

TARTU ÜLIKOOL
ÖKOLOOGIA JA MAATEADUSTE INSTITUUT
ZOOLOOGIA OSAKOND
LOOMAÖKOLOOGIA ÕPPETOOL

Lola Link

MAISMAA TUULEPARKIDE MÕJU LINDUDELE

Bakalaureusetöö

12 EAP

Juhendaja: Marko Mägi PhD

Tartu 2023

Infoleht

Maismaa tuuleparkide mõju lindudele

Rohelise energia tootmine on aastatega muutunud populaarsemaks ning tuuleenergia on üks levinumaid taastuvenergia allikaid. Ehkki tuuleenergia tootmine on fossiilkütustest keskkonnasõbralikum, on ka sellel omad varjuküljed – tuulepargid võivad oluliselt mõjutada elusloodust, eriti nahkhiiri ja linde. Tulenevalt rohepöördest ja arvukate tuuleparkide rajamisest on oluline arvestada nendega kaasnevaid ohutegureid ja rakendada meetmeid, et vältida lindude hukkumist. Bakalaureusetöö eesmärk on uurida, kuidas vähendada maismaa tuuleparkide mõju lindudele ning kuidas ja milliseid leevendusmeetmeid rakendada Eestis. Selleks kogutakse kokku olemasolev teave tuuleparkide mõju kohta ning uuritakse võimalusi nende mõju vähendamiseks.

Märksõnad: maismaa tuulepark, linnud, tuugen

CERCS: B280 Loomaökoloogia

Abstract

The impact of onshore windparks on birds

The production of green energy, particularly wind energy, has become increasingly popular in recent years. While generating wind energy is much more environmentally friendly than using fossil fuels, it still has its downsides. Wind farms can significantly affect wildlife, particularly bats and birds. With the rise of green energy production and the construction of numerous wind parks, it is important to consider the associated risks and implement appropriate measures to prevent bird fatalities. The aim of this bachelor's thesis is to investigate how to reduce the impact of onshore wind parks on birds and what mitigation measures to implement in Estonia. To achieve this goal, existing information on the impact of wind parks will be collected, and options for reducing this impact will be explored.

Keywords: onshore wind park, birds, wind turbine

CERCS: B280 Animal ecology

Sisukord

Infoleht.....	2
Sisukord.....	3
1. Sissejuhatus.....	5
2. Tuugeni otsene mõju lindudele.....	7
2.1. Tuugeni otsene mõju lindudele: kokkupõrked.....	7
2.1.1. Kokkupõrkeid mõjutavad tegurid.....	7
2.1.2. Ohustatud linnud.....	8
2.1.2.1. Lendamiskäitumine.....	9
2.1.2.2. Füsioloogia.....	9
2.1.2.3. Morfoloogia.....	10
2.1.2.4. Liigid.....	10
2.2 Tuugeni otsene mõju lindudele: lahendused.....	11
2.2.1. Tuugeni asukoht.....	11
2.2.2. Tuugeni ehitus.....	12
2.2.3 Tuugeni rootori pöörlemiskiirus ja tööaeg.....	13
2.2.4. Valgustid tuugeni labadel.....	14
2.2.5. Rootori labade värvimine.....	15
3. Tuuleparkide mõju lindude ökoloogiale ja füsioloogiale.....	17
3.1. Mõju lindude ökoloogiale.....	17
3.1.1. Muutused lindude elupaikades.....	17
3.2. Mõju lindude füsioloogiale.....	19
3.2.1. Muutused lindude lennus.....	19
3.2.2. Stressireaktsioon lindudel.....	20
3.2.2.1. Tuulepargi potentsiaalne mõju lindude kortikosterooni tasemele.....	20
3.2.2.2. Kõrgema kortikosterooni taseme mõju lindudele.....	21
3.2.3. Lindude sigimisedukus.....	22
3.2.4. Kommunikatsiooni häiringud.....	23

4. Tähelepanekud Eesti oludes.....	25
4.1. Ohustatud linnud Eestis.....	25
4.2. Kuhu rajada tuulepark Eestis?.....	26
4.3. Soovitused tuulepargi rajamiseks.....	28
5. Arutelu.....	30
Kokkuvõte.....	33
Summary.....	34
Tänuavaldused.....	35
Kasutatud allikad.....	36
Internetiallikad.....	43
Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks.....	45

1. Sissejuhatus

Kuigi tuuleenergia tootmine on tunduvalt keskkonnasõbralikum kui fossiilkütuste tarbimine, on ka sellel kõrvalmõjud elustikule. Kõige ohtlikumad on tuulepargid nahkhiirtele ja lindudele (Thaxter *et al.*, 2017). USA's läbiviidud uuringus selgus, et tuulepargid võivad aastas tappa kokku kuni 328 000 lindu (Loss *et al.*, 2013). Lisaks ohustavad tuulepargid mitmeid linnuliike, kelle ökoloogiline taust võib olla erinev. Lõuna-Aafrikas leiti, et tuulikud tapsid isendeid 130-st liigist, kes olid omakorda 42-st perekonnast (Perold *et al.*, 2020).

Välja on käidud nn pingerida teguritest, mis ohustavad linde kõige enam, kusjuures nii mere kui ka maismaa tuulepargid paigutuvad selles viiendale kohale (Internet 1). Kuigi eelnevad faktorid on kordades ohtlikumad lindudele, on siiski oluline rääkida ka tuugenite mõjust (Internet 1). Seda seetõttu, et rohepöörde tulemusena rajatakse tuuleparke hoogsalt juurde, kuid kui ei arvestata tuuleparkide rajamisega kaasnevat ohutegureid ega rakendata vastavaid leevendusi, suureneks ka lindude suremus. Seda kinnitab ka Loss *et al.* (2013) hinnang, kus leiti, et USA's hukub maismaa tuuleparkide tõttu 140 000 - 328 000 lindu, kui aga tuuleparkide tootmisvõimsus kuuekordistuks, siis suureneks lindude suremus hüppeliselt 1,4 miljoni linnuni.

Aastatega on roheenergia tootmine muutunud aina atraktiivsemaks ning üheks populaarsemaks taastuvenergia ressursiks on tuul, millest energia tootmisel ei teki otsest õhu- ega pinnasereostust (Hamed *et al.*, 2022) ning see ei vaja töötamiseks peaaegu üldse vett (Internet 2). Samuti toodetakse vähem kui aastaga tagasi see energia, mis kulub tuuleturbiini (tuugeni) ehitamiseks (Internet 2). Lisaks on tuuleparkide rajamine tänu tehnoloogia arengule muutunud odavamaks ja seetõttu ka konkurentsijõulisemaks (Internet 3).

Üle maailma on rajatud mitmeid tuuleparke, mida leidub nii maismaal kui ka avamerel. Aastal 2021 olid suurimad tuuleenergia tootjad Hiina, USA, Saksamaa ja India (Power Technology, 2022). Sama aasta lõpuks oli maailma tuuleelektrijaamade koguvõimsus 873 GW, millest 94 GW oli selle aasta juurdekasv. Eeldatakse, et aastaks 2026 on lisandunud praegustele süsteemidele 557 GW võimsust (Global Wind Energy Council, 2022).

Ka Eestis on tuuleenergia tootmine aktuaalne. Eestis on hetkel 145 tuugenit ning taotletakse ka uute tuuleparkide ehituslubasid (Internet 4). Siinsed tuugenid moodustavad 51% Eesti taastuvelektri tootmisvõimsusest (Internet 5).

Töös uuritakse olemasolevate – eelkõige Euroopas ja Põhja-Ameerikas läbiviidud – teadustööde põhjal, kuidas mõjutavad maismaa tuulepargid linde. Eesmärgiks on teada saada, millised on tuuleenergia tootmise kõrvalmõjud lindudele ning kas neid on võimalik ennetada, vähendada või vältida. Lisaks uuritakse mida peaks Eesti linnustikku ja olusid arvestades silmas pidama.

2. Tuugenite otsene mõju lindudele

Otsese mõju all mõistetakse enamasti lindude kokkupõrkeid tuugenitega – linnud lendavad vastu rootorit, rootori labasid või tuugeni masti. Samuti võivad linde ohustada erinevad juhtkaablid, elektriliinid ja meteoroloogilised mastid, mis on paigaldatud tuuleparkide jaoks (Drewitt & Langston, 2008). Seega tuleks tuuleparkide mõju hindamiseks arvestada mitte ainult tuugenite, vaid ka tuuleparkidega kaasuva taristuga. Lisaks on leitud, et tuugeni rootori tekitatud turbulents võib häirida lindude lendu, surudes neid rohkem maad ligi (Drewitt & Langston, 2008; Santos *et al.*, 2022).

Rydell *et al.* (2017) koostatud ülevaateuuringust leiti, et keskmiselt tapab aastas üks tuugen 5–10 lindu. Saadud tulemust ei saa aga kõikidele tuugenitele üldistada, kuna leidub ka tuugeneid, kus ei huku ühtegi lindu, kuid on ka selliseid, kus võib hukkuda kuni 60 lindu aastas (Drewitt & Langston, 2008; Rydell *et al.*, 2017). Sellist suurt kõikumist mõjutavad mitmed tegurid: tuulepargi asukoht, tuugeni ehitus ja lindude ökoloogia.

2.1. Tuugeni otsene mõju lindudele: kokkupõrked

2.1.1. Kokkupõrkeid mõjutavad tegurid

Nagu eelnevalt mainitud, võivad mõned tuugenid ja tuulepargid ohustada paljusi linde, kuid mõned mitte ühtegi. Järgnevalt käsitlen tegureid, mis võivad tuugeni lindudele ohtlikumaks muuta.

Olulisteks faktoriteks on eelkõige tuugeni kohaspetsiifilised tunnused. Lindudele on kõige ohtlikumad tuugenid, mis asuvad veekogude, märgalade (Drewitt & Langston, 2008; Rydell *et al.*, 2017), pesitsuspaikade või peamiste rändeteede lähistel (Drewitt & Langston, 2008). Sellistel aladel kohtab linde sagedamini – nendel territooriumitel linnud pesitsevad, puhkavad, söövad ja joovad – ning seetõttu ei ole sinna tuuleparkide rajamine lindude seisukohast mõistlik. Pesitsuspaikades on lisaks täiskasvanud isenditele ohus ka linnupojad, kes on lendama õppides ohualtid. Lisaks võib kokkupõrgete risk suureneda tuugenite puhul, mis on rajatud mäenõlvadele või järsakutele (Drewitt & Langston, 2008; Rydell *et al.*, 2017). Sellises asukohas on tuugenid ohuks linnuliikidele – röövlindudele näiteks kaljukotkale (*Aquila chrysaetos*) –, kes kasutavad lennukõrguse saavutamiseks tõusvat õhuvoolu, mis tekib õhu liikumisel üle mägede või kõrgendikega (Duerr *et al.*, 2012).

Enne tuuleparkide rajamist tuleks eelnevalt uurida läheduses pesitsevate või talvituvate lindude arvukust, liigirikkust ja ökoloogiat. Seda põhjusel, et erinevatele linnuliikidele võivad tuugenid mõjuda erinevalt. Liigid, kes on häiringutele tundlikumad võivad oma elupaigad nende tõttu hüljata. Seevastu aga liigid, kes nii tundlikud ei ole, ei pruugi ohtu hoomata ning lendavad rootori või masti vastu.

Lisaks kõigele mängib kokkupõrgete juures rolli ka ilm ja aastaaeg (st kas on pesitsusperiood, rändeperiood jne). Suremus on kõrgem rändeperioodil ning kokkupõrke tõenäosust suurendab udu, vihma- või lumesadu (Drewitt & Langston, 2008).

2.1.2. Ohustatud linnud

Tuulepargi ohtlikkus erineb linnuliigiti – lisaks eelmainitud teguritele sõltub tuugenite mõju linnuliikide omadustest. See oleneb eelkõige lendamiskäitumisest, füsioloogiast ning üleüldiselt liigi ökoloogiast või morfoloogiast.

Üldiselt on täheldatud, et öise eluviisiga linnuliigid on suuremas kokkupõrkeohus (Drewitt & Langston, 2008; Everaert, 2014). Öine eluviis erinevatel linnuliikidel (Eestis näiteks mitmetel värvulistel (*Passeriformes*) rände ajal) suurendab kokkupõrke tõenäosust, kuna tegutsetakse pimedas, kui nähtavus on halvem (Drewitt & Langston, 2008). Seda veel enam, kui tuugenile on paigaldatud valgustus, siis võib see halva nähtavuse korral häirida lindude orienteerumist ning nad segadusse ajada (Drewitt & Langston, 2008; Scotland's Nature Agency, 2020). Linnuliigid (näiteks paljud röövlinnud), kes pole nii tundlikud tuugenite suhtes, on julgemad ning lendavad nendele lähemale ja on seetõttu suuremas ohus (Rydell *et al.*, 2017; Thaxter *et al.*, 2017).

Rändlindude puhul on aga jõutud erinevate arvamusteni. On näidatud, et rändlinnud võivad olla ohus, kuna rändeteel läbivad nad mitmeid tuuleparke, mis omakorda tõstab riski kokku põrgata tuugeniga (Schippers *et al.*, 2020). Kuid on leitud ka vastupidist – on uuringuid, mis viitavad asjaolule, et tuuleparkide läheduses olevad liigid on suuremas ohus. Näiteks täheldati Katzner *et al* (2012) läbiviidud uuringus, et paiksetel kaljukotka isenditel on kokkupõrke oht suurem kui rändel olevatel isenditel. See võib tuleneda sellest, et tuulepargi läheduses olevad isendid puutuvad tuugenitega sagedamini kokku ning lendavad madalamal kõrgusel kui sama liigi rändel olevad isendid (Katzner *et al.*, 2012).

2.1.2.1. Lendamiskäitumine

Paljud linnud (näiteks pistrikulised (*Falconiformes*), haukalised (*Accipitridae*) ja laululinnud (*Passeri*)) on ohus, kuna neile on omane iseloomulik lennupilt (ingl *areal displaying behaviour*) – nendeks võivad olla näiteks keerukad lennumustrid, manöövrid, erinevate kehaosade kasutamine visuaalseks demonstratsiooniks jms (Drewitt & Langston, 2008). Lisaks on välja toodud, et purilendu tegevad ning tiirutavad linnud on samuti suuremas ohus tuugeniga kokkupõrkamisel (Marques *et al.*, 2014). Lendamiskäitumise juures on oluliseks faktoriks ka linnu lendamiskõrgus. Läbivaks on arusaam, et linnud, kes lendavad tuugenilabadega samal kõrgusel on eelkõige kokkupõrkealtimad (Katzner *et al.*, 2012; Everaert, 2014; Linder *et al.*, 2022).

Lisaks eelnevalt mainitud nüanssidele lindude lendamiskäitumises, saab veel rääkida ka parvlemisest, mida on uuritud seoses elektriliinidega. Tulemused näitasid, et üksi tegutsevad linnud olid vähem ohualtid kui parvedes lendavad linnud (Janss, 2000). Tulemuste ülekandmisel tuleb olla aga ettevaatlik, kuna mõned liigid võivad olla ohustatud elektriliinide, kuid mitte tuugenite poolt.

2.1.2.2. Füsioloogia

Uuritud on ka lindude erinevusi nende silma anatoomias ning on leitud, et teatud linnuliikidel on eelsoodumused kokkupõrgeteks. Lindude nägemine – nägemisulatus ja -teravus – varieerub liigiti, mis tähendab, et osadel liikidel esineb ulatuslik pimeala (Bevanger, 1994). Näiteks on Bevanger (1994) leidnud, et elektriliinidega on kokkupõrkealtimad linnuliigid, kellel on hea binokulaarne nägemine, kuid halvem perifeerne nägemine (näiteks teatud röövlinnud) või linnuliigid, kelle silma fovea pole nii välja arenenud (näiteks mõned kanalised (*Galliformes*)). Kuigi eelnev täheldus käis elektriliinide kohta, ei ole välistatud, et sama ei või kehtida ka tuugenite puhul. Lisaks on suuremas ohus linnud, kes süüa otsides alla vaatavad, kuna selline käitumus jätab lennusuuna täielikult pimealasse (Marques *et al.*, 2014).

Röövlindude puhul on leitud positiivne korrelatsioon tuugeni kauguse ja ajaga, mis kulub allavaatamiseks (Linder *et al.*, 2022). See seos oli aga märkimisväärselt nõrgem lindude puhul, kes lendasid ohutsoonis ehk rootori labade pöörlemiseala lähedal (ingl *rotor zone*). Seega võiks sellest järeldada, et ohutsoonis lendavad linnud ei väldi tuugenit nii tõhusalt ja on seetõttu suuremas kokkupõrkeohus (Linder *et al.*, 2022).

2.1.2.3. Morfoloogia

Kokkupõrke riski määramisel mängivad rolli ka morfoloogilised tunnused. On näidatud, et suurema kehasuurusega linnud, lennates rootoriga samal kõrgusel, on isegi sugukonnasiseselt ohultamad (Everaert, 2014).

Samuti on lindudel, kelle tiivad on lühemad ja laiemad ning keha kogukam (näiteks suurtrapp (*Otis tarda*) ja väiketrap (Tetrax tetrax)), raskem lennates manööverdada ning seetõttu võib risk kokkupõrkamiseks suurened (Janss, 2000).

Veel on leitud, et liikidel, kelle tiiva eripind (ingl *wing loading*) ehk kehakaalu ja tiiva pindala suhe on suurem (näiteks rööv- ja laululinnud), on suurem risk kokkupõrgeteks (Janss, 2000; Marques *et al.*, 2014). Seda seetõttu, et suuremat tiiva eripinda on seostatud halvema manööverdamisvõimega ning seega ei pruugi linnud ettesattuvatest objektidest kiiresti kõrvale põigata (Marques *et al.*, 2014).

2.1.2.4. Liigid

Mitmed allikad on jõudnud järeldusele, et peamiselt mõjutavad tuugenid suuri röövlindude (De Lucas *et al.*, 2008; Hunt & Watson, 2016; Thaxter *et al.*, 2017). Nad on ohustatud eelkõige kehasuuruse, lendamisstiili, kehvema perifeerse nägemise ja madalama häirimistundlikkuse tõttu. Röövlindude puhul on oluline märkida, et nad on pikema eluea ja madalama paljunemisedukusega kui teised väiksemad linnud ehk iga isendi suhteline roll populatsiooni säilimises on suurem.

Röövlindudest on mitmetes uuringutes kajastatud järgmised liigid: kaljukotkas, punasaba-viu *Buteo jamaicensis*, ameerika tuuletallaja (*Falco sparverius*), koopakakk (*Athene cunicularia*), merikotkas (*Haliaeetus albicilla*), kaeluskotkas (*Gyps fulvus*), tuuletallaja (*Falco tinnunculus*) jt (Drewitt & Langston, 2008; Rydell *et al.*, 2017). Euroopa uuringutest on selgunud erinevalt USA tehtutest, et merikotkad on märkimisväärselt rohkem mõjutatud tuuleparkidest kui kaljukotkad (Rydell *et al.*, 2017).

Lisaks röövlindudele on mitmed uuringud näidanud, et laululinnud on suuremas ohus (Rydell *et al.*, 2017). Erinevalt röövlindudest on nende sigimiskiirus ja arvukus suurem ning see võib olla ka põhjuseks, miks on nende kokkupõrked tuugenitega nii sagedased. Kuldnokk (*Sturnus vulgaris*), väiketiir (*Sternula albifrons*), jõgitiir (*Sterna hirundo*), sookiur (*Anthus pratensis*), hallvares (*Corvus cornix*), tikutaja (*Gallinago gallinago*) – ka

need linnuliigid on läbivalt esile toodud töödes, mis uurivad tuugenite mõju lindudele (Drewitt & Langston, 2008; Zimmerling *et al.*, 2013; May *et al.*, 2020).

2.2 Tuugeni otsene mõju lindudele: lahendused

Eelnevalt käsitletud probleeme on täheldatud ning välja on käidud ka lahendusi, kuidas mõju vähendada. Leevendusmeetmeid on erinevaid ja parandada annaks mitmeid aspekte – alustades tuuleparkide asukohast, lõpetades pisidetailidega (näiteks tuugenil olevate tulede värviga).

2.2.1. Tuugeni asukoht

Uuringute põhjal on ohutumate tuuleparkide asukohtadeks peamiselt lagendikud (Rydell *et al.*, 2017). Nagu ka eelnevalt mainitud, on kõige ohtlikumad paigad, kuhu tuulepark rajada, märgalade, lindude pesitsupaikade või veekogude lähedal. Seega tuleks tuulepargid rajada sellistest tulipunktidest kaugemale. Täpsemalt leidsid Miao *et al* (2019), kui ehitada tuugen vähemalt 1600 meetri kaugusele alast, kus on lindude suur tihedus, muutub selle mõju lindudele peaaegu olematuks. Samuti nagu eelnevas peatükis räägitud, on ohtlikuks kohaks ka järsakud ja mäenõlvad. Paigutades tuugenid mäest/järsakust eemale või mäe tuulealusele küljele, väheneb kokkupõrkeoht, eriti röövlindudele (Drewitt & Langston, 2008; Marques *et al.*, 2014; Rydell *et al.*, 2017).

Tuuleparkide siseselt tuleks samuti jälgida, kuidas tuugeneid paigutada. Tuleks vältida laialivalguvat struktuuri ning pigem püstitada tuugenid võimalikult üksteise lähedale (Drewitt & Langston, 2008). See elimineerib tuuleparkides selliste vahekäikude tekke, mis julgustaks linde tuugenite vahel lendama. Mida rohkem lähestikku on tuugenid tuulepargis, seda tõenäolisemalt lendavad linnud nendest mööda või üle, mitte ei hakka nende vahel seiklema. Siinkohal tuleks märkida, et kõige optimaalsemaks tuugenite paigutuseks on tuulepark, mis koosneb tuugenite klastritest, mille vahele on jäetud nn lendamiskoridorid (Drewitt & Langston, 2006; Powlesland, 2009). Muuseas peaks veel jälgima tuugeni orientatsiooni. Püstitades tuugenid paralleelselt lindude lendamistrajektooriga, väheneb samuti kokkupõrkeoht (Drewitt & Langston, 2008).

Tuuleparkide planeerimisel peaks ka tähelepanu pöörama pinnasele, kuhu see rajatakse. Pinnas mõjutab imetajate ja putukate liigilist koosseisu ning sellest tulenevalt on mõjutatud ka lindude toiduvalik. Näiteks võiks püstitada tuugenid pinnasele, mis ei

soodusta uruloomade elu, sest vastasel juhul muudaks see ala röövlindudele atraktiivseks, seades nad ohtu (Pescador *et al.*, 2019). Lisaks meelitab röövlinde ligi ka tuugenite läheduses asetsevad kivihunnikud, mis pakuvad varju väiksematele imetajatele (Drewitt & Langston, 2008). Samuti rohttaimede eemaldamine tuugenite lähedusest vähendab putukate olemasolu ja seeläbi röövlindude ja pistrikuliste esinemist alal (Pescador *et al.*, 2019). Siinkohal on tarvilik märkida, et lindude perspektiivist võib tegemist olla tõhusa lahendusega, kuid teised elustikurühmad on samuti olulised. Taimkatte eemaldamine ja seeläbi alal putukate ja/või teiste elusorganismide vähenemine mõjutab ka teisi kooslusi. Seega tuleks tuulepargi rajamisel arvestada pinnasega, kuid täielikult rohttaimede eemaldamine ettevaatusabinõuna ei ole eriti optimaalne. Eelkõige tuleks hoiduda sellisest pinnasest, mis on lindudele atraktiivne või leida mõni muu lahendus – näiteks rajada sobivam toitumisala tuulepargist eemale, mis meelitaks linde pigem sinna, mitte tuulepargi lähedusse.

2.2.2. Tuugeni ehitus

Mitmetes uuringutes on linde mõjutava faktorina välja toodud ka tuugeni ehitus. Siinkohal ühtset lahendust välja ei saa pakkuda, kuna erinevad uuringud pole jõudnud samade tulemusteni.

Enamasti ollakse siiski üksmeelel, et tuugenid, mille rootorilabad on pikemad, on lindudele ohtlikumad (Drewitt & Langston, 2008; Miao *et al.*, 2019). Kuid tuugeni pikkuse mõju osas on jõutud vastakate tulemusteni. On uuringuid, mille tulemuste kohaselt tuugeni kõrguse suurenedes suureneb ka lindude suremus (De Lucas, 2008; Loss *et al.*, 2013; Rydell *et al.*, 2017), kuid on väidetud ka vastupidist ehk kõrguse suurenedes väheneb lindude suremus (Miao *et al.*, 2019). Lisaks leidub uuringuid, mis ütlevad, et tuugeni kõrgusel ei ole mingit olulist mõju lindude suremusele (Everaert, 2014). Siinkohal võib eeldada, et tuugeni kõrguse mõju on kooskõlas liikidega, kes neid kohtavad. Kui tuulepargiga puutuvad kokku linnud, kes lendavad kõrgemal, siis peaks püstitama tuugenid, mille rootor poleks nii kõrgel, et see linnu trajektoorile ette jääks. Kui aga tuulepargi ümbruses leidub linde, kes lendavad pigem madalal, siis oleks loogiline rajada tuulepark, mille tuugeni rootorid oleksid piisavalt kõrgel, et linnud saaksid vajadusel rootori labade alt läbi lennata. Eelnev järeldus põhineb eeldusel, et rootorilabad ei pikeneks – kui tuugeni kõrguse suurenedes pikeneksid ka rootorilabad, siis alumine ohutsoon ei vähene ja kokkupõrkeohu suureneb.

Samuti toodi Rydell *et al* (2017) ülevaateuuringus välja, et elektri tootmisvõimsuse suurenedes hakkab lindude suremus tuugeni suuruse kasvades vähenema – uued võimsamad ja kõrgemad tuugenid, mis asendavad vanu väiksemaid, avaldavad lindudele väiksemat mõju.

2.2.3 Tuugeni rootori pöörlemiskiirus ja tööaeg

Lindude kokkupõrked olenevad ka tuugeni rootori pöörlemiskiirusest ja tööajast. Varasemalt on jõutud järeldusele, et nii nagu inimestel, esineb ka lindudel selline nähtus nagu liikumishägusus (ingl *motion smear, motion blur*). See tähendab, et mida lähemale jõuab lind tuugenile, seda rohkem suureneb ka lähenevate rootorilabade kujutise kiirus võrkkestal ning suureneb piirini, kus infot ei suudeta rohkem töödelda. Sellise fenomeni tõttu muutub laba nn nähtamatuks, piirkonda tõlgendatakse kui ohutut ja lind lendab otse rootorisse (Hodos, 2003).

Rootori pöörlemiskiiruse puhul ei saa välja tuua ühte kõige õigemat vastust. Kuigi varasemalt on näidatud, et suurema pöörlemiskiirusega tuugenite puhul on lindude suremus kõrgem, siis tuleb lisaks arvesse võtta ka tuugeni kõrgust, rootori suurust ja diameetrit (Thelander *et al.*, 2003).

Näiteks on leitud, et tuugenid, mille labad on lühemad, kuid suurema pöörlemiskiirusega (üle 60 pöörde minutis), on lindudele ohtlikumad kui tuugenid, mille labad on pikemad ja kiirus aeglasem (15-30 pööret minutis) (Powlesland, 2009). See võib tuleneda sellest, et pikemad labad on lindudele paremini nähtavad ja aeglasemal kiirusel labasi on kergem eristada. Eelnevaga kooskõlas on ka varasemalt mudelrootoril leitu, et rootor, mille kiirust saab reguleerida ning mille diameeter on suurem, on ohutum lindudele (Tucker, 1996). Samuti rootori tippkiirus oli negatiivses korrelatsioonis saadud ohutuseindeksiga (Tucker, 1996).

Üks tõhusamatest viisidest tuugenite põhjustatud lindude hukkumise vähendamiseks on selle tööaja reguleerimine: tuugeni rootor seisatakse olukordades, kui tekib lindudele ohtlik olukord. Seda võiks rakendada eelkõige tuuleparkides, mis jäävad lindude rändeteedele – eriti ebasoodsate ilmastikutingimuste ja halva nähtavuse korral (Marques *et al.*, 2014). Lisaks leidsid De Lucas *et al* (2012), et tuugeni tööaja reguleerimine aitas vähendada kokkupõrkeid lindudega poole võrra. Kusjuures tuugeni tööaja piiramisel energiatoodang vähenes minimaalselt – vaid 0,07%.

2.2.4. Valgustid tuugeni labadel

Paljudele tuugeni labadele on paigutatud tuled, mis on eelkõige mõeldud vältimaks kokkupõrkeid lennukitega. Samas saab neid kasutada ka lindude peletamiseks. Siinkohal peab aga tegema väga teadliku valiku, sest mitte kõik ja igasugune valgus ei peleta linde – see võib hoopis neid ligi meelitada.

Põhjuseid, miks tehisvalgus linde segadusse ajab ja potentsiaalselt ligi meelitab, on välja käidud mitmeid. Peamiselt arvatakse, et linnud võivad lennata valgusallikate poole, et parandada oma nägemist halbades oludes (näiteks rasketes ilmastikutingimustes) (Adams *et al.*, 2021). Samuti on välja käidud teooria, et kunstlik valgus (eelkõige punast värvi valgus) häirib lindude ühte tähtsamat orienteerumismehhanismi, milleks on magnetiline kompass (Scotland's Nature Agency, 2020; Adams *et al.*, 2021). Lisaks võib liiga intensiivne valgus suurendada kokkupõrke riski, kuna see meelitab ligi erinevaid putukaid, kellest omakorda paljud linnuliigid toituvad (Drewitt & Langston, 2008).

Varasemalt on välja pakutud, et linde mõjutab peamiselt see, kas valgus vilgub või mitte, valgusallika värvus on sekundaarne (May *et al.*, 2017; Scotland's Nature Agency, 2020). Enamasti on täheldatud, et vahetades välja tuled, mis põlevad pidevalt, hoopis katkendliku või vilkuva valgustusega, väheneb ka lindude suremus (Scotland's Nature Agency, 2020). Mida pikem on valgussähvatuste vahe, seda vähem meelitab objekt linde enda poole (Drewitt & Langston, 2008).

Lisaks valgusrežiimile on oluline valgusti puhul ka valguse intensiivsus. Kui valgusti on liiga intensiivne, siis meelitab see linde rohkem enda poole – eriti kui on halvad ilmastikutingimused ja nähtavus halb. Seda seetõttu, et intensiivne valgus võib linde pimestada, pleegitades visuaalseid pigmente ning ajades linnu segadusse (Gauthreaux & Belser, 2006). Varasemas uuringus on leitud, et valgustamata tuuleparkides, on lindude suremus madalam kui valgustatud tuuleparkides. Soovitatud on ka vähendada tuledes valgusintensiivsus 2000 kandelalt 200 kandelale, kuid välitingimustes seda katsetatud veel pole (Scotland's Nature Agency, 2020). Mitmetest uuringutest on selgunud, et kasutades ehitistel valget värvi tulesid, väheneb lindude lendamisaktiivsus nende lähedal (Gauthreaux & Belser, 2006; Scotland's Nature Agency, 2020).

Lisaks on lindudel tetrakromaatiline nägemine – see tähendab, et lindudel on nelja erinevat tüüpi kolvikesi ja nad suudavad näha ultravioletvalgust (Cuthill, 2000). Seega on oletatud,

et lindude hoiatamiseks võiks kasutada ka UV-valgust (May *et al.*, 2017; Scotland's Nature Agency, 2020). Selle mõju varieerub aga liigiti, kuna mõnedel lindudel on UVS-kolvikesed (ingl. k. *ultraviolet-sensitive cones*) tundlikumad kui teistel (May *et al.*, 2017). Näiteks nii kajakalised kui ka värvulised on UV-valguse suhtes väga tundlikud, kuid röövlindudel ja kakulistel on UV-valguse tundlikkus madalam ning on tundlikud hoopis violetse spektri suhtes. Sellest hoolimata leidsid May *et al* (2017) pilootuuringus, et lindude lendamisaktiivsus vähenes valgustatud alas, kui ultravioletvalgus töötas (May *et al.*, 2017).

Tulesid vajaks eelkõige kõrged tuugenid – madalad tuugenid, mille kõrgus on alla 150 m, lindude hoiatamiseks valgustust isegi ei vajaks (Scotland's Nature Agency, 2020). Kui aga valgusteid kasutada, tuleks lindude eemale peletamiseks võtta kasutusse vilkuvad tuled, mille valgussähvatuuste intervall oleks minutis minimaalne ning mille valgus oleks kõige madalamal intensiivsusel. Samuti võib kasutada ultravioletvalgust, kuid hoiatamiseks ei pruugi see universaalselt kõikidel linnuliikidel toimida (Drewitt & Langston, 2008). Punased tuled tuleks vahetada valge või rohelise valguse vastu, kuna punast tuld on seostatud lindude magnetkompassi häirumisega (Scotland's Nature Agency, 2020).

2.2.5. Rootori labade värvimine

Hodos (2003) viis läbi katse, mille tulemuseks sooviti välja töötada meetod, kuidas oleks võimalik linde visuaalselt hoiatada. Katses kasutati rootori labadel erinevaid värve ja mustreid ning neid testiti erinevatel taustadel. Katsealusteks isenditeks olid ameerika tuuletallajad. Leiti, et kõige paremini olid nähtavad rootorid, mille üks laba kolmest oli värvitud üleni mustaks või mille kõigil kolmel labal oli peenetriibuline muster. Ühe laba mustaks värvimisel täheldati aga, et erinevatel taustadel oli sellise mustriga nähtavus võrreldes teistest parem. Varieeruvus erinevate värvide ja musta vahel oli statistiliselt ebaoluline. Seega oleks praktikas kõige optimaalsem värvida rootori üks laba mustaks, kuna see oleks kõige tõhusam ja ka kuluefektiivsem (Hodos, 2003).

Kuna Hodose (2003) katse viidi läbi laboritingimustes, siis panid May *et al* (2020) selle hüpoteesi proovile ka looduslikus keskkonnas. Katse viidi läbi Norras aastatel 2006–2016, mille käigus koguti andmeid hukkunud lindudest. Leiti, et kui värvida tuugeni rootori üks labadest mustaks, langeb lindude aastane suremuskordaja kuni 70%.

Nagu ka eelnevalt mainitud, siis ohustavad tuugenid kõige rohkem suuremaid röövlindude. Rootori laba mustaks värvimine tuli eelkõige kasuks röövlindudele. Enne rootori laba mustaks värvimist leiti kuus merikotka laipa samade tuugenite juurest. Pärast värvimist ei tuvastatud aga mitte ühtegi kokkupõrget merikotkastega (May *et al.*, 2020).

3. Tuuleparkide mõju lindude ökoloogiale ja füsioloogiale

Lisaks eelnevalt käsitletud otsesest mõjust lindudele, avaldavad tuulepargid mõju ka lindude ökoloogiale ja füsioloogiale. Enamasti on täheldatud muutusi lindude elupaikades, lennukäitumises, stressivastustes ja sigimisedukuses. Tuuleparkidest tingitud stress avaldub füsioloogiliselt: võib pärssida lendamist, sigivust ja kommunikatsiooni. Eelnevalt mainitu tõttu halveneb omakorda ka isendi ellujäämus ja kohasus.

Need muutused on aga üpriski liigispetsiifilised ja olenevad eelkõige lindude vältimiskäitumisest. Täpsemalt linnud, kellel vältimiskäitumine nii silmatorkavalt ei väljendu, lendavad vastu tuugeneid sagedamini. Samuti ei ole nende puhul nii suuri muutusi eelnevalt nimetatud aspektides. Seevastu aga linnud, kes on tundlikumad erinevatele häiringutele, hoiavad tuugenitest eemale ja seeläbi on rohkem mõjutatud ka nende ökoloogia ja füsioloogia. Tähendab lindude vältimiskäitumisest tulenevalt väheneb ka varasemate elupaikade kasutus, mida enne tuulepargi rajamist kasutati näiteks pesitsus-, puhke-, söömis- või joomispaigana.

Vältimiskäitumise puhul saab lindudel eristada makro-vältimist (ingl *macro-avoidance*) ning mikro-vältimist (ingl *micro-avoidance*). Makro-vältimine tähendab lennutrajektoori muutmist, et hoiduda tervest tuulepargist, mikro-vältimine on aga tuuleparkide siseselt üksikute tuugenite vältimine (Marques *et al.*, 2014).

3.1. Mõju lindude ökoloogiale

3.1.1. Muutused lindude elupaikades

Tuugenite püstitamise võib lisaks otsesele mõjule kaasa tuua ka muutusi lindude elupaikades. Tuuleparkide rajamisel ehitatakse ehitusplatse, teid, elektriliine ning muud taristut, mis toovad lindude (ja ka loomade) elupaikadesse olulisi muutusi. Sellistest muutustest tulenevalt lindude (ja loomade) elupaikade kasutus väheneb või lõppeb sootuks – sellega kaasnevad ka olulised muutused populatsioonides.

Elupaikade muutuste juures on oluline nende killustumine, mis tekib pärast tuulepargi rajamist. Killustumise mõju on liigispetsiifiline, kuna leidub ka linnuliike, kes ei ole maa-ala killustumisele eriti tundlikud (näiteks mõned generalistid kuldnokk, koduvarblane (*Passer domesticus*)) (Ramiadantsoa *et al.*, 2018).

Küll aga liigid, kes eelistavad suuremal maal tegutseda, on tugevalt mõjutatud elupaikade killustumisest. Üldiselt on killustunud elupaikadega seotud elupaikade kadumine, servaeftid, isolatsioon ja kiskjate suurenenud arvukus (Campbell & Johns, 2008). Killustunud maa-ala tähendab, et ühtse elupaiga kogupindala on kahanenud ja elupaikade eraldatus on suurenenud. Seda kasutavad aga kiskjad – eelkõige hea kohanemisvõimega loomad, näiteks rebased, rotid, varesed jt – edukalt ära, süües linnupoegi ja mune (Campbell & Johns, 2008). Näiteks on preeriapüü *Tympanuchus cupido* puhul näidatud, et killustunud elupaikades oli nende pesade ellujäämus väiksem (McNew *et al.*, 2014). Seda eeskätt just kiskjate suurenenud arvu tõttu killustunud aladel – kiskjad hävitasid 70% pesadest (McNew *et al.*, 2014).

Mitmed uuringud on näidanud, et tuuleparkide rajamine mõjutab lindude elupaikade kasutust. Igl & Buhl (2016) näitasid USA's läbiviidud uuringus, et tuulepargid mõjutavad põllulindude arvukust enamasti negatiivselt. Uuriti lühiajalisi (muutused ühe aasta vältel) ning pikaajalisi (muutused pärast esimest aastat) mõjusid, mille tulemused näitasid, et lühiajaliselt oli elupaiga kasutus vähenenud kolmel liigil üheksast ning pikaajaliselt seitsmel liigil üheksast (Igl & Buhl, 2016).

Ka Sansom *et al* (2016) täheldasid pärast tuulepargi rajamist lindudel vähenenud elupaiga kasutust. Täpsemalt vaatlesid nad Šotimaal pesitsevaid rannikulinde. Uuringu tulemused näitasid, et rannikuala, kuhu tuulepark oli rajatud, leidis lindude hulgas märgatavalt vähem kasutust kui kontrollalad. Veel leiti, et ala, mis jäi tuulepargist 400 meetri raadiusesse, oli kõige vähem kasutuses (Sansom *et al.*, 2016). Lisaks põllu- ja rannikulindudele on sama asjaolu märgatud ka röövlindude, hanede, ja partide puhul (Hötker *et al.*, 2006).

On ka teadusartikleid, mis ei ole tuvastanud lindude vähenenud elupaiga kasutust pärast tuuleparkide rajamist. Uurides samuti rannikulinde, Bai *et al* (2021) osade liikide puhul arvukuse langust ei täheldanud. Vähenes veisehaigru (*Bubulcus ibis*) populatsioon, kuid siidhaigru (*Egretta garzetta*) ja ööhaigru (*Nycticorax nycticorax*) arvukus ei muutunud (Bai *et al.*, 2021). Seega on mõju liigispetsiifiline ning taaskord tuleb rõhutada asjaolu, et enne tuulepargi rajamist tuleks keskenduda liikidele, kes ala lähistel pesitsevad.

3.2. Mõju lindude füsioloogiale

3.2.1. Muutused lindude lennus

Tuuleparkide rajamine võib oluliselt mõjutada ka lindude lendamiskäitumist, tekitades barjääriefekti. Muutused võivad ilmned nii rändlennus kui ka liigile omases lendamiskäitumises.

Tuulepargid, mis jäävad lindude rändeteedele, võivad muuta nende lennutrajektoori. On leitud, et linnud kohandavad lennutrajektoori vältimaks tuuleparke – mõned liigid rohkem kui teised (Masden *et al.*, 2009). Näiteks leiti, et eelkõige mõjutas tuulepargi rajamine hahkasid (*Somateria mollissima*). Enne tuulepargi rajamist lendasid linnud ida-lääne suunal, kuid pärast tuulepargi rajamist kirde-edela suunas. Uuringust leiti, et energiakulu, mis kulub lindudel tuuleparkide vältimiseks, ei ole statistiliselt oluline ning olulisem on ebasoodsate ilmastikutingimuste mõju (näiteks tugev tuul) (Masden *et al.*, 2009). Olenemata sellest tuleks siiski tuuleparkide rajamisel ja laiendamisel olla ettevaatlik, kuna nende mõju lindude lennule võib kumuleeruda ja muuta varem ebaolulised tulemused oluliseks.

Eelnev tulemus on saadud uurides meretuuleparke, kuid ei ole välistatud, et tulemust ei saa üle kanda maismaa tuuleparkidele. Adekvaatsete järelduste tegemiseks tuleks aga arvestada linnuliikidele omase vältimiskäitumisega. Kui maismaale ehitatava tuulepargi läheduses toimetavad linnud, kellel on eelnevalt mainitud linnuliikidele sarnane vältimiskäitumine, võiks arvesse võtta ka meretuuleparkide kohta tehtud uuringud. Ideaalis oleks aga vaja maismaa tuuleparke rohkem uurida.

Hinnates tuuleparkide mõju lindude rändele, rõhutatakse vajadust arvestada ka rände ruumilise ja ajalise varieeruvusega. Välja on käidud mudelipõhine lähenemine, et tuvastada piirkonnad, kuhu linnud kõige tõenäolisemalt rände ajal koonduvad ning kus tuugenid võivad neid kõige rohkem mõjutada (Liechti *et al.*, 2013). Eelkõige on mudeliga näidatud, et tuugenid avaldavad erinevatele liikidele ja teatud aastaegadel erinevat mõju (Liechti *et al.*, 2013).

Nagu ka eelnevalt mainitud, võib lisaks lindude rändeteede muutustele olla mõjutatud ka nende igapäevane lendamiskäitumine. Partide ja hanede puhul on leitud, et vähem kui 1% lendab nendest tuugenile piisavalt lähedale, et olla kokkupõrkeohus (Desholm & Kahlert,

2005). Täheandab, neil on välja kujunenud vältimiskäitumine, mis eeldab lennutrajektoori muutmist ja/või pikendamist. Ka röövlindude lendamist uurides on täheldatud, et tuugenitele lähenedes nad muudavad vastavalt oma lendamiskõrgust – kõrgemaks või madalamaks –, mis omakorda viitab jällegi vältimiskäitumisele (Linder *et al.*, 2022). Ka rannikulindudel on vältimiskäitumine, langetades lennukõrgust tuugenite läheduses (Bai *et al.*, 2021). Samuti lehvitasid linnud tiibu tuugenite läheduses rohkem, mis viitab, et nad on adapteerunud tuugenite mõjutatud õhuvooluga. Sellised muutused lindude lendamiskäitumises võivad potentsiaalselt muuta lennutrajektoore ja suurendada energiakulu (Bai *et al.*, 2021).

Nagu varasemalt mainitud, mõjutab lindude lendu tuugeni rootorilabade pöörlemisel tekkinud turbulents, mis võib tugevamate õhukeeriste tõttu tekitada lennus ebastabiilsust (Santos *et al.*, 2022). Muutused lennus võivad omakorda viia lendamismustrite häirumise või isegi kokkupõrgeteni. Taaskord hakkavad linnud suure tõenäosusega selliseid piirkondi vältima, mis tähendab pikemat lennutrajektoori ja sellega suurenenud energiakulu.

3.2.2. Stressireaktsioon lindudel

Mitmed uuringud on näidanud, et inimtegevusest tulenevad häiringud (näiteks müra, tehisvalgus, inimeste kohalolu, elupaikade kadu jne) on seotud lindudel kõrgenenud stressitaseme näitajatega (Nephew *et al.*, 2003; Müller *et al.*, 2006; Bonier, 2012; Bicudo *et al.*, 2020). Siinkohal tuleb jällegi märkida, et see asjaolu võib olla isendispetsiifiline (Cockrem & Silverin, 2002; Cockrem, 2007). Täheandab, tugevam stressivastus häiringutele on isenditel, kes on iseloomult pigem arad ja neile on omane vältimiskäitumine, kui isenditel, kes on julgemad (Cockrem & Silverin, 2002; Cockrem, 2007).

3.2.2.1. Tuulepargi potentsiaalne mõju lindude kortikosterooni tasemele

Hetkel ei ole veel läbi viidud ammendavaid uuringuid, mis vaataksid otseselt seoseid maismaa tuuleparkide ja lindude stressitasemete näitajate vahel. Siiski leidub teadustõid, mille põhjal võiks eeldada, et tuuleparkidest tulenevad häiringud võivad tekitada lindudel stressi.

On näidatud, et teatud auditoorsed ja visuaalsed häiringud – mis võivad kaasuda ka tuuleparkide ja nende rajamisega – tõstavad lindudel kortikosterooni (CORT) taset. Kortikosteroon on hormoon, mis on lindude stressitaseme indikaator. Auditorsete

hääringute mõju lindudele on käsitletud Blickley *et al* (2012) uuring, mille tulemused viitasid asjaolule, et maagaasi kaevandamisel tekkiv müra avaldab pujupüüle (*Centrocercus urophasianus*) negatiivset mõju. Mürarikkas keskkonnas pesitsenud lindudel täheldati suuremat CORTi taset. Lisaks toodi töös välja, et eksperimendis kasutatud häirivad helid on sarnased teiste inimtekkeliste müraallikatega (näiteks tuugenid, maanteed jne). Seega järeldasid artikli autorid, et müra mõju on palju laialdasem ja mõjutab lisaks uuritud linnuliigile ka teisi liike (Blickley *et al.*, 2012). Sarnast asjaolu on täheldanud ka Injaian *et al* (2018) läbiviidud uuring, kus näidati, et konstantne liiklusrüü avaldab suurendab CORT taset nii täiskasvanud õõnepääsukese (*Tachycineta bicolor*) isenditel kui ka pesapoegadel.

Visuaalsete häääringutest on kirjeldatud erinevat värvi LED lampide mõju lindude stressinäitajatele (Ouyang *et al.*, 2015). Täpsemalt leiti, et olenemata valgusti kaugusest, mõjutab valget värvi valgustus rasvatihaseid (*Parus major*) kõige rohkem, tõstes nende CORTi taset (Ouyang *et al.*, 2015). Lisaks CORTi taseme tõusule on veel leitud seoseid häääringute ja HPA-telje tundlikkuse vähenemise, vähenenud melatoniini sünteesi ja teiste hormoonide (näiteks östradioli ja testosterooni) tasemete kõrgenemise vahel (Bonier, 2012). Seega võiks eelnevatest uuringutest järeldada, et tuugenite tekitatud müra ja valgustatud tuulepargid võivad samuti tõsta läheduses olevate lindude CORTi taset.

Lisaks on täheldatud, et elupaikade killustumine korreleerub lindudel kõrgema CORTi tasemega (Bicudo *et al.*, 2020). Suurematel metsa-aladel elavatel lindudel registreeriti madalam CORTi tase kui lindudel, kes pesitsesid väiksematel maalappidel. Järeldada võib, et pindalalt suuremad alad on soodsamad elupaigad, kui killustunud maa-ala (Bicudo *et al.*, 2020). Kuna ka tuuleparkide rajamine põhjustab elupaikade killustumist, siis võiks eeldada, et kehtib eelnevalt väljatoodu – suurenenud CORTi tasemed lindudel, kes on tundlikud elupaiga killustumise suhtes.

3.2.2.2. Kõrgema kortikosterooni taseme mõju lindudele

Pikaajaline stressireaktsioon mõjutab linde mitmeti, eelkõige on täheldatud mõju füsioloogilistes, käitumuslikes kuid ka kognitiivsetes tunnustes (Siegel, 1980; Schoech *et al.*, 2011). Kõrgema CORTi tase mõjutab tugevalt immuunsüsteemi, ainevahetuse kiirust, ja sigimisedukust (Schoech *et al.*, 2011). Käitumise juures on välja toodud kõrgenenud CORTi mõju lindude suurenenud agressiivsusele, vähenenud aktiivsusele, uudishimule ja üldisele sotsiaalsele käitumisele (Siegel, 1980; Schoech *et al.*, 2011). Samuti on

näidatud seost hormooni kõrgema taseme ja vähenenud kognitiivse võimekusega – mõjutused mälu, õppimisel ja otsuste tegemisel (Schoech *et al.*, 2011). Kõikide eelnimetatud aspektide häirumine mõjutab omakorda oluliselt isendi ja pikas vaates asurkonna või liigi ellujäämist.

Eelnevat toetab näiteks Saino *et al* (2005) uuring, kus näidati, et stress emastel isenditel avaldab negatiivset mõju ka nende järglastele. Tähendab, kõrgema CORTi tasemega emaslindude munetud munad olid samuti suurema CORTi sisaldusega. Nendest munadest koorunud järglaste areng ja ellujäämine olid tunduvalt halvenenud – linnupojad kasvasid aeglasemalt ja nende immuunsüsteem oli nõrgem – võrreldes järglastega, kes olid koorunud munas, milles CORTi tase oli madalam (Saino *et al.*, 2005). Veel on leitud, et linnupoegadel, kellele manustati CORTi – nad olid rohkem stressis – olid toimunud olulised füsioloogilised muutused, võrreldes linnupoegade, kellele CORTi ei manustatud (Tilgar, 2019). Täpsemalt olid stressis pojad kaalult kergemad ning lühemate tiibade ja jooksmeaga. Lisaks oli stressi viidud linnupoegade hingamine kiirem ja punaliblede hulk veres langenud (Tilgar, 2019).

3.2.3. Lindude sigimisedukus

Muutused elupaikades, kokkupõrked tuugenitega ja kõrge stressitase mõjutavad ka lindude sigimisedukust. Elupaiga muutused ja kokkupõrked on otseselt seotud populatsiooni vähenemisega ja seega mõjutavad ka lindude paljunemist. Kui pole soodsat elupaika või kokkupõrgetest tulenev lisasuremus suureneb, ei ole ka lindudel kohta, kus paljuneda ega ka linde, kes üldse paljuneksid.

Nagu eespool mainitud võivad populatsiooni tasemel kokkupõrgetest enim olla mõjutatud röövlinnud. Seda nende pikema eluea ja madalama paljunemiskiiruse tõttu. Kuigi laululinnud on lühema eluea ja suurema sigimisedukusega, ei tähenda see, et lisasuremus neid ei mõjutaks. Näiteks on leitud, et kui kuldnoka suremus kasvaks 1%, siis 10 aasta pärast on populatsioon vähenenud kuni 24% (Schippers *et al.*, 2020). Kui suremus kasvab aga kuni 10%, siis 10 aasta jooksul on vähenenud populatsioon kuni 95% (Schippers *et al.*, 2020). Seega mängib tuugenitega kokkupõrgetel suurenenud lindude lisasuremus suurt rolli populatsiooni säilimises ja sigimisedukuses.

Šotimaal läbiviidud uuringust leiti, et rüütade (*Pluvialis apricaria*) sigimisedukus oli tuulepargi läheduses tunduvalt madalam kui kontrollaladel (Sansom *et al.*, 2016).

Tulemused näitasid, et keskmine linnupaaride arv oli vähenenud esimese kahe tuulepargi tööaasta jooksul 79% võrreldes varasemaga – kui varasemalt oli alal keskmiselt 12 linnupaari, siis hiljem langes see 2,5 paarile (Sansom *et al.*, 2016). Norras tehtud uuringu tulemused viitasid merikotka sigimisedukuse langusele, mis oli tingitud suurest kokkupõrke sagedusest tuugenitega ja elupaiga kasutuse vähenemine (Dahl *et al.*, 2012).

Nagu ka eelnevas alapeatükis räägitud, pärsib kõrgem stressitase sigimisvõimekust ja lindude ellujäämist. Täpsemalt on näidatud stressi puhul otseseid ja kaudseid mõju linnude sigimisedukusele (Breuner, 2011). Otseselt mõjutavad sigimisedukust eelkõige steroidhormoonide (näiteks testosterooni või eelnevalt käsitletud kortikosterooni) tasemed. Need võivad mõju avaldada sugunäärmete arengule, munade munemisele ja vanemlikule käitumisele. Kaudsed mõjud viitavad käitumuslikele ja energiakasutuse muutustele, mis ilmnevad stressi tagajärjel. Täheleb, linnud, keda mõjutavad kroonilised stressorid (näiteks elupaiga killustumine, halb toidu kättesaadavus jne), suunavad oma energia eelkõige enda ellujäämisele, mitte sigimisele. See omakorda väljendub vähemate või madalama kvaliteediga munade munemises. Samuti stressis lindudel võib väheneda vanemhool ja sotsiaalne käitumine (näiteks partneri leidmine), taaskord energia säästmiseks (Breuner, 2011).

3.2.4. Kommunikatsiooni häiringud

Nagu eelnevalt räägitud mõjutab tuuleparkide tekitatud müra lindude stressinäitajaid, kuid uuringud on näidanud, et selle all kannatab ka lindude omavaheline kommunikatsioon. Tuuleparkide läheduses muutus ka pajulõokese (*Chersophilus duponti*) linnulaulu akustilised parameetrid – eelkõige põhjustas müra hääliksuste sageduse nihkumist ja kestuse pikkust (Gómez-Catasús *et al.*, 2022). Täpsemalt toodi välja muutused silpides esinevates nootides – silbid koosnesid maksimaalselt kolmest erinevast noodist. Näidati, et hääliksuste kolmanda (domineeriva, kõige kõrgema sagedusega) noodi sagedus ja pikkus suurenes mürarikas keskkonnas veel rohkem. Teise noodi kestus suurenes samuti, kuid sagedus jäi konstantseks. Seevastu aga hääliksuste esimese (madala sagedusega) noodi sagedus langes. Selline nootide sageduse ja kestuse muutus võis toimuda kommunikatsiooni tõhususe tõstmiseks. Täheleb, et eristada linnulaulu tuugeni müra, pidid linnud muutma oma laulu sagedust. Kõige rohkem on ohus lindude madalamal

sagedusel tehtud häälistsused, kuna ka tuugenist tulev heli jääb madalamale sagedusele (jääb umbes 1–2 kHz juurde) ning linnulaul võib sumbuda (Gómez-Catasús *et al.*, 2022).

Kommunikatsioon on oluline paarumisel, territooriumi kaitsmisel ja märgistamisel ning röövloomade eest hoiatamisel (Teff-Seker *et al.*, 2022). Seega võib tuulepargi müra häirida lindude igapäevaelu ning seeläbi mõjutada ka nende populatsiooni dünaamikat ja elujõulisust. Lisaks nõuavad eelnimetatud muutused suuremat pingutust ja sellega kaasneb energiakulu suurenemine. Samuti tuleks mainida, et muutused linnulaulu sageduses ja pikkuses võivad neid muuta ohuallikaks kiskjatele (Dooling & Blumenrath, 2013) ning liigisisest võib tekkida oht, et häälistsust tõlgendatakse valesti (Read *et al.*, 2014).

4. Tähelepanekud Eesti oludes

4.1. Ohustatud linnud Eestis

Parema ülevaate andmiseks on tabelis välja toodud tuuleparkide negatiivne mõju Eesti relevantsetele linnutaksonitele (Tabel 1).

Tabel 1. Tuuleparkide mõju tundlikele linnutaksonitele (Kuresoo *et al.*, 2011)

Linnutakson	Mõjud	Häirimine	Barjääri-efekt	Kokkupõrked	Elupaikade hävimine
Kaurilised (<i>Gaviidae</i>)		+	+	+	
Pütlased (<i>Podicipedidae</i>)		+			
Kormoranlased (<i>Phalacrocoracidae</i>)					+
Toonekurelised (<i>Ciconiiformes</i>)				+	
<i>Anserini</i> (luigid, haned, lagled)		+	+*	+	
Partlased (<i>Anatidae</i>) (eriti merepardid)		+	+	+	+
Haukalised (<i>Accipitridae</i>)			+*	+	+*
Kurvitsalised (<i>Charadriiformes</i>)		+	+		+*
Tiirud (<i>Sternidae</i>)				+	
Kakulised (<i>Strigiformes</i>)				+	
Kanalised (<i>Tetraonidae</i>)		+		+	+
Kurelised (<i>Gruidae</i>)		+		+	+
Värvulised (<i>Passeriformes</i>) (eriti öised rändajad)		+*		+	+*
Kanalised (<i>Galliformes</i>)*		+*			+*

Märkus: tärniga tähistatud on töö autori poolt lisatud.

Hetkel teadaolevate uuringute põhjal on raske järeldusi teha, keda täpsemalt tuugenid Eestis ohustavad. Küll aga leiti väiketuugenite puhul, et ohustatud lindudeks võivad olla värvulised (täpsemalt kuldnokad, hakid (*Corvus monedula*) ja migreeruvad metsvindid (*Fringilla coelebs*)), kurvitsalised (*Charadriiformes*), hanelised (*Anseriformes*) ja kurelised (Volke & Keerberg, 2014). Lisaks leidus väiketuugenite lähedal ka kaitstavaid linnuliike näiteks suitsupääsukeksi (*Hirundo rustica*), sookurgi (*Grus grus*) ja õõnetuve (*Columba oenas*). Kokkupõrkeid tuugenitega küll ei ilmnenud, kuid eelmainitud linde registreeriti tuugenite lähedal kõige rohkem, kellest paljud lendasid tuugeni ohutsoonis (Volke & Keerberg, 2014).

Lisaks eelmainitud lindudele on – arvesse võttes Eesti linnustikku – oluline välja tuua ka mõju röövlindudele. Nagu eelnevalt täheldatud, on röövlinnud oma julge käitumise tõttu kokkupõrkealtid. Asjaolu ei paranda ka fakt, et peaaegu kõik Eestis pesitsevad röövlinnud kuuluvad kaitsealuste liikide hulka (Eesti Ornitoloogiaühing, 2017). Seega on tuulepargi rajamisel oluline arvestada röövlindude tihti kasutatavate liikumisteedega.

4.2. Kuhu rajada tuulepark Eestis?

Lisaks praegu olemasolevatele tuuleparkidele – mis valdavalt jäävad Lääne-Eesti piiridesse – on tekkinud huvi ka Kirde-Eestis tuuleparkide arendamise vastu (Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 2023). Näiteks on Enefit Green alustanud Ida-Virumaal Purtse tuulepargi rajamist (Internet 6).

Eestis arendatakse tuuleparke mitmes kohas – Sopi-Tootsi tuulepark Põhja-Pärnumaal, Siiraku tuulepark Saarde vallas, Risti tuulepark Lääne-Nigula vallas ja Põlendmaa tuulepark Tori vallas. Nende arendusprojektide juures on räägitud ka mõjust linnustikule. On rõhutatud, et tuuleparkide rajamisele eelneb põhjalik linnustiku uuring, mille tulemuste põhjal täpsustatakse sobiv koht tuugenitele, nii et mõju lindudele oleks minimaalne (Internet 7; Internet 8; Internet 9). Veel on lisatud, et kokkupõrkeohu ennetamiseks on kavas kasutusele võtta tuulikulabade värvimine ja pimedal ajal valgustuse lisamine (Internet 7; Internet 8; Internet 9). Nagu eelnevalt ka töös räägitud, võib kokkupõrkeid oluliselt vähendada ühe laba mustaks värvimine, seega on tegemist väga adekvaatse ettevaatusabinõuga. Valgustuse lisamisel tuleks aga olla ettevaatlikum, kuna palju on olnud valgustuse intensiivsusest, värvist ja vilkumise režiimist.

Ka Evecon on avaldanud soovi panustada Eestis tuuleenergia edendamiseks, rajades Lõuna-Eestisse suur tuulepark. Ka selle projekti puhul on välja toodud eelneva keskkonnamõju hindamine. Probleemaatiline on asjaolu, et tuuleparki soovitakse ehitada Tõrva metsadesse, mis tähendab, et mõjuala muutub palju suuremaks – lisaks lindudele on häiritud ka teised loomad ja muu elustik. Samuti on metsade mahavõtmine Eestis aktuaalseks temaks ja siinkohal on juba teada, et tuulepargi rajamisel mets puutumata ei jää.

Üheks oluliseks faktoriks on Ida-Atlandi rändetee, mis on globaalset tähts ning mille üks suurimatest harudest läbib ka Lääne-Eesti alasi (Kuresoo *et al.*, 2011). Seega tuleks selles piirkonnas suurte mõjutuste vältimiseks hoolikalt jälgida, kuhu tuulepark rajada. Kuresoo *et al* (2011) koostatud konfliktialüüsis hinnati Lääne-Eestis (Saare, Hiiu, Lääne ja Pärnu maakonnas) tuuleparkidele määratletud arenduspiirkondade sobivust lähtudes rändlindudest.

Tulemused näitasid, et tuleks hoiduda tuuleparkide rajamisest Virtsus ja Põõsaspea neeme lähistel, kuna seal on Eesti olulisemad rände pudelikaelaalad – läbirändajate hulk küündib lausa 2-3 miljonini (Kuresoo *et al.*, 2011). Ka maismaa kohal on täheldatud rändekoridore, näiteks järgivad luiged rändel sageli Pärnu jõge.

Lääne maakonnas tuleks hoiduda Hanila vallas tuulepargi rajamisest eelkõige potentsiaalse rändebarjääri tekkimise tõttu. Lisaks esineb seal ka oluline rände pudelikael – Suure Väina piirkond.

Pärnumaal ei soovitata edendada tuulepargi arendust Halinga vallas, sest seal paikneb väikeluige (*Cygnus columbianus*) üks oluline peatusala. See on eriti suure osakaaluga, kuna see on Eestis üks vähestest peatusaladest, mida ta kasutab mõlemal rändeperioodil (nii kevadel kui ka sügisel). Lisaks peaks tuulepargi rajamisest loobuma ka Audru vallas, kuna seal esinevad rahvusvahelise tähtsusega vähemalt nelja linnuliigi koondumisalad. Samuti Koonga, Tori ja Väandra vallas peaks arendamisel rakendama ettevaatusprintsiipe.

Tundlike linnualade ja rändekoridoride vahel näidati kõige vähem vastuolusi Hiiumaal ja Saaremaal. Siiski tuleks arendusest hoiduda Hiiumaal Käina vallas ja Saaremaal Põide vallas – seal asub üks oluline sookure sügisrände koondumisala. Põide vallale on oluline rakendada ettevaatusprintsiipe Saaremaal ka Kaarma ja Laimjala vallas.

Lisaks tuleb tuuleparkide rajamisel lähtuda ka lindude püsielupaikadest. Kotkaste puhul peaks tuulepark jääma 2000 meetri kaugusele nende püsielupaikadest või kaitsealal asuvast pesapaigast (Keskkonnaamet, 2021). See ei kehti suure-konnakotka (*Clanga clanga*) puhul, kes vajaks puhvrialaks 3000 meetrit. Sarnaselt suurele-konnakotkale ei tohiks lähedamale kui 3000 meetri kaugusele musta-toonekure (*Ciconia nigra*) püsielupaigast tuuleparki rajada. Kanaliste, kaitsealuste röövlindude (va I kaitsekategooria kotkaste) ja kaksbiotoopiliste sookahlajate (rüüt, suurkoovitaja (*Numenius arquata*), mustsaba-vigle (*Limosa limosa*)) puhul võib tuulepargi rajada nende püsielupaigast vähemalt 1000 meetri kaugusele. Väikeluige ja väike-laukhane (*Anser erythropus*) puhul tuleb nende rändepeatuspaidad tuulikutele sobivatest aladest välja jätta (Keskkonnaamet, 2021).

Talvituvate veelindude ja rannikul pesitsevate kahvajate elupaikadest peaks tuulepargi rajama vähemalt 600 meetri kaugusele, et vältida populatsiooni vähenemist (Drewitt & Langston, 2006). On alust arvata, et populatsioon võib selles piirkonnas täielikult kaduda, kui tuugenid on paigutatud lähemale kui 300 meetrit (Gove *et al.*, 2013). Kui tuugenid on elupaikadest 300-600 meetri kaugusel, siis võib populatsioon piirkonnas väheneda poole võrra (Gove *et al.*, 2013).

4.3. Soovitused tuulepargi rajamiseks

Töö läbivaks tõdemuseks on asjaolu, et iga rajatav tuulepark vajab individuaalset lähenemist. Eelkõige on oluliseks asukoha- ja liigispetsiifilised tunnused. On küll nüansse, mis võiksid kehtida enamuse puhul – näiteks ühe tiiva mustaks värvimine, rootori tööaja reguleerimine –, kuid iga tuulepark on erinev ja kõikidele ülekantavaid tunnuseid on pigem vähem kui rohkem.

Tuulepargi asukohaks tuleks valida ala, mis ei paikneks märgalade, veekogude või lindude pesitsuspaikade läheduses. Lisaks tuleks vältida tuugenite püstitamisest järsakutele või mäenõlvadele – tuugenid võiksid olla paigutatud järsakust eemale või mäe tuulealusel küljel. Tuulepargi siseselt tuleks hoiduda laialivalguvast stuktuurist ning rakendada sellist paigutust, mis koosneb tuugenite klastritest – tähendab klastreid eraldavad nn lendamiskoridorid.

On ka erinevaid struktuurile omaseid faktoreid, mida võiks suures pildis arvesse võtta. Näiteks on eriti mõjusaks leevendusmeetmeks rootori ühe laba värvimine mustaks –

lindude aastane suremuskordaja langes kuni 70%. Samuti on tuugenite tööaja reguleerimine osutunud tõhusaks meetmeks lindude kokkupõrgete vähendamisel. Kui rootor seisatakse olukordades, kus linnud on ohualtimad, siis väheneksid kokkupõrked kuni poole võrra. Veel on uuritud ka valguse kasutamist lindude hoiatamiseks. Täpsemalt madalad tuugenid, mille kõrgus jääb alla 150 m, lindude hoiatamiseks valgustust otseselt ei vaja, kõrgemate tuugenite puhul on aga näidatud nende kasulikkust. Tulede kasutamisel on oluline märkida, et tuled võiksid olla vilkuvad, kuid mille valgussähvatus intervall minutis oleks minimaalne. Lisaks peaks valgus olema võimalikult madala intensiivsusega ja värvuselt valged või rohelised – vältida tuleks punast värvi valguse kasutamist. Muuhulgas on täheldatud ka rootori tööaja reguleerimise kasulikkust.

Liigispetsiifiliste tunnuste all tuleks jälgida eelkõige linnuliigi vältimiskäitumise väljendumist. Liigid, kelle vältimiskäitumine nii tugevalt ei avaldu, on suuremas kokkupõrkeohus. Kuigi vältimiskäitumist väljendavate liikide puhul kokkupõrke risk nii suur ei ole, on rohkem mõjutatud nende ökoloogilised ja füsioloogilised vastused. Tuuleparkide rajamisest tulenevad muutused – elupaikade killustumine ja hävimine, barjääriefekt, häiringud ning kokkupõrked – mõjutavad oluliselt linde. Seega nagu korduvalt mainitud, on eriti tähtis analüüsida arenduspiirkondadele omast linnustikku. Jälgida tuleks ka tunnusliike, kelle järgi saab hinnata mõju ka teistele liikidele. Näiteks kui kaljukotkas on tuulepargist mõjutatud, siis on ka paljud teised liigid (punasaba-viu, ameerika tuuletallaja, koopakakk jt) (Katzner *et al.*, 2012). Seega, kui rakendada leevendusmeetmeid, mis soodustavad tunnusliigi tingimusi, on alust eeldada, et siis paraneks olu ka teistel liikidel.

5. Arutelu

Selles töös näidati, et maismaa tuuleparkide mõju on palju laialdasem kui esmapilgul tundub. Varasemalt on eelkõige uuritud tuugenite otsest mõju (ehk kokkupõrkeid) lindudele, kuid ka tuuleparkide kaudne mõju omab olulist tähtsust.

Linde võib ohuallimaks muuta liigispetsiifilised kui ka tuulepargi asukohast tulenevad tunnused. Liigispetsiifilised tunnused, mis võivad linnu kokkupõrkeallimaks muuta, on eelkõige lendamine halva nähtavuse korral (näiteks öösel) (Drewitt & Langston, 2008; Everaert, 2014) ja madalam häirimistundlikkus (ehk vältimiskäitumise vähene ilmutamine) (Rydell *et al.*, 2017; Thaxter *et al.*, 2017). Kokkupõrked on sagedasemad lindudel, kes on suurema kehasuuruse (Janss, 2000; Everaert, 2014), kuid lühemate ja laiemate tiibadega (Janss, 2000). Samuti purilend, tiirutamine (Marques *et al.*, 2014) ja iseloomulikud lennumustrid (Drewitt & Langston, 2008) võivad muuta lindu ohuallimaks. Seetõttu on täheldatud, et peamiselt on kokkupõrkeohus öösiti tegutsevad värvulised ja röövlinnud. Samuti võivad kokkupõrked muutuda sagedasemaks tuuleparkides, mis on rajatud märgalade, veekogude, pesitsuspaikade, peamiste rändeteede lähedale või mäenõlvadele (Drewitt & Langston, 2008; Rydell *et al.*, 2017).

Nagu eelnevalt mainitud, osutus oluliseks ka tuuleparkide kaudne mõju lindudele. Tuulepargid mõjutavad lindude ökoloogiat ja füsioloogiat – täpsemalt on näidatud muutusi lindude elupaikades, lennukäitumises, sigimisedukuses ja stressivastustes. Stress omakorda võib oluliselt mõjutada lindude lendamiskäitumist, sigimisedukust ja kommunikatsiooni. Muutuseid lindude elupaikades põhjustab peamiselt tuuleparkidest tulenev maa-ala killustatus. See omakorda mõjutab lindude elupaikade kasutust – nii põllulindude (Igl & Buhl, 2016), rannikulindude (Sansom *et al.*, 2016), röövlindude, hanede kui ka partide (Hötker *et al.*, 2006) puhul on täheldatud elupaiga kasutuse vähenemist pärast tuulepargi rajamist.

Lindude füsioloogilised vastused tuuleparkidele suurendavad nende energiakulu ja seeläbi ka isendite ellujäämist. Tuulepargid võivad pikendada lindude rändeteid (Masden *et al.*, 2009), mõjutada igapäevast lendamiskäitumist (Bai *et al.*, 2021; Linder *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2022), põhjustada stressi (Nephew *et al.*, 2003; Müller *et al.*, 2006; Bonier, 2012; Bicudo *et al.*, 2020), pärssida lindude sigimisedukust (Breuner, 2011; Dahl *et al.*, 2012; Sansom *et al.*, 2016) ja põhjustada muutusi linnulaulus (Gómez-Catasús *et al.*, 2022).

Üle maailma on läbi viidud arvukalt uuringuid, mis näitavad tuuleparkide mõju lindudele. Palju on keskendatud otsese mõju – kokkupõrgete – uurimisele, kuid ka seal leidub kitsaskohti. Töös on kajastatud uuringuid, mis uurisid kokkupõrkeid elektriliinidega. Nende tulemuste ülekandmine tuugenitele ei pruugi aga pädeda. Näiteks leiti, et elektriliinide puhul oli parvlemine oluliseks kokkupõrke indikaatoriks (Janss, 2000), seega võiks seda täpsemalt uurida ka tuugenite puhul. Rääkides lindude silma anatoomiast, on samuti leitud teatud eelsoodumusi kokkupõrgeteks, kuid ka neid on uuritud elektriliinide puhul ning adekvaatsemate järelduste tegemiseks oleks tarvilik uurida seda ka tuugenitel.

Lisaks võiks edaspidi uurida mõju ka erinevatele linnuliikidele, et näha kuidas tuulepargid võivad mõjutada linde liigispetsiifiliselt. See aitaks tuuleparkide planeerimisel teha teadlikumaid valikuid ja muuta need lindudele võimalikult ohtuks.

Ka paljude ettevaatusabinõude puhul on jõutud mitmetele järeldustele, mis vajaksid täiendavat informatsiooni. Edaspidiseid uuringuid oleks vaja koostada tuugeni rootori pöörlemiskiiruse mõju uurimiseks. Selle mõju lindudele on küll varasemalt uuritud, kuid tarvilik oleks juurde uurida seda ka uuemate tuugenite puhul. Töös kasutati uuringuid, mis on läbi viidud 1996 ja 2009 aastatel, seega võivad tulemused kohati olla aegunud, kuna tehnoloogia kiire arenguga kaasnevad muutused ka tuugenites.

Veel võiks edasi uurida tuugenite labadel kasutatavaid tulesid. Täpsemalt on püstitatud hüpotees, et vähendades valgusintensiivsust 2000 kandelalt 200 kandelale, siis võiks väheneda ka lindude häiritus, kuid välitingimustes seda katsetatud veel ei ole. Samuti oleks vaja juurde uurida ka UV-valguse kasutamist lindude hoiatamiseks – pilootuuringuid on tehtud, kuid kindlamate järelduste tegemiseks on vaja täiendavaid andmeid.

Vähe on veel uuritud maismaa tuuleparkide mõju lindude ökoloogiale ja füsioloogiale. Rääkides lindude rändeteede muutustest, on seda uuritud rohkem meretuuleparkide puhul, kuid oluline oleks uurida tuuleparkide mõju rändele ka maismaal – eriti aladel, mida läbivad lindude peamised rändeteed.

Lindude füsioloogiliste muutuste juures on jäänud puudulikuks uuringud stressivastuste kohta. Uurides lindude stressivastuseid tuuleparkidele, käsitleti selles töös vaid uuringuid, mis võiksid viidata tõenäoliselt kortikosterooni tõusule. Teadustöid, mis uuriks lindude stressinäitajaid enne ja pärast tuuleparkide rajamist, ei ole töö autorile teadaolevalt läbi viidud. Nagu eelnevalt mainitud avaldab pidev stress lindude ellujäämist ja kohasust.

Lisaks stressi uurimisele võiks pöörata tähelepanu ka lindude kommunikatsiooni muutustele. Seni on tehtud vaid üksikuid uuringuid selles valdkonnas ning oleks oluline kaasata teisi liike. Seega, et hinnata tuuleparkide mõju stressile ja linnulaulule on oluline läbi viia põhjalikumad uuringud.

Kuna Eestis on tuuleparkide mõju lindudele uuritud minimaalselt, kasutati selles töös olude hindamiseks eelkõige Põhja-Ameerikas ja Euroopas läbiviidud uuringuid. Et mõista paremini tuuleparkide mõju olemust Eestis pesitsevatele ja lindudele oleks vaja läbi viia täiendavaid uuringuid. Uuringutes võiks keskenduda eelkõige röövlindude, värvuliste ja partlaste uurimisele, et saada teada, kas ja kuidas mõjutavad neid Eesti maismaa tuulepargid.

Kokkuvõte

Tulenevalt kliimamuutustest on eelkõige energeetika valdkonnas hakatud pürgima üha enam kliimaneutraalsuse poole. Seega on hakatud samm-sammult üle minema roheenergia tootmisele ja on leitud alternatiive, kuidas kasutada taastuvaid ressursse energiaks. Sellest tulenevalt on populaarsust kogunud muuhulgas ka tuuleenergia, mis on aastatega muutunud teiste taastuvenergiaallikate seas konkuretsijõulisemaks. Seetõttu on hakatud rajama aina rohkem tuuleparke ning oluline on uurida nende mõju elustikule. USA näitel on teada, et kui tuuleparkide tootmisvõimsus kuuekordistuks, siis suureneks lindude suremus kuni 10 korda (Loss *et al.*, 2013).

Seega on vaja tuuleparkide rajamisel arvestada ka ümbritseva elusloodusega, et vähendada või lausa elimineerida taristu mõju. Sellest tulenevalt oli töö üks eesmärk anda ülevaade maismaa tuuleparkide mõjust lindudele, käsitledes nii otset kui kaudset mõju. Otse mõju all mõistetakse lindude kokkupõrkeid tuugenitega, kaudne mõju näitab, kuidas on linnud tuuleparkidest mõjutatud sekundaarselt. Sekundaarset mõju saab hinnata ökoloogiliste ja füsioloogiliste näitajate alusel, näiteks millised on lindude vastused elupaikade killustumisele ja füsioloogilistele muutustele – muutused lendamiskäitumises, sigimisedukuses, kommunikatsioonis ja stressinäitajates. Töö teine eesmärk oli koostada meespea, mida võiks jälgida edaspidiste tuuleparkide rajamisel, arvestades Eesti olusid ja linnustikku. Töös kasutati peamiselt Euroopas ja Põhja-Ameerikas läbiviidud uuringuid, kuna Eestis on koostatud vaid üksikud uurimistööd, mis hindavad tuuleparkide mõju lindudele.

Tulevaste uuringute abil oleks võimalik saada täiendavaid teadmisi tuugenite ehituse, erinevate linnuliikide ja lindude füsioloogiliste muutuste kohta, mis aitaksid hinnata tuuleparkide laialdasemat mõju lindude ellujäämusele. Samuti oleks tarvilik uurida rohkem olusid Eestis – kuidas ja kuidas mõjutavad tuulepargid linde Eestis –, kuna hetkel on teadmised piiratud.

Summary

Due to climate change, the energy industry is increasingly striving towards climate neutrality. As a result, there has been a gradual shift towards green energy production and new alternatives for using renewable resources for energy have been found. Wind energy has become more competitive among other renewable energy sources, and consequently, more wind farms are being built. It is important to investigate their impact on wildlife. For example, in the United States, it has been suggested that if wind farm production were to increase sixfold, bird mortality would increase up to tenfold (Loss *et al.*, 2013).

Therefore, it is necessary to consider the impact of wind farms on the surrounding wildlife when establishing them, in order to reduce or even eliminate their impact. The goal of this thesis was to provide an overview of the impact of onshore wind farms on birds, covering both direct and indirect effects. Direct effects refer to collisions between birds and turbines, while indirect effects show how birds are affected secondarily by wind farms. Indirect effects can be assessed based on ecological and physiological indicators, such as changes in flying behavior, reproductive success, communication, and stress levels due to habitat fragmentation and physiological changes.

The second goal of the thesis was to create a checklist that could be used when establishing wind farms in Estonia, taking into account the local conditions and bird populations. The thesis mainly used studies conducted in Europe and North America because there have been only a few studies in Estonia that assess the impact of wind farms on birds. Future studies could provide further information on turbine construction, different bird species, and physiological changes in birds, which would help to assess the broader impact of wind farms on bird survival. It is also necessary to investigate the impact of wind farms on birds in Estonia since knowledge on the subject is currently limited.

Tänuavaldused

Tahaksin tänada oma juhendajat Marko Mägi, kelle suunavad kommentaarid ja grammatilised tähelepanekud aitasid kaasa minu lõputöö valmimisele. Aitäh veel perele ning kursusekaaslastele Elisabethile ja Laurale moraalse toe ning abistavate nõuannete eest. Lõpetuseks tänan hoolast toimetajat Eliisi. Aitäh!

Kasutatud allikad

- Adams, C. A., Fernández-Juricic, E., Bayne, E. M., & St Clair, C. C. (2021). Effects of artificial light on bird movement and distribution: a systematic map. *Environmental Evidence*, *10*(1). <https://doi.org/10.1186/s13750-021-00246-8>
- Bai, M., Chih, W., Lee, P., & Lien, Y. (2021). Response of waterbird abundance and flight behavior to a coastal wind farm on the East Asian-Australasian Flyway. *Environmental Monitoring and Assessment*, *193*(4). <https://doi.org/10.1007/s10661-021-08985-4>
- Bevanger, K. M. (1994). Bird interactions with utility structures: collision and electrocution, causes and mitigating measures. *Ibis*, *136*(4), 412–425. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919x.1994.tb01116.x>
- Bicudo, T., Anciães, M., Arregui, L., & Gil, D. (2020). Effects of Forest Fragmentation on Feather Corticosterone Levels in an Amazonian Avian Community. *Ardeola*, *67*(2), 229. <https://doi.org/10.13157/arla.67.2.2020.ra1>
- Blickley, J. L., Word, K. R., Krakauer, A. H., Phillips, J. M., Sells, S. N., Taff, C. A., Wingfield, J. C., & Patricelli, G. L. (2012). Experimental Chronic Noise Is Related to Elevated Fecal Corticosteroid Metabolites in Lekking Male Greater Sage-Grouse (*Centrocercus urophasianus*). *PLOS ONE*, *7*(11), e50462. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050462>
- Bonier, F. (2012). Hormones in the city: Endocrine ecology of urban birds. *Hormones and Behavior*, *61*(5), 763–772. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2012.03.016>
- Breuner, C. W. (2011). Stress and Reproduction in Birds. In *Elsevier eBooks* (pp. 129–151). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374929-1.10005-8>
- Campbell, M., & Johns, M. (2008). *Habitat Fragmentation and Birds*. <https://www.nrc.gov/docs/ML0914/ML091470568.pdf>
- Cockrem, J. F. (2007). Stress, corticosterone responses and avian personalities. *Journal of Ornithology*, *148*(S2), 169–178. <https://doi.org/10.1007/s10336-007-0175-8>
- Cockrem, J. F., & Silverin, B. (2002). Variation within and between Birds in Corticosterone Responses of Great Tits (*Parus major*). *General and Comparative Endocrinology*, *125*(2), 197–206. <https://doi.org/10.1006/gcen.2001.7750>

- Cuthill, I. C., Partridge, J. C., Bennett, A. F., Church, S. C., Hart, N. S., & Hunt, S. E. (2000). Ultraviolet Vision in Birds. In *Advances in The Study of Behavior* (pp. 159–214). Elsevier BV. [https://doi.org/10.1016/s0065-3454\(08\)60105-9](https://doi.org/10.1016/s0065-3454(08)60105-9)
- Dahl, E., Bevanger, K. M., Nygård, T., Røskoft, E., & Stokke, B. G. (2012). Reduced breeding success in white-tailed eagles at Smøla windfarm, western Norway, is caused by mortality and displacement. *Biological Conservation*, *145*(1), 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.10.012>
- De Lucas, M., Janss, G. F. E., Whitfield, D. P., & Ferrer, M. (2008). Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance. *Journal of Applied Ecology*, *45*(6), 1695–1703. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01549.x>
- De Lucas, M., Ferrer, M., Bechard, M. J., & Muñoz, A. (2012). Griffon vulture mortality at wind farms in southern Spain: Distribution of fatalities and active mitigation measures. *Biological Conservation*, *147*(1), 184–189. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.12.029>
- Desholm, M., & Kahlert, J. (2005). Avian collision risk at an offshore wind farm. *Biology Letters*, *1*(3), 296–298. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2005.0336>
- Dooling, R. J., & Blumenrath, S. H. (2013). Avian Sound Perception in Noise. In *Animal signals and communication* (pp. 229–250). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41494-7_8
- Drewitt, A. L., & Langston, R. H. (2008, June). Collision Effects of Wind-power Generators and Other Obstacles on Birds. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1134*(1), 233–266. <https://doi.org/10.1196/annals.1439.015>
- Duerr, A. E., Miller, T. A., Lanzone, M., Brandes, D., Cooper, J., O'Malley, K., Maisonneuve, C., Tremblay, M. S., & Katzner, T. E. (2012). Testing an Emerging Paradigm in Migration Ecology Shows Surprising Differences in Efficiency between Flight Modes. *PLOS ONE*, *7*(4), e35548. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035548>
- Eesti Ornitoloogiaühing. (2017). Riikliku keskkonnaseire eluslooduse mitmekesisuse ja maastike seire allprogrammi 2017. aasta seiretöö nr. 22: Röövlinnud. In *Eesti Ornitoloogiaühing* https://www.eoy.ee/pics/257_Röövlinnuseire_2017_aruanne_parandatud.pdf

- Everaert, J. (2014). Collision risk and micro-avoidance rates of birds with wind turbines in Flanders. *Bird Study*, 61(2), 220–230. <https://doi.org/10.1080/00063657.2014.894492>
- Gauthreaux, S.A., Belser, C.G. Effects of artificial night lighting on migrating birds. In *Ecological consequences of artificial night lighting*, edited by Rich, C., Longcore, T. Washington: Island Press; 2006. p. 67–93
- Global Wind Energy Council. (2022). Global Wind Report 2022. <https://gwec.net/global-wind-report-2022/> (23.10.2022)
- Gómez-Catasús, J., Barrero, A., Llusia, D., Iglesias-Merchan, C., & Traba, J. (2022). Wind farm noise shifts vocalizations of a threatened shrub-steppe passerine. *Environmental Pollution*, 303, 119144. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119144>
- Gove, B., Langston, R. H. W., McCluskie, A., Pullan, J. D., Scrase, I., & BirdLife International. (2013). *Wind farms and Birds: An updated analysis of the effects of wind farms on birds, and best practice guidance on integrated planning and impact assessment*. BirdLife International. <https://rm.coe.int/1680746245>
- Green, M., Ottvall, R., Pettersson, S., Rydell, J., (2017). The effect of wind power on birds and bats – an updated synthesis report. Swedish Environmental Protection Agency. <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Rydell-et-al-2017.pdf>
- Hamed, T.A. i Alshare, A. (2022). Environmental Impact of Solar and Wind energy- A Review. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 10 (2), 1-23. <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d9.0387>
- Hodos, W. (2003). Minimization of motion smear: Reducing avian collisions with wind turbines. Period of performance: July 12, 1999-August 31, 2002. (NREL/SR-500-33249). Retrieved from Golden, Colorado, USA. <https://www.nrel.gov/docs/fy03osti/33249.pdf>
- Hötker H, Thomsen K-M, Jeromin H (2006) Impacts on biodiversity of exploitation of renewable energy sources: the example of birds and bats—facts, gaps in knowledge, demands for further research, and ornithological guidelines for the development of renewable energy exploitation. *NABU* 1–65 <http://dx.doi.org/10.5751/ACE-00609-080210>

- Hunt, G. W., & Watson, J. E. M. (2016). Addressing the Factors that Juxtapose Raptors and Wind Turbines. *Journal of Raptor Research*, 50(1), 92–96. <https://doi.org/10.3356/rapt-50-01-92-96.1>
- Igl, L. D., & Buhl, D. A. (2016). Effects of wind-energy facilities on breeding grassland bird distributions. *Conservation Biology*, 30(1), 59–71. <https://doi.org/10.1111/cobi.12569>
- Injaian, A., Taff, C. C., Pearson, K. L., Gin, M. M., Patricelli, G. L., & Vitousek, M. N. (2018). Effects of experimental chronic traffic noise exposure on adult and nestling corticosterone levels, and nestling body condition in a free-living bird. *Hormones and Behavior*, 106, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2018.07.012>
- Janss, G. F. E. (2000). Avian mortality from power lines: a morphologic approach of a species-specific mortality. *Biological Conservation*, 95(3), 353–359. [https://doi.org/10.1016/s0006-3207\(00\)00021-5](https://doi.org/10.1016/s0006-3207(00)00021-5)
- Katzner, T. E., Brandes, D., Miller, T. A., Lanzone, M., Maisonneuve, C., Tremblay, A., Mulvihill, R. S., & Merovich, G. T. (2012). Topography drives migratory flight altitude of golden eagles: implications for on-shore wind energy development. *Journal of Applied Ecology*, 49(5), 1178–1186. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02185.x>
- Keskkonnaamet. (2021). Maismaa tuuleparkide mõjust elustikule ja Keskkonnaameti soovitud nende planeerimise kohta kohaliku omavalitsuse üldplaneeringutes (seisuga 10.11.2021).
- Kuresoo, A., Leito, A., & Luigujõe, L. (2011). Saare, Hiiu, Lääne ja Pärnu maakonna maismaa-alal maakonnaplaneeringu tuuleenergeetika teemaplaneeringu koostamine: Analüüs linnustiku osas teemaplaneeringuga kavandatavate objektidega kaasnevatest võimalikest mõjudest ja neid leevendavate meetmetest. Maakonnaplaneering. https://maakonnaplaneering.ee/wp-content/uploads/2021/09/6_Linnustikuanaluus.pdf
- Liechti, F., Guélat, J., & Komenda-Zehnder, S. (2013). Modelling the spatial concentrations of bird migration to assess conflicts with wind turbines. *Biological Conservation*, 162, 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.03.018>

- Linder, A., Lyhne, H., Laubek, B., Bruhn, D., & Pertoldi, C. (2022). Quantifying Raptors' Flight Behavior to Assess Collision Risk and Avoidance Behavior to Wind Turbines. *Symmetry*, *14*(11), 2245. <https://doi.org/10.3390/sym14112245>
- Loss, S. R., Will, T., Peter P., Marra, P. P. (2013). Estimates of bird collision mortality at wind facilities in the contiguous United States. *Biological Conservation*, *168*, 201-209. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.10.007>
- Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium. (2023). Tuuleenergia. MKM. <https://www.mkm.ee/energeetika-ja-maavarad/taastuenergia/tuuleenergia>
- Marques, A. C., Batalha, H. R., Rodrigues, S., Costa, H., Pereira, M. O., Fonseca, C., Mascarenhas, M., & Bernardino, J. (2014). Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies. *Biological Conservation*, *179*, 40–52. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.08.017>
- Masden, E. A., Haydon, D. T., Fox, A. D., Furness, R. W., Bullman, W. R., & Desholm, M. (2009). Barriers to movement: impacts of wind farms on migrating birds. *Ices Journal of Marine Science*, *66*(4), 746–753. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsp031>
- May, R. F., Åström, J., Hamre, Ø., & Dahl, E. (2017). Do birds in flight respond to (ultra)violet lighting? *Avian Research*. <https://doi.org/10.1186/s40657-017-0092-3>
- May, R. F., Nygård, T., Falkdalen, U., Åström, J., Hamre, Ø., & Stokke, B. G. (2020). Paint it black: Efficacy of increased wind turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities. *Ecology and Evolution*, *10*(16), 8927–8935. <https://doi.org/10.1002/ece3.6592>
- McNew, L. B., Hunt, L. M., Gregory, A., Wisely, S. M., & Sandercock, B. K. (2014). Effects of Wind Energy Development on Nesting Ecology of Greater Prairie-Chickens in Fragmented Grasslands. *Conservation Biology*, *28*(4), 1089–1099. <https://doi.org/10.1111/cobi.12258>
- Miao, R., Ghosh, P. N., Khanna, M., Wang, W., & Rong, J. (2019). Effect of wind turbines on bird abundance: A national scale analysis based on fixed effects models. In *Energy Policy* (Vol. 132, pp. 357–366). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.04.040>
- Müller, C. A., Jenni-Eiermann, S., Blondel, J., Perret, P., Caro, S. P., Lambrechts, M. M., & Jenni, L. (2006). Effect of human presence and handling on circulating

- corticosterone levels in breeding blue tits (*Parus caeruleus*). *General and Comparative Endocrinology*, 148(2), 163–171.
<https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2006.02.012>
- Nephew, B. C., Kahn, S. E., & Romero, L. (2003). Heart rate and behavior are regulated independently of corticosterone following diverse acute stressors. *General and Comparative Endocrinology*, 133(2), 173–180.
[https://doi.org/10.1016/s0016-6480\(03\)00165-5](https://doi.org/10.1016/s0016-6480(03)00165-5)
- Ouyang, J. Q., De Jong, M., Hau, M., Visser, M. E., Van Grunsven, R. H. A., & Spoelstra, K. (2015). Stressful colours: corticosterone concentrations in a free-living songbird vary with the spectral composition of experimental illumination. *Biology Letters*, 11(8), 20150517. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2015.0517>
- Perold, V., Ralston-Paton, S., & Ryan, P. (2020). On a collision course? The large diversity of birds killed by wind turbines in South Africa. *Ostrich*, 91(3), 228–239.
<https://doi.org/10.2989/00306525.2020.1770889>
- Pescador, M., Ramírez, J. D., & Peris, S. J. (2019). Effectiveness of a mitigation measure for the lesser kestrel (*Falco naumanni*) in wind farms in Spain. *Journal of Environmental Management*, 231, 919–925.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.094>
- Power Technology. (2022). The Top 10 countries with the largest wind energy capacity in 2021. <https://www.power-technology.com/analysis/wind-energy-by-country/> (23.10.2022)
- Powlesland, R. G. (2009) Impacts of wind farms on birds: a review. New Zealand Department of Conservation.
<https://www.doc.govt.nz/documents/science-and-technical/sfc289entire.pdf>
- Ramiadantsoa, T., Hanski, I., & Ovaskainen, O. (2018). Responses of generalist and specialist species to fragmented landscapes. *Theoretical Population Biology*, 124, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.tpb.2018.08.001>
- Read, J., Jones, G., & Radford, A. N. (2014). Fitness costs as well as benefits are important when considering responses to anthropogenic noise. *Behavioral Ecology*, 25(1), 4–7. <https://doi.org/10.1093/beheco/art102>

- Saino, N., Romano, M., Ferrari, R. P., Martinelli, R., & Møller, A. P. (2005). Stressed mothers lay eggs with high corticosterone levels which produce low-quality offspring. *Journal of Experimental Zoology Part A: Comparative Experimental Biology*, *303A*(11), 998–1006. <https://doi.org/10.1002/jez.a.224>
- Sansom, A., Pearce-Higgins, J. W., & Douglas, D. J. T. (2016). Negative impact of wind energy development on a breeding shorebird assessed with a BACI study design. *Ibis*, *158*(3), 541–555. <https://doi.org/10.1111/ibi.12364>
- Santos, C. F. D., Ramesh, H., Ferraz, R. A., Franco, A. M. A., & Wikelski, M. (2022). Factors influencing wind turbine avoidance behaviour of a migrating soaring bird. *Scientific Reports*, *12*(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10295-9>
- Schippers, P., Buij, R., Schotman, A., Verboom, J., Van Der Jeugd, H. P., & Jongejans, E. (2020). Mortality limits used in wind energy impact assessment underestimate impacts of wind farms on bird populations. *Ecology and Evolution*, *10*(13), 6274–6287. <https://doi.org/10.1002/ece3.6360>
- Schoech, S. J., Rensel, M. A., & Heiss, R. S. (2011). Short- and long-term effects of developmental corticosterone exposure on avian physiology, behavioral phenotype, cognition, and fitness: A review. *Current Zoology*, *57*(4), 514–530. <https://doi.org/10.1093/czoolo/57.4.514>
- Scotland's Nature Agency. (2020). The Effect of Aviation Obstruction Lighting on Birds at Wind Turbines, Communication Towers and Other Structures. <https://www.nature.scot/sites/default/files/2020-10/Wind%20farm%20impacts%20on%20birds%20-%20Turbine%20lighting%20and%20birds%20-%20Information%20Note.pdf>
- Siegel, H. S. (1980). Physiological Stress in Birds. *BioScience*, *30*(8), 529–534. <https://doi.org/10.2307/1307973>
- Swiss Ornithological Institute. (n.d.). Effects of stress on birds. [vogelwarte.ch. https://www.vogelwarte.ch/en/projects/stress-and-disturbances/terminated-projects/effects-of-stress-on-birds](https://www.vogelwarte.ch/en/projects/stress-and-disturbances/terminated-projects/effects-of-stress-on-birds)
- Teff-Seker, Y., Berger-Tal, O., Lehnardt, Y., & Teschner, N. (2022). Noise pollution from wind turbines and its effects on wildlife: A cross-national analysis of current

policies and planning regulations. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 168, 112801. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112801>

Thaxter, C. B., Buchanan, G. M., Carr, J., Butchart, S. H. M., Newbold, T., Green, R. E., Tobias, J. A., Foden, W. B., O'Brien, S., & Pearce-Higgins, J. W. (2017, September 13). Bird and bat species' global vulnerability to collision mortality at wind farms revealed through a trait-based assessment. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1862), 20170829. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0829>

Tilgar, V. (2019). Repeated stimulation of the pituitary–adrenal axis alters offspring phenotype of a wild passerine. *The Journal of Experimental Biology*. <https://doi.org/10.1242/jeb.200659>

Tucker, V. A. (1996). Using a Collision Model to Design Safer Wind Turbine Rotors for Birds. *Journal of Solar Energy Engineering-Transactions of the Asme*. <https://doi.org/10.1115/1.2871791>

Volke, V., Keerberg, L. (2014). Väiketuulikute mõju lindudele ja nahkhiirtele. Eesti Ornitoloogiaühing. https://www.eoy.ee/pics/487_Vaiketuulikud_2014.pdf

Zimmerling, J. R., A. C. Pomeroy, M. V. d'Entremont, and C. M. Francis. 2013. Canadian estimate of bird mortality due to collisions and direct habitat loss associated with wind turbine developments. *Avian Conservation and Ecology* 8(2): 10. <http://dx.doi.org/10.5751/ACE-00609-080210>

Internetiallikad

Internet 1: Reve. (2020, October 1). *The Realities of Bird and Bat Deaths by Wind Turbines | REVE News of the wind sector in Spain and in the world*. <https://www.evwind.es/2020/10/01/the-realities-of-bird-and-bat-deaths-by-wind-turbines/77477>

Internet 2: Enefit Green AS. (2022). Tuuleenergia arendused. <https://enefitgreen.ee/tuuleenergia/arendused> (23.10.2022)

Internet 3: Energiatalgud. (2022). *Tuuleenergia ressursid*. Energiatalgud. https://energiatalgud.ee/Tuuleenergia_ressurss#fn8 (23.10.2022)

Internet 4: Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon. (2022b). Tuuleenergia Eestis. Tuuleenergia. <https://tuuleenergia.ee/tuuleenergia-eestis/> (23.10.2022)

Internet 5: Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon. (2022a) <https://tuuleenergia.ee> (23.10.2022)

Internet 6: Enefit Green AS. (n.d.-c). *Purtse – Eesti esimene tuule ja päikese hübriidpark*. Purkse Park. <https://purtsepark.ee/> (07.05.2023)

Internet 7: Enefit Green AS. (2023). *Keskkond*. Risti Tuulepark. <https://ristituulepark.ee/keskkond/>

Internet 8: Enefit Green AS. (n.d.-a). *Keskkond*. Siiraku Tuulepark. <https://siirakutuulepark.ee/keskkond/> (07.05.2023)

Internet 9: Enefit Green AS. (n.d.-b). *Keskkond & tervis*. Põlendmaa tuulepark <https://polendmaatuulepark.ee/keskkond-tervis/> (07.05.2023)

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Lola Link

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

“Maismaa tuuleparkide mõju lindudele“,

mille juhendaja on Marko Mägi,

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Lola Link

22.05.2022