 3D– koordinaatteja kohteesta. Horisontaalitutka tuottaa 2D– paikkatiedon ja vertikaalitutka lisää korkeustiedon. (Mäkelä, 2020)

Horisontaalitutka on S-taajuusalueen pulssitutka, jonka lisäksi se on myös yksipaikkatutka, koska sen lähetin ja vastaanotin ovat samassa paikassa ja se käyttää samaa antennia sekä lähetykseen että vastaanottoon.

Kyseessä on ensiötutka, koska kaikupulssi syntyy kohteesta heijastuneesta lähetyssignaalista. (Marjamäki, 2017, s. 11)

Vertikaalitutka on X-taajuusalueen taajuusmoduloinen kantoaaltotutka (FMCW), jonka lisäksi se on myös kaksipaikkatutka, koska se käyttää eri antennia lähetykseen ja vastaanottoon. Myös vertikaalitutka on ensiötutka, koska kaikupulssi syntyy kohteesta heijastuneesta lähetyssignaalista. (Marjamäki, 2017, s. 11)

Horisontaali- ja vertikaalitutkan lisäksi järjestelmään kuuluu ohjelmisto, jonka avulla tutkan keräämään dataan voidaan reaaliajassa lisätä manuaalisesti havaintoja linnuista. Järjestelmään on liitetty kaksi kameraa, joita voidaan hyödyntää lintujen havainnoinnin lisäksi turbiinien valvonta- ja huoltotöissä. (Mäkelä, 2020)

### 3.2 Automaattinen hidastus- ja pysäytystoiminto

Alueella saalistavien ja pesivien lintujen suojelemiseksi lintututkaa voidaan hyödyntää lintujen lentäessä tuulivoimaloiden välittömään läheisyyteen pysäyttämällä turbiinit automaattisesti. Kun lintututkan havaitsemat tekijät, kuten linnun koko, nopeus ja lentorata sekä alueen säätila ja ajoitus osuvat tiettyyn haarukkaan, tekee ohjelma päätöksen turbiinien pysäyttamisestä tai hidastamisesta. Tällaisia tilanteita on lintututkan käyttöaikana ollut harvoin. Hidastustoimintoa ei lintututkan käytön aikana olla päästy tositilanteessa kokeilemaan, joten epäselvää on, ehtiikö turbiini pysähtyä kokonaan ennen kuin pysäytystilanne on jo ohi. (Mäkelä, 2020)

### 3.3 Lintututkasta saatavan aineiston rajaaminen

Robin Radar 3D-flex - tutkajärjestelmä kerää dataa jatkuvasti käytössä ollessaan. Kerätystä datasta saadaan erilaisten rajauksien avulla suodatettua aineistoa, jota pystytään hyödyntämään lintujen lentojen analysoimisessa lintututkajärjestelmän vaikutusalueella. Lähtökohtana tavoitellun lajin tai lajiryhmän lentojen selvittämisessä on lajin fenologian, eli lintujen toiminnan ja käyttäytymisen vuodenaikaisen ja vuosittaisen vaihtelun, sekä lajille tyypillisen lentotavan selvittäminen, ja datan rajaaminen sen avulla. Tässä opinnäytetyössä hahuttiin perehtyä kuikan, telkän, kaakkurin, haahkan, isokoskelon ja tukkakoskelon kevätmuuttolentoihin tuulipuiston alueella. Lajit muuttavat keväisin länsirannikon kautta, Tahkoluodon tuulipuiston alueen yli (Birdlife Suomi, (2014b), s.18,20) ja lajien kevätmuutot ajoittuvat keskenään suunnilleen samalle aikavälille. Opinnäytetyössä käytettävän aineiston rajaamiseen on käytetty seuraavaksi listattuja kriteerejä. Valitut lajit ja käytetyt kriteerit pohjautuvat Suomen Hyötytuuli Oy:n edustajien Miia Suuriniemen ja Petteri Mäkelän kanssa käytyyn keskusteluun 21.9.2021.

Saadut tulokset ovat arvioita todellisesta tilanteesta. Tutka havaitsee lentoja hyvällä tarkkuudella, ja maastohavainnointi sen tukena parantaa saatujen tuloksien oikeellisuutta, mutta absoluuttista totuutta alueella lennetyistä lintujen lennoista ei ole mahdollista saada.

#### 3.3.1 Tarkasteltava ajanjakso

Valittujen lintulajien kuikan, telkän, kaakkurin, haahkan, isokoskelon ja tukkakoskelon kevätmuutto osuu tavallisesti suunnilleen samalle ajanjaksolle, huhtikuun ja toukokuun alkujen välille (Mäkelä, 2021). Tarkastelluksi ajanjaksoksi valitaan 6.4–5.5, jonka ajalle valittujen lajien pääkevätmuutot osuvat.

### 3.3.2 Tarkasteltavien ajanjaksojen määrä

Suomen Hyötytuulen lintututkajärjestelmä on otettu käyttöön ennen Tahkoluodon tuulipuiston rakentamista. (Suomen Hyötytuuli, n.d.) Tarkastelussa huomioidaan valitut ajanjaksot koko lintututkan historian ajalta. Vertailun vuoksi tarkastellaan valittuja ajanjaksoja lintututkajärjestelmän kaikilta käyttövuosilta, ennen tuulipuiston rakentamista, rakentamisen ajalta ja tuulipuiston valmistuksen jälkeen. Yhteensä valitaan tarkasteltavaksi neljän eri ajanjakson, vuosien 2017 ja 2020 väliset lennot.

### 3.3.3 Vuorokaudenaika

Valitut lintulajit; kuikka, telkkä, kaakkuri, haahka, isokoskelo ja tukkakoskelo muuttavat tavallisesti valoisaan aikaan (Mäkelä, 2021). Vertailun vuoksi valitaan kuitenkin tarkasteltavaksi sekä valoisan, että pimeän ajan lennot. Pimeän ajan lennoiksi lasketaan tarkastelussa aikavälin klo 22–04 lennot, ja valoisan ajan lennoiksi aikavälin klo 04–22 lennot. Valoisan ja pimeän ajan lennot on eroteltu suodatetussa aineistossa.

### 3.3.4 Lentonopeus

Kullekin lintulajille on määritetty lentonopeudet (taulukko 1), joiden avulla pystytään aineistosta erottelemaan mahdollisimman tarkasti eri lajien edustajat. Tarkastelussa käytetään keskinopeuden raja-arvona 15–25 m/s, sillä kaikkien valittujen lintulajien laskennalliset keskinopeudet sijoittuvat tuohon väliin.

Taulukko 1. Lintujen lentonopeudet. (Suomen Hyötytuuli, 2021)

Laji	miniminopeus (m/s)	maksiminopeus (m/s)	keskinopeus (m/s)
kuikka	-	30,91	18,17
isokoskelo	6,03	26,13	18,97
haahka	6,36	26,85	19,48
kaakkuri	16,84	25,44	19,59
telkkä	6,42	28,44	21,08
tukkakoskelo	15,09	29,42	21,47

### 3.3.5 Linnun koko

Robin Radar 3D-flex - tutkajärjestelmä tunnistaa linnut kokoluokkien mukaan. Tarkastelun kohteeksi rajataan kokoluokka "large" (suuri), sillä tutka tunnistaa valitut lintulajit: kuikan, telkän, kaakkurin, haahkan, isokoskelon ja tukkakoskelon suuriksi linnuiksi. Lisäksi valitaan kriteeriksi "flock" (parvi), jolloin saadaan rajattua käsiteltäväksi aineistoksi parvet, ja suodatettua pois yksittäisten lintujen saalistuslennot.

### 3.3.6 Lentoradan pituus

Tarkastelun kohteeksi rajataan yli 500 metrin lentoradat. Näin pois suodattuvat mahdolliset alueella pesivien yksittäisten lintujen saalistuslennot.

### 3.3.7 Lentoradan suunta

Tarkasteltavaksi lentojen ilmansuunniksi rajataan pohjoinen (337.5–22.5 astetta) ja etelä (157.5–202.5 astetta). Tunnetut päämuuttoreitit sijoittuvat tälle sektorille. (Birdlife Suomi, 2014a, s. 8)

## 4 LINTUTUTKAN HYÖDYNTÄMINEN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINNISSA

"Ensisijainen keino tuulivoimarakentamisen linnustovaikutusten vähentämiseen on tuulivoima-alueiden sijoittaminen linnustoarvojen kannalta tärkeiden alueiden ulkopuolelle. Linnustovaikutuksia voidaan lisäksi vähentää tuulivoimaloiden sijainnin ja ryhmittelyn avulla välttämällä lintujen käyttämiä lentoreittejä ja jättämällä voimaloiden väliin riittävän leveitä esteettömiä väyliä linnuille." (Ympäristöministeriö, 2016a, s.6) Tuulivoimarakentamisen tulevaisuudessa merituulivoimalla uskotaan olevan nykyistä suurempi rooli. Otollisimmat alueet tuulivoiman tuotannon kannalta olisivat kauempana avomerellä, mutta



logistiikan ja sähköverkkojen etäisyyden mukana kasvavien kustannusten vuoksi merituulivoima on kannattavampaa sijoittaa lähemmäs rannikkoa. (Valtioneuvosto, 2021, s.97) Tuulivoimarakentamisen mahdollistamisen ja linnustovaikutusten minimoimisen yhdistäminen on ensisijaisen tärkeää merituulivoiman kannattavuuden takaamiseksi. Suomen Hyötytuulen Tahkoluodon merituulipuiston laidalla sijaitsevan lintututkan avulla on saatu uutta arvokasta tietoa linnuston käyttäytymisestä tuulipuistoalueella. Lintututkan jatkuva kokoaikainen toiminta mahdollistaa kerätyn aineiston suuren määrän, jonka avulla saadaan mahdollisimman todenmukaiset havainnot alueen linnuston käyttäytymisestä. Lintututkan keräämästä datasta saatuja tuloksia voidaan hyödyntää tulevaisuuden tuulivoimahankkeissa, erityisesti merialueilla.

#### 4.1 Lintututkan hyödyntäminen tuulivoimahankkeiden suunnittelussa

##### 4.1.1 Linnuston huomioiminen tuulivoimahankkeiden suunnittelussa

Tuulivoimarakentamisen suunnittelussa lähtökohtana on, että tuulivoimarakentamiseen parhaiten soveltuvat alueet selvitetään valtakunnallisten alueidenkäyttötavoitteiden mukaisesti maakuntakaavoituksessa, jolloin maakuntakaavojen sisältövaatimusten mukaisesti olemassa olevat luonnonsuojelualueet ovat ohjeena kaavan laatimiselle ... Kaavoitus on yhteen sovittavaa suunnittelua, joka perustuu kaavaratkaisun kannalta tarpeellisiin selvityksiin ja vaikutusten arviointiin. Maankäyttö- ja rakennuslain 9 §:n mukaan kaavan tulee perustua kaavan merkittävät vaikutukset arvioivaan suunnitteluun ja sen edellyttämiin tutkimuksiin ja selvityksiin. Selvitysten ja vaikutusten arvioinnin avulla on voitava varmistua kaavamerkintöjen toteuttamiskelpoisuudesta. Selvitettäessä linnuston kannalta tuulivoimarakentamiseen soveltuvia alueita on suunnittelun lähtökohtana lakisääteiset rajoitukset. Esimerkiksi kansallis- ja luonnonpuistoihin, muille luonnonsuojelualueille tai muille luonnonsuojelulain nojalla suojelluille alueille ei voi rakentaa tuulivoimaloita. (Ympäristöministeriö, 2016a, s. 9)

Lisäksi tuulivoimarakentamista suunniteltaessa on lakisääteisten rajoitusten lisäksi kiinnitettävä huomiota linnustolle tärkeisiin pesimäalueisiin sekä kerääntymisalueisiin ja lintujen päivittäisten lentoreittien sekä muuton keskittymäalueisiin. Erityisesti huomioitavia lajeja ovat uhanalaiset lintulajit, joihin lukeutuvat haahka, tukkakoskelo ja isokoskelo (liite 1) ja yhdyskunnissa pesivät lajit kuten haahka (liite 2), sekä esimerkiksi lintukosteikoilla ja -saarilla esiintyvät monilajiset ja yksilömääriltään suuret lintuyhteisöt. Monet lajit, kuten telkkä, isokoskelo ja tukkakoskelo (liite 3) kokoontuvat suurina parvina tietyille ruokailupaikoille, poikueiden kerääntymispaikoille ja talvehtimispaikoille. Nämä kokoontumispaikat on huomioitava tuulivoimarakentamisen suunnittelussa. (Ympäristöministeriö, 2016a, s. 10)

#### 4.1.2 Lintututkan käyttö tuulivoimahankkeiden suunnittelussa

Yksityiskohtaisessa suunnittelussa selvitetään ja arvioidaan tuulivoima-alueiden toteuttamisen vaikutukset linnustoarvojen kannalta tärkeisiin alueisiin ja erityisesti huomioitaviin lintulajeihin. Selvitysten tulee pohjautua riittävään tietoon alueen linnustosta. Mikäli alueelta ei ole riittävän tarkkaa ja luotettavaa tietoa alueen linnustosta, tulee yksityiskohtaisen kaavoituksen tai YVA-menettelyn yhteydessä tehdä maastonselvityksiä. Maastonselvitykset tulee suunnata alueille, joiden arvioidaan ennakkotietojen perusteella olevan linnustollisesti keskeisimpiä, ja joille tuulivoimarakentamisesta arvioidaan aiheutuvan vaikutuksia. Selvityksissä ja vaikutusten arvioinnissa tulee keskittyä erityisesti huomioitaviin lajeihin ja linnustoarvoiltaan tärkeisiin alueisiin. (Ympäristöministeriö, 2016a, s. 10–11)

Tavoitteena on saada alueen linnustosta mahdollisimman todenmukainen kuva, joten maastonselvityksiä voi olla tarpeen tehdä kaikkina vuodenaikoina. Linnustovaikutuksien arviointia varten määritellään vaikutusalueen laajuus ja arvioidaan paikallisten olojen merkitys, sekä alueen merkitys linnustoarvojen kannalta. Tuulivoimarakentamisen häiriöt linnuille arvioidaan niin rakennusajan ja maankäytön kuin koko tuulivoimaloiden elinkaaren ajalta. Lisäksi tulee

arvioida tuulivoimaloiden aiheuttamat mahdolliset muutokset lintujen ravinnon saannissa, sekä eri lajien törmäysriskit ja näiden vaikutukset alueen lintupopulaatioille. (Ympäristöministeriö, 2016a, s. 11)

Valtioneuvoston teettämässä “Linnustovaikutusten arviointi tuulivoimarakentamisessa”- raportissa (2021) osoitetaan selkeästi, että linnustovaikutukset on selvitettävä tuulivoimahankkeiden suunnittelussa. Raportin mukaan selvitykset tulee tehdä asianmukaisilla menetelmillä, joiden avulla voidaan selvittää alueen keskeinen lajisto sekä huomioida selvityksessä kausiluonteiset ja ajalliset näkökulmat. Tuulivoimahankkeiden alueiden suuruus ja sijainti vaikuttavat tehtävien selvityksien riittävyteen yhdessä alueen erityispiirteiden kanssa. Maastohavainnoinnin tulee linnuston osalta kattaa vähintään yksi muutto- ja pesimiskausi keväästä syksyyn. Myös talviaikaiset selvitykset ovat tarpeellisia erityisesti eteläisillä merialueilla. (Ympäristöministeriö, 2016a, s. 11)

#### 4.2 Lintututkan käyttö Tahkoluodon merituulipuiston ympäristövaikutusten arvioinnissa

Suomen Hyötytuuli Oy:n Tahkoluodon merituulipuiston kaava- ja vesilupamääräyksissä edellytettiin tutka-avusteista pysäytysautomaattikkaa suojelemaan tiettyjä alueella oleskelevia lintulajeja. Lisäksi tutka on kerännyt toimiessaan laajaa tietoa alueen linnustosta ja sen käyttäytymisestä tuulivoimaloiden läheisyydessä, joten tutkan keräämää tietoa on hyödynnetty alueella meneillään olevan merituulipuistohankkeen (Tahkoluodon merituulipuiston laajennus) linnustaselvityksissä ja vaikutusten arvioinnissa. (Suuriniemi, 2022)

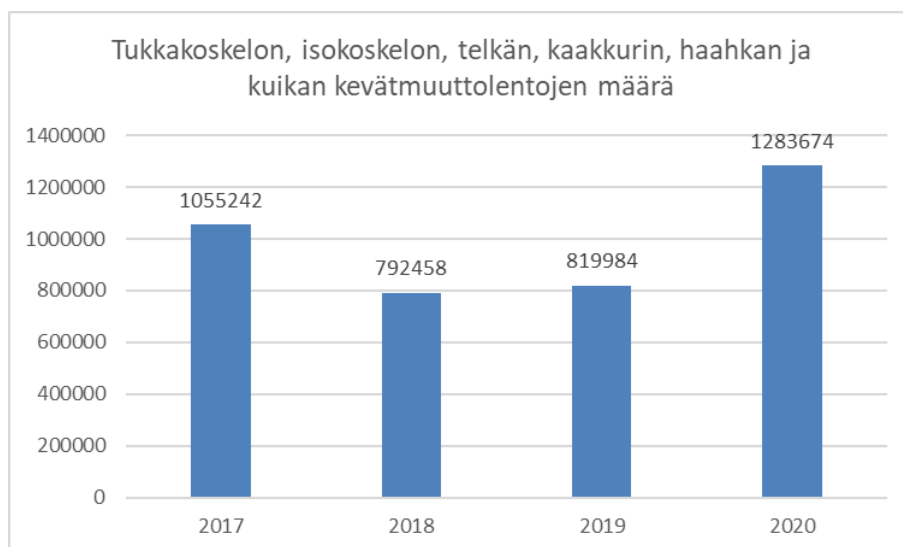
Tehdyissä linnustaselvityksissä on huomioitu ajalliset ja kausiluonteiset näkökulmat. Lintututkalla on kerätty aineistoa usean vuoden ajalta, kaikkina vuodenaikoina, minkä vuoksi alueen linnustosta on saatu mahdollisimman todennukainen kuva niin paikallisten lintuyhdyskuntien kuin muuttolintujen lentokäyttäytymisen osalta. Lintututka täyttää ajallisen ja kausiluonteisen havainnoinnin tavoitteen ja lisäksi törmäysriskit pystytään havaitsemaan ja törmäykset ennaltaehkäisemään tehokkaasti. Lintututkalla pystytään vastaamaan ympäristövaikutusten arvioinnin selvityksiin linnuston osalta tehokkaasti ja sen

lisäksi keventämään maastohavainnoinnin tarvetta tuulipuistohankkeiden suunnitteluvaiheessa huomattavasti, sillä tutkan keräämästä aineistosta pystytään tekemään todenmukaisia havaintoja, kun lentoja saadaan kerättyä tarvittavalta aikajaksolta riittävästi.

#### 4.2.1 Lintututkan pohjalta tehdyt havainnot Tahkoluodon merituulipuistossa

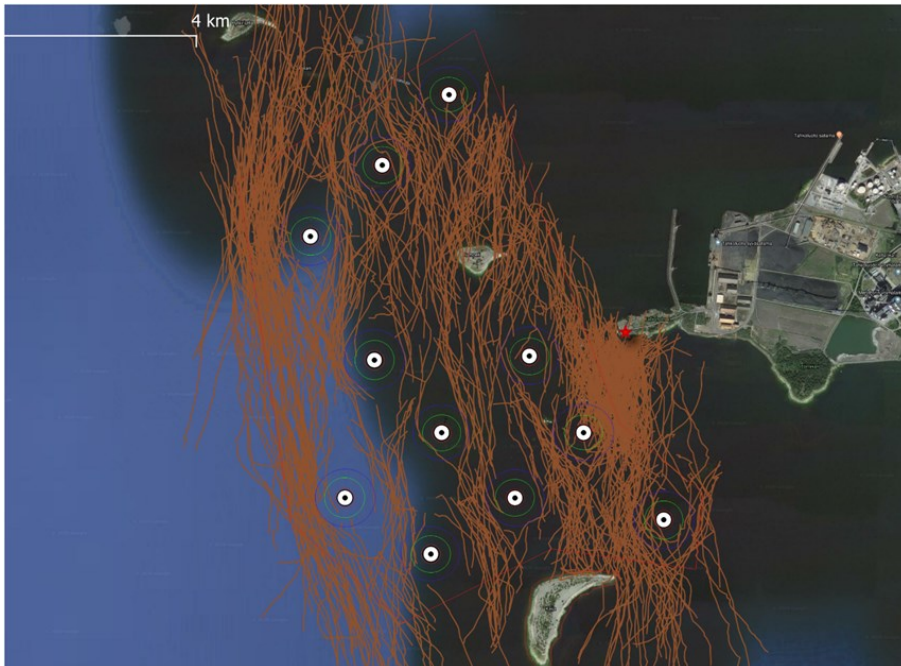
Lintututkan keräämään datan pohjalta on lintututkan käyttöajan alusta asti tehty havaintoja lintujen käyttäytymisestä Tahkoluodon tuulipuistoalueella. Tutkan keräämästä aineistosta voidaan tehdä todenmukaisia havaintoja, koska tutkan keräämän datan määrä on suuri. Havaintojen perusteella lintujen lentokäyttäytyminen alueella ei ole merkittävästi muuttunut.

Kuvaajissa käsitellään lintututkan havaintoja valittujen lajien kuikan, kaakkurin, telkän, haahkan, isokoskelon ja tukkakoskelon osalta. Luvut eivät vastaa kaikkia alueella tehtyjä havaintoja. Kuvaajissa käsitellyt havainnot koskevat vain tietyn valitun tarkastelujakson havaintoja. Opinnäytetyön kuvaajissa käytetty lintututkasta saatu aineisto on saatu opinnäytetyötä varten Suomen Hyötytuuli Oy:lta.



Kuvaaja 1. Kaikki valitun tarkastelujakson lennot vuosittain.

Valittu tarkastelujakso sisältää neljän eri vuoden kevätmuuttoajankohdat Tahkoluodon tuulivoimapuiston alueella. Havaintojen mukaan tuulipuiston rakentamisen aikana, ennen tuulipuiston valmistumista, keväällä 2017 tutkalla havaittiin valituilla rajauksilla 1 055 242 lentoa, joiden oletetaan olevan isokoskelon, tukkakoskelon, telkän, haahkan, kaakkurin ja kuikan kevätmuuttolentoja. Vuonna 2018, tuulivoimaloiden ollessa jo tuotannossa, havaittujen lentojen määrä oli 792 458. Vuoden 2019 valittujen lajien havaitut lennot ovat kasvaneet vajaalla 30 tuhannella lennolla vuoteen 2018 verrattuna, ja vuoden 2020 havainnoissa tutkan havaitsemien rajattujen muuttolentojen määrä on noussut lähes 1 300 000 lentoon. Kevätmuuttolentojen määrässä alueella ei ole tapahtunut merkittävää tuulivoimaloista johtuvaa muutosta.

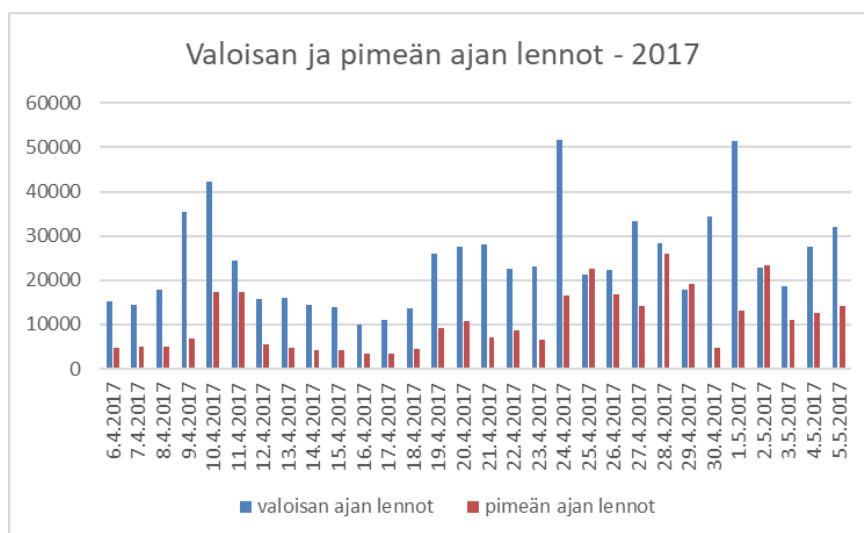


Kuva 3. Haahkaparvien kevätmuutto 2.4.2018. (Suomen Hyötytuuli, 2020)

Lintututka näyttää yksittäisen linnun reaktion tuulivoimalan kohdatessaan. Havaintojen perusteella linnut eivät välttele tuulipuistoaluetta vaan kiertävät yksittäiset tuulivoimalat. Suurin osa linnuista kiertää voimalat vähintään 100 metrin etäisyydeltä (kuva3.) (Mäkelä, 2020)

Lintututkalla tehtyjen havaintojen mukaan huomattava osa tarkastellulla aikavälillä havaituista alueen lennoista lennetään valoisaan aikaan. Tämä selittyy

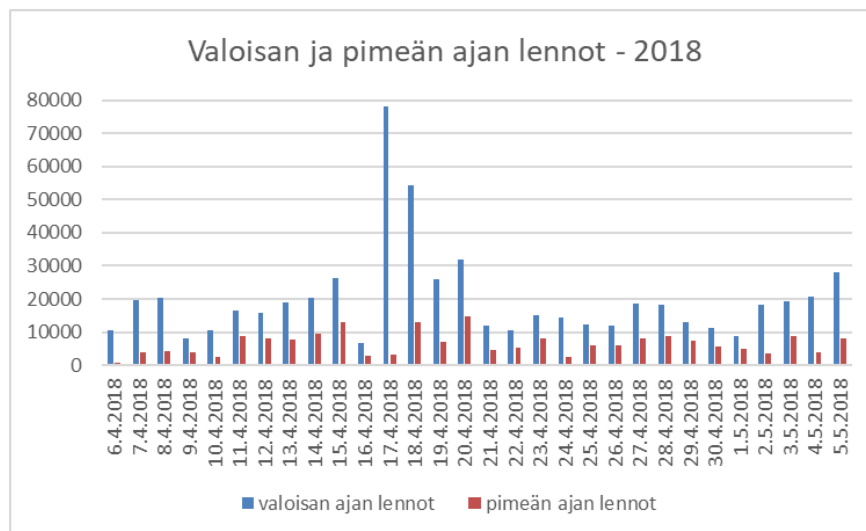
sillä, että tarkasteltavat lajit muuttavat tavallisesti valoisaan aikaan (Mäkelä, 2021). Aineistosta erottui valituilla rajauksilla myös tasainen määrä pimeän ajan lentoja, sillä rajaukset eivät poissulje täysin muiden lintulajien samat kriteerit täyttäviä lentoja. Lajin tarkempaan määrittelyyn ei riitä pelkästään lintututkan aineiston analysoiminen, vaan lintututkan aineiston tueksi tarvitaan maastohavainnoinnilla saavutettava silmämääräinen tunnistus lajista. Yksityiskohtaisempia rajauksia käyttämällä saadaan aineistosta eroteltua paremmalla todennäköisyydellä eri lajien yksilöiden lentoja. Tässä tapauksessa eroteltiin halutut lajit yhdellä kertaa dataa suodattamalla, joten rajauksina käytettiin esimerkiksi lentonopeuden osalta valittujen tarkasteltavien lajien keskinopeuksien keskiarvoa (+5 m/s).



Kuvaaja 2. Lintututkalla havaitut valoisan ja pimeän ajan lennot tarkastelujaksolta vuonna 2017.

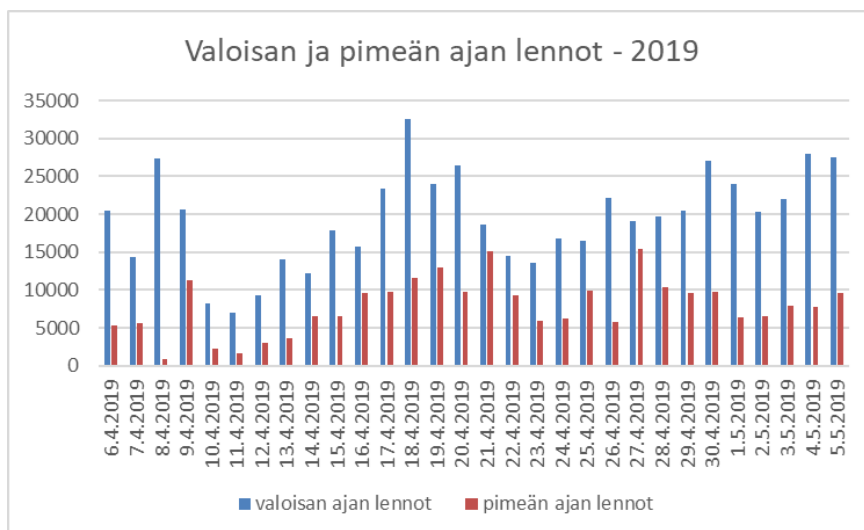
Kuvaajasta 2 voidaan havaita useamman päämuuttopäivän osuvan valitulle tarkastelujaksolle vuonna 2017. Lintututkalla havaitut lennot nousevat kymmeneen tuhansiin päämuuttopäivinä, vilkkaimpia muuttopäiviä ovat olleet 24.4 ja 1.5, jolloin lintututka on havainnut yli 50 000 lentoa. Tarkastelujakson aikana 6.4–5.5 vuonna 2017 lintututkalla havaittiin yhteensä 733 509 valoisan ajan lentoa, joka jaettuna 30 päivän ajalle tarkoittaa keskimäärin 24 450 lentoa päivässä. Pimeän ajan lentoja lintututka havaitsi yhteensä 321 733, mikä tarkoittaa keskimäärin 10 724 lentoa per yö. Yhteensä lintututka havaitsi

tarkastelujakson aikana vuonna 2017 vuorokaudessa keskimäärin 35 174 oletettuja kuikan, kaakkurin, telkän, haahkan, isokoskelon ja tukkakoskelon lentoja.



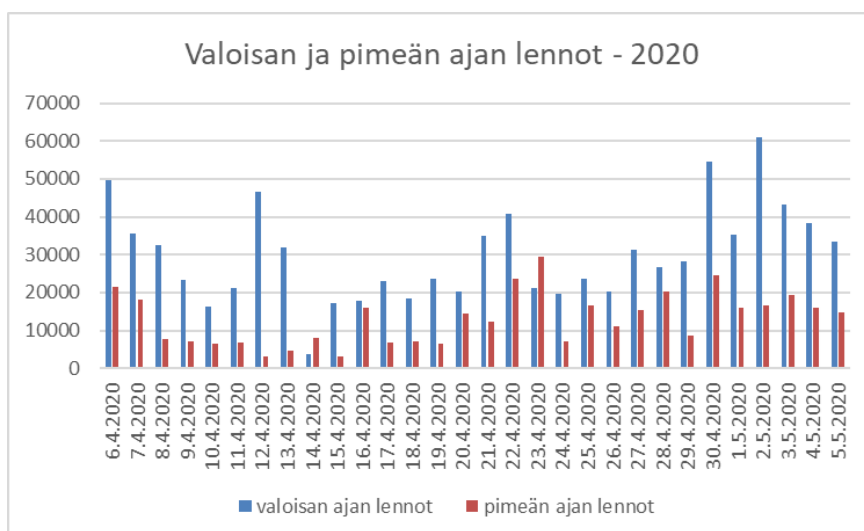
Kuvaaja 3. Lintututkalla havaitut valoisan ja pimeän ajan lennot tarkastelujaksolta vuonna 2018.

Kuvaajasta 3 huomataan, että vuoden 2018 tarkastelujaksolla päämuuttopäiviä havaittiin määrällisesti vähemmän, mutta 17.4 havaittiin lähes 80 000 ja 18.4 noin 55 000 lentoa. Yhteensä lintututkalla havaittiin vuoden 2018 tarkastelujaksolla (6.4–5.5) 597 240 valoisan ajan lentoa ja 195 218 pimeän ajan lentoa. Keskimäärin tämä tarkoittaa 19 908 lentoa päivässä ja 6507 lentoa yössä. Yhteensä vuorokaudessa havaittiin 26 415 oletettuja kuikan, kaakkurin, telkän, haahkan, isokoskelon ja tukkakoskelon lentoja.



Kuvaaja 4. Lintututkalla havaitut valoisan ja pimeän ajan lennot tarkastelujaksolta vuonna 2019.

Vuoden 2019 tarkastelujakson päämuuttopäivät eivät erotu vuoden 2018 tavoin selkeästi, vaan havaitut lennot jakaantuvat tasaisemmin tarkastelujaksolle (kuvaaja 4). Yhteensä lintututkalla havaittiin 583 906 valoisan ajan ja 236 078 pimeän ajan lentoa. Keskimäärin valoisan ajan lentoja havaittiin 19 464 päivässä ja 7869 yössä. Tämä tarkoittaa keskimääräisen vuorokaudessa havaittujen oletettujen kuikan, kaakkurin, telkän, haahkan, isokoskelon ja tukka-koskelon lentojen määrän olevan 27 333. Keskimääräinen vuorokaudessa havaittujen lentojen määrä on noussut vuodesta 2018 lähes tuhannella.

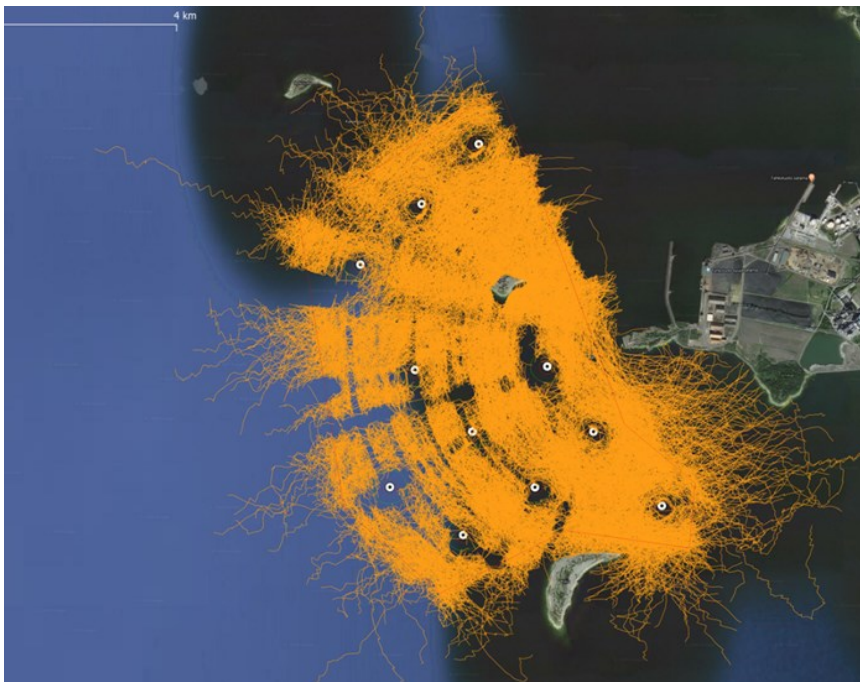


Kuvaaja 5. Lintututkan havaitsemat valoisan ja pimeän ajan lennot tarkastelujaksolta vuonna 2020.



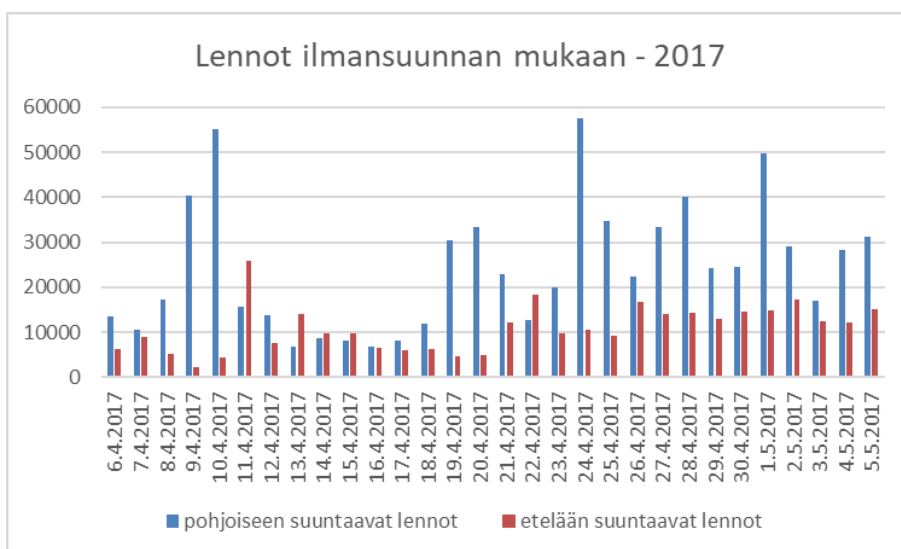
Vuoden 2020 tarkastelujaksolla päämuuttopäivät ovat selkeämpiä, ja havaittujen lentojen määrä on useampana päivänä 50 tuhannen lennon luokkaa (kuvaaja 5). Yhteensä lentoja havaittiin tarkastelujaksolla 6.4–5.5.2020 valoisaan aikaan 894 250 ja pimeään aikaan 389 424. Keskimäärin lentoja havaittiin valoisaan aikaan 29 808 ja pimeään aikaan 12 981. Yhteensä oletettuja kuikan, kaakkurin, telkän, haahkan, isokoskelon ja tukkakoskelon lentoja havaittiin keskimäärin 42 789 vuorokaudessa, mikä on yli 15 tuhatta lentoa enemmän kuin vuonna 2019. Keskimääräinen havaittujen oletettujen kuikan, kaakkurin, telkän, haahkan, isokoskelon ja tukkakoskelon lentojen määrä on vuonna 2020 noussut korkeammaksi, kuin mitä se vuonna 2017 ennen tuulipuiston käyttöönottoa on ollut.

Kuvaajista 2–5 havaitaan suurimman osan havaituista lennoista sijoittuvan valoisaan aikaan. Tämä vahvistaa osaltaan havaittujen lentojen oikeellisuutta tavoitteeseen nähden, sillä valitut lajit kuikka, haahka, kaakkuri, telkkä, isokoskelo ja tukkakoskelo muuttavat päivällä. Toisin kuin suurin osa muuttolinnuista, jotka muuttavat yöllä (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2019, s.15).



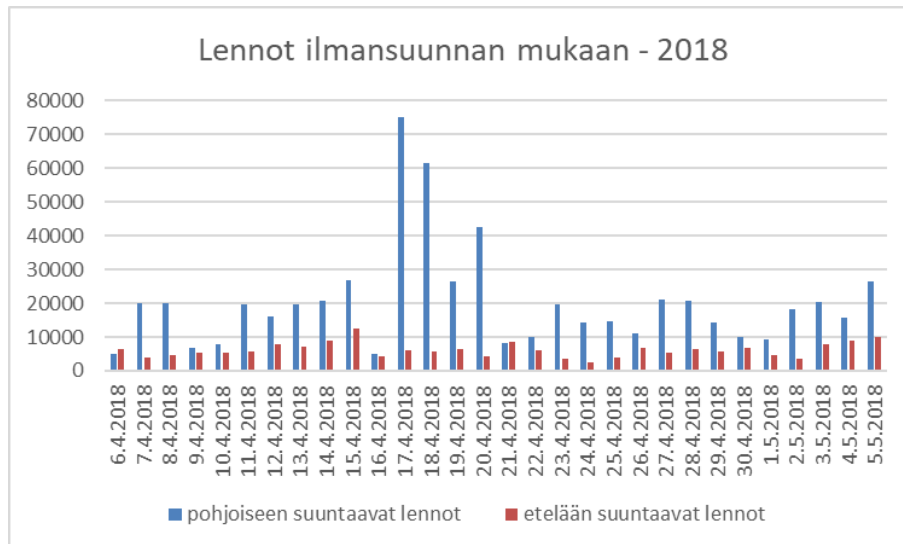
Kuva 4. Kaikki tutkan havaitsemat ”medium”- ja ”large”- kokoluokan kohteet 7.-8.5.2018 välisenä yönä. (Hyötytuuli Oy, 2020)

Valoisan ja pimeän ajan lentoja tarkastelemalla ja lentoja seuraamalla on havaittu, että vuorokaudenaika ei vaikuta lintujen lentokäyttäytymiseen tuulipuistoalueella. Aikaisemman käsityksen mukaan yömuuttajien on ajateltu olevan erityisen alttiita törmäämään erilaisiin korkeisiin rakennelmiin. Yöllä muuttavien lintujen ei kuitenkaan yleisesti ole havaittu olevan alttiimpia törmäämään tuulivoimaloihin kuin päivämuuttajienkaan. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2019, s.15) Lintututkan havaintojen pohjalta (kuva 4) valon määrä ei vaikuta lintujen kykyyn havaita ja väistää tuulivoimaloita. Linnut osaavat kiertää tuulivoimalat myös pimeään aikaan.



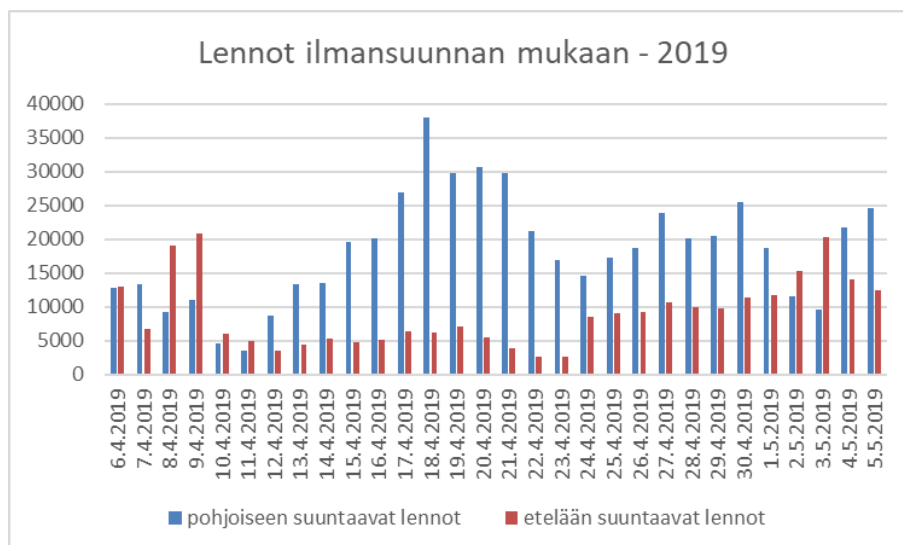
Kuvaaja 6. Lennot pohjoisen ja etelän suuntaan vuonna 2017.

Kuvaajasta 6 erotetaan selkeästi pohjoiseen suuntaavien lentojen määrien perusteella lajien päämuuttopäivät. Kuvaajan 6 mukaan päämuuttopäivinä lentojen määrä nousee vuoden 2017 tarkastelujaksolla noin 30–60 tuhanteen vuorokaudessa.



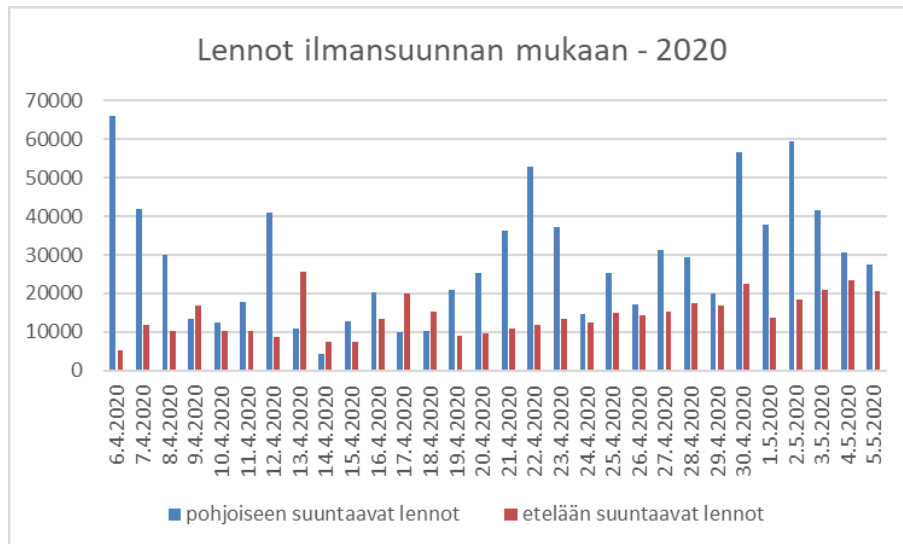
Kuvaaja 7. Lennot pohjoisen ja etelän suuntaan vuonna 2018.

Vuonna 2018 muuttolentopäiviä osui tarkastelujaksolle vain muutama (kuvaaja 7). Pohjoiseen suuntaavien lentoja havaittiin 17.4 noin 75 000 ja 18.4 yli 60 000.



Kuvaaja 8. Lennot pohjoisen ja etelän suuntaan 2019.

Kuvaajan 8 mukaan vuoden 2019 tarkastelujaksolla päämuuttopäivät jakaantuivat tasaisemmin kuin vuoden 2018 tarkastelujaksolla. Kuvaajan 8 mukaan pohjoiseen suuntaavien lentojen määrä oli suurin 18.4, jolloin lentoja havaittiin lähes 40 000.



Kuvaaja 9. Lennot pohjoisen ja etelän suuntaan vuonna 2020.

Kuvaajasta 9 voidaan havaita pohjoiseen suuntaavien lentojen määrien perusteella eri päämuuttopäivät. Valitun tarkastelujakson alussa 6.4 lentojen määrä on lähes 70 000.

Valittujen lajien kuikan, telkän, kaakkurin, haahkan, isokoskelon ja tukkakoskelon kevätmuutto suuntautuu länsirannikon ohi pohjoisen suuntaan. Kuvaajista 6–9 voidaan selkeästi erottaa valitulle ajanjaksolle osuvat päämuuttopäivät pohjoisen suuntaan havaituista lennoista. Näinä päivinä havaittujen lentojen määrä kohoaa useisiin kymmeniin tuhansiin.

Havaintojen perusteella nykyiset tuulivoimalat eivät estä lintujen liikkumista tuulipuistojen alueilla, eikä tuulipuistojen rakentaminen näin ollen ole katkaisut valtakunnallisesti tärkeitä lintujen päämuuttoreittejä edes lintumuuton pulonkaula-alueilla, sillä tuulivoimalat sijoittuvat etäälle toisistaan. Toteutettujen selvitysten perusteella lintujen törmäykset tuulivoimaloihin ovat jääneet selvästi hankkeiden suunnitteluvaiheessa arvioitua vähäisemmiksi. (Suomen Tuulivoimayhdistys, n.d.)

#### 4.3 Lintututkan mahdollisuudet tulevaisuudessa

Lintututka on tehokas työkalu ympäristövaikutusten arvioimisessa linnuston osalta hankkeiden suunnitteluvaiheessa. Hankkeiden edistyttyä tuotannossa

oleviksi tuulivoimapuistoiksi saadaan lintututkasta lähinnä arvokasta tietoa alueen linnustosta ja tuulivoimaloiden vaikutuksesta siihen. Tietyn ajanjakson havainnoinnin jälkeen ei lintututka enää hyödytä hanketta, joten olisi ekologisesti ja taloudellisesti kannattavaa hyödyntää samaa lintututkaa useammassa hankkeessa ympäristövaikutusten arvioinnin työkaluna. Liikuteltava lintututka mahdollistaa lintututkan käyttämisen muillekin paikkakunnille suunnitteilla olevien hankkeiden ympäristövaikutusten arvioinnissa linnuston osalta hankehitysvaiheessa. Käytännössä tämä vaatisi muutoksia lintututkaan ja sen jaluksaan. Lintututkan modifioiminen muiden hankkeiden käyttöön vaatisi lisäksi kustannuksia niin tekniikan kuin henkilöstön osalta.

#### 4.4 Lintututkajärjestelmän haasteet

Lintututka on tehokas menetelmä linnuston lentokäyttäytymisen seurannassa tuulivoima-alueilla. Sen toimintaan liittyy kuitenkin myös sen tehokkuutta heikentäviä tekijöitä.

##### 4.4.1 Tuulivoimaloiden vaikutus tutkajärjestelmään

”Tutkan häiriötön toiminta edellyttää, että sen lähettämän lähes suoraviivaisesti etenevän radioaallon etenemistiellä ei ole esteitä sen matkalla tutkasta kohteelle ja takaisin. Mahdolliset esteet aiheuttavat harhahavaintoja ja todellisten kohteiden havaintokyvyn heikkenemistä.” (Valtioneuvosto, 2021, s.134)

Tuulivoimaloiden vaikutusta tutkien toimintaan on tutkittu aluevalvonnan näkökulmasta aikaisemmin. Ensiötutkan kohteesta heijastuva pulssimainen signaali on yleensä hyvin heikko pidemmällä havaintoetäisyyksillä. Lisäksi on todettu, että tutkaheijastuksia syntyy tuulivoimalan lavoista, tornista ja konehuoneesta. ”Jos voimalat sijaitsevat lähellä tutkaa (alle 30 km), voivat niiden heijastukset olla niin voimakkaita, että ne aiheuttavat tutkan vastaanottimessa kylästäymistä eli saturaatiota, joka häiritsee tutkan signaalinkäsittelyä. Myös voimakkaiden heijastusten takia tuulivoimaloiden yläpuolella olevien pienempien kohteiden havaintokyky saattaa heikentyä ... Tuulivoimaloiden lapojen

pyöriminen aiheuttaa saman tyyppisen ilmiön kuin liikkuva kohde (tutkasignaalin Doppler-siirtymä), jolloin tuulivoimala saatetaan sekoittaa sen lähistöllä liikkuvaan kohteeseen tai ainakin se saattaa häiritä kohteen näkyvyyttä ja seurantaan.” (Valtioneuvosto, 2021, s.135–136)

Tahkoluodon tuulipuiston laidalla olevan lintututkan suunnittelussa ja sijoittelussa on otettu huomioon vieressä olevat tuulivoimalat. Tuulivoimaloiden haitallisuutta vähentää se, että niiden tarkat sijainnit tiedetään. Lintututkajärjestelmä sijaitsee sataman vieressä, joten myös ohikulkevat alukset saattavat aiheuttaa häiriösignaaleja. Nämä haittasignaalit eivät vaikuta tutkajärjestelmän toimintaan, sillä ne saadaan helposti suodatettua datasta. Lintujen lennot erottuvat selkeästi yksittäisistä signaaleista. (Niemi, 2021)

#### 4.4.2 Lintututkasta saadun datan rajaaminen

Yhtenä haasteena on lintututkajärjestelmän keräämän datan prosessointi, datan valtavan määrän vuoksi. Neljän ja puolen vuoden tarkastelujaksolla datatiedoston suuruus on 1,4 TB, joka vastaa yli 500 miljoonaa lentoa. Kerätyn datan läpikäyminen ja rajaaminen aineiston analysointia varten vie aikaa ja resursseja. Tällä hetkellä datan prosessointia suoritetaan yhdessä Tampereen yliopiston kanssa (Mäkelä, 2020).

Lisäksi haasteena on datan rajaaminen. Aineiston hyödyntämisen kannalta on välttämätöntä pystyä rajaamaan valtavasta lintututkan tuottamasta datasta yksityiskohtaisia suodattimia käyttämällä aineistoa. Valitut rajaukset tulee valita huolellisesti ja mahdollisimman yksityiskohtaisesti, sillä ne saattavat suodattaa pois myös aineistoon tavoiteltua sisältöä. Esimerkiksi ajankohdan rajaaminen tietylle aikavälille saattaa suodattaa pois tavoitellun lajin muuttopäiviä, sillä päämuuttopäivät eivät ole lajeilla vuosittain samat, vaan vaihtelevat sään ja vuodenajan etenemisen mukaan.

Toisaalta valitut rajaukset saattavat mahdollistaa myös päinvastaisen tilanteen. Lintujen lentokäyttäytyminen saattaa olla osittain hyvin samanlaista eri

lajeilla, ja se voi vaikuttaa tavoitellun aineiston sisältöön. Tämä aiheuttaa epävarmuutta eri lajiryhmien ja lajien erottamisessa. Esimerkiksi eri lokkilajit on vaikeaa erottaa tutkan antamasta aineistosta, sillä niiden lentokäyttäytyminen on samankaltaista keskenään. (Mäkelä, 2020) Mahdollisimman tarkat ja yksityiskohtaiset rajaukset edesauttavat mahdollisimman totuudenmukaisen aineiston muodostumista.

## 5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoite oli tarkastella Suomen Hyötytuuli Oy:n Tahkoluodossa sijaitsevan lintututkan hyödyntämistä tuulivoimarakentamisen ympäristövaikutusten arvioinnissa ja sen edellyttämässä selvityksissä linnustovaikutusten osalta. Lisäksi tavoitteena oli perehtyä lintututkasta saatuun aineistoon pyrkimällä rajaamaan datasta kuikan, telkän, kaakkurin, haahkan, isokoskelon ja tukkakoskelon kevätmuuttolentoja tutkan vaikutusalueella Tahkoluodon merituulipuistossa.

Tuulivoimarakentamista ohjataan luonnonsuojelusopimuksien lisäksi laeilla kuten luonnonsuojelulaki, ympäristönsuojelulaki, vesilaki ja YVA-laki, sekä ohjeistuksilla, kuten Ympäristöministeriön julkaisema ”Tuulivoimarakentamisen suunnittelu”, joiden tavoitteena on suojella lintuja ja minimoida tuulivoiman vaikutukset paikallisiin sekä muuttaviin lintuihin (Ympäristöministeriö, 2016b, s. 48–53). Selvitettäessä linnuston kannalta tuulivoimarakentamiseen soveltuvia alueita on suunnittelun lähtökohtana lakisääteiset rajoitukset. Tavoitteena on saada alueen linnustosta mahdollisimman todenmukainen kuva, joten maast selvityksiä voi olla tarpeen tehdä kaikkina vuodenaikoina. ”Linnustovaikutusten arviointi tuulivoimarakentamisessa”-ohjeistuksen mukaan (s. 11) linnustovaikutusten arviointia varten määritellään vaikutusalueen laajuus ja

arvioidaan paikallisten olojen merkitys, sekä alueen merkitys linnustoarvojen kannalta.

Tahkoluodon merituulipuiston linnustaselvityksissä käytettiin menetelmänä Tahkoluodon merituulipuiston alueelle asennettua lintututkaa, joka otettiin käyttöön keväällä 2016 ennen tuulipuiston rakennustöitä. Lintututkalla seurattiin lintujen käyttäytymistä alueella jo ennen tuulipuiston käyttöönottoa, sen rakennustöiden aikana ja myöhemmin tuulivoimaloiden tuotannon aikana. Lisäksi lintututkalla saatiin tehokkaasti huomioitua linnustovaikutusten arvioinnissa kausiluonteinen ja ajallinen näkökulma, sillä lintututka toimii ympärivuorokautisesti. Ympäristöministeriön julkaiseman ”Linnustovaikutusten arviointi tuulivoimarakentamisessa”- ohjeistuksen mukaan (s.11) ympäristövaikutusten arvioinnissa maastohavainnoinnin tulee linnuston osalta kattaa vähintään yksi muutto- ja pesimiskausi kevästä syksyyn. Lisäksi talviaikaiset selvitykset ovat tarpeellisia erityisesti eteläisillä merialueilla. Alueella toteutettiin lintututkan toiminnan lisäksi myös maastohavainnointia. Selvitysten tavoitteena on saada mahdollisimman todenmukainen käsitys alueen tilanteesta, joten selvityksiä tulee tehdä kaikkina vuodenaikoina.

Opinnäytetyössä perehdyttiin lintututkasta saatavan aineiston hyödyntämisen mahdollisuuksiin rajaamalla lintututkan keräämästä aineistosta kuikan, telkän, kaakkurin, haahkan, isokoskelon ja tukkakoskelon kevätmuuttolennot vuosien 2016 ja 2020 väliseltä ajalta. Rajauksina käytettiin tarkasteltavaa ajanjaksoa ja ajanjaksojen määrää, vuorokaudenaikaa, lentonopeutta, linnun kokoa, lentoradan pituutta sekä lentoradan suuntaa. Näiden rajausten avulla saatiin lintututkan tuottamasta datasta eroteltua aineisto, jota voitiin hyödyntää havaintojen tekemiseen.

Aineistosta saatiin erotettua pimeän ja valoisan ajan lennot, joita vertailemalla voitiin todeta rajatun aineiston vastaavan odotuksia. Valitut lajit: kuikka, telkkä, kaakkuri, haahka, isokoskelo ja tukkakoskelo muuttavat valoisaan aikaan, ja suurin osa aineiston lennoista osui kyseiselle ajanjaksolle. Tuotetuista kuvajista voitiin selkeästi havaita lajien päämuuttopäivät, jolloin lentojen määrä nousi kymmeneen tuhansiin vuorokaudessa. Lisäksi aineistosta voitiin havaita,



että vuosien 2018 ja 2019 aikana valittujen lajien muuttolentojen määrä laski vuodesta 2017, mutta vuonna 2020 muuttolentojen määrä oli korkeimmillaan. Tulosten perusteella voidaan päätellä, että tuulivoima-alue ei ole vaikuttanut merkittävästi valittujen lajien lentokäyttäytymiseen. Havaintojen mukaan tarkasteltujen lajien yksilöt eivät välttele tuulivoima-aluetta, eivätkä muuta sen vuoksi muuttoreittiään. Sen sijaan linnut kiertävät yksittäiset voimalat alueen sisällä onnistuneesti.

Selvityksen mukaan lintututka soveltuu tuulivoimarakentamisen ympäristövaikutusten arvioinnissa edellytettyjen selvitysten menetelmäksi. Lintututkalla saadaan kerättyä arvokasta tietoa alueen linnustosta koko tuulivoimaloiden elinkaaren ajan.

## LÄHTEET

Birdlife Suomi. (2014a). Lintujen päämuuttoreitit Suomessa. <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BFA98FD1F-987F-4546-84F7-93BDC1F0CE06%7D/100332>

Birdlife Suomi. (2014b). Lintujen päämuuttoreitit Suomessa: karttaliite. <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B31868315-3213-4C2E-ADB6-75A7BBF693F2%7D/100333>

Birdlife Suomi. (n.d.). Tuulivoima ja linnut. Haettu 15.1.2022 osoitteesta <https://www.birdlife.fi/suojelu/vaikuttaminen/tuulivoima/>

Marjamäki, P. 2017. Järjestelmäkameran ohjaus 3D- tutkan koordinaattitiedon perusteella [diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto]. Trepo. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tyy-201711092130>

Motiva. (29.7.2021). Tuulivoimalat ja linnut. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uu-siutuva\\_energia/tuulivoima/tuulivoiman\\_ymparisto- ja\\_muut\\_vaikutukset/tuulivoimalat\\_ja\\_linnut](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uu-siutuva_energia/tuulivoima/tuulivoiman_ymparisto- ja_muut_vaikutukset/tuulivoimalat_ja_linnut)

Mäkelä, P. (21.9.2021). Henkilökohtainen keskustelu Suomen Hyötytuuli Oy:n ympäristöinsinöörin, Petteri Mäkelän, kanssa.

Mäkelä, P. (2020). Bird radar project in Tahkoluoto windfarm [PowerPoint-diat]. Suomen Hyötytuuli Oy.

Niemi, J. (3.9.2021). Henkilökohtainen keskustelu Suomen Hyötytuuli Oy:n asiantuntijan, Juha Niemen, kanssa.

Suomen Hyötytuuli Oy. (n.d.). Lintututka. Haettu 18.1.2021 osoitteesta <https://hyotytuuli.fi/merituulivoima/lintututka/>

Suomen Tuulivoimayhdistys. (n.d.). Vaikutukset eläimistöön ja kasvillisuuteen. Haettu 15.2.2022 osoitteesta <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoiman-vaikutukset/tuulivoiman-ymparistovaikutukset/vaikutukset-elaimistoon-ja-kasvillisuuteen>

Suuriniemi, M. (13.4.2022). Henkilökohtainen keskustelu Suomen Hyötytuuli Oy:n hankekehityspäällikön, Miia Suuriniemen, kanssa.

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2017). Kirjallisuusselvitys tuulivoimaloiden vaikutuksista linnustoon ja lepakoihin. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-228-6>

Valtioneuvosto. (2021). Tuulivoimarakentamisen edistäminen: Keinoja sujuvaan hankekehitykseen ja eri tavoitteiden yhteensovitukseen. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-354-8>

Ympäristöministeriö. (2016a). Linnustovaikutusten arviointi tuulivoimarakentamisessa. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4624-4>

Ympäristöministeriö. (2016b). Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4634-3>

Suomen uhanalaiset lintulajit (Suomen lintujen uhanalaisuus 2015)

CR = Äärimmäisen uhanalainen

EN = erittäin uhanalainen

VU = vaarantunut

Kiljuhanhi CR	Niittysuohaukka EN
Haarahaukka CR	Piekana EN
Kiljukotka CR	Pikkuhuiitti EN
Tunturihaukka CR	Nokikana EN
Suokukko CR	Pikkusirri EN
Heinäkurppa CR	Lapinsirri EN
Rantakurvi CR	Merisirri EN
Mustatiira CR	Etelänsuosirri EN
Turturikyyhky CR	Mustapyrstökuiri EN
Tunturipöllö CR	Karikukko EN
Kuningaskalastaja CR	Selkälökki EN
Tunturikiuru CR	Pikkutiira EN
Kultasirkku CR	Etelänkiisla EN
	Riskilä EN
Pikku-uikku EN	Turkinkyyhky EN
Mustakurkku-uikku EN	Huuhkaja EN
Jouhisorsa EN	Räystäspääsky EN
Heinätaivi EN	Sitruunavästäräkki EN
Punasotka EN	Sepelrastas EN
Tukkasotka EN	Ruokosirkkalintu EN
Lapasotka EN	Pussitiainen EN
Pilkkasiipi EN	Kuhankeittäjä EN
Tukkakoskelo EN	Vuorihemppo EN
Mehiläishaukka EN	Pulmunen EN
Arosuohaukka EN	Peltosirkku EN

Metsähanhi VU

Ristisorsa VU

Haapana VU

Haahka VU

Isokoskelo VU

Merikotka VU

Sinisuohaukka VU

Hiirihaukka VU

Maakotka VU

Muuttohaukka VU

Riekko VU

Viiriäinen VU

Liejukana VU

Keräkurmitsa VU

Taivaanvuohi VU

Punajalkaviklo VU

Lampiviklo VU

Vesipääsky VU

Naurulokki VU

Tervapääsky VU

Valkoselkätikka VU

Kangaskiuru VU

Törmöpääsky VU

Lapinkirvinen VU

Virtavästäräkki VU

Koskikara VU

Rastaskerttunen VU

Pikkukultarinta VU

Kirjokerttu VU

Lapinuunilintu VU

Viiksitimali VU

Hömötiainen VU

Töyhtötiainen VU

Pähkinänakkeli VU

Varpunen VU

Viherpeippo VU

Punatulkku VU

Pajusirkku VU

Yhdyskunnissa pesivät lintulajit

Merimetso

Harmaahaikara

Haahka

Naurulokki

Kalalokki

Harmaalokki

Selkälokki

Pikkulokki

Kalatiira

Lapintiira

Räyskä

Riskilä

Etelänkiisla

Ruokki

Törmäpääsky

## LIITE 3

Esimerkkejä lintulajeista, jotka kokoontuvat tietyille ruokailu-, poikueiden kerääntymis- ja talvehtimispaikoille.

lintulaji	ruokailu, pesivät lajit	ruokailu, läpimuuttavat lajit	poikueiden kerääntyminen	talvehtiminen
merimetso	x			
kyhmyjoutsen	x			x
laulujoutsen	x	x		x
pikkujoutsen		x		
tundrahanhi		x		
kiljuhanhi		x		
metsähanhi	x	x		
merihanhi	x		x	
kanadanhanhi	x		x	
valkopesikihanhi	x	x	x	
sepelhanhi		x		
sinisorsa	x		x	
haapana	x			
tavi	x			
lapasotka	x	x		x
tukkasotka	x		x	x
haahka	x		x	x
allihaahka				x
mustalintu		x		x
pilkkihiisi		x		x
alli		x		x
telkkä	x		x	x
uivelo	x			x
isokoskelo	x		x	x
tukkakoskelo	x		x	x
teeri	x			x
kurki	x	x		
pikkulokki	x	x		
sepelkyyhky	x			
monet kahlaajat	x	x		
varpuslinnut / rastaat ja peippolinnut	x			