

TARTU ÜLIKOOL
ÖKOLOOGIA JA MAATEADUSTE INSTITUUT
ZOOLOOGIA OSAKOND
LOOMAÖKOLOOGIA ÕPPETOOL

Leida Ojasoo

VALGUSREOSTUSE MÕJU LINDUDELE

Bakalaureusetöö

12 EAP

Juhendaja
Riin Viigipuu

TARTU 2022

Infoleht

Valgusreostus mõjutab suuremat osa elusorganismidest. Antropogeenset valgusreostust põhjustavad pea kõik inimtekkelised valgustusega struktuurid, näiteks reklaamtahvlid, tänavavalgustus ja telemastide hoiatustuled. Selle uurimistöö eesmärk oli koostada lühiülevaade, kuidas mõjutab valgusreostus lindude elu.

Üldiselt mõjub valgusreostus lindude elule negatiivselt, vähendades nende kohasust näiteks liiga varajase rände või kehva une kvaliteedi kaudu. Uuringutes on märgitud ka positiivset mõju pikenenud saagi püüdmise aja ja väiksema kiskjaohu tõttu.

Uurimistöö käsitleb ka valgusreostuse mõju tugevust, näiteks, kus nõrgem valgusreostus avaldab lindudele väiksemat mõju. Valgusreostuse mõju oleneb samuti valgusspektrist ning linnuliigist, millele valgusreostus mõjub.

Märksõnad: valgusreostus, linnud, ränne, sigimiskäitumine, magamine, toitumine

Abstract

Most living organisms are affected by artificial light at night (ALAN). Anthropogenic light pollution is caused by almost all anthropogenic lighting structures, such as billboards, street lights and communication tower warning lights. The aim of this study was to provide a brief overview of the effects of light pollution on the life of birds.

All in all, ALAN has a negative effect on birds. ALAN reduces birds fitness by expediting migration or causing poor sleep quality. Studies have also shown some positive effects of ALAN, for example, longer feeding times and lowered risk of predation.

This study focuses on the different effect of ALAN, e.g. where weaker ALAN has weaker effect on birds. The effects of light pollution also depends on the spectrum of light and on the species of birds that are affected.

Keywords: light pollution, ALAN, birds, migration, reproductive behavior, sleep, nutrition

Sisukord

Infoleht	2
Sisukord	3
1. Sissejuhatus	4
2. Valgusreostuse mõju lindude kevad- ja sügisrändele	5
2.1 Valgusreostuse negatiivne mõju: kokkupõrked	5
2.2 Valgusreostuse negatiivne mõju: kõrvalekalded rändeteelt	6
2.3 Valgusreostuse negatiivne mõju: rände ajastus	9
2.4 Valgusreostuse sesoonne mõju ja mõju troopikas	10
3. Valgusreostuse mõju lindude toitumisele	12
3.1 Valgusreostuse mõju lindude toidupüüdmise aktiivsusele	12
3.2 Valgusreostuse mõju lindude toidutarbimisele	13
3.3 Valgusreostuse mõju lindude energiatarbimisele ja seedesüsteemi efektiivsusele ...	14
4. Valgusreostuse mõju lindude sigimisedukusele	16
4.1 Valgusreostuse positiivne mõju sigimisedukusele	16
4.2 Valgusreostuse negatiivne mõju sigimisedukusele	17
4.3 Valgusreostuse mõju sigimiskäitumisele	17
4.4 Valgusreostuse mõju munemisele	19
5. Valgusreostuse mõju lindude unele.....	21
5.1 Valgusreostuse mõju pesitsemisaegsele unele	21
5.2 Valgusreostuse hooajaline mõju magamisele	22
5.3 Valgusreostuse mõju erinevused liigi ja indiviidi tasemel	23
5.4 Valgusreostuse mõju vähendamine magamisele	24
6. Arutelu ja järeldused	26
Kokkuvõte	28
Summary	29
Tänuavaldus	30
Kasutatud kirjandus	31

1. Sissejuhatus

Valgusreostuse all mõistetakse öise taeva valgustumist antropogeensete tegurite tõttu (Falchi *et al.*, 2016). Looduslikult määravad öise taeva valgustatuse kuult peegelduv valgus (sõltub kuufaasist), tähed ja teised taevakehad ning naturaalne atmosfääri valguskuma (Telfer *et al.*, 1987; Falchi *et al.*, 2016; Dickerson *et al.*, 2022). Antropogeensed valgusallikad on näiteks tänavavalgustuslambid, tuletornid, reklaamtahvlid, monumentide kohtvalgustid, laevamastide tuled jne (Telfer *et al.*, 1987; Gehring *et al.*, 2009; Falchi *et al.*, 2016). Valgusreostuse mõju suurendab pilvkatte olemasolu ja valguse tagasipeegeldumine õhus leiduvatelt aerosoolidelt (Falchi *et al.*, 2016). Umbes 83% kogu maailmast on mõjutatud valgusreostusest (Falchi *et al.*, 2016).

Valgusreostus muudab organismide öö ja päeva pikkuse tunnetust, muutes sellega nende loomulikke rütme (Titulaer *et al.*, 2012; Kronfeld-Schor *et al.*, 2013). Varasemaks võivad muutuda nii kevadine ränne kui munemine, mille õige ajastamine on oluline poegade edukaks kasvatamiseks (Lincoln & Peterson, 1979; Smith *et al.*, 2021). Tugeva valgusreostuse korral alustavad isaslinnud varem laulmisega, mis võib muuta seni kehtinud kvaliteetset isast iseloomustanud lõivsuhteid (Miller, 2006).

Otsene negatiivne mõju lindudele tuleneb kokkupõrgete sageduste suurenemisest erinevate objektidega (Telfer *et al.*, 1987; Gehring *et al.*, 2009; Fischer *et al.*, 2021). Valgustatud kõrghooned (Evans Ogden, 2002), tele- ja raadiomastid (Gehring *et al.*, 2009) ning laevatekid (Fischer *et al.*, 2021) mõjuvad lindudele peibutavalt, kuid kokkupõrked nendega võivad olla surmavad (Gehring *et al.*, 2009; Fischer *et al.*, 2021). Samuti mõjub valgusreostus negatiivselt lindude une kvaliteedile (M. Irwin, 2002). Piisav uni on oluline linnu organismi normaalseks funktsioneerimiseks, tagades näiteks immuunsüsteemi toimimise (M. Irwin, 2002).

Käesoleva uurimustöö eesmärk on olemasolevate teadusuuringute põhjal teda saada, kuidas mõjutab valgusreostus linde. Uurimustöö keskendub neljale aspektile lindude elus: ränne, sigimine, toitumine ja magamine.

2. Valgusreostuse mõju lindude kevad- ja sügisrändele

Maailma 10 000 linnuliigist migreerub igal aastal vähemalt 40% kevadel pesitsuspaikadesse ning sügisel talvituspaikadesse (Navara & Nelson, 2007). Valgusreostus mõjutab lindude rändele asumise aega ning rändele kulutatud aega (Smith *et al.*, 2021). Rände ajal mõjutavad linde lisaks linna- ja asulavalgustusest tulenevale valgusreostusele ka telemastide signaaltuled (Gehring *et al.*, 2009; Horton *et al.*, 2019).

Õigeaegselt alustatud ränne ning kõige efektiivsem trajektoor sigimispäika jõudmiseks on lindude eduka pesitsuse aluseks (Lincoln & Peterson, 1979; Smith *et al.*, 2021). Järgnevas peatükis toob autor välja kolm valgusreostusest tulenevat negatiivset mõju lindude rändele.

2.1 Valgusreostuse negatiivne mõju: kokkupõrked

Rändel olevad linnud põrkavad kokku lisaks majadele ka telemastide ning nende toetuskaablitega (Gehring *et al.*, 2009). 2005. aastal uuriti Michiganis rändlindude kokkupõrgete sagedusi erineva kõrgusega telemastidega, mis kasutasid erinevat signaalvalgustust (Gehring *et al.*, 2009). Uuringu tulemustest selgus, et kevadise rände ajal sai hukka suurem arv linde rohkematest liikidest kui sügisel. Suremus oli vastavalt 203 lindu 47 liigist ning 173 lindu 42 liigist. Uuringu algne hüpotees oli, et sügisel on suremus suurem, kuna noorlindudel puudub varasem rändekogemus, kuid see ei osutunud tõeseks.

Gehringi jt (2009) uuringu tulemuste põhjal oli seos lindude suremuse ja erineva kõrgusega tornide vahel muutuv olenevalt aastaajast ning tornide valgustamise režiimist. Tornide valgustusrežiim oli kas püsivalt põlevad punased tuled, püsivalt põlevad hõõguvad punased tuled, vilkuvad punased tuled, punane-valge vilkvalgus või püsivalt põlevad valged tuled. Kõige suurem oli lindude suremus tornide juures, kus olid kasutusel nii vilkuvad kui püsivalt põlevad tuled, olenemata tule värvist. Võrreldes tornide kõrgust ja suremust selgus, et suremus oli suurem kõrgete tornide (≥ 305 m maapinnast) korral olenemata nende valgustusrežiimist. Keskmiste tornide korral (116-146 m maapinnast) oli suremus suurem kui tornil olid püsivalt põlevad ja vilkuvad punased tuled. Suremus vähenes, kui kasutusel oli valge vilkuv ja punane hõõguv valgus või ainult punane vilkvalgus.

Gehring jt (2009) järeldasid uuringu kokkuvõttes, et tulede vilkumine on kokkupõrgete sageduses olulisem tegur kui tulede värvus. Uurijate hinnangul oleks võimalik vältida

miljonite lindude surma kokkupõrkes tornide ning nende toetuskaablitega, kui asendada pidevalt põlevad punased tuled valgete või vilkuvate tuledega.

Sarnasele järeldusele jõudsid Gauthreaux ja Belser 2006. aastal avaldatud uurimuses (Gauthreaux Jr *et al.*, 2006). Nad dokumenteerisid 1986. aastal rändlindude lennutrajektoore Georgia ja Lõuna-Carolina osariigis raadio- ja telemastide läheduses. Tulemustest selgus, et pideva punase valgustusega tornide korral oli lennutrajektoorist rohkem kõrvalekaldeid kui valge valgustuse korral, mis vilkus. Põhjusena pakkusid Gauthreaux ja Belser, et punane valgus segab lindude magnetilist kompassi põhjustades muutusi nende lennutrajektooris. Kokkupõrgete vähendamiseks soovitasid uurijad mitte kasutada kohtvalgusteid monumentidel, sildadel ja majadel, suunata võimalusel objektide valgustuse maa poole ning lülitada lindude rändeperioodiks valgustus võimaluse korral välja.

Migreeruvate lindude suremust saab vähendada vähendades öist valgusemissiooni (Evans Ogden, 2002). Sarnaselt teiste uurijatega (Gauthreaux Jr *et al.*, 2006; Gehring *et al.*, 2009) jõudis sellisele järeldusele 2001. aastal ka Evans (2002). Evans võttis oma uurimuses kokku info, mis koguti linnusõbraliku maja programmi (BFB) raames Torontos 1997. kuni 2001. aastal. BFB peamine eesmärk oli vähendada 16 välja valitud maja öist valgusemissiooni ning seeläbi hüpoteetiliselt vähendada nii lindude surmaga lõppevaid kokkupõrkeid majaga kui ohtu, et linnud jäävad linna lõksu. Kasutusele võeti erinevaid meetmeid, nt elanike teavitamine, pimendavate ruloode kasutamine, automaatsed valgustussüsteemid, jne. Uuringu tulemustest selgus, et lindude surmaga lõppevate kokkupõrgete arv on positiivses seoses maja valgusemissiooniga ehk mida kõrgem on maja valgusemissioon, seda rohkem linde hukub kokkupõrgete tagajärjel. Lisaks oli suurema valgusemissiooni juures elusalt leitud lindude esinemissagedus suurem.

Väike erinevus oli kevad- ja sügisrändel: sügisrände ajal leitud surnud lindude arv ei olnud otseses positiivses seoses valgusemissiooniga (Evans Ogden, 2002). Uuringu kokkuvõttes liideti aastaajad ning sel juhul oli positiivne seos kokkupõrke tagajärjel hukkunud lindude arvul ja öise valgusemissiooni tugevusel.

2.2 Valgusreostuse negatiivne mõju: kõrvalekalded rändeteelt

Rändlinnud orienteeruvad lisaks nähtavale valgusele ka elektromagnetpooluste abil (Deutschlander *et al.*, 1999). Suuremad ränded toimuvad kevadel talvituspaigast pesitsuspaika ning sügisel tagasi talvituspaika (Lincoln & Peterson, 1979). Vahemaa, mida

linnud läbivad, ning trajektoor, mida kasutavad on liigiti varieeruv, kuid aastakümnete jooksul võrdlemisi konstantne (Lincoln & Peterson, 1979).

Kõrvalekalded trajektooriga põhjustavad lindudele lisaenergiakulu, millel on kaudne mõju nende pesitsusedukusele (Gauthreaux Jr *et al.*, 2006). Kaldudes kõrvale varasemalt läbitud teest, peavad linnud leidma uue sobiva koha vahemaandumiseks, et puhata ning taastada energia rände jätkamiseks (Gauthreaux Jr *et al.*, 2006).

Kontinentaal-USAs koguti andmeid lindude rändest kasutades ilmavaatlusseadmeid, mis mõõtsid mööduvate lindude kogumassi mitte isendeid (Horton *et al.*, 2019). Uuringu andmed on pärit aastatest 1955 – 2017. Tulemustest selgus, et kevadel on lindude rändeaktiivsus suurem USA keskosas ning sügisel lääneosas. Kevadrände koondumine USA keskosasse on tõenäoliselt seotud soodsa õhuvooluga, mille tagavad püsivad lõunatuuled (Wainwright *et al.*, 2016). Sügisrände ajal registreeriti suuremat rändemahtu kui kevadel ning linnud rändasid läbi suurema valgusreostusega alade, mis jäid USA lääne- ja idaosasse. Hortoni jt järeldasid, et sügisel on lindude suremus suurem, kuna noorlinnud on oma esimesel rändel ning neil puudub varasem kogemus (Horton *et al.*, 2019). Samuti mõjutab kevadrände suremus otseselt lindude sigimisedukust ehk rändel vähemedukate lindude sigimisedukus on madalam (Horton *et al.*, 2019; Smith *et al.*, 2021). Sellest uuringu järgi on lindudel kevad- ja sügisrändeks erinevad trajektoorid ning uurides valgusreostuse mõju tuleks keskenduda vastavale trajektooriga.

La Sorte jt kasutasid 2017. aastal avaldatud uurimuses samuti massandmeid, uurimaks kui tugevas seoses on öise valgusreostuse tugevus rändlindude esinemissagedusega (La Sorte *et al.*, 2017). Andmed võeti e-bird andmebaasist, mis on kodanikupõhine. Uurimuse hüpotees oli, et suurema öise valgusreostuse korral on rändlindude esinemissagedus suurem. Hüpotees põhines arvamusel, et asulates olev valgusreostus tõmbab ligi öösel lendavaid rändlinde ning seetõttu on neid päeval asulates ja asulate vahetus läheduses rohkem näha.

La Sorte jt (2017) analüüsisid aastatel 2004-2014 kogutud andmeid 40 liigi kohta, kes pesitsevad Põhja-Ameerika metsades ning rändavad öösiti. Tulemustest selgus, et liikide esinemissagedus oli kõige suurem Põhja-Ameerika keskosas, kus kattusid pesitsuspaigad ja rändeteed. Selles piirkonnas on kõige suurem asustustihedus ning sellest tulenev tugevaim öine valgusreostus. Uuritud 40 liigi esinemissageduse tõenäosus suurenes kevad- ja sügisrände ajal koos valgusreostuse tugevuse suurenemisega. Suvel ja talvel oli lindude esinemise tõenäosus suurem madalama valgusreostusega paikades ka siis kui nad asustasid linnastunud alasid.

La Sorte jt (2017) järeldasid, et valgusreostus on rände ajal lindudele meeliv faktor, mis viib rändeteest kõrvalekaldumiseni. Sügisel oli suurema valgusreostusega paikades rohkem noorlinde, kelle lennutee valik oli sihipäratum, kui kevadel rändavatel lindudel. Sellest tulenevalt ei pruugi noorlinnud leida endale sügisel sobivat paika vahepeatusteks, mis mõjub negatiivselt nende rände efektiivsusele.

Aastatel 2008 – 2014 kasutati Põhja-Ameerikas ilmteenistuse radarit koos automaatse loenduriga, et mõõta, kui tihti ning millistes elupaikades teevad rändlinnud peatusi (McLaren *et al.*, 2018). Peatuvate lindude arvukust mõjutasid metsasus, ranniku lähedus ning valgusreostuse olemasolu. Linnud eelistasid peatuspaiku, mis olid mõõduka valgusreostusega ning suurema metsasuse indeksiga. Uuringust selgus, et noorlindude esimese rände ajal valivad nad tugevama valgusreostusega alad kui täiskasvanud linnud, kes on varasemalt läbinud sügisrände.

Noorlindude kõrvalekaldeid sobivast trajektoorist on dokumenteeritud näiteks tormilindudel (sug *Procellariidae*) (Rodríguez *et al.*, 2015). Aastatel 1999-2013 dokumenteeriti kolme liiki tormilindude (*Puffinus mauretanicus*, *Calonectris diomedea*, *Hydrobates pelagicus*) maandumisi Baleaari saarestikul. Tormilindude noorisendid lendavad pärast pesast lahkumist otse merele, kus nad veedavad suurema osa oma elust (Sanz-Aguilar *et al.*, 2011). Rodríguez jt kogutud info põhjal maandub 0,13-0,56% kõigist noorlindudest enne mereni jõudmist eksikombel maapinnal. Maandunud noorlindudest suri 8,5%. Kuna tegu on ohustatud liikidega, kelle sigimisiga on kõrge (Sanz-Aguilar *et al.*, 2011), on iga isendi ellujäämine oluline. Rodríguez jt uuringu eesmärgiks oli muuhulgas hinnata, kui palju noorlinde maandub valgusreostuse tõttu ning kui suur on valgusreostuse mõju tormilindude pesitsuskolooniale ja pesitsuskäitumisele. Infot lindude maandumiste kohta saartel saadi rehabilitatsiooni ja päästetekestesse toodud lindude põhjal, mis esindab miinimumi lindudest, kes jäid ellu. Rodríguez jt uurimus põhines kohalike inimeste kaasatusel ning uurijate hinnangul jäi välja teadmata hulk surnult leitud linde, kuna neid ei toodud päästetekestesesse ning ei registreeritud.

Tormilindude olukorra parandamiseks Balerci saarestikus soovitasid Rodríguez jt harida kohalikku elanikkonda mitte ainult tormilindude kaitse vajadusest vaid ka valgusreostuse negatiivsest mõjust keskkonnale ja inimestele (Rodríguez *et al.*, 2015). Lisaks soovitati kohalikul valitsusel vähendada valgusreostuse hulka pesitsuskolooniate läheduses tagamaks tormilindudele paremaid pesitsustingimusi.

Sarnaseid soovitusi on andnud ka merelindude majandamist edendav organisatsioon Changing Seabird Management Hawaii 2010. aastal avaldatud aruandes (Duffy, 2010).

Hawaiiil käivitati 1978. aastal Save Our Shearwaters programm (Telfer *et al.*, 1987), mille üheks eesmärgiks oli vähendada igal aastal mereni mittejõudvate ja hukkuvate noorlindude arvu. Programm on edukas lindude rehabiliteerimisel, kuid puuduvad andmed, kui suur on päästetud lindude sigimisedukus (2014. aasta aruanne). Elupaikade säilitamise plaani aruandele lisatud klauslitest puuduvad paljud piirangud, mida soovitati merelindudele valgusreostusest tuleneva kahju vähendamiseks (Telfer *et al.*, 1987).

2.3 Valgusreostuse negatiivne mõju: rände ajastus

Fotoperiood ehk päeva pikkus määrab, millal alustavad linnud rändega (Lincoln & Peterson, 1979; Dawson *et al.*, 2001). Valgusreostus pikendab näiliselt päeva ning seetõttu asuvad linnud varem rändele (Navara & Nelson, 2007; Smith *et al.*, 2021). Õigeaegne kevadmigratsioon suurendab tõenäosust edukalt pesitseda ning suurendab sellega isendi kohasust (Lincoln & Peterson, 1979; Smith *et al.*, 2021). Liiga vara pesitsuspaika saabuvaid isendeid võib oodata toidupuudus ja ebasobivad ilmad ning sellest tingitud suurem suremus (Lincoln & Peterson, 1979).

Aastal 2020 avaldasid Smith jt uurimuse, kus uuriti valgusreostuse mõju kevadrände algusajale põhja-türkiispääsukestel (*Progne subis*) (Smith *et al.*, 2021). Põhja-türkiispääsukesed talvituvad Lõuna-Ameerika linnades ja maapiirkondades. Uuringus kasutati geolokaatoritega varustatud linde, et mõõta talvituspaigas oleva valgusreostuse tugevust. Geolokaatorid mõõtsid valgust tugevusega 7,107 luksi kuni 104,803 luksi. Valgus nõrgem kui 7,107 luksi registreerus kui 0, mistõttu ei saa sellest uuringust järeldada, kui väike valgusreostus hakkab mõjutama lindude rändekäitumist. Samuti saadi andmed ainult nendelt lindudelt, kes jõudsid tagasi pesitsuspaika. Uuringu käigus ei saadud teada, kui palju linde hukkus liiga vara alustatud kevadrände tulemusena.

Smith jt (2021) uuringu tulemustest selgus, et linnud, kelle talvituspaikades oli suurem valgusreostus, alustasid oma kevadrännet varem kui linnud, kelle talvituspaikades oli madalam valgusreostus. Põhja-türkiispääsukesed, kes olid vähemalt 10 ööl paigas, kus registreeriti valgusreostus alates 7,107 luksi, alustasid kevadrändega 8 päeva varem. Kusjuures isaslinnud saabusid pesitsuspaika keskel läbi 4 päeva varem kui sama valgusreostusega talvituspaikade emaslinnud.

Smith, jt (2021) tõid samuti välja toidu olemasolu kui rände alustamist mõjutava teguri. Põhja-türkiispääsukesed toituvad õhus lendavatest putukatest. Valgusreostuse allikad, nt

tänavavalgustus, meelitavad ligi lendavaid putukaid, kellest põhja-türkiispääsukesed saavad kauem toituda. Smith jt järeldasid, et linnud, kelle toiduhulk on suurem, on valmis ka varem teele asuma. Samuti jõudsid sarnasele järeldusele Amichai jt (2019) uurides valgusreostuse mõju piiritajatele (*Apus apus*). Amichai jt tõid välja, et lisaks varasemasele rände alustamisele andis pikemast toitumisest tulenev esimese pesakonna varasem väljalend võimaluse ka teise kurna loomiseks.

2.4 Valgusreostuse sesoonne mõju ja mõju troopikas

La Sorte ja Horton tõid 2020. aasta uurimuses välja, et öisel valgusreostusel on lindudele aastaajast sõltuvalt erinev mõju (Sorte & Horton, 2021). Nende uuringu fookuses olid öösel migreeruvad värvulised, kelle vaatlusandmed koguti kodanikuühisest andebaasist e-bird. Uuringu hüpoteesi kohaselt on kevadel ja sügisel migreeruvate värvuliste liigirikkus positiivses korrelatsioonis öise valgusreostuse intensiivsusega. Hüpotees osutus tõeseks ning toetab La Sorte jt 2015. aastal avaldatud uurimust (La Sorte *et al.*, 2017). Täiendusena toodi 2020. uurimuses välja valgusreostusega alade vältimine suvel ja talvel. La Sorte ja Horton pakkusid, et suvel ja talvel valivad linnud nii pesitsemiseks kui magamiseks pimedamad paigad, mis asuvad asulatest eemal. Seda teooriat toetab Ulgezeni läbi viidud katse rasvatihastega, kus linnud valisid magamiseks nõrgema valgustatusega pesakastid (Ulgezen *et al.*, 2019).

La Sorte ja Horton pakkusid samuti, et sügisel on valgusreostusel suurem mõju, kuna ööd on kevadega võrreldes pimedamad (Sorte & Horton, 2021). Enamik uuringuid on keskendunud Põhja-Ameerikale ja Euroopale, kuid seal avalduvat mõju ei tohiks kanda otse üle troopikasse. Troopilistel laiuskraadidel on päeva ja öö pikkused erinevad ning sellest tulenevalt tõenäoliselt ka valgusreostuse mõju lindudele (Sorte & Horton, 2021).

2020. aastal avaldati uurimus valgusreostuse mõjust rändlindudele troopilistel laiuskraadidel (Cabrera-Cruz *et al.*, 2020). Cabrera-Cruz jt kasutasid 2011.-2015. aastal kogutud andmeid ilmajaamadelt Cancunis ja Sabancuys Yucatani poolsaarel Mehhiko lahe ääres. Uuringu esimese hüpoteesi järgi on lindude rände tihedus rannikule lähemal suurem sügisel võrreldes kevadega. Teise hüpoteesi järgi on mõlemal hooajal suurema valgusreostusega paikades suurem rände tihedus.

Uuringu hüpoteesid osutusid tõeseks Sabancuy, kuid ainult osaliselt tõeseks Cancunis (Cabrera-Cruz *et al.*, 2020). Sabancuys ja Cancunis oli lindude rände tihedus suurem aladel,

kus valgusreostuse tugevus oli madalam. Sügisrände ajal olid linnud suurema valgusreostusega aladele lähemal kui kevadrände ajal. Uuringu tulemuste põhjal oli Cancunis, aga mitte Sabancuys, lindude tihedus sügisel ranniku lähedal suurem kui kevadel. Lindude tihedus kasvas korrelatsioonis valgusreostuse vähenemisega mõlemal hooajal. Cabrera-Cruz jt (2020) uuring on üks esimesi, mis dokumenteeris valgusreostusega peatuspaikade vältimist rände ajal. Põhjuseks pakuti uuringus, et sügisrändel jäävad ellu need linnud, kes on valgusreostuse mõjudele vähem vastuvõtlikumad või kes on kogenenumad. Sellest tulenevalt on kevadise rände ajal valgusreostusel lindudele nõrgem mõju.

Erinevused Põhja-Ameerikas tehtud uuringutest võivad olla tingitud valgusreostuse väiksemast ulatusest Yucatani poolsaarel võrreldes USA rannikuga (Cabrera-Cruz *et al.*, 2020; McLaren *et al.*, 2018). Erinevusi põhjustab ka toitumisalade olemasolu. Urbaniseerunud USA rannikul on toitumisalad enamasti linnadest ja valgusreostusest kaugemal (McLaren *et al.*, 2018). Yucatani poolsaarel on sobivaid toitumisalu rohkem, asustustihedus madalam ning valgusreostuse ulatus väiksem (Cabrera-Cruz *et al.*, 2020).

3. Valgusreostuse mõju lindude toitumisele

Öisel valgusreostusel võib olla ajutine positiivne mõju lindudele, kuna toidu otsimiseks vajalikku valgust leidub kauem (Amichai & Kronfeld-Schor, 2019; van Hasselt, Hut, *et al.*, 2021). Lisaks aitab öine lisavalgus vältida öiseid kiskjaid ja võimalikku toidukonkurentsi (Leveau, 2020; van Hasselt, Hut, *et al.*, 2021). Uuringust järeldub, et lindude öine aktiivsus, sh toidu otsimiseks kuluv aeg, sõltub valgusreostuse tugevusest, varieerudes mõnest lisatunnist terve ööni (Amichai & Kronfeld-Schor, 2019; Injaian *et al.*, 2021; van Hasselt, Hut, *et al.*, 2021).

3.1 Valgusreostuse mõju lindude toidupüüdmise aktiivsusele

2018 aastal uuriti piiritajate öist aktiivsust ning selle sõltuvust öise lisavalguse tugevusest (Amichai & Kronfeld-Schor, 2019). Uuring viidi läbi Hatira kanjonis (0,005 luksit), Tel Avivis (0,83 luksit), Bar Ilan Ülikooli territooriumil (3,85 luksit) ja Jeruusalemma lääneseinal (120 luksit). Asukohad valiti 2005 aastal tehtud uuringu alusel, mis registreeris Jeruusalemma lääneseinal suurema piiritajate aktiivsuse kui Tel Avivis (Tigges & Mendelsohn, 2005). 2016 aastal asendati seni kasutusel olnud valgustused tugevamatega. Amichai jt hüpoteesi kohaselt suurendas see piiritajate aktiivsust ning võimaldas neile ööpüügi (Amichai & Kronfeld-Schor, 2019). Piiritajate aktiivsust mõõdeti akustiliste andmekogumisseadmetega, mille alusel hinnati populatsiooni üldist aktiivsust. Tulemustest selgus, et lindude öine aktiivsus oli otseses seoses öise lisavalguse tugevusega. Kolmes uuritud paigas olid piiritajad aktiivsed pärast päikeseloojangut, kuid aktiivsus lõppes korrelatsioonis valgusreostuse tugevusega. See tähendab, et tugevama valgusreostusega paigas lõppes lindude aktiivsus hiljem. Erandiks oli Jeruusalemma lääneseinal pesitsev populatsioon, kus kõrge aktiivsus kestis kuni 4 tundi pärast päikeseloojangut ning madalam aktiivsus jätkus öö läbi.

Piiritajad toituvad väikestest lendavatest putukatest (Amichai & Kronfeld-Schor, 2019). Nõrga öise valguse korral ei näe piiritajad putukaid ning lõpetavad saagi püüdmise vastavalt olemasolevale valgushulgale. Sellisele järeldusele jõudsid Amichai jt uurides piiritajate söömiskäitumist Jeruusalemma lääneseinal. Teadlased jälgisid suurte koiliblike (*Noctuidae*) ja piiritajate omavahelist käitumist ning kogusid lindude väljaheiteid mikroskoopiliseks uurimiseks. Uuringu jooksul dokumenteeriti üksikud juhud, kus piiritajad

püüdsid aktiivselt koiliblikaid. Piiritajad pigem ignoreerisid koisid ning koid ei käitunud nagu oleksid piiritajad neile ohuks. Väljaheidete uuringust selgus, et 60% uuritud fekaale sisaldab koide tiibasid, millest järeldati, et piiritajad siiski toituvad koidest.

Amichai jt (2019) tõid välja, et pikemast toidupüüdmisest ja lisatoidust on piiritajatele kasu. Piiritaja poegade pesast lahkumise aeg on varieeruv ning sõltub toidu hulgast, mida vanemad suudavad püüda (Lack, 1951). Tugeva öise lisavalguse ja sellest tuleneva suurema toiduhulga korral saavad pojad ning vanemad pikemalt valmistuda rändeks. Kui esimese kurna pojad lahkuvad varem pesast, jõuavad vanemad kasvatada ka teise kurna (Lack, 1951). Amichai jt lisasid, et kuigi lühiajaliselt on öine lisaaktiivsus kasulik, siis pikaajaliselt hakkab kahanema vanema kohasus.

Veel ühes lõunapoolkeral tehtud uuringus jõuti järeldusele, et öine valgusreostus on põhjus, miks linnud käivad öösel toitu otsimas (Leveau, 2020). Leveau 2020. aasta uuringus olid Saltas ja Buenos Aires, kus mõlemas linnas oli kindel positiivne seos valgusreostuse tugevuse ja lindude esinemise sageduse vahel. Valgusel 100 luks oli lindude esinemise tõenäosus kõige suurem. Laeveau märkis, et olulist rolli mängib ka inimpopulatsiooni tihedus. Tuvid (*Columba livia f. domestica*) toituvad maha kukkunud toidupalukestest, mille esinemistõenäosus on suurem suurema inimpopulatsiooni tiheduse juures.

Varasemates uuringutes on täheldatud lindude aktiivsemat toiduotsimist enne koitu (Ingvar Byrkjedal *et al.*, 2012). Leveau uuringus mõõdeti lindude aktiivust ainult pärast päikeseloojangut, mistõttu ei ole teada, kas tuvide aktiivsus muutus ka enne koitu (Leveau, 2020). Uuringu tulemusi võis mõjutada valguse tugevus, mis oli igal pool kõrge (36,99 – 102,50 luks). Leveau soovitas teha uue uuringu, kus mõõdetakse lindude aktiivsust pärast päikeseloojangut ja enne päikesetõusu. Lisaks suurlinnadele peaks uurima ka väiksemaid asulaid, kus on madalam valguse tugevus.

3.2 Valgusreostuse mõju lindude toidutarbimisele

Mitmed artiklid näitavad, et öine lisavalgus või looduslik valgusreostus suurendavad lindude toidutarbimist (Amichai & Kronfeld-Schor, 2019; Leveau, 2020; van Hasselt, Hut, *et al.*, 2021). Õõnepääsukestele (*Tachycineta bicolor*) ei olnud pesitsusaegsel pesade valgustamisel olulist mõju (Injaian *et al.*, 2021). Uuringus loendati emaslindude toidupüüdmisretkede arvu. Öise lisavalgusega pesakastide emaslinnud tegid keskeltläbi 19 lendu vähem kui kontrollgrupi emaslinnud, kes olid valgustamata pesakastides. Sellest

tulenevalt eeldasid Injaian jt, et valgustatud pesakastides olevad pojad on madalama kehamassiga. Uuringu tulemustest selgus aga, et poegade kehamassid ei erinenud märgatavalt valgustatud ja valgustamata pesakastides. Võimaliku seletusena pakkusid Injaian jt, et valgustatud pesakastide isaslinnud püüavad rohkem toitu. Seda teooriat toetab Raap jt (2016) uurimus, mille järgi kompenseerivad linnud, antud juhul emaslinnud, võimaluse korral oma unevõla.

Injaiani jt (2021) uuringus oli valgustatud ainult pesakasti sisemus, lisavalgus ei jõudnud pesakastist väljapoole. Lindude suuremat toitukogumise aktiivsust on täheldatud ainult siis, kui valgustatud on lindude pesakastide esised (Raap *et al.*, 2018). Injaiani jt lisasid samuti, et tegu oli ainult ühe liigi uuringuga, mistõttu ei saa selle uuringu tulemusi üle kanda teistele liikidele. Sama on märkinud Sun jt (2017) uurides sinitihaseid (*Cyanistes caeruleus*) ja rasvatihaseid (*Parus major*).

3.3 Valgusreostuse mõju lindude energiatarbimisele ja seedesüsteemi efektiivsusele

Lisaks toitumiskäitumise muutusele mõjutab öine valgusreostus ka lindude energia tarbimist (Welbers *et al.*, 2017) ning seedesüsteemide efektiivsust (Sepp *et al.*, 2021). Lindude päevast energia tarbimist uuriti Madalmaades 2017 aastal (Welbers *et al.*, 2017). Päevane energiatarbimine on sõltuv mitmest tegurist, näiteks temperatuur, söögi olemasolu ja käitumismustrid (Hudson *et al.*, 2013). Päevase energiatarbimise järgi saab määrata isendi kohasust ning selle muutused annavad aimu võimalikest pikaajalistest mõjudest (Hudson *et al.*, 2013).

Walbersi jt (2017) uuringu hüpotees oli, et valgusreostus mõjutab päevast energiatarbimist ning katse eesmärgiks oli välja uurida, kuidas täpsemalt. Katse viidi läbi kokku kaheksas paigas sigivate rasvatihastega, kus kasutati rohelist, punast ja valget valgust. Kontrollgrupp oli valgustamata katsepaigas. Walbers jt eeldasid, et valgel ja rohelisel valgusel on suurem mõju päevasele energiatarbimisele kui punasel valgusel või pimedusel. Katse tulemuste järgi oli pimedas olevate lindude päevane energiatarbimine kõrgem, kui rohelise või valge valguse korral. Eelnevates uuringutes (Raap *et al.*, 2016) on täheldatud, et linnud on öösel rahutumad valge valguse korral, kuid see ei tähenda, et nende päevane energiatarbimine suureneb.

Päevast energia tarbimist suurendab näiteks lendamine või toidu otsimine (Sepp *et al.*, 2021). Walbersi jt uuringus mõõdeti kaheksas katsepaigas ka röövikute massi, kes on rasvatihastele toiduallikaks. Valges ja rohelises valguse oli röövikute biomass kõrgem ning sellest tulenevalt võis olla lindude energiatarbimine suurem. Erinevus Injanani jt (2021) uuringust võib tuleneda just röövikute massist. Injaian jt uuringus oli toidu hulk võrdne kõigi pesakastide juures. Walbersi jt uuring viidi läbi paikades, kus oli pikaajaliselt mõjutatud pesakaste erineva valgusega. Kuna valgus mõjub ööliblikatele meelitavalt, siis on sellest järelduvalt ka röövikute biomass suurem.

Welbersi jt (2017) katse tulemuste järgi oli päevasele energiatarbimisele kõige väiksem mõju punasel valgusel. Teadlaste arvamusel saaks punast valgust kasutada valgusreostuse mõju vähendamiseks, kuid ei ole veel selge kui palju ja kuidas mõjutab see teisi liike. Samas leidsid Ulgezen jt et just rohelisel valgusel on väiksem mõju lindude unele (Ulgezen *et al.*, 2019).

Seppa jt (2021) läbi viidud katses ida-sinivuti (*Excalfactoria chinensis*) tibudega mõõdeti nende seedesüsteemi efektiivsust, kui neid mõjutati ööpäev läbi 0,3 luksitugevuse sinise valgusega. Uuringus koguti lindude väljaheiteid ning seda analüüsid jõuti järeldusele, et valgusega mõjutatud ida-sinivuti tibude seedesüsteemi efektiivsus on madalam. Tibude viiendal ja seitsmendal nädalal toimub nende kasvus kiire areng ning nendel nädalatel oli valgusreostuse negatiivne mõju seedesüsteemi efektiivsusele selgelt eristatav.

Ida-sinivuti tibude kasvuparameetreid (pikkus, kaal, jne.) ei mõjutanud valguse olemasolu (Sepp *et al.*, 2021). Sepp jt pakkusid, et see võis olla tingitud laboritingimustest, kus toit oli kogu aeg saadaval. Looduses, kus toitu ei ole alati piisavalt, võib see põhjustada lindude kohasuse vähenemist ning muutusi nende söömiskäitumises. Vabas looduses tehtavate katsete olulisust on uuringutes rõhutanud ka teised uurijad (Raap, Sun, *et al.*, 2017; Sun *et al.*, 2017).

Walbersi jt katses oli valgustatud pesade esine ning ei ole teada kui palju valgus mõjutab poegi (Welbers *et al.*, 2017). Samuti ei mõõdetud poegade päevast energiatarbimist ega seedesüsteemi efektiivsust. Vabas looduses on keerulisem teha järjepidevaid mõõtmisi poegade avaldamata negatiivset mõju nende arengule. Seppa jt (2021) uuring juhib tähelepanu just selle vajalikkusele mõistmaks, kuidas ja kui palju valgusreostus tegelikult linde mõjutab.

4. Valgusreostuse mõju lindude sigimisedukusele

Elusloodus põhineb bioloogilistel rütmidel, mis on omakorda mõjutatud valgusrütmidest, näiteks päeva pikkusest (Kronfeld-Schor jt, 2013). Tehisvalgus mõjutab lindude päeva pikkuse tunnetust, pikendades nende jaoks päeva ja aktiivset perioodi (Strace jt, 2013; Raap jt, 2017; Titulaer jt, 2017; Wang jt, 2021). Falchi jt (2016) järgi tuleneb inimtekkelise valgusreostuse laiaulatuslik mõju valguse tagasipeegeldumisest madalamatelt pilvedelt ja õhus leiduvatelt aerosoolidelt. Samuti avaldab mõju otsene lisavalgus tänavavalgustuse ja valgustatud reklaamtahvlite kujul (Falci jt, 2016).

4.1 Valgusreostuse positiivne mõju sigimisedukusele

Uuringud on täheldanud öise lisavalguse positiivset mõju inimkaaslejatest avapesitsejate, näiteks suitsupääsukeste (*Hirundo rustica*) seas. Wangi jt (2021) korraldatud uuringust selgus, et öine lisavalgus võimaldab suitsupääsukestel suurendada esimese pesakonna sigimisedukust, mida mõõdeti pesast lahkunud lennuvõimeliste poegade järgi. Teise ja kolmanda pesakonna puhul positiivne seos sigimisedukuse ja valgusreostuse vahel puudus. Võimaliku põhjusena toodi välja toidu vähesus pesitushooaja teises pooles ja vanalindude suurem stress, mis on tingitud lühemast unest. Uuringu järgi tõid suurema valgusintensiivsusega pesapaikades vanemlinnud pärast päikeseloojangut pikemat aega poegadele süüa ning pojad mangusid pikemalt ja intensiivsemalt kui väiksema valgusintensiivsusega pesapaikades.

Taidur-pilalinnuga (*Mimus polyglottos*) läbi viidud uuringust selgub, et suurema öise valgusintensiivsusega pesapaikades kasutavad vanemlinnud samuti öist lisavalgust, pikendamaks oma saagipüüdmise aega (Stracey jt, 2014). Stracey jt leidsid, et parkimisplatsil pesitsevad linnud püüdsid toitu kauem pärast päikeseloojangut kui eramajade piirkonnas, rohumaadel või looduskaitsealal pesitsevad linnud. Küll aga ei kajastunud taidur-pilalinnu puhul vanemlindude pikem toidupüügiaeg positiivselt poegade lennuvõimestumise edukuses. Võimaliku põhjusena toodi välja parkimisplatside piirkonnas saadaoleva toidu kehv kvaliteet, mida kompenseeritakse suurema toidu kogusega.

Samuti märgati poegade tihedamat toitmist emaste rasvatihaste puhul, kui valgustati vaid pesakasti esist, mitte kaugemale jäävat ala (Titulaer jt, 2012). Titulaeri jt korraldatud katses avaldus tehisvalgus mõju esimese kurna kasvatamise teises pooles, kui pojad olid 9 – 16

päeva vanad. Isaslindude toitmisaktiivsust tehisvalgus peaaegu ei mõjutanud. Kuna isaslinnud magavad pesast eemal, siis ei asunud nad uurijate arvates lisavalguse mõjusfääris. Uuringust järeldati, et kuigi aktiivsem toitmine on poegadele kasulik, siis toimub see vanemlinnu kohasuse arvelt ja võib kujuneda tulevikus ökoloogiliseks lõksuks.

4.2 Valgusreostuse negatiivne mõju sigimisedukusele

Eelnevalt tõi autor välja valgusreostuse negatiivse mõju suitsupääsukeste teisele ja kolmandale pesakonnale Wangi jt (2021) poolt uuritud lindude seas. Öise valgusreostuse negatiivset mõju lindude sigimisele on näidanud ka Brunner jt (Brunner *et al.*, 2021). Uurijad keskendusid sinitihaste ja rasvatihaste kasvukiiruse mõõtmisele, mõõtes linnupoegade kehamassi kasvu. Uuringust järeldati, et sinitihased kasvavad valgusreostusega piirkonnas aeglasemalt. Uurijad täheldasid tugevat negatiivset seost valgusreostuse ja kasvukiiruse vahel nii emastel kui ka isastel sinitihasepoegadel.

Komplekssete uuringute põhjal, kus arvestatakse lisaks öisele valgusreostusele ka teisi segavaid tegureid, näiteks müra, on saadud vastuolulisemaid tulemusi. Näiteks leiti 2017. aastal ravatihastega läbi viidud uuringus, et neile mõjub negatiivselt helireostus, mitte valgusreostus (Raap jt, 2017). Uuringu hüpotees oli, et valgus- ja helireostuse koosmõjul on linnupoegade arengule negatiivne mõju ning see väljendub nende väiksemas kehamassis. Tulemustest selgus, et valgusreostusel oli väga väike roll. Võimaliku põhjusena toodi välja suluspesitsejate seas tavapärane magamisasetus, kus emalind on poegade peal, varjates neid lisavalguse eest. Lisaks uuriti vabalt pesitsevaid linde, kellele võisid mõjuda muud tegurid, millest uurijad ei olnud teadlikud. Teadlaste teooria oli, et avapesitsejatele võib olla valgus- ja helireostusel teistsugune koosmõju. Seda teooriat toetab samuti Wangi jt (2021) poolt läbi viidud suitsupääsukeste uuring.

4.3 Valgusreostuse mõju sigimiskäitumisele

Lindude sigimiskäitumise alla kuuluv isaslindude laulmine on otseselt seotud päikesetõusu ajaga (Wright, 1913; Dawson *et al.*, 2001). Tavatingimuses, st valgusreostuse puudumise korral, alustavad isaslinnud sõltuvalt liigist laulmisega kuni kahe tunni vältel enne koidikut (Wright, 1913). Valgusreostusega paikades algab isaslindude laul järjest varem (Miller,

2006; Kempnaers *et al.*, 2010) või kestab öö läbi (Amichai & Kronfeld-Schor, 2019), sõltuvalt valgusreostuse tugevusest.

Miller (2006) võrdles 2002. – 2003. aastal punarind-rästa (*Turdus migratorius*) laulmise alguse aega 20 saj alguse andmete (Allard, 1930) ja valgusreostuse intensiivsusega. Uuring toimus Pennsylvanias, Virginias, Wisconsinis ja Marylandi piirkonnas. Kõigis piirkondades oli punarind-rästa laulu alustamise aeg seotud valgusreostuse tugevusega. Mida tugevam oli valgusreostus, seda varem alustasid isaslinnud laulmisega. Näiteks valgusel tugevusega 3,9 luksit alustati laulmisega keskmiselt 115 min enne koidikut. Valgusel 1,26 luksit 37 min enne koidikut ja valgusel 0,03 luksit koidikul.

Võrreldes laulmise alustamise aega 20. sajandi esimeses pooles tehtud uuringuga (Allard, 1930) leidis Miller, et laulmise algusaeg oli sama, mis tänapäeval 0,03 luksit tugevuse valgusreostuse juures (Miller, 2006). Ehk linnud, kes on väikse valgusreostusega piirkonnas, hakkavad laulma samal ajal kui pea 90 aastat tagasi. Laulmise alustamise aega võib mõjutada ka antropogeenne müra, mis sõltub asustustihedusest, ja toidu olemasolu, kuid Milleri uuringus ei võetud neid arvesse. Samuti toimus võrdlus ainult selge ilmaga kogutud andmete põhjal. Miller märkis, et pilvkate ja udu ilmselt võimendavad öise valgusreostuse tugevust. Sama on märkinud Hasselt jt (2021) valgepõsk-lagledega (*Branta leucopsis*) läbiviidud katsete tulemuses ning Dickersoni jt (2022) västrik-lehviksaba (*Rhipidura leucophrys*) uuringus.

Tugevama valgusreostuse korral alustavad varem laulmist ka sinitihaseid (Kempnaers *et al.*, 2010). Varem laulmist alustavad isaslinnud on edukamad paarivälistes suhetes (Greives *et al.*, 2015). Sellest järeldub, et suurema valgusreostusega paikades isaslinnud on edukamad paarivälistes suhetes (Kempnaers *et al.*, 2010; Sun *et al.*, 2017). Samas on tugevama valgustusega paikades pigem noorlinnud, kelle pesitsusedukus sellega suureneb (Kempnaers *et al.*, 2010). Kempnaers jt jõudsid järeldusele, et valgusreostus muudab seni kehtinud seost, kus vanemad ja paremate tunnustega isased hakkasid varem laulma. Sarnaste vähemedukate isaslindude paaritusedukuse suurenemist valgusreostuse tõttu on kirjeldanud ka Dickerson jt (2022).

Valgusreostuse mõju laulmisele märgiti västrik-lehviksaba uuringus, kuid selle uuringu tulemuste järgi sõltus valgusreostuse mõju selle tüübist (Dickerson *et al.*, 2022). Västrik-lehviksaba uuriti tema levialal Kagu-Austraalias, kus ta pesitseb nii asustamata aladel kui asulates (Dickerson *et al.*, 2020). Uuriti, kuidas mõjutab västrik-lehviksaba öist laulmist lisaks kuuvalgusele valguskuma (nõrk valgusreostus kuni 0,4 luks) ja tugev asukohapõhine valgus (nt tänavavalgustuslamp). Isaslindude laulu aktiivsus suureneb kuu kasvades

(Dickerson *et al.*, 2020). Lisades juurde valguskuma, selgus, et isaslinnud laulsid kõige rohkem madala kuni keskmise tugevusega valgusreostusega paikades ehk valguskumaga paikades (Dickerson *et al.*, 2022). Tugeva valgusreostuse korral langes isaslindude laulmise aktiivsus märgatavalt koos kasvava kuu faasiga. Erinevus oli aga lindudel, kes olid püsivalt tugeva valgusreostusega paikades, näiteks asulates. Nende laulmise aktiivsust ei mõjutanud kuufaasid. Küll aga on tugevama valgusreostusega paigad jäänud vähemedukatele isastele (Dickerson *et al.*, 2020).

Dickerson jt (2022) töid tugeva valguse korral väiksema laulmisaktiivsuse peamise põhjusena välja valgusega suureneva kiskjaohu. Selle tõttu on tugevama öise valguse korral ka emaslinnud paiksemad ning ei otsi aktiivselt partnerit. Uurijatel jäi vastamata küsimus, kas valgusreostus võib hakata mõjutama lindude sigimiskäitumist seal, kus suurema püsiva valgusreostuse korral muutuvad isalinnu laulust tähtsamaks visuaalsed signaalid, mis on tänu tugevamale valgusele paremini märgatavad.

Dickerson jt (2022) märkisid samuti, et kuna kuu valgus mõjutab valgusreostuse mõju västrik-lehviksabale, siis peaks uurima sama seose olemasolu ka teiste liikide puhul. Valgusreostuse mõju liigilist erinevust on märgitud ka teistes uuringutes (Kempnaers *et al.*, 2010; Sun *et al.*, 2017).

4.4 Valgusreostuse mõju munemisele

Päeva pikkuse loomulik varieeruvus määrab muuhulgas, millal algab sigimine (Dawson *et al.*, 2001). Singh jt (2021) uurisid laboritingimustes välusidriku (*Junco hyemalis*) erinevaid alampopulatsioone ning kuidas mõjutab valgusreostus nende munemise algusaega. Migreeruv populatsioon (*Junco hyemalis hyemalis*) alustab rändega Kanadasse ja Alaskale samal ajal kui paigale jääv populatsioon (*Junco hyemalis carolinensis*) alustab paarilise leidmisega. Uuringu hüpoteesi järgi hakkavad valgusreostuse korral linnud varem munema olenemata kumma populatsiooniga on tegu. Hüpotees osutus tõseks, mõlema populatsiooni isendid hakkasid varem munema kui neid oli mõjutatud öise lisavalgustusega. Populatsioonide sigimisperioodi pikkuses ei toimunud muutusi. Migreeruva populatsiooni sigimisperiood oli ka öise lisavalgustuse korral lühem kui paiksel populatsioonil. Singh jt märkisid, et valgusreostusel on tugevam negatiivne mõju migreeruvale populatsioonile, kus esimese kurna hukkumisel ebasoodsate tingimuste korral ei muneta enam teist kurna. Selle uuringu põhjal ei muuda valgusreostus laiuskraadidest sõltuvat sigimisstrateegiat.

Kempenaers jt uurisid, kuidas sõltub sinitihaste munemise algus valgusreostuse tugevusest (Kempenaers *et al.*, 2010). Asulate äärealade, kus oli tänavavalgustus, hakkasid emased sinitihaseid 1,5 päeva varem munele kui pimedamates pesitsuspaikades olevad emased. Kuna tugevama valgusreostuse korral algas isaslindude laulmine varem, pakkusid Kempenaers jt, et see võis põhjustada emaste varasema munemise. Varasem munemine mõjub negatiivselt vanemate kohasusele, kuna poegade koorumine ei lange kokku toidu olemasolu tippajaga.

Lindude munemise aega mõjutab lisaks valgusreostusele kevadine temperatuur (Dominoni *et al.*, 2020). 2011- 2017 uuriti rasvatihaseid, kelle pesapaiku valgustati valge, roheline või punase valgusega. Uuringust selgus, et külm ilm kevade lõpus mõjutab pesitsemist rohkem kui külm ilm kevade alguses. Sooja ilmaga on vastupidi, kus kevade alguse soojal ilmal on suurem mõju. Külma ilma korral hakkasid tihased valge ja roheline valguse korral varem munele. Kevadisel temperatuuril oli siiski tugev mõju, mis võib tühistada valgusreostuse mõju.

Rasvatihase kohasust ei mõjutanud varasem munemine (Dominoni *et al.*, 2020). See võib olla tingitud röövikute arvukusest, mis on samuti seotud valgusreostusega (Stuber *et al.*, 2015). Dominioni jt märkisid, et nende uuringus valisid linnud endale sobivaima pesapaiga, millest võib eeldada, et valgusreostusega halvemini kohanenud linnud valisid endale pimedamad pesapaigad.

5. Valgusreostuse mõju lindude unele

Valgusreostusest tuleneb otsene negatiivne mõju lindude magamisele, kus lindude une pikkus lüheneb (M. Irwin, 2002; M. R. Irwin & Opp, 2017). Vähenenud uni nõrgendab immuunsüsteemi, muutes isendid vastuvõtlikumaks haigustele ning suurendades seeläbi suremust (M. Irwin, 2002). Uni on oluline mälu kinnistamiseks, mõjutades lindude kognitiivseid võimeid ja seeläbi nende kohasust (M. R. Irwin & Opp, 2017). Järgnevas peatükis on välja toodud valgusreostuse mõju lindude unele ning seeläbi nende üldisele tervisele.

5.1 Valgusreostuse mõju pesitsemisaegsele unele

Valgusreostuse mõju mõõtmisel liikidele peab arvestama pilvkatte olemasolu, nagu selgub 2020. aastal Hollandis läbi viidud katsest valgepõsk-lagledega (van Hasselt, Hut, *et al.*, 2021). Uuringust selgus, et pilved varjavad otsest kuuvalgust, kuid peegeldavad tagasi öist lisavalgust suurendades sellega valgusreostuse tugevust.

Valgepõsk-laglesid uuriti linnalähedasel alal, mille valgustatus on sarnane maakohtades olevaga, kus lagled tavalist ööbivad. Eelnevalt läbi viidud uuringust (Van Hasselt, Mekenkamp, *et al.*, 2021) selgus, et valgepõsk-lagled magavad täiskuuga öödel vähem kui noore või kahaneva kuuga öödel. Eeldati, et valgusreostusel on sarnane mõju, kuid see osutus tõeseks vaid selge ilma korral. Pilvkatte korral oli kuust tulenev valgushulk väiksem vastupidiselt valgusreostuse valgustugevusele, mis suurenes pilvkatte korral. Tugeva pilvkatte korral magasid uuringus vaadeldud valgepõsk-lagled kaks tundi vähem kui selge ilma ja noore kuu korral. Nende tulemuste põhjal järeldasid van Hasselt jt., et valgusreostuse mõju on suurem pilves ilmaga (van Hasselt, Hut, *et al.*, 2021).

Suluspesitsejaid, kes magavad kinnistes pesades või õõnsustes, mõjutab öine lisavalgus vähe, nagu selgub 2014. aastal läbi viidud uuringus Belgias (Raap *et al.*, 2018). Raap jt viisid läbi katse, kus valgustati veebruaris ja märtsis rasvatihastepesakastide avasid 1,6 luksi tugevuse valgusega, kuid pesakasti sisemused jäid valgustamata. Hüpoteesi kohaselt ärkavad linnud öösel mitmeid kordi ning nähes valgustatud pesaava toimub nende käitumises muutus, mis väljendub varasemas ärkamises ning varasemas päeva alustamises suurendades lindude päevase aktiivsuse aega. Uuringu tulemustest selgus, et pesaesise

valgustamine ei avaldanud lindudele mõju. Raap jt järeldasid, et pesakastid on lindudele olulised varjamaks neid öise lisavalguse eest.

Sarnase teooria tõid välja Raap jt 2016. aastal avaldatud uuringus (Raap *et al.*, 2016). Raapi jt hüpoteesi järgi lähevad suurema valgusintensiivsusega paikadest linnud võimalusel pimedamatesse paikadesse, et seal pesitseda. Sama hüpoteesi kohaselt ei toimu liikumist, kui pesas on juba munad või pojad. Seda teooriat toetavad ka de Jong jt. (2016) ja Dominoni jt (2013) uuringu tulemuste järeldused.

Raapi jt (Raap *et al.*, 2016) uuringus vaadeldi öise lisavalguse mõju emastele pesitsevatele rasvatihastele. Uuringu tulemustest selgus, et lühiajalise (üheöölise) pesasisemuse lisavalgustamise korral magavad linnud sellele järgneval ööl pikemalt, tehes tagasi eelnevalt kaotatud und. Raapi jt järgi puudub une tagasi tegemise võimalus lindudel, kelle pesade sisemusse paistab igaõiselt lisavalgus või kellel ei ole kinnist magamispaika. Lisaks tõid Raap jt välja, et individipõhiselt olid reageeringud lisavalgusele erinevad ning seega võib olla tegu individipõhise kohastumusega, mis vajab edasist uurimist.

5.2 Valgusreostuse hooajaline mõju magamisele

Valgusreostuse hooajalist mõju rasvatihastele uurisid Raap, jt. 2015.-2016. aastal Belgias (Raap, Sun, *et al.*, 2017). Raapi jt. hüpoteesi järgi sõltub öise valgusreostuse mõju hooajast, olles tugevam pesitushooaja alguses (detsember vs veebruar), ning valguse tugevusest. Uuringu tulemuste põhjal järeldati, et lindude und mõjutab negatiivselt tugev valgus alates 3 luksist. Seda teooriat toetab Ulgezen jt uuring, kus 1,5 luksitugevuse valge valguse korral ei täheldatud muutusi rasvatihaste kognitiivses käitumises ega magamises (Stuber *et al.*, 2015). Samale järeldusele jõudsid de Jongi jt Hollandis läbi viidud katses, kus rasvatihaseid mõjutati öösel valgusega 0,05 luksit kuni 5 luksit (De Jong *et al.*, 2016). 5 luksit öise valguse korral algas lindude aktiivne periood kuni 5 h varem ning vähenes koos valgustugevuse vähenemisega.

Raap, jt (2017) järgi mõjutab valgus eelkõige magama jäämisele kulunud aega, mis pikeneb tugeva valguse korral. Samuti ärkasid uuringus linnud varem ning lahkusid pesast varem kui nende pesad olid valgustatud. Kokku vähenes tugeva valguse korral nii detsembris kui veebruaris rasvatihaste uneaeg 40 minutit. Hooajalist erinevust valgusreostuse mõjus on kaudselt täheldatud ka teistes Raapi, jt poolt läbi viidud uuringutes (Raap *et al.*, 2016, 2018).

Stuber jt (2015) töid samuti välja erinevused magamises sõltuvalt olemasolevale valgushulgale. Tugevamalt valgustatud pesapaikades läksid linnud hiljem pesakasti ning lahkusid varem pesast, kuid pimedamates pesapaikades ärkasid linnud öö jooksul rohkem kordi üles. Tihedam öine ärkamine võib olla seotud kiskjate olemasolu riskiga pimedamates pesapaikades (Tillmann, 2009).

5.3 Valgusreostuse mõju erinevused liigi ja indiviidi tasemel

2015. aastal uuriti Belgias rasvatihaste ja sinitihaste magamisharjumusi eesmärgiga saada teada, kas lähedalt suguluses olevatele liikidele on öisel valgusreostusel sarnane mõju (Sun *et al.*, 2017). Uuringusse valiti suluspesitsejad, kellel on varasemate uuringute (Stuber *et al.*, 2015) põhjal sarnased magamisharjumused. Hüpooteesi kohaselt on rasvatihased öisest lisavalgustusest negatiivsemalt mõjutatud kui sinitihased, sest rasvatihaste laulmisstrateegiat mõjutab öine lisavalgus rohkem (Kempnaers *et al.*, 2010; Da Silva *et al.*, 2015). Uuringus mõõdeti aega, millal linnud pesakasti tulid, millal magama jäid, kui kaua kestis unetsükkel, kui kaua magasid linnud kokku, millal ärkasid ning millal lahkusid pesast. Katse osas valgustati lindude pesakasti 3 luksi tugevuse valge valgusega. Tulemustest selgus, et rasvatihased kaotasid öise lisavalgusega öödel 50 minutit und. Rasvatihased tulid hiljem pesa, jäid hiljem magama, ärkasid varem ning lahkusid pesast varem. Sinitihaste uneaeg jäi kokkuvõttes samaks, kuigi nad jäid hiljem magama ja nende unetsükkel oli lühem. Seega järeldasid Sun jt, et öine lisavalgustus mõjutab sinitihaseid vähesel määral.

Erinevuste põhjusena töid Sun jt (2017) välja rasvatihaste ja sinitihaste füsioloogilised erinevused. Sinitihased on rasvatihastest väiksemad (Dhondt, 1977) ja kaotavad ärgates rohkem sooja ning magavad seega rohkem (Körtner & Geiser, 2000). Lisaks on rasvatihastel ja sinitihastel erinev sigimiskäitumine, kus varem ärkavad emased ja isased rasvatihased on edukamad paarivälistes suhetes (Helm & Visser, 2010; Greives *et al.*, 2015). Sinitihaste isastest on paarivälistes suhetes edukamad need, kes ärkavad hiljem (Helm & Visser, 2010; Greives *et al.*, 2015), kuigi isased, kes varem laulma hakkasid said rohkem partnereid (Poesel *et al.*, 2006).

Sun jt (2017) järeldasid uuringust, et ühe liigi põhiselt ei saa teha üldistavaid järeldusi öise lisavalguse mõjust kõikidele liikidele. Lisaks töid Sun jt välja et, laboris tehtud uuringute tulemusi ei saa üle kanda vabas looduses elavatele liikidele, kuna laboris on kontrollitud tingimused, mida looduses ei esine (Aulsebrook *et al.*, 2016; Calisi & Bentley, 2009; Stuber

et al., 2015). Samuti leidsid Raap, jt (2017), et oluline on uurida vabalt elavaid linde, kuna laboris ja vabas looduses on erinevad tingimused ning sellest tulenevalt esineb lindude magamiskäitumises erisusi.

Sarnasele järeltusele jõuti ka 2011. – 2013. aastal Saksamaal läbi viidud uuringus (Stuber *et al.*, 2015). Stuberi , jt keskendusid peamiselt indiidipõhiste erisuste magamisharjumustes rasvatihastel ja sinitihastel . Uuringust järeltus, et erisused magamises tekivad hooajati ning on soolised. Isased rasvatihased ärkavad pesitsushooaja lähenedes varem ning magavad kokkuvõttes vähem kui emased. Väikeseid erinevusi märgiti ka laboris ja vabalt elavate isendite vahel, kus laboris elavad linnud magasid lühemat aega kui vabalt elavad linnud (Stuber *et al.*, 2015; Sun *et al.*, 2017).

5.4 Valgusreostuse mõju vähendamine magamisele

Valgusreostuse negatiivset mõju lindudele on võimalik vähendada kasutades lühemalainelist (rohelist) ning nõrgemat (1,5 luks) valgust (Ulgezen *et al.*, 2019). Sellisel järeltusele jõudsid Ulgezen jt 2018 aastal Hollandis rasvatihastega läbi viidud katsetes.

Katse hüpotees oli, et kui anda lindudele valikuvõimalus, eelistavad nad magada pimedas, olenemata, kas nad elavad linnas või maal. Katse esimeses osas said linnud laboritingimustes vabalt valida, kas magada pimedas, valge või rohelse valgusega pesakastides (valgustugevus 1,5 luks). Katse teises osas oli lindudele määratud juhusliku valiku alusel kindel valgus, mille all nad magasid. Seejärel mõõdeti lindudel päevast aktiivsust, oksaalhappe kontsentratsiooni plasmas, kognitiivseid võimeid ning uuriti magamiskäitumist.

Uuringu esimesest katsest selgus, et linnud eelistavad magada rohelse valgusega pesakastides. Samas eelistati valget valgust täielikule pimedusele. Metsas elavate ja linnas elavate lindude eelistustes erinevusi ei märgatud.

Katse teise osa tulemuste põhjal järeltati, et lindudele mõjuv valgus sõltub sellest, kus linnud tavapäraselt elavad. Linnas elavatele lindudele avaldas tugevamat mõju roheline valgus, samas kui metsas elavatele lindudele avaldas tugevamat mõju valge valgus. Selle põhjuseks pakuti linnas elavate lindude kohastumust valgele valgusele. Öise lisavalguse mõju lindude käitumisele kadus nädala jooksul viidates samuti lindude kohanemisvõimele.

Kokkuvõtvalt soovitasid Ulgezen jt (2019) oma uuringu põhjal valgusreostuse mõju vähendamiseks muuta tänavavalgustuse spekter kitsamaks kasutades rohelist valgust. Lisaks

aitab valgustugevuse vähendamine, kuna 1,5 luksi valgusega olid linnud võimelised harjuma. Nõrgema valgustugevuse väiksemat mõju lindude magamiskäitumisele dokumenteerisid ka Raap, jt (2016; 2017), Stuber jt (2015) ja de Jong (2016).

Arutelu ja järeldused

Järgnevas peatükis võtab autor kokku valgusreostuse peamised positiivsed ja negatiivsed mõjud lindude rände, toitumisele, sigimisele ja magamisele. Samuti toob autor välja valgusreostuse negatiivse mõju vähendamise meetodid.

Valgusreostuse positiivset mõju ei ole lindude rände kirjeldatud. Negatiivne mõju tuleneb suurenenud suremusest kokkupõrgetest telemastide, kommunikatsioonitornide ja nende toetuskaablitega (Gauthreaux Jr *et al.*, 2006; Gehring *et al.*, 2009). Lisaks suurendavad kõrvalekalded rännuteest energiakulu (Lincoln & Peterson, 1979; Gauthreaux Jr *et al.*, 2006) või osutuvad surmavaks noorlindudele (Rodríguez *et al.*, 2015). Valgusreostusest tulenev varasem kevadränne mõjub negatiivselt isendite pesitsusedukusele (Lincoln & Peterson, 1979; Smith *et al.*, 2021).

Toitumisele on valgusreostusel positiivne ja negatiivne mõju. Positiivse mõju tingib pikenenud toitumisaeg (Amichai & Kronfeld-Schor, 2019), vähenenud toidukonkurents (Leveau, 2020) ja kiskjaoh (van Hasselt, Hut, *et al.*, 2021). Pikenenud toidupüüdmise ajast tulenev suurenenud toidukogus põhjustab mõne liigi (piiritaja, põhja-türkiispääsuke) varem rände asumist (Amichai & Kronfeld-Schor, 2019; Sorte & Horton, 2021). Lühiajaliselt on valgusreostuse tõttu pikenenud toidupüüdmise aeg kasulik, kuid pikas perspektiivis mõjub see lindude kohasusele negatiivselt (Titulaer *et al.*, 2012; Amichai & Kronfeld-Schor, 2019). Lisaks nõrgendab valgusreostus lindude seedesüsteemi efektiivsust (Sepp *et al.*, 2021) ning võib tõsta päevast energia tarbimise hulka (Welbers *et al.*, 2017).

Lindude sigimisedukusele on valgusreostusel samuti positiivne ja negatiivne mõju. Positiivne mõju seisneb pikenenud toidupüüdmise ajas, mis võimaldab poegi rohkem toita või kasvatada ühel pesitsushooajal üles mitu kurna (Amichai & Kronfeld-Schor, 2019; Wang *et al.*, 2021). Negatiivne mõju võib avalduda teise kurna kasvatamisel, kus vanemate stress ja toidu madalam kvaliteet mõjuvad negatiivselt teise kurna poegade edukusele (Brunner *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2021). Valgusreostusest tingitud varasem munemine mõjub samuti lindudele negatiivselt (Dawson *et al.*, 2001). Valgusreostuse tõttu hakkavad isaslinnud varem laulma, muutes sellega kehtivaid lõivsuhteid, millel võib olla negatiivne mõju lindude kohasusele (Miller, 2006; Kempnaers *et al.*, 2010; Dickerson *et al.*, 2022).

Lindude unele mõjub valgusreostus negatiivselt vähendades uneaega (Raap *et al.*, 2018; van Hasselt, Hut, *et al.*, 2021). Valgusreostuse mõju tugevus sõltub pesitsemise tüübist ja valgusreostuse tugevusest (Miller, 2006; Raap *et al.*, 2018; Ulgezen *et al.*, 2019; van Hasselt,

Hut, *et al.*, 2021). Suluspesitsejaid mõjutab valgusreostus vähem (Raap *et al.*, 2018) ning looduses saavad isendid valida valgusreostusest ning muudest teguritest lähtuvalt sobivaima pesapaiga (Raap, Pinxten, *et al.*, 2017; Dickerson *et al.*, 2022).

Valgusreostuse mõju sõltub ilmastikuoludest (Miller, 2006; Dominoni *et al.*, 2020; van Hasselt, Hut, *et al.*, 2021), valgusreostuse tugevusest (Miller, 2006) ja värvist (Stuber *et al.*, 2015; Welbers *et al.*, 2017), aastaajast (Raap, Sun, *et al.*, 2017; Sepp *et al.*, 2021; Sorte & Horton, 2021), asukohast (Dawson *et al.*, 2001; Sorte & Horton, 2021), taksonist (Sun *et al.*, 2017; Raap *et al.*, 2018) ning isendi kohasusest (Stuber *et al.*, 2015; Raap *et al.*, 2016). Samuti võivad erineda uuringute tulemused laboris ja looduses elavatel isenditel, kuna laboritingimused on erinevad looduses olevatest (Raap, Sun, *et al.*, 2017; Sun *et al.*, 2017; Sepp *et al.*, 2021). Lisaks mõjuvad looduses mitmed tegurid koos valgusreostusega, võimendades või alla surudes selle mõju (Raap, Pinxten, *et al.*, 2017; Dominoni *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2021).

Valguse värv ja tugevus määrab selle mõju lindudele (Miller, 2006; Stuber *et al.*, 2015; Welbers *et al.*, 2017). Punast värvi telemastide hoiatustuledele on lindude rändele negatiivne mõju (Gehring *et al.*, 2009), kuid päevast energiatarbimist mõjutab punane valgus kõige vähem (Welbers *et al.*, 2017). Samas muudab punane valgus lindude magamiskäitumist rohkem kui näiteks roheline valgus (Stuber *et al.*, 2015). Andes lindudele valiku, eelistavad nad magada roheline valguse all ning võimalusel väldivad pimedust (Ulgezen *et al.*, 2019). Samas on linnas elavad linnud kohastunud valge valgusega, mis avaldab neile väiksemat mõju kui metsas elavatele lindudele (Ulgezen *et al.*, 2019).

Selle töö autori sisukoht on, et valgusreostuse mõju vähendamiseks ei saa muuta lihtsalt valgusspektrit. Kõige efektiivsem meede valgusreostuse mõju vähendamiseks on valgusreostuse tugevuse vähendamine. Uuringud on näidanud, et majade valgusemissiooni vähendamisel väheneb ka kokkupõrgete sagedus (Evans Ogden, 2002). Valgusreostuse tugevuse vähendamine aitab omakorda vähendada negatiivset mõju lindude unele (Stuber *et al.*, 2015; Raap *et al.*, 2016, 2018) ja kõrvalekaldeid lennutrajektoorist (Lincoln & Peterson, 1979; Rodríguez *et al.*, 2015). Inimeste harimisel valgusreostuse negatiivsest mõjust loodusele on samuti kasu (Evans Ogden, 2002; Rodríguez *et al.*, 2015). Otsene meede oleks näiteks rände ajaks monumentide ja majade kohtvalgustuste väljalülitamine, majade valgusemissiooni vähendamine ning tänavavalgustuse ülespoole kumamise takistamine (Gauthreaux Jr *et al.*, 2006). Samuti aitaks kokkupõrgete sagedust vähendada püsivalt põlevate punaste hoiatustulede asendamine valge või vilkvalgustusega tornidel ja telemastidel (Gehring *et al.*, 2009).

Kokkuvõte

Käesoleva uurimustöö eesmärk oli anda kirjanduse põhjal ülevaade valgusreostuse mõjust lindude elu erinevatele aspektidele. Valgusreostuse mõju elusloodusele on raske hinnata, kuna selle mõju sõltub erinevate tegurite koosmõjust. Samuti ei ole valgusreostuse mõju alati silmaga jälgitav. Laborikatsete tingimustes on võimalik hinnata erineva tugevusega valgusreostuse mõju lindudele andes meile ettekujutuse, kuidas valgusreostus mõjub.

Looduses läbi viidud uurimusi ja labori tulemusi koos vaadates ilmnevad valgusreostuse erinevad mõjud lindudele.

Lindude toitumisel ja sigimisele võib valgusreostusel olla lühiajaliselt positiivne mõju nt isendi suurenenud kohasus või edukam pesitsemine. Pikemas perspektiivis on valgusreostusel negatiivne mõju vähendades lindude uneaega, suurendades energiakulu rändel kõrvalepõigete tõttu, vähendades seedesüsteemi efektiivsust, suurendades kokkupõrgete sagedust valgustatud objektidega, jne.

Valgusreostuse mõju sõltub väga mitmetest faktoritest, nt pilvkatte olemasolu, aastaaeg, valgusreostuse värv ja tugevus. Valgusreostuse vähendamiseks on meil võimalik muuta vaid valgusreostuse tugevust või värvust. Olemasolevate uurimuste põhjal on kõige efektiivsem meede valgusreostuse tugevuse vähendamine. Kuna valgusreostus mõjutab lisaks lindudele ja teistele taksonitele ka inimesi, aitaks valgusreostuse vähendamisele kaasa teadlikkuse suurendamine valgusreostuse negatiivsetest mõjudest.

Summary

The effect of artificial light at night on birds

The purpose of this bachelor thesis was to give an overview of how artificial light at night (ALAN) effects birds based on published literature. It is hard to estimate how ALAN effects living nature as its effect depends on how different factors concur. Also, the effect of ALAN is not something we can always observe. In laboratory we have an opportunity to see how the strength of ALAN effects birds on deeper levels. To see how ALAN really effects birds, we have to take into consideration the data from both laboratory and wild life experiments.

ALAN may briefly positively effect the breeding and feeding of birds, e.g. increased fitness of individual or by more successful nesting. On the long run ALAN has a negative effect on birds reducing their sleep, increasing energy expenditure due to digression of migration routes, reducing digestive efficiency, increasing risk of collisions with lighted structures, etc.

The effect of ALAN depends on many factors, e.g. cloud coverage, season, the colour and strength of ALAN. We can change only the colour or strength of ALAN to reduce it. Based on the data we have the most efficient way to reduce ALAN is to reduce its strength. As ALAN effects also humans, in addition to birds and other taxa, it would help to increase the awareness of the negative effects of ALAN.

Tänuavaldused

Tänan oma juhendajat Riin Viigipuud lisatud kommentaaride eest, mis aitasid kaasa uurimustöö valmimisele. Samuti tänan teda kannatlikkuse eest, kui mõne peatüki lõpetamine kippus pikale venima. Tänan ka oma pere toetuse ja nõuannete eest lõputöö kirjutamisel.

Kasutatud kirjandus

- Allard, H. A. (1930). The First Morning Song of Some Birds of Washington, D. C.; Its Relation to Light. *The American Naturalist*, *64*, 436–469. <https://doi.org/10.1086/280329>
- Amichai, E., & Kronfeld-Schor, N. (2019). Artificial Light at Night Promotes Activity Throughout the Night in Nesting Common Swifts (*Apus apus*). *Scientific Reports*, *9*, 11052. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47544-3>
- Aulsebrook, A., Jones, T., & Rattenborg, N. (2016). Sleep ecophysiology: Integrating neuroscience and ecology. *Trends Ecol. Evol.*, *31*, e599.
- Brunner, N., Kühleitner, M., & Renner-Martin, K. (2021). Bertalanffy-Pütter models for avian growth. *PLOS ONE*, *16*, 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250515>
- Cabrera-Cruz, S. A., Cohen, E. B., Smolinsky, J. A., & Buler, J. J. (2020). Artificial Light at Night is Related to Broad-Scale Stopover Distributions of Nocturnally Migrating Landbirds along the Yucatan Peninsula, Mexico. *Remote Sensing*, *12*. <https://doi.org/10.3390/rs12030395>
- Calisi, R. M., & Bentley, G. E. (2009). Lab and field experiments: Are they the same animal? *Hormones and behavior*, *56*, 1–10.
- Da Silva, A., Valcu, M., & Kempenaers, B. (2015). Light pollution alters the phenology of dawn and dusk singing in common European songbirds. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *370*, 20140126.
- Dawson, A., King, V. M., Bentley, G. E., & Ball, G. F. (2001). Photoperiodic Control of Seasonality in Birds. *Journal of Biological Rhythms*, *16*, 365–380. <https://doi.org/10.1177/074873001129002079>
- De Jong, M., Jeninga, L., Ouyang, J. Q., van Oers, K., Spoelstra, K., & Visser, M. E. (2016). Dose-dependent responses of avian daily rhythms to artificial light at night. *Physiology & Behavior*, *155*, 172–179.

- Deutschlander, M. E., Phillips, J. B., & Borland, S. C. (1999). The case for light-dependent magnetic orientation in animals. *Journal of Experimental Biology*, *202*, 891–908.
<https://doi.org/10.1242/jeb.202.8.891>
- Dhondt, A. A. (1977). Interspecific competition between great and blue tit. *Nature*, *268*, 521–523.
- Dickerson, A. L., Hall, M. L., & Jones, T. M. (2020). The effect of variation in moonlight on nocturnal song of a diurnal bird species. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, *74*, 109.
<https://doi.org/10.1007/s00265-020-02888-z>
- Dickerson, A. L., Hall, M. L., & Jones, T. M. (2022). The effect of natural and artificial light at night on nocturnal song in the diurnal willie wagtail. *Science of The Total Environment*, *808*, 151986.
- Dominoni, D. M., Kjellberg Jensen, J., de Jong, M., Visser, M. E., & Spoelstra, K. (2020). Artificial light at night, in interaction with spring temperature, modulates timing of reproduction in a passerine bird. *Ecological Applications*, *30*, e02062. <https://doi.org/10.1002/eap.2062>
- Duffy, D. C. (2010). Changing Seabird Management in Hawai'i: From Exploitation through Management to Restoration. *Waterbirds*, *33*, 193–207.
<https://doi.org/10.1675/063.033.0208>
- Evans Ogden, L. J. (2002). Summary report on the Bird Friendly Building program: Effect of light reduction on collision of migratory birds. *Fatal Light Awareness Program (FLAP)*, *5*.
- Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C. C., Elvidge, C. D., Baugh, K., Portnov, B. A., Rybnikova, N. A., & Furgoni, R. (2016). The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science advances*, *2*, e1600377.
- Fischer, J. H., Debski, I., Taylor, G. A., & Wittmer, H. U. (2021). Consistent offshore artificial light at night near the last breeding colony of a critically endangered seabird. *Conservation Science and Practice*, *3*, e481.
- Gauthreaux Jr, S. A., Belser, C. G., Rich, C., & Longcore, T. (2006). Effects of artificial night lighting on migrating birds. *Ecological consequences of artificial night lighting*, 67–93.

- Gehring, J., Kerlinger, P., & Manville, A. M. (2009). Communication towers, lights, and birds: Successful methods of reducing the frequency of avian collisions. *Ecological Applications*, *19*, 505–514.
- Greives, T. J., Kingma, S. A., Kranstauber, B., Mortega, K., Wikelski, M., van Oers, K., Mateman, A. C., Ferguson, G. A., Beltrami, G., & Hau, M. (2015). Costs of sleeping in. *Functional Ecology*, *29*, 1300–1307.
- Helm, B., & Visser, M. E. (2010). Heritable circadian period length in a wild bird population. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *277*, 3335–3342.
- Horton, K. G., Nilsson, C., Van Doren, B. M., La Sorte, F. A., Dokter, A. M., & Farnsworth, A. (2019). Bright lights in the big cities: Migratory birds' exposure to artificial light. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *17*, 209–214.
- Hudson, L. N., Isaac, N. J. B., & Reuman, D. C. (2013). The relationship between body mass and field metabolic rate among individual birds and mammals. *Journal of Animal Ecology*, *82*, 1009–1020. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12086>
- Ingvar Byrkjedal, Terje Lislevand, & Stefanie Vogler. (2012). Do passerine birds utilise artificial light to prolong their diurnal activity during winter at northern latitudes? *Ornis Norvegica*, *35*. <https://doi.org/10.15845/on.v35i0.269>
- Injaian, A. S., Uehling, J. J., Taff, C. C., & Vitousek, M. N. (2021). Effects of Artificial Light at Night on Avian Provisioning, Corticosterone, and Reproductive Success. *Integrative and Comparative Biology*, *61*, 1147–1159. <https://doi.org/10.1093/icb/icab055>
- Irwin, M. (2002). Effects of sleep and sleep loss on immunity and cytokines. *Brain, behavior, and immunity*, *16*, 503–512.
- Irwin, M. R., & Opp, M. R. (2017). Sleep health: Reciprocal regulation of sleep and innate immunity. *Neuropsychopharmacology*, *42*, 129–155.

- Kempenaers, B., Borgström, P., Loës, P., Schlicht, E., & Valcu, M. (2010). Artificial night lighting affects dawn song, extra-pair siring success, and lay date in songbirds. *Current Biology*, *20*, 1735–1739.
- Kronfeld-Schor, N., Dominoni, D., De la Iglesia, H., Levy, O., Herzog, E. D., Dayan, T., & Helfrich-Forster, C. (2013). Chronobiology by moonlight. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *280*, 20123088.
- Körtner, G., & Geiser, F. (2000). The temporal organization of daily torpor and hibernation: Circadian and circannual rhythms. *Chronobiology international*, *17*, 103–128.
- La Sorte, F. A., Fink, D., Buler, J. J., Farnsworth, A., & Cabrera-Cruz, S. A. (2017). Seasonal associations with urban light pollution for nocturnally migrating bird populations. *Global Change Biology*, *23*, 4609–4619.
- Lack, E. (1951). THE BREEDING BIOLOGY OF THE SWIFT APUS APUS. *Ibis*, *93*, 501–546.
<https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1951.tb05457.x>
- Leveau, L. M. (2020). Artificial Light at Night (ALAN) Is the Main Driver of Nocturnal Feral Pigeon (*Columba livia* f. *Domestica*) Foraging in Urban Areas. *Animals*, *10*.
<https://doi.org/10.3390/ani10040554>
- Lincoln, F. C., & Peterson, S. R. (1979). *Migration of birds: Kd No. 16*. Fish & Wildlife Service, US Department of the Interior.
- McLaren, J. D., Buler, J. J., Schreckengost, T., Smolinsky, J. A., Boone, M., Emiel van Loon, E., Dawson, D. K., & Walters, E. L. (2018). Artificial light at night confounds broad-scale habitat use by migrating birds. *Ecology Letters*, *21*, 356–364.
<https://doi.org/10.1111/ele.12902>
- Miller, M. W. (2006). Apparent effects of light pollution on singing behavior of American robins. *The Condor*, *108*, 130–139.

- Navara, K. J., & Nelson, R. J. (2007). The dark side of light at night: Physiological, epidemiological, and ecological consequences. *Journal of Pineal Research*, *43*, 215–224.
<https://doi.org/10.1111/j.1600-079X.2007.00473.x>
- Poesel, A., Kunc, H. P., Foerster, K., Johnsen, A., & Kempenaers, B. (2006). Early birds are sexy: Male age, dawn song and extrapair paternity in blue tits, *Cyanistes* (formerly *Parus*) *caeruleus*. *Animal Behaviour*, *72*, 531–538.
- Raap, T., Pinxten, R., Casasole, G., Dehnhard, N., & Eens, M. (2017). Ambient anthropogenic noise but not light is associated with the ecophysiology of free-living songbird nestlings. *Scientific Reports*, *7*, 2754. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02940-5>
- Raap, T., Pinxten, R., & Eens, M. (2016). Artificial light at night disrupts sleep in female great tits (*Parus major*) during the nestling period, and is followed by a sleep rebound. *Environmental Pollution*, *215*, 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.100>
- Raap, T., Pinxten, R., & Eens, M. (2018). Cavities shield birds from effects of artificial light at night on sleep. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*, *329*, 449–456. <https://doi.org/10.1002/jez.2174>
- Raap, T., Sun, J., Pinxten, R., & Eens, M. (2017). Disruptive effects of light pollution on sleep in free-living birds: Season and/or light intensity-dependent? *Behavioural processes*, *144*, 13–19.
- Rodríguez, A., García, D., Rodríguez, B., Cardona, E., Parpal, L., & Pons, P. (2015). Artificial lights and seabirds: Is light pollution a threat for the threatened Balearic petrels? *Journal of Ornithology*, *156*, 893–902.
- Sanz-Aguilar, A., Tavecchia, G., Genovart, M., Igual, J. M., Oro, D., Rouan, L., & Pradel, R. (2011). Studying the reproductive skipping behavior in long-lived birds by adding nest inspection to individual-based data. *Ecological Applications*, *21*, 555–564.
<https://doi.org/10.1890/09-2339.1>

- Sepp, T., Webb, E., Simpson, R. K., Giraudeau, M., McGraw, K. J., & Hutton, P. (2021). Light at night reduces digestive efficiency of developing birds: An experiment with king quail. *The Science of Nature*, *108*, 4. <https://doi.org/10.1007/s00114-020-01715-9>
- Smith, R. A., Gagné, M., & Fraser, K. C. (2021). Pre-migration artificial light at night advances the spring migration timing of a trans-hemispheric migratory songbird. *Environmental Pollution*, *269*, 116136. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116136>
- Sorte, F. A. L., & Horton, K. G. (2021). Seasonal variation in the effects of artificial light at night on the occurrence of nocturnally migrating birds in urban areas. *Environmental Pollution*, *270*, 116085. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116085>
- Stuber, E. F., Dingemanse, N. J., Kempenaers, B., & Mueller, J. C. (2015). Sources of intraspecific variation in sleep behaviour of wild great tits. *Animal Behaviour*, *106*, 201–221.
- Sun, J., Raap, T., Pinxten, R., & Eens, M. (2017). Artificial light at night affects sleep behaviour differently in two closely related songbird species. *Environmental Pollution*, *231*, 882–889. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.08.098>
- Telfer, T. C., Sincock, J. L., Byrd, G. V., & Reed, J. R. (1987). Attraction of Hawaiian seabirds to lights: Conservation efforts and effects of moon phase. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)*, *15*, 406–413.
- Tigges, U., & Mendelsohn, H. (2005). Phenology and behaviour of the common swift *Apus apus* in Israel (Holy birds, or the common swifts of Jerusalem's Western Wall). *Sandgrouse*, *27*, 82–87.
- Tillmann, J. E. (2009). Fear of the dark: Night-time roosting and anti-predation behaviour in the grey partridge (*Perdix perdix* L.). *Behaviour*, 999–1023.
- Titulaer, M., Spoelstra, K., Lange, C. Y., & Visser, M. E. (2012). Activity patterns during food provisioning are affected by artificial light in free living great tits (*Parus major*). *PLoS One*, *7*, e37377.

- Ulgezen, Z. N., Käpylä, T., Meerlo, P., Spoelstra, K., Visser, M. E., & Dominoni, D. M. (2019). The preference and costs of sleeping under light at night in forest and urban great tits. *Proceedings of the Royal Society B*, *286*, 20190872.
- van Hasselt, S. J., Hut, R. A., Allocca, G., Vyssotski, A. L., Piersma, T., Rattenborg, N. C., & Meerlo, P. (2021). Cloud cover amplifies the sleep-suppressing effect of artificial light at night in geese. *Environmental Pollution*, *273*, 116444.
- Van Hasselt, S. J., Mekenkamp, G.-J., Komdeur, J., Allocca, G., Vyssotski, A. L., Piersma, T., Rattenborg, N. C., & Meerlo, P. (2021). Seasonal variation in sleep homeostasis in migratory geese: A rebound of NREM sleep following sleep deprivation in summer but not in winter. *Sleep*, *44*, zsa244.
- Wainwright, C. E., Stepanian, P. M., & Horton, K. G. (2016). The role of the US Great Plains low-level jet in nocturnal migrant behavior. *International Journal of Biometeorology*, *60*, 1531–1542. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1144-9>
- Wang, J.-S., Tuanmu, M.-N., & Hung, C.-M. (2021). Effects of artificial light at night on the nest-site selection, reproductive success and behavior of a synanthropic bird. *Environmental Pollution*, *288*, 117805. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117805>
- Welbers, A. A. M. H., van Dis, N. E., Kolvoort, A. M., Ouyang, J., Visser, M. E., Spoelstra, K., & Dominoni, D. M. (2017). Artificial Light at Night Reduces Daily Energy Expenditure in Breeding Great Tits (*Parus major*). *Frontiers in Ecology and Evolution*, *5*. <https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00055>
- Wright, H. W. (1913). Morning Awakening and Even-Song: Second Paper. *The Auk*, *30*, 512–537.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Leida Ojasoo

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose Valgusreostuse mõju lindudele, mille juhendaja on Riin Viigipuu 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.

Leida Ojasoo

20.05.2022