

TARTU ÜLIKOOL  
ÖKOLOOGIA JA MAATEADUSTE INSTITUUT  
ZOOLOOGIA OSAKOND  
LOOMAÖKOLOOGIA ÕPPETOOL

Riin Viigipuu

**INIMTEKKELISE MÜRA MÕJU LINDUDE  
KOMMUNIKATSIOONILE JA  
KOHASUSELE**

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Vallo Tilgar

TARTU 2017

# **Informatsioon**

## **Inimtekkelise müra mõju lindude kommunikatsioonile ja kohasusele**

Inimtekkeline müra mõjutab linde mitmeti. Olles enamasti madala sagedusega, varjutab see nende lindude häälotsusi, kes sarnaseid sagedusi kasutavad. Lisaks isenditevahelise suhtluse takistamisele müra ka hirmutab linde ja tekitab stressi. Müra mõju erineb linnuliigiti, tundlikumate arvukus võib väheneda ning selle arvelt suurened müra paremini taluvate liikide arvukus. Enamikule linnuliikidest on müra kahjulik ning sellega tuleks looduskaitse korraldamisel arvestada.

Märksõnad: müra, linnud, looduskaitsebioloogia

B280 - loomaökoloogia

## **The Impact of Anthropogenic Noise on Birds' Communication and Fitness**

Anthropogenic noise affects birds in various ways. It is mostly low-frequency and masks the vocalizations of the birds that use similar frequencies in their vocal communication. In addition to masking vocal signals, noise also frightens birds and causes them stress. The effect of noise is different for different species. More susceptible species may decrease in abundance, making way for less susceptible species to increase in abundance. However, anthropogenic noise has a detrimental effect on most bird species and that should be taken into account in nature conservation.

Keywords: noise, vocal signals, birds, conservation biology

B280 - animal ecology

## Sisukord

1. Sissejuhatus.....	4
2. Müra mõju isenditevahelisele suhtlusele.....	5
2.1. Linnulaul.....	5
2.2. Kutsehüüded: suhtlus grupis ja paariliste vahel.....	9
2.3. Vanemate ja poegade suhtlus pesas.....	10
2.4. Kiskja märkamine.....	12
3. Müra mõju käitumisele, füsioloogiale ja sigimisele.....	13
3.1. Akuutsed mõjud.....	13
3.2. Pikaajalised ja korduvad mõjud.....	14
3.2.1. Tervis ja konditsioon.....	14
3.2.2. Sigimine.....	15
3.2.3. Kuulmiskahjustused.....	17
4. Müra mõju lindude arvukusele.....	19
5. Positiivne mõju elupaiga kvaliteedile.....	21
6. Arutelu ja järeldused.....	22
Kokkuvõte.....	26
Summary.....	27
The impact of anthropogenic noise on birds' communication and fitness.....	27
Tänuavaldus.....	28
Kasutatud kirjandus.....	29

# 1. Sissejuhatus

Inimtegevuse laienemine mõjutab elusloodust mitmeti ning müral on selles oluline osa. Paljud organismirühmad kasutavad helisignaale ning kuulmist erinevates olukordades: paarilise valikul, toiduotsingutel, kiskjate vältimiseks, territooriumi kaitseks, üksteise äratundmiseks... Müra, nii looduslik, nagu veekogud, tuules liikuv taimestik, äike ja teised organismid kui ka inimtekkeline, mis on peamiselt tingitud liiklusest ja energiatootmisest, aga ka ehitusest, loodusturismist, põllumajandusest, metsaraiest ja militaartegevusest, takistab vokaalsete signaalide vastuvõtmist. Võrreldes looduslike helidega on inimtekkeline müra evolutsiooniliselt uus, laiaulatuslik ning kestav ja võib seetõttu mitmeid kahjulikke mõjusid kaasa tuua.

„Eesti keele seletav sõnaraamat” (internet 1) defineerib müra järgmiselt: „mitmesuguste kõrguselt ja valjuselt erinevate (pidevate) helide (ebakorrapärane) segu; tahkete kehade vibreerimisel v. gaaside pulseerival liikumisel (näit. mootoreis) tekkiv pideva v. peaaegu pideva spektriga heli”. Selles töös kasutan sõna „müra” peamiselt ingliskeelse sõna „*noise*” vastena (internet 2), mis on defineeritud kui ebasoovitav või teiste helide kuulmist takistav heli (Ortega 2012).

Müraallikaid on erinevaid tüüpe. Laborikatsetes kasutatakse enamasti kas sünteetilist valget müra, kus energia on sageduste vahel ühtlaselt jaotunud või liiklusrüasalvestisi, kus suurem osa energiast on koondunud sagedustele alla 2000 Hz (Barber 2008). Väliitingimustes on liiklusrüa tihti vahelduva tugevusega ning koondunud tipptundidele, samas gaasikompressorid puuraukude juures ja elektrigeneraatorid tekitavad ühtlase tugevusega ning püsivat müra.

Linnud kasutavad palju vokaalseid signaale ning seega võib eeldada, et mürasaaste neid mõjutab. Lindudel on tähtis roll ökosüsteemides (Newton 1998) ning atraktiivsuse tõttu ka looduskaitse populariseerimises.

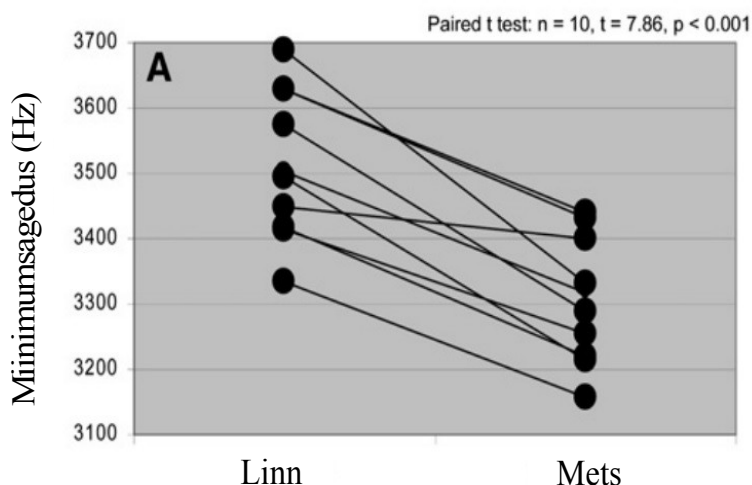
Selles töös püüan anda ülevaate inimtekkelise müra mõju erinevatest aspektidest lindudele. Sealjuures pööran tähelepanu eri valjuse, kestuse ja sagedusjaotusega müra mõjudele ning liikidevahelistele erinevustele. Lisaks proovin leida võimalusi kahjulike mõjude vähendamiseks ning edasist uurimist vajavaid suundi.

## 2. Müra mõju isenditevahelisele suhtlusele

### 2.1. Linnulaul

Laulmise abil kaitsevad linnud territooriumi ja meelitavad ligi paarilist. Müra võib nende signaale eri määral varjutada ning liigid kohanevad olukorraga erinevalt. Ühed väldivad mürasaastepiirkondi, teised aga muudavad oma signaale, et sõnum segavast taustast hoolimata kohale viia.

Leideni linnas Hollandis laulavad rasvatihased (*Parus major*) madala mürafooniga elurajoonis madalama helisagedusega kui mürarikaste kiirteede ja ristmike ümbruses (Slabbekoorn ja Peet 2003). Sama näitab kümnes Euroopa linnas ning võrdlevalt lähedalasuvates metsades tehtud uuring (Slabbekoorn ja den Boer-Visser 2006). Liiklusmüras laulis kõrgemalt ka värvuline *Colluricincla harmonica* (Parris ja Schneider 2009) ja rootsiitsitaja (*Emberiza schoeniclus*) (Gross *et al* 2010). Kõrgemalt lauldakse laulu madalamad sagedused (joonis 1) (Slabbekoorn ja Peet 2003, Slabbekoorn ja den Boer-Visser 2006, Parris ja Schneider 2009, Mockford ja Marshall 2009).



**Joonis 1.** Rasvatihaste (*Parus major*) laulude miinimumsageduste võrdlus linnas ja metsas (Slabbekoorn ja den Boer-Visser 2006). Punktid näitavad erinevate linnade ja metsade paare üle Euroopa.

Üks võimalik seletus rasvatihaste laulu kõrgemaks muutumisele linnas tuleneb sellest, et laul õpitakse teistelt isenditelt (Slabbekoorn ja den Boer-Visser 2006). Autorite hinnangul võib see

toimuda kahel erineval viisil: madalamaid sagedusi ei õpita, sest neid pole kuulda või loobuvad linnud madalamasageduslikest laulutüüpidest, sest neid ei kuulda ja neile ei vastata. Mõlemal juhul suureneb kõrgemate sageduste osakaal madalamate helisageduste arvelt (Slabbekoorn ja den Boer-Visser 2006).

Lutheri ja Baptista (2010) uuring valgekiird-sidrikute (*Zonotrichia leucophrys*) dialektide ehk murrete muutumise kohta 30 aasta jooksul kinnitab seda. Koos liiklusrüüri intensiivsuse suurenemisega on murre, milles madalamad sagedused on kõrgemad, asendanud ühe madalama murde ning on välja tõrjumas teist. Ka allesjäänud murrete madalamad sagedused on aja jooksul tõusnud. Mockford ja Marshall (2009) mängisid nii kesklinnas (linna-) kui ka vähemalt 4 km kesklinnast eemal elavatele (maa-) rasvatihastele mõlema asurkonna laulu ning leidsid, et mürarikas kesklinnas elavad linnud reageerivad kiiremini ja tugevamalt teiste linnalindude laulule ning maal elavad tihased jällegi vaiksemate alade liigikaaslastele. See võib panna oma territooriumi otsivad noorlinnud teistsuguse müratasemega aladel ebasoodsasse olukorda (Mockford ja Marshall 2009).

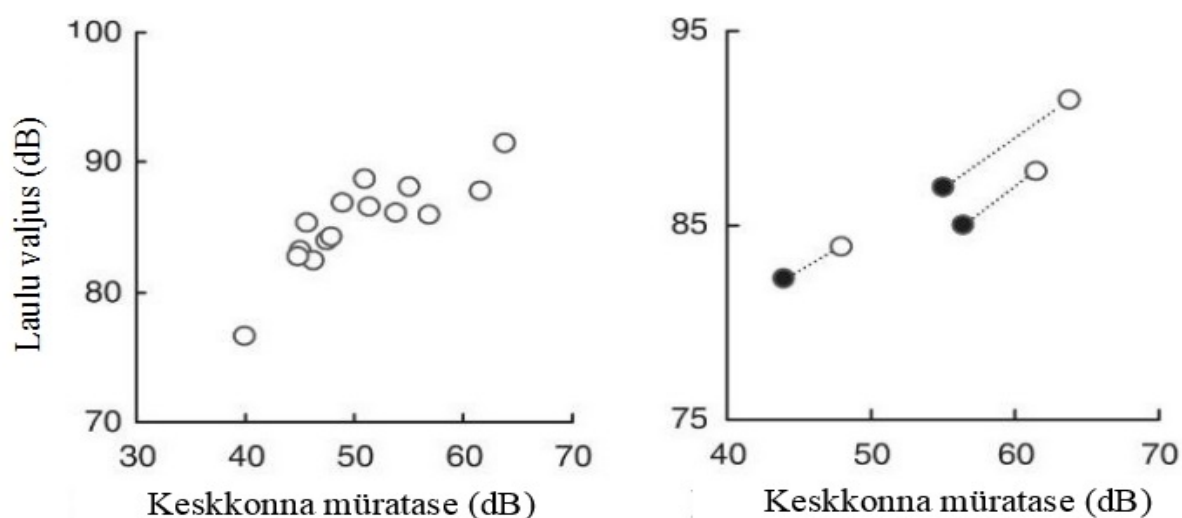
Bermúdez-Cuamatzin *et al* (2011) uurisid aga aed-karmiinleevikeste (*Carpodacus mexicanus*) laulu helisageduse muutust reaajas: isastele mängiti helisalvestist liiklusrüürist kõigepealt vaiksemalt (44-57 dB), siis valjemalt (56–65 dB) ning siis uuesti vaiksemalt. Linnud laulsid valjema müra taustal madalama sagedusega silbid kõrgemalt ning kui müra oli vaiksem, hakkasid jälle madamalt laulma. Neid silpe, mida müras kõrgemalt lauldi, lauldi ka lühemalt, teisi aga pikemalt kui vaiksemal ajal.

Inimtekkelise müra mõju lindude kommunikatsioonisignaalidele sõltub nende poolt kasutatavast helisagedusest. Parris ja Schneider (2009) leidsid, et maoori lehviksaba (*Rhipidura fuliginosa*), kelle laul on sagedusega üle 4000 Hz, ei muuda oma laulu helisagedust vastavalt sellele, kui tiheda liiklusega tee ääres ta elab. Samas värvulise *Colluricincla harmonica* vähem kui 2000 Hz kõrgune laul oli seda kõrgem, mida valjem oli müra.

Sarnaselt sebra-amadiinide (*Taeniopygia guttata*) kutsehüüdudega (Villain *et al* 2016), muutub ka rasvatihase laulu esimene noot või fraas linnas kiiremaks: nii laul ise kui ka pausid lauluelementide vahel muutuvad lühemaks (Slabbekoorn ja den Boer-Visser 2006). Metsvindid esitasid koskede ja jugade läheduses laulutüüpe suurem arv kordi (Brumm ja Slater 2006), kuid linnas ja maal metsvintide lauludes märkimisväärseid erinevusi ei leitud (Deoniziak ja Osiejuk 2016).

Signaalide muutmine erineb liigiti ka perekonnasiseselt. Francis *et al* (2011) uurisid kahte sama perekonna liiki: männi-virelindu (*Vireo plumbeus*) ja hall-virelindu (*V. vicinior*). Mõlemad elavad kuivades okasmetsades ning nende häälsused on sarnased. Töö viidi läbi gaasikompressorite läheduses, mis tekitavad pidevalt madalsageduslikku müra rohkem kui 95 dB. Kontrollalaks olid gaasipuuraugud, mis olid inimtegevuse poolest sarnased, kuid ilma mürarikaste kompressoriteta. Männi-virelind laulis lühemaid laule ning kõrgendas miinimumsagedust, vähendades sellega kasutatavate helisageduste vahemikku, hall-virelind aga tõstis maksimumsagedust, laiendades sageduste erinevust ning laulis pikemaid laule.

Mürale võib lisaks sageduse muutmisele reageerida ka valjemalt lauldes. Seda vokaalse regulatsiooni mehhanismi, kus valjemale taustamürale reageeritakse valjema häälsusega, nimetatakse Lombardi efektiks. (Brumm 2004). Brumm (2004) salvestas 17 lõunaööbiku (*Luscinia megarhynchos*) laulu ning mürataseme nende elupaikades. Territooriumite müratasemed varieerusid vahemikus 40-64 dB. Madalama mürafooni puhul oli põhiliseks helitaustaks teiste lindude laul, kõrgema mürafooniga aladel liikluse müra. Selgus, et mida mürarikamat territooriumi ööbik kaitses, seda valjemalt ta laulis. Kui kõige vaiksemal alal mõõdeti laulu mediaanvaljuseks 1 m kauguselt 77 dB, siis lärmakaimates kohtades ulatus see 91 dB-ni. Samuti näidati, et valjemini laulvad linnud polnud suuremad ei kehamassilt ega -mõõtmelteil ning nädalavahetustel, kui liikluse müra oli vähem, laulsid nad vaiksemalt, mis näitab, et tegu on tõesti reaktsiooniga mürale, mitte kokkusattumusega (joonis 2).



**Joonis 2.** Lõunaööbiku (*Luscinia megarhynchos*) laulu valjuse sõltuvus taustamüra valjusest. Iga valge täpp tähistab ühe isalinnu laulu mediaanvaljust, paremal mustad täpid tähistavad sama lindu nädalavahetusel (Brumm 2004)

Cardoso ja Atwell (2011) võrdlesid välusidrikute (*Junco hyemalis*) laulude salvestisi kontrollimaks hüpoteesi, et kõrgemalt laulmine pole mitte kohastumus omaette, vaid valjemalt laulmise füsioloogiline kaasprodukt. Nad leidsid aga, et valjemate laulude miinimumsagedused on hoopis madalamad, nii et linnalindude kõrgemad sagedused laulu madalamas osas ei tulene valjemalt laulmisest, vähemalt mitte sellel liigil. Küll aga näidati laulude kõrgemate sageduste veelgi kõrgemaks muutumist, ehk siis kasutatavate sageduste vahemik suurenes, mida valjemalt välusidrik oma laulu esitas. Teadlased tõdevad siiski, et seos on nõrk ning heli valjus ja sagedus varieeruvad suures osas sõltumatult.

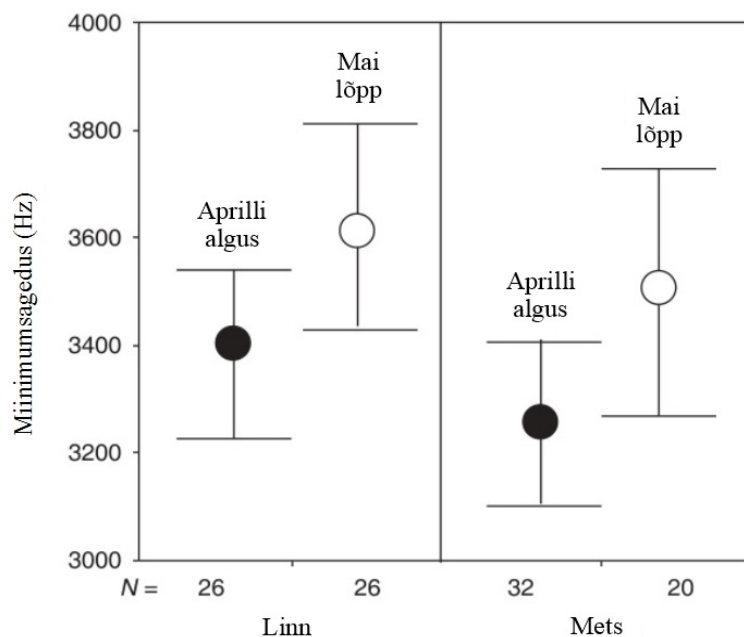
Signaali muutmisel on aga ka oma hind. Nii valjemalt kui ka kõrgema helisagedusega laulmine võib suurendada linnu energiatarbimist. Sealjuures on laulu madalamate sageduste kõrgemalt laulmine energeetiliselt vähem kulukas kui helivaljuse suurendamine (Cardoso ja Atwell 2011). Samad autorid arvavad, et ilmselt seetõttu on see ka tavalisem, ehkki väheefektiivsem. Ka võib juhtuda, et kui isane oma signaali liialt muudab, ei tunne emane teda enam ära või kui tunnebki, siis ei pea kvaliteetseks (Patricelli ja Blickley 2006). Teiseks kahjulikuks kõrvalmõjukuks enda paremini kuuldavaks tegemisele on, et lisaks liigikaaslastele kuulevad signaale paremini ka kiskjad (Bottalico *et al* 2015).

Kuna üldiselt laulavad madalama helisagedusega suuremad linnud, võib juhtuda, et müra vältimiseks kõrgemalt laulev isane ei meelita nii hästi emaseid ega tõrju rivaale (Slabbekoorn ja Ripmeester 2007). Pole teada, kas emased rasvatihased kasutavad valikul madalamate sageduste hulka laulurepertuaaris või erinevate sageduste hulka, kuid autorid näitasid, et sigimishooaja alguses, kui motivatsioon on kõrge, kasutavad isased rasvatihased oma lauludes rohkem madalamaid sagedusi kui sigimishooaja lõpul (joonis 3). Kui aga emased eelistavad suurema sagedusvarieeruvusega laule, mis sisaldavad ka madalamaid sagedusi ning liiklusmüra need isaste laulus varjutab, vähendab see kvaliteetsemate isaslindude võimalusi paaritumiseks (Slabbekoorn ja Ripmeester 2007).

Rootsiitsitajad laulavad eri tüüpi laule vastavalt sellele, kas nad on paarilise leidnud või mitte ning paarilisega isase laul on kõrgema sagedusega (Gross *et al* 2010). Autorid leidsid, et ka rootsiitsitajad laulavad taustamüra korral laulude madalamad sagedused kõrgemalt. Nagu aedkarmiinleevikesed (Bermúdez-Cuamatzin *et al* 2011) teevad ka nemad seda ainult siis, kui müra tõesti esineb. Kui liiklust pole, on laul sarnane vaiksema elupaigaga. Lisaks on teeäärsetes elupaikades rootsiitsitaja laul aeglasem kui vaikesetes, mida autorid pidasid lõivsuhteks laulu kõrguse ja tempo vahel. Mürarikastes elupaikades oli kogu paaritumishooaja



vältel rohkem paariliseta isaseid, mis viitab, et kõrgemalt laulmine võib emaseid eksitada (Gross *et al* 2010).



**Joonis 3.** Rasvatihase (*Parus major*) laulu miinimumsageduse sõltuvus elupaigast ja ajast (Slabbekoorn ja Ripmeester 2007).

Müra tõttu võib muutuda ka laulmise aeg. Sevillas, keskmise suurusega Hispaania linnas, tõstsid Arroyo-Solis *et al* (2013) helisalvestise abil liiklusrataseid, et hinnata selle mõju lindudele. Uuringusse kaasati 6 liiki: ibeeria kuldnokk (*Sturnus unicolor*), koduvarblane (*Passer domesticus*), kaelus-turteltuvi (*Streptopelia decaocto*), rohevint (*Carduelis chloris*), ohakalind (*Carduelis carduelis*) ja koldvint (*Serinus serinus*). Nendel tänavatel, kus mürataseid kunstlikult tõsteti, hakkasid ibeeria kuldnokad ja koduvarblased laulma varem kui tavapäraselt. Teiste puhul seost ei täheldatud. Värvuline *Agelaius phoeniceus* jaotas aga tihedama liiklusega teede ääres oma laulu päeva peale ühtlasemalt kui vaiksemate teede lähedal elavad liigikaaslased (Cartwright *et al* 2014). Kui hommikul ja õhtul laulsid rohkem vaikesetes soodes pesitsejad, siis päeval panustasid laulu rohkem mürarikkamate alade linnud. Põhjuseks pakuvad autorid tipp-tunnimüra vältimise (Cartwright *et al* 2014).

## 2.2. Kutsehüüded: suhtlus grupis ja paariliste vahel

Lindude omavahelises suhtluses on vokaalsetel signaalidel tähtis koht ning seetõttu on nad mürareostusele tundlikumad kui teistsuguseid signaale eelistavad organismid. Kõige suurem

on mõju neile liikidele, kelle kommunikatsioonisignaali sagedused kattuvad inimtekkelise müra sagedusega, mis on enamasti madal. Seetõttu satuvad eelkõige löögi alla suuremad linnud, näiteks pujupüüd (Blickley *et al* 2012a).

Taustamüra mõju kutsehüüdudele sarnaneb mõjuga laulule. Tibude puhul on täheldatud, et mida valjem müra, seda valjemad on kutsehüüded (Brumm *et al* 2009). Villain *et al* (2016) asetaski kõlarid sebra-amadiinide pesakasti ja tõstsid nii mürataset 5 dB võrra. Helisalvestiseks kasutati tuule müha koos liigikaaslaste häälitusustega. Lindude kutsehüüdeid lindistati hommikul, kui müra oli juba 15 h mänginud ning võrdluses kontrollpesakastidega, kus müra ei mängitud, leiti, et kutsehüüded erinesid märgatavalt. Kõrgendatud müratasemega pesade läheduses olid kommunikatsioonisignaalid valjemad, kiiremad, sagedasemad ja lühema kestusega ning kõrgemad ja kitsama sagedusjaotusega. Suurem mõju oli emase häälitusele, sest kui päeval hautakse kordamööda, siis öösel haub emaslind üksi ja nii veetis ta müras kauem aega. Kõrgemad ja sagedasemad häälitused aitavad paarilistel küll kergemini üksteist kuulda, kuid kergemini tehakse end kuuldavaks ka kiskjatele. Samuti on halvenenud kuuldavuse korral pesakastist väljaspool olev lind sunnitud suhtlemiseks pesakastidele lähemale lendama, mis omakorda suurendab tõenäosust pesa avastamiseks kiskjate poolt.

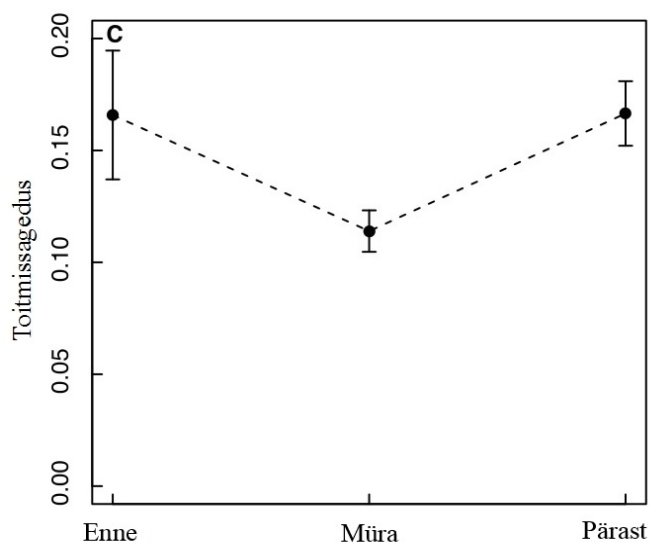
Helisignaali muutmisest on kasu vaid teatud piirini. Kui müra on nii vali, et helisignaali pole kuulda, tuleb loota visuaalsele suhtlusele või jääb sõnum edastamata. Swaddle ja Page (2007) panid emase sebra-amadiini vastamisi kahe isaslinnuga: üks neist oli võõras, teisega oli ta 4 kuud ühes puuris elanud: pesa pununud ning poegi kasvatanud. Taustaks mängiti 40 minuti kaupa eri valjusega valget müra. Nad leidsid, et kui 45 dB helivaljuse juures eelistavad emased selgelt oma paarilist, siis müra valjenemisel sidemed nõrgenevad ning 90 dB juures ei eelista emased enam üht isast teisele. Seletuseks võib olla, et emased ei tee isastel vahet või kasutavad rohkem visuaalseid signaale. Viimase kasuks räägib asjaolu, et paarivälised isased olid kurameerimisliigutuste osas aktiivsemad, mis tähendab nii seda, et isased tundsid emase ära ka helisignaali kuulmata kui ka seda, et visuaalsete signaalide põhjal võib paarivälise isase atraktiivsus suurem olla.

### **2.3. Vanemate ja poegade suhtlus pesas**

Mangumishäälitused on oluline suhtlusviis linnupoegade ja nende vanemate vahel. Leonard ja Horn (2005) uurisid müra mõju õõnepääsukeste (*Tachycineta bicolor*) pesapoegade vokaalsetele signaalidele. Selgus, et välitingimustes suurendavad pojad vastavalt taustamüräle

(teised linnud, tuul, sõidukid, jõgi; 41-67 dB) nii hääliitsuste sagedust, valjust kui ka pikkust. Valge müraga tehtud laborikatsetes aga piirduiti valjema mangumisega. Põhjus võib olla nii loomulike helide suuremas varieeruvuses, mis annab vältimiseks rohkem erinevaid võimalusi kui ka selles, et hääliitsuste sagedust ja pikkust mõjutab miski, mida teadlased arvesse võtta ei osanud. Laborikatsed näitasid samuti, et valjemast hüüdmisest on kasu: vanemad toitsid ka müra taustal rohkem seda poega, kes rohkem hüüdis.

Koduvarblastel Lundy saarel on täheldatud, et mürarikka generaatori läheduses toidavad emased poegi vähem kui vaikeses kohtades (joonis 4) (Schroeder *et al* 2012). Autorid seletavad seda müra mõjuga ema ja poegade suhtlusele. Võimalik on, et ema ei kuule poegade mangumist ning alahindab nende toiduvajadust, aga ka, et pojad ei kuule ema tulekut ning ei ajasta oma mangumist õigesti (Schroeder *et al* 2012). Viimast on näidanud õõnepääsukestega tehtud katsed, kus filmiti poegade reageeringut toitu toova vanalinnu kutsehüüdele 0-22 kHz sagedusega ning 65 dB valjusega müra taustal või ilma selleta (Leonard ja Horn 2012). Müras hakkasid pojad vanema kutsehüüde peale manguma vaid 54% juhtudest, samal ajal kui vaikusel oli vastav näitaja 96% (Leonard ja Horn 2012).



**Joonis 4.** Koduvarblaste (*Passer domesticus*) emaslindude toitmissagedus pesitsedes müra keskkonnas või enne ja pärast vaikesemates piirkondades (Schroeder *et al* 2012).

Kui 2005. aasta katses mängiti müra õõnepääsukeste poegadele vaid tunni jagu, siis 3 aastat hiljem avaldasid samad autorid uurimuse pikemaajalisema mõju kohta (Leonard ja Horn 2008). 3-päevaste poegade pesadesse pandi kõlarid mängima valget müra helikõrgusega 0-22 kHz, mis sisaldab ka poegade hääle sagedust (2-10 kHz) ning valjusega 65 dB, mis on poegade hääliitsuste valjuse ülempiiri lähedal (41-67 dB). Heli allikas eemaldati, kui pesakond

oli 15 päeva vanune. Erinevusi manguishäälsuste pikkuses või valjuses ei leitud, ometi esines manipuleeritud ja kontrollpesade vahel selge erinevus häälsuste miinimumsagedustes. Müraga pesades oli see kõrgem ning erinevus vähenes ajaga. Vanematel poegadel alanes ka maksimumsagedus ning sellega kaasnes väiksem kasutatavate sageduste ulatus. Kaks päeva pärast müra väljalülitamist oli mõjutatud pesades poegade häälsuste sagedusjaotus endiselt väiksem ning häälsused olid lihtsamad (Leonard ja Horn 2008).

## **2.4. Kiskja märkamine**

Kiskja märkamist võib müra mõjutada mitut moodi. Lind võib märgata kiskjat liiga hilja, sest ei kuule tema tekitatud helisid või liigikaaslaste hoiatushüüdeid, kuid võib ka suurenda ohutunne ning sellega koos valvsus (Meillère *et al* 2015).

Metsvindid (*Fringilla coelebs*) kulutasid muutuva valjusega kuni 68 dB ulatuva valge müra taustal vähem aega toitumisele ning vaatasid sagedamini ringi (Quinn *et al* 2006). Meillère *et al* (2015) näitasid, et koduvarblased, kelle pesakastide läheduses kostis sarnase valjusega liiklusmüra, lendasid inimese lähenedes pesalt hoopis pikema distantssi pealt kui madalama mürafooniga pesakastides pesitsejad. Talvistes segaparvedes ojatihased (*Poecile carolinensis*) ja tanutihased (*Baeolophus bicolor*) reageerisid 75 dB liiklusmürale, mida mängiti 8 h jooksul samuti kui kiskja kohalolule: hoidsid üksteisele lähemale ning suhtlesid rohkem (Owens *et al* 2012).

## 3. Müra mõju käitumisele, füsioloogiale ja sigimisele

### 3.1. Akuutsed mõjud

Müra võib linde mõjutada mitut moodi. Lühiajaline, sageli ka vali ja ootamatu müra, näiteks lennuki ülelend, hirmutab linde: nad põgenevad või vähemalt muutuvad valvsaks.

2001/2002. aasta talvel Šveitsis läbi viidud katse näitas, et veelinnud rahunevad alles 5 minutit pärast lennuki või helikopteri madalat ülelendu (Komenda-Zehnder *et al* 2003). Samaselt mõjuvad ka skuutrid jõgitiirudele (*Sterna hirundo*) (Burger 1998). Kui selliseid häiringuid tuleb ette liiga sageli, ei jää lindudel küllalt aega toituda, puhata ja end sugeda ning see halvendab nende konditsiooni. Koloniaalsetel lindudel, nagu tiirud, võib see vähendada ka pesitsusedukust või tingida koloonia kadumise (Burger 1998).

Browni (1990) katsed tanutiirudega (*Sterna bergii*) näitasid, et tiirud on koloonias seda häiritumad, mida tugevam on kõlaritest mängitud lennukimüra. 65 – 85 dB müra juures muutusid linnud valvsaks, 90- 95 dB juures juba lahkusid pesalt.

Tähnikkakud *Strix occidentalis lucida* lendasid ära seda sagedamini, mida lähemal müraallikas oli. Üle 105 m kauguselt ei reageerinud enam ükski uuritud lindudest (Delaney *et al* 1999). Uuringus kasutati kahte erinevat müraallikat: mootorsaagi ja ülelendavat helikopterit. Mootorsaagi kartsid tähnikkakud rohkem. Kui helikopterimüra pidi olema 92 dB, et lind lendu ajada, siis mootorsae puhul piisas juba 46 dB-st. Põhjuseks pakkusid autorid, et kui helikopter mööda lendab, suureneb müra järk-järgult ning väheneb siis samamoodi. Samuti on häiring suhteliselt lühiajaline (uuriti ainult ülelendu, mitte pikemaajalisi manöövreid) ning toimub puuvõradest, kus kakud tegutsevad, kõrgemal. Mootorsaag aga käivitub kiiresti ning ehmatab lindu, ka on maapinnal aset leidev tegevus röövlinnu jaoks rohkem tähelepanu äratav (Delaney *et al* 1999).

Mõned liigid võivad müraga ka harjuda. Nõgipardid (*Anas rubripes*) reageerisid ülelendava lennuki mürale esimesel päeval 39% juhtudest, kuid kahe nädala möödudes ainult 6%, kusjuures lühenes ka häiritud olemise aeg (Conomy *et al* 1998). Mõrsjapardil (*Aix sponsa*) aga niisugust harjumist ei täheldatud (Conomy *et al* 1998).

## 3.2. Pikaajalised ja korduvad mõjud

### 3.2.1. Tervis ja konditsioon

Pidev müra, nagu tiheda liiklusega tee, põhjustab pigem kroonilist stressi. Krooniline stress nõrgendab linnu immuunsüsteemi (Jankowski *et al.* 2010). Lindude stressitaseme hindamiseks kasutatakse tihti kortikosterooni taset (Romero 2004). Seda võib mõõta nii verest kui väljaheidetest. Tapamajas kanadega tehtud eksperiment näitas, et kümne minuti jooksul mängitud 80 dB või 100 dB heli tõstis kortikosterooni taset veres (Chloupek *et al.* 2008). Mürarikastel mänguplatsidel oli pujupüüde (*Centrocercus urophasianus*) väljaheidetes 16,7% rohkem kortikosterooni metaboliite kui vaikesel platsidel mänginud kukkedel (Blickley *et al.* 2012b) ning militaarsete harjutusväljakute ja lasketiirude läheduses leiti metsiste (*Tetrao urogallus*) väljaheidetest samuti keskmiselt 22% rohkem stressihormooni jääke (Tilgar *et al.* 2015). Isaste sebra-amadiinide kortikosterooni baastaset veres aga liiklusmüra kuulmine esimesel 90 päeval pärast koorumist ei mõjutanud (Potvin *et al.* 2016).

Reaktsioon mürale sõltub lindude soost, vanusest, sigimisfaasist ja konditsioonist. Tähnikkakkude *Strix occidentalis caurina* väljaheidetes tõusis noortel ja täiskasvanud isastel kortikosterooni tase mootorrattamüra peale rohkem kui täiskasvanud emastel, kusjuures emastest reageerisid tugevamalt need, kellel polnud poegi (Hayward *et al.* 2011). Autorid näitasid, et poegade arvust sõltus reaktsiooni tugevus ainult emastel. Emastel, kellel oli rohkem poegi, oli ka madalam kilpnäärmehormoonide metaboliitide hulk veres, mida seostatakse halvema toitumusega. See viitab, et kui linnu konditsioon on kehvem, on nõrgem ka vastus ärritajale, sest stressitase on niigi kõrge (Hayward *et al.* 2011).

Stressivastuse seost müraga näitas ka Žikić *et al.* (2011) katse, kus eri vanuses kanadele mängiti ette 15, 30 või 45 päeva jooksul iga päev kaks tundi tuletõrjealarmi valjusega 95 dB ning uuriti siis nende neerupealise ehitust. Häiring tekitas sõltuvalt east erinevaid histoloogilisi muutusi seda enam, mida kauem pidid kanad müras viibima.

Stressi tekitamiseks piisab aga palju vähemast. Juba 30-sekundiline metallämbri tagumisest tekkinud 104 dB valjune müra tõstis 1-2 kuu vanuste kanade veres heterofiilide/lümfotsüütide suhet (Gross 1990). Tase hakkas tõusma 18 h pärast häiringut, saavutas maksimumi 20 tundi pärast häiringut ning alles 30 tundi pärast häiringut langes tase stressieelsele tasemele (Gross 1990).

Ware *et al.* (2015) mõõtsid rändlindude kehamassi ja tiivapikkuse suhet. Selgus, et fantoomtee äärest püütud linnud olid kehvemas konditsioonis, kuid ainult helisalvestise mängimise ajal.

Vaiksetel perioodidel püütud lindude kaalu ja tiivapikkuse suhe ei erinenud kontrollalal püütud lindudest. Koduvarblased, kes pesitsesid müra tekitava generaatori lähedal, aga ei olnud väiksema kehamassiga kui vaiksematel aladel elavad liigikaaslased (Schroeder *et al* 2012).

Crino *et al* (2013) leidsid aga, et müra ei pruugi olla peamine põhjus, miks on tee lähedus lindudele kahjulik. Nad mängisid valgekiird-sidrikute pesapoegadele eelnevalt salvestatud liikluse müra 5 päeva jooksul alates 2. päevast peale koorumist. Selgus, et müras kasvanud poegade seisund (kogutud jõuvarud, arvutatud kasutades kehamassi ning tiiva ja jalalaba pikkust) oli hoopis parem kui kontrollgrupil. Autorid oletasid, et mürakeskkonnas toidavad vanemad oma poegi sagedamini, sest üksteisega suhtlemine on keerulisem. Samuti oli nii manipuleeritud kui kontrollgrupi poegadel sarnane kortikosterooni baastase. Ometi leidsid teadlased, et müraga kasvanud pojad reageerisid stressile, mida põhjustas uurija poolt vereproovi võtmiseks kinnipüüdmine, väiksema kortikosterooni taseme tõusuga. Ühe seletusena pakuvad autorid välja, et müral siiski oli kahjulik mõju, kuid uurimisaeg oli liiga lühike, et tuvastada müra mõju kehasuurusele.

Leonard ja Horn (2008) mängisid müra õõnepääsukeste poegadele 12 päeva jooksul alates 3. päevast peale koorumist. Nemad ei leidnud mingit erinevust tibude kehamassis manipuleeritud ja kontrollpesade vahel. Nad jälgisid ka vanemate toitmissagedust ning erinevusi ei täheldanud.

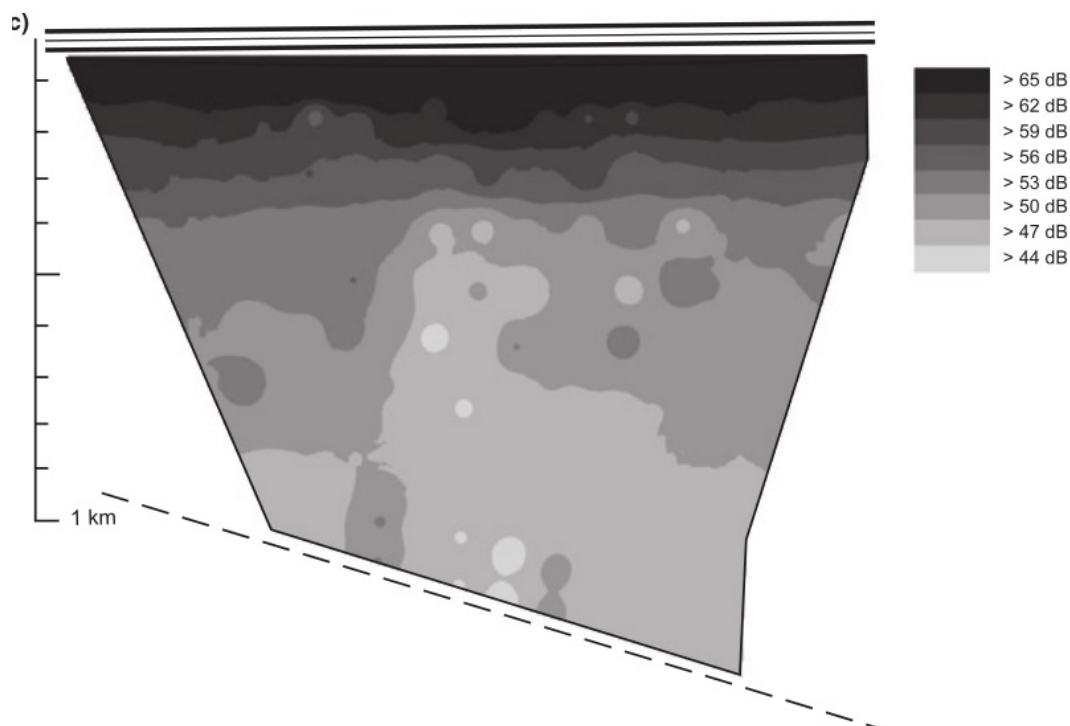
### **3.2.2. Sigimine**

Tähnikkakkude *Strix occidentalis lucida* sigimisedukust ei mõjuta ei mootorsaed ega ülelendavad helikopterid (Delaney *et al* 1999), küll aga lennuvõimetus kuni 100 m kaugusel mürarikast teest tähnikkakkudel *Strix occidentalis caurina* vähem poegi kui sama kaugel vaiksest teest (Hayward *et al* 2011).

Meillère *et al* (2015) peitsid vaikeses maakohas osade koduvarblaste asustatud pesakastide lähedusse kõlarid, mis mängisid 6 h päevas liikluse müra keskmise valjusega 63 dB ning ei leidnud märkimisväärseid erinevusi häiritud ja vaiksetes pesakastides pesitsejate sigimisedukuse vahel. Schroeder *et al* (2012) seevastu leidsid, et mürarikaste generaatorite lähedal vähenes poegade lennuvõimestumisedukus ning nende statistiline tõenäosus ise järglasi saada. Saarel vahetatakse regulaarselt juhuslikkuse alusel ühevanuseid linnupoegi pesade vahel, et eraldi uurida geenide ja kasvukeskkonna mõju. Müras kasvanud pojad olid

12-päevaselt väiksema kehakaaluga kui eakaaslased vaiksetes pesakastides, olenemata sellest, kas nad olid sündinud vaikselt või mürarikkal alal. Sarnane munade ja hiljem poegade arv, munemise alustamise aeg ning haudumise kestus viitavad, et vanemad ei panustanud mürarikkal alal munadesse ja haudumisse vähem. Küll aga oli emaste toitmissagedus müraga alal väiksem kui vaiksusel (joonis 4).

Kodulindudega tehtud katsed näitavad, et kuigi spermide hulk kukkedel ei vähenenud 84 päeva jooksul 120 dB müras, olid spermid siiski ebakvaliteetsemad: munade koorumisedukus oli väiksem (Brouček 2014). Kanadel vähendas müra munatoodangut (Brouček 2014). Rasvatihaste pesades oli 10% vähem mune iga 20 dB mürataseme tõusu kohta ning vähem väljahautud poegi (Halfwerk *et al* 2010). Müra pärines lähedalasuvast teest ning raudteest. Raudteemüra oli küll tugev, kuid harvaesinev, nii et keskmine müratase raudtee ääres oli madal (joonis 5). Teest eemaldudes alanes müratase ebaühtlaselt, mis võimaldas autoritel teha järeldusi mürataseme mõju kohta enam kui tee ülejäänud kahjulike mõjude kohta. Eriti oluline oli müra aprillis, mil toimus munemine ning haudumine. Põhjuseks võib autorite sõnul olla nii stress või väiksema kvaliteediga lindude pesitsemine mürarikkamates paikades kui ka emaste ebaadekvaatselt madal hinnang partneri kvaliteedile laulu madalamate sageduste kuulmata jäämise tõttu, mis tingis väiksema sigimispingutuse (Halfwerk *et al* 2010).



**Joonis 5.** Müra sõltuvus maantee (kolmekorde joon) ja raudtee (punktiirjoon) kaugusest. (Halfwerk *et al* 2010)



Maasäälikute (*Seiurus aurocapilla*) laul kattub osaliselt gaasikompressorite müra sagedusega ning nad ei ole võimelised seda muutma (Habib *et al* 2007). Autorid märgistasid mürarikaste ja vaiksete alade linde ning jälgisid neid ja leidsid, et kui vaiksetes kohtades õnnestus paarilise leidmine 92% isalindudest, siis kompressoritega aladel ainult 77%. See võib autorite sõnul viidata nii sellele, et emased kasutavad territooriumi hindamisel muuhulgas mürataset kui ka sellele, et müra takistas emastel laulu kuulda. Laul võis müras sumbuda, nii et vähem emaseid kuulis seda, kuid müra võis ka takistada emastel isaste kvaliteeti adekvaatselt hinnata (Habib *et al* 2007).

### 3.2.3. Kuulmiskahjustused

Kui heli on piisavalt tugev, võib see põhjustada kuulmiskahjustusi. Ajaga rakud taastuvad, kuid mitte täielikult: vastkõõrunud tibude, kellele oli 48 tunni jooksul mängitud heli valjusega 120 dB ja sagedusega 900 kHz, kuulmiskarvakestest hävis 32% ning neist taastus 13 päeva jooksul vaid 22% (Marsh *et al* 1990).

Kuulmiskahjustusi ja neist taastumist saab uurida nii histoloogiliselt, vaadates rakulisi muutusi kui ka käitumuslikult. Niemic *et al* (1994) õpetasid 4 põldvutti (*Coturnix coturnix*) heli kuulmisest märku andma. Heli mängiti kindla sagedusega ning valjust muudeti 10 dB kaupa vastavalt sellele, kas lind reageeris või mitte, et kuulmislävi kindlaks teha. Samal viisil testiti mitmeid sagedusi. Seejärel mängiti neist kolmele ja lisaks 15 kohordile treenimata põldvuttidele 4 tunni jooksul 116 dB-se valjusega müra, mille sagedusvahemik oli oktavilaiune ja keskmine 1,5 kHz, et põhjustada kuulmiskahjustust. Hiljem õpetatud lindudega kuulmisläve katseid korrates selgus, et tundlikkus väheneb 35-55 dB jagu kuuldud müraga sarnastes sagedustes. Kuulmine taastus ühtlaselt ning jõudis 8-10 päeva pärast endisele tasemele. Ryals *et al* (1999) mängisid 4 liigist lindudele: viirpapagoidele (*Melopsittacus undulatus*), kanaari koldvintidele (*Serinus canaria*), sebra-amadiinidele ja põldvuttidele 12 tunni jooksul heli valjusega 112 dB ja sagedusega 2,86 kHz. Kanaari koldvinte ja sebra-amadiine see ei mõjutanud, viirpapagoidele oli mõju nii väike, et helivaljust tõsteti 118 dB-ni ning lisati veel kolm lindu. Põldvuttide kuulmislävi tõusis häiringuga samas sageduses 70 dB ning 8-9 päeva pärast hakkas 2 dB päevas paranema. Paranemine lõppes 50. päeval ning 20 dB kuulmisläve nihe oli alles ka aasta pärast. Viirpapagoide kuulmislävi seevastu tõusis vaid 40 dB ning taastus 3 päevaga, jäädes vaid 10 dB endisest kõrgemaks hoolimata häiringu valjusest. 120 dB müra sagedusega 2-6 kHz 24

tunni jooksul tõstis viirpapagoidel, sebra-amadiinidel ja kanaari koldvintidel kuulmisläve 1 kHz juures 10-30 dB, mis taastus 5 päeva jooksul. 2,86 kHz juures ilmnesid liikidevahelised erinevused. Kuigi kõigil tõusis kuulmislävi 50 dB, hakkas see kanaari koldvintidel ja sebra-amadiinidel kohe ühtlaselt paranema ning jõudis 30 päevaga peaaegu endisele tasemele. Viirpapagoidel algas paranemine alles 10 päeva pärast ning kestis 50. päevani nagu põldvuttidelgi, jäädes samuti 20 dB algsest kõrgemaks.

Korduvate traumade mõju uurimiseks mängisid Niemic *et al* (1994) sama helisalvestist uuesti 106 päeva hiljem kolmele õpetatud põldvutile ning kahele kohordile treenimata lindudele. Kuulmisläve katse näitas, et seekord langes tundlikkus veidi rohkem, 45-60 dB, ning taastumiseks kuluv aeg pikenes 12-16 päevani. Ühe treenitud linnuga korrati kõike 103 päeva hiljem uuesti, kuid tulemused sarnanesid teise korraga.

Histoloogilised uuringud põldvuttidega näitasid, et 12 tunni jooksul kuuldud 112 dB ja 2,86 kHz heli hävitas kolmandiku kuulmiskarvakestest ning kahjustas ülejäänuid (Ryals *et al* 1999). Aasta hiljem olid kahjustatud rakud taastunud, kuid hävinud rakud mitte (Ryals *et al* 1999). Niemec *et al* (1994) leidsid treenimata kohorte uurides, et kui 4 päeva ja 2 nädalat pärast kahjustust on rakud veel ebanormaalse kujuga, siis 5 nädalat pärast kahjustust on hävinud rakud taastunud ning kahjustunud peaaegu normaalsed. Teisel katsel oli tulemus sama. Viirpapagoidel, sebra-amadiinidel ja kanaari koldvintidel 12 h kestev, 112 dB tugevuse ja 2,86 kHz sagedusega heli märkimisväärseid rakulisi muutusi kaasa ei toonud, selleks tuli pikendada aega 24 tunnini ja suurendada valjust 120 dB-ni (Ryals *et al* 1999). Sellega kaasnes rakkude hävimine ja muutus kõigil liikidel, rohkem vuttidel ja viirpapagoidel (Ryals *et al* 1999).

Kuna väiksemad linnud talusid ühetoonilist heli paremini, kordasid Ryals *et al* (1999) nendega katseid, kasutades seekord 2-6 kHz sagedusega müra valjusega 120 dB 24 tunni jooksul. Sebra-amadiinidel ja viirpapagoidel oli kuulmiskarvakeste kadu näha kohe, kanaari koldvintidel alles 7 päeva pärast. 90 päeva peale kahjustust oli kõigil lindudel kuulmiskarvakeste hulk kasvanud, viirpapagoidel oli kahjustus endiselt suur.

## 4. Müra mõju lindude arvukusele

Kõige üldisemalt võtab müra kahjulikke mõjusid kokku lindude arvukuse vähenemine mürarikastes paikades. Seda on näidatud nii pujupüü mänguplatsidel (Blickley *et al* 2012a), kompressorijaamade läheduses (Bayne *et al* 2008) kui ka teede (Parris ja Schneider 2009, Arévalo ja Newhard 2011) ja maastikusõidukite radade ääres (Barton ja Holmes 2007). Mõju algab 45-47 dB-st (Bottalico *et al* 2015).

Haavatavamad on seejuures linnud, kes kasutavad suhtluseks madalamaid sagedusi, nagu pujupüüd (Blickley *et al* 2012a), koldnokk-vihmakäod (*Coccyzus americanus*) ja valgepõskpuukoristajad (*Sitta carolinensis*) (Goodwin ja Shriver 2010). Kõrgemaid sagedusi kasutavate hall- ja männi-virelinnu arvukus aga müratasemest ei sõltu (Francis *et al* 2011). Francis *et al* (2009) loendasid linnupesi gaasipuurimisaladel. Ühtede gaasipuuraukude juures olid mürarikkad kompressorid, teiste juures ei olnud. Viimaseid kasutati kontrollaladena. Ükski lind ei pesitsenud kompressoriga puuraugule lähemal kui vaiksesele. Händ-ruugetuvid (*Zenaida macroura*) ja kardinalid liigist *Pheucticus melanocephalus* olid kontrollaladel tunduvalt arvukamad: händ-ruugetuvide leitud pesadest 97% asus vaiksese metsas ning kõik *Pheucticus melanocephalus*'e pesad. Mõlemad liigid kasutavad suhtlemiseks kompressorite poolt varjutatavaid madalaid sagedusi. 4 linnuliiki esinesid küll mõlematel aladel, kuid kompressoritega gaasipuuraukudest ehitasid nad oma pesad kaugemale kui vaiksetest.

Uurimist võib segada asjaolu, et linde on müras raskem märgata. Eksperimentaalsetes uurimustes saab helisalvestise loenduse ajaks välja lülitada, kuid muudel juhtudel tuleb sellega arvestada. Parris ja Schneider (2009), näitasid et värvulisi *Colluricincla harmonica* ja maoori lehviksaba kohati seda harvem, mida valjem oli müra ning suurem liiklustihedus. Nende uurimisalad olid kitsad taimestikuribad teede ääres, mistõttu oli suurem tõenäosus linde näha, samuti võib arvata, et mida rohkem linde piirkonnas leidub, seda suurem on tõenäosus neid märgata, kuid kuulmise järgi tuvastamine oli raskendatud (Parris ja Schneider 2009).

Müra mõju väljaselgitamisel võib osutada keeruliseks ka selle eristamine häiringu muudest kahjulikest aspektidest. Näiteks lennukid ja helikopterid (Komenda-Zehnder *et al* 2003), maastikusõidukid (Barton ja Holmes 2007) ning skuutrid (Burger 1998) on lisaks müra tekitamisele ka suured liikuvad objektid, milles lind võib ohtu näha. Teedki ei tähenda ainult

liiklusmüra vaid ka elupaiga fragmenteerumist, kokkupõrkeohtu, õhusaastet ning visuaalset häiringut (Fahring ja Rytinski 2009).

McClure *et al* (2013) lahendasid probleemi nii, et paigaldasid metsa teed imiteeriva kõlariterivi, millest mängisid 4 päeva liiklusmüra ja siis tegid 4-päevase pausi. Valiti rändeaeg, et linnud pidevalt vahetuksid ning tõepärasuse huvides mängiti helisalvestist poole viiest hommikul üheksani õhtul. Lindude arvukus selgitati välja punktloenduse abil ning loenduse ajaks lülitati müra välja, et see ei mõjutaks loendustulemust. Leiti, et müra vähendas 13 linnuliigi arvukust nii ajal kui salvestis mängis kui ka neil päevadel, kui oli vaikne. Autorid juhivad tähelepanu ka sellele, et rändavatel lindudel on lihtsam ebasobivaid territooriume vältida, kui territoriaalsetel pesitsejatel. Parris ja Schneider (2009) uurisid liiklustiheduse ja -müra mõju. Müra mõju eraldi uurimiseks sobisid alad väikese liikluskoormusega teede ääres, kus kuuldekauguses asus mõni tiheda liiklusega tee. Neil õnnestus näidata, et müra mõju ületas liiklustiheduse mõju, kuigi mõlemad vähendasid kahe uuritud linnuliigi kohtamise tõenäosust ja enamikul aladest korreleerusid.

Summers *et al* (2011) leidsid aga, et lindude arvukus küll suureneb tiheda liiklusega teest eemaldudes, kuid see ei kattu müra vähenemisega. Samuti kontrollisid nad eraldi transekte metsa servas ja servast eemal ning välistasid servaeefekti mõju. Visuaalse häiringu ja keemilise saaste mõju selles uuringus ei mõõdetud, nii et nende kohta järeldusi teha ei saa. Allikatele toetudes pakuvad autorid välja, et põhiline populatsiooni vähendav tegur teeäärsetes elupaikades on lindude hukkumine kokkupõrgetes autodega.

Müra on küll defineeritud kui segav heli (Ortega 2012), kuid mõnikord võib see kanda ka informatsiooni. Blickley *et al* (2012a) leidsid, et kuigi igasugune müra pujupüüde mänguplatside läheduses vähendab nii kukkede kui kanade hulka mängus, avaldab liiklusmüra helisalvestis suuremat mõju kui maagaasi puurimise heli ning oletasid, et linnud on õppinud liiklusmüra ohuga seostama.

## 5. Positiivne mõju elupaiga kvaliteedile

Mõne liigi jaoks võib inimtekkeline müra ka elupaiga kvaliteeti tõsta. Põhjus võib olla nii toiduobjektis kui ka kiskja või konkurendi väiksemas arvukuses.

Kärnkonnad *Spea intermontanus* laulavad kooris ja kiskjatel on keeruline neid lokaliseerida. Ülelendav reaktiivlennuk aga segab harmooniat, nii et üksikud konnad on ameerika kassikakule (*Bubo virginianus*) paremini kuulda (Krause 2008).

New Mexico loodeosas loendasid Francis *et al* (2009) lindude pesi kolmel sigimishooajal võrreldes mürarikaste gaasikompressoritega alasiid kontrollaladega. Pesade tihedus ei erinenud, küll aga lindude liigiline koosseis. Koolibri *Archilochus alexandri* ja aed-karmiinleevike olid kontrollaladel haruldased, kuid mürarikastes piirkondades moodustasid nende liikide pesad 31% kõigist pesadest. *Archilochus alexandri* hääliisustest on suurem osa kõrgema sagedusega kui 5 kHz ja aed-karmiinleevikesed on võimelised oma laulu miinimumsagedust tõstma, et müra kahjulikku mõju vähendada. Kohalik kiskja, võsa-sininäär (*Aphelocoma californica*), aga vältis mürapiirkondi ning seetõttu oli seal vähem rüüstatud pesi (Francis *et al* 2009).

## 6. Arutelu ja järeldused

Selle töö eesmärk oli uurida müra mõju lindudele: isenditevahelisele suhtlusele, arvukusele, käitumisele, konditsioonile ning sigimisedukusele. Selgus, et mõju erineb nii müraallikate ja helivaljuste vahel kui linnuliigiti, kuid enamasti on ühel või teisel moel kahjulik. Seetõttu tasub liikide kaitse korraldamisel kindlasti ka seda aspekti arvestada.

Helivaljused, mis linde eri tüüpi müra puhul linde mõjutavad, on koondatud tabelisse 1. 45 dB müra mõjutab ainult osa liikidest. Mõju võib sõltuda ka müraallikast, näiteks tähnikkakud reageerisid 46 dB mürale, kui tegemist oli mootorsaaga, kuid ülelendav helikopter mõjutas käitumist alles 92 dB juures. 63 dB alates muutub mitmete linnuliikide käitumine suurenenud ohutundele viitavaks. 110 dB valjemad helid tekitavad eri tõsidusega kuulmishäireid sõltuvalt linnuliigist ning müra tüübist ja kestusest. Kriitilised piirid erinevad liigiti ning võivad muuhulgas sõltuda linnu enda hääliisuste valjustest. Kui ööbikulaul võib mürarikas linnakeskkonnas ulatuda 92 dB, siis õõnepääsukste pesapoegade mangumine üle 67 dB ei küündi.

**Tabel 1.** Eri tüüpi müra mõju erinevatele linnuliikidele.

Helivaljus (dB)	Müra tüüp	Mõju	Liik	Viide
41-67	loodushääled ja liiklus	mangumishääliisuste sageduse, valjuste ja pikkuse muutmine	õõnepääsuke	Leonard ja Horn 2005
≥45	ehitus	arvukuse vähenemine		Bottalico <i>et al</i> 2015
46	mootorsaag	põgenemine	tähnikkakk	Delaney <i>et al</i> 1999
51	liiklus	kõrgenenud stressitase, vähenenud arvukus (73%)	pujupüü	Blickley <i>et al</i> 2012ab
56	gaasi puurimine	kõrgenenud stressitase, vähenenud arvukus (29%)	pujupüü	Blickley <i>et al</i> 2012ab
56-65	liiklus	muutused laulus	aed-karmiinleevike	Bermúdez-Cuamatzin <i>et al</i> 2011
63	liiklus	kõrgenenud valvsus	koduvarblane	Meillère <i>et al</i> 2015
65	valge müra	vanemate ja poegade vaheline suhtlus takistatud	õõnepääsuke	Leonard ja Horn 2005, 2008, 2012

<b>Helivaljus (dB)</b>	<b>Müra tüüp</b>	<b>Mõju</b>	<b>Liik</b>	<b>Viide</b>
≥65	valge müra	valvsus suureneb	metsvint	Quinn <i>et al</i> 2006
68	gaasi-kompressorid	emaste toitmissagedus väheneb	koduvarblane	Schroeder <i>et al</i> 2012
75	liiklus	ohutunde suurenemine	ojatihased, tanutihased	Owens <i>et al</i> 2012
65-85	lennuk	valvsaks muutumine	tanutiir	Brown 1990
75-95	gaasi-kompressorid	isastel paarilise leidmine raskendatud	maasäälük	Habib <i>et al</i> 2007
80-100	tapamaja helitaust	stressitaseme tõus	kana	Chloupek <i>et al</i> 2009
≥90	valge müra	signaali varjutamine	sebra-amadiin	Swaddle ja Page 2007
92	helikopter	põgenemine	tähnikkakk	Delaney <i>et al</i> 1999
90-95 dB	lennuk	pesalt lahkumine	tanutiir	Brown 1990
95	tuletõrje-alarm	muutused neerupealise ehituses	kana	Žikić <i>et al</i> 2011
≥95	gaasi-kompressorid	muutused laulus	hall-virelind, männi-virelind	Francis <i>et al</i> 2011
104	metallämbri tagumine	kõrgem heterofiilide/ /lümfotsüütide suhe veres	kana	Gross 1990
≥110	ehitus	kuulmiskahjustused		Bottalico <i>et al</i> 2015
116	oktavilaiune sagedus-jaotus keskmisega 1,5 kHz	kuulmiskahjustused	põldvutt	Niemic <i>et al</i> 1994
118	ühetooniline 2,86 kHz	kuulmiskahjustused	viirpapagoi	Ryals <i>et al</i> 1999
120	ühetooniline 900 Hz	kuulmiskarvakeste hävimine	kana	Marsh <i>et al</i> 1990
120	sünteetiline 2-6 kHz	kuulmiskahjustused	viirpapagoi, sebra-amadiin, kanaari koldvint	Ryals <i>et al</i> 1999

Müra mõju kommunikatsioonile sõltub kõige enam lindude kasutatavatest helisagedustest ja võimest signaale muuta. Paljud linnud laulavad oma laulude madalamad sagedused kõrgemalt. See pole küll nii efektiivne, kui valjemini laulda, aga on energeetiliselt vähem

kulukas (Cardoso ja Atwell 2011). Kui helikõrgusel on sõnumi edastamisel kanda oluline roll, näiteks signaliseerida isaslinnu kvaliteedist (Slabbekoorn ja Ripmeester 2007) või paarilise olemasolust (Gross *et al* 2010), võib see aga kaduma minna ning vähendada populatsiooni elujõulisust. Müras, mis on nii vali, et signaali modifitseerimisest ei piisa, võib suurendada visuaalsete signaalide osatähtsust, nagu on näidatud sebra-amadiinidega tehtud katses (Swaddle ja Page 2007). Visuaalsete signaalide tähtsuse suurenemist võiks põhjalikumalt uurida.

Vokaalsete signaalide muutmine võib toimuda reaalselt nagu rootsiitsitajatel (Gross *et al* 2010) ja aed-karmiinleevikestel (Bermúdez-Cuamatzin *et al* 2011), aga ka põlvkondade jooksul, nagu selgub valgekiird-sidrikute dialektide muutusest (Luther ja Baptista 2010). Leonard ja Horn (2008) näitasid õõnepääsukeste pesapoegadega, et müra tõttu kasutusele võetud kitsam sagedusjaotus püsis ka kaks päeva pärast müra lõppemist. Uuringust ei selgunud, kas häälituse struktuur hiljem taastub, aga juhul, kui ei taastu, võib sellel olla kahjulik mõju hilisemale arengule.

Pesapojad on signaale varjutavale müra mõjule eriti tundlikud, sest ei saa oma asukohta vahetada ning enamasti sõltub just häälekusest saadava toidu kogus. Müra tõttu võivad nad mangumiseks õige hetke maha magada, sest ei kuule toitu toovat vanemat või alahindavad vanemad poegade toiduvajadust mangumise mittekuulmise tõttu. Eriti ohtlik on pesapoegadele pidev müra. Nendes uuringutes, kus mõju pesitsusedukusele ei täheldatud (Delaney *et al* 1999, Meillère *et al* 2015), oli mürataust vahelduvama amplituudiga, mis ilmselt võimaldas vaiksematel hetkedel siiski poegade mangumist kuulda. Kahjulikke mõjusid näidati just püsivamate müraallikate juures, nagu elektrigeneraator või tiheda liiklusega tee (Hayward *et al* 2011, Schroeder *et al* 2012). Tasub ka märkida, et sõltuvalt liiklustihedusest võib tee olla nii püsiv kui ka vahelduv müraallikas ning liikluskoormuse vähendamine võib olla hea võimalus kahjuliku mõju leevendamiseks.

Sigimisedukust võib müra vähendada lisaks eelpoolmainitule nii spermide kvaliteedi languse (Brouček 2014), füsioloogilise stressi kui ka valesi hinnatud partneri kvaliteedi tõttu (Halfwerk *et al* 2010). Sigimisedukust mõjutavaid aspekte ning nende tähtsust eri liikidel võiks edaspidi lähemalt uurida.

Müraallikate erinev mõju võib sõltuda ka sellest, kui palju see linnu jaoks tähtsust omab. Tähnikkakkudega on näidatud, et ülelendav helikopter on tunduvalt vähem häiriv kui maapinnal töötav mootorsaag (Delaney *et al* 1999) ja pujupüüde arvukusele mänguplatsidel



avaldab suuremat mõju liiklusrüüra kui gaasi puurimise heli (Blickley *et al* 2012a). Muidugi võib see oleneda sellest, kas rüüra on vahelduv või püsiv, järk-järgult tugevnev ja nõrgenev või järsk, kuid artiklite autorid on arvanud ka, et püüd on ehk õppinud liiklusrüüra ohuga seostama ning helikopterid avaldavad kakkudele vähem mõju kui mootorsaed, sest lendavad kõrgemal puuvõradest, kus kakkud toimetavad. Mõlemad seletused tunduvad usutavad ning nende vaherkord oleks huvitav suund edasisteks uuringuteks. Samuti tasuks uurida, miks mõned linnud, nagu nõgipardid, suudavad rüüraga harjuda, samas kui teised, näiteks mõrsjapardid, mitte (Conomy *et al* 1998).

Kuigi võiks arvata, et rüüra võib takistada ka kiskja märkamist, näitavad mitmed uuringud (Quinn *et al* 2006, Owens *et al* 2012, Meillère *et al* 2015), et rüüras suureneb lindude valvsus ja ohutunne: nad vaatavad sagedamini ringi või suhtlevad parves tihedamalt, nii et kiskja märkamise tõenäosus hoopis suureneb. Selle arvelt väheneb aga aeg toitumiseks, puhkamiseks ja sugemiseks, mis halvendab lindude konditsiooni.

Liikide omavaheliste suhete kaudu võib rüüra mõnele neist ka kasuks tulla. Näiteks kui kiskja on rüüratundlikum kui saakobjekt, suureneb rüüraäärkonnas viimase arvukus (Francis *et al* 2009). Mõju on sarnane, kui ühe liigi arvukust piirab tugevalt teatud pesapaiga- või toidukonkurent, kelle rüüratundlikkus on mingil põhjusel suurem. Samuti võib rüüra olla kasulik, kui saakobjekt end rüüra tõttu rohkem kuuldavaks peab tegema. Rüüra mõju kooslustele tervikuna on kindlasti üks valdkond, mida võiks veelgi uurida.

Rüüra mõjutab linde kogu elu vältel: käitumist ja konditsiooni, pesapojana mangumishäälitsusi ja nende kuuldavust, lennuvõimestumisel kontakti vanematega, hiljem paarilisevalikut, sigimisedukust, suhtlust paarilisega ja grupis. Mõju küll erineb liigiti, kuid enamasti on see kahjulik ning tasub looduskaitstes arvesse võtta. Efektiivne viis on helibarjäärade rajamine, kuid see on kallis ning takistab loomade liikumist. Rüüra levikut vähendav taimestik on paremini läbitav ja odavam, kuigi mõju on ebahõhtlasem (joonis 5). Linnas toimivad rüüraõkkena ka ehitised. Maanteedel võib liiklust maksu abil vähendada või mingil kriitilisel perioodil keelata, samuti on abiks piirkiiruse alandamine. Maastikusõidukiterajad ja sõjalised harjutused tuleks koondada võimalikult piiratud alale, eemale rüüratundlike ja kaitsealuste liikide elupaikadest.

## Kokkuvõte

Müra on osa laienevast inimtegevusest, mis eriti tugevalt mõjutab vokaalseid signaale kasutavaid organisme, nagu linnud. Mõju on enamasti kahjulik ning algab mõnede liikide ja müraallikate puhul juba mõõduka tugevusega helist (45 dB). 110 dB ja valjem müra põhjustab ajutisi või püsivad kuulmiskahjustusi.

Häälitsuste paremini kuuldavaks tegemiseks on lindudel erinevad strateegiad: tõstetakse heli sagedust või valjust, lauldakse kiiremini või muudetakse laulmise aega. Muudetud signaalid võivad olla kulukamad edasi anda või moonutatud sõnumiga. Vanemad võivad mürakeskkonnas oma poegade toiduvajadust alahinnata, kuna ei kuule mangumishäälitsusi ning pojad võivad vanema mittekuulmise tõttu mangumise valesti ajastada. Müra suurendab nägemismeele rolli kiskja märkamises ja võimalik, et ka lindude omavahelises suhtluses.

Lisaks vokaalsetele signaalidele mõjutab müra lindude käitumist, füsioloogiat ja sigimist. Lühiajaline tugev müra ehmatab linnud liikvele või muudab nad valvsaks, pikaajaline põhjustab kroonilist stressi. Mõlemad võivad vähendada sigimisedukust, nagu ka partneri kvaliteedi ebaadekvaatne hindamine laulu varjutamise tõttu. Eriti tugev heli tekitab kuulmiskahjustusi.

Müraga kehvemini toime tulevate linnuliikide arvukus väheneb mürarikastes paikades. Olenevalt piirkonnast võib väheneda lindude üldine arvukus või muutuda liikide koosseis. Inimtekkelise müra helisagedus on enamjaolt madal ning häirib vähem linnuliike, kes kasutavad häälitsustes kõrgemaid sagedusi. Mõned liigid on võimelised müraga harjuma, mõned taastuvad kiiremini kuulmiskahjustustest. Müraga paremini toime tulevate liikide arvukus võib tõusta, kui müratundlikuma kiskja või konkurendi arvukus väheneb.

Müral on seega mitmeid kahjulikke mõjusid ning sellele küsimusele tuleks loodukaitses kindlasti tähelepanu pöörata. Abiks on erinevad müratõkked, liikluse vähendamine ning sõjaliste õppuste ja loodusturismi teadlik planeerimine.

Käesolevas töös tõin välja erinevate müraallikate ja helivaljuste mõjud erinevatele linnuliikidele ning juhtisin tähelepanu kriitilistele piiridele helivaljuses, mis lindude elu eri aspekte mõjutavad. Uudse aspektina selgus, et liikidevaheline varieeruvus reaktsioonis mürale on suur, sõltudes ka müra tüübist ning linnu soost, vanusest ja konditsioonist.

## Summary

### **The impact of anthropogenic noise on birds' communication and fitness**

Anthropogenic noise is a part of the spreading human influence on natural communities and has a profound impact on vocally communicating organisms such as birds. In the case of some species, a noise can have a detrimental effect already at 45 dB. The noise level over 110 dB can cause temporary or permanent hearing damage.

Birds use different strategies to make vocal signals audible: increasing the frequency or amplitude of sound, vocalizing at a higher rate, or changing the time of singing. New signals can have a higher metabolic cost or a distorted meaning. In a noisy environment, parents can underestimate the hunger of their young when they do not hear begging calls and nestlings can time their begging incorrectly when they cannot hear the parent coming with food. In addition, visual signals are more important for avoiding predators and possibly also in communication.

Noise affects not only vocal signals, but also birds' behaviour, physiology, and breeding. Especially high-amplitude noise damages their hearing. They respond to acute short-term noise by fleeing or increasing their vigilance, while long-term noise causes them chronic stress. Both can reduce fitness, as can failing to assess partner's quality correctly due to the masking effect of anthropogenic noise on the quality of male's song.

The bird species that are not so successful at coping with noise decrease in abundance in noisier environments and habitats. Depending on the area, the overall number of birds may decline or the composition of species may change. Anthropogenic noise is mostly low-frequency and is therefore less detrimental to species that use high-frequency vocal signals. Some species can habituate to noise and some recover more easily from hearing damage. The birds species that can cope better with the detrimental effects of noise can also increase in abundance, when their main predator or competitor is more susceptible to noise effects.

In conclusion, noise has several detrimental effects on birds and should be taken into account in nature conservation. Physical barriers, traffic reduction, and careful planning of military and recreational activities might help to mitigate some of these effects.

In this thesis I provided an overview of the effects of different types and levels of noise on bird species and highlighted some of the critical levels affecting birds. I discovered, that the extent of the reaction to anthropogenic noise varies to a great degree between bird species and that the birds' susceptibility to noise also depends on the type of noise and the age, sex and condition of the bird.

## **Tänuavaldus**

Täna oma juhendajat, Vallo Tilgarit, kes oli töö valmimisel hindamatuks abiks nii kasulike nõuannete ja kommentaaride kui ka sõbraliku ning toetava suhtumisega. Keelelise korrektuuri eest olen tänulik Sigrid Maasenile, Tiiu Heldemale ja Regina Jõehele.

## Kasutatud kirjandus

- Arévalo JE, Newhard K (2011) Traffic noise affects forest bird species in a protected tropical forest *Revista de Biología Tropical* 59: 969-980
- Arroyo-Solís A, Castillo JM, Figueroa E, López-Sánchez JL, Slabbekoorn H (2013) Experimental evidence for an impact of anthropogenic noise on dawn chorus timing in urban birds *Journal of Avian Biology* 43: 001–009
- Barber JR (2008) Chronic Anthropogenic Noise Exposure and Songbird Hearing *University of Wyoming National Park Service Research Center Annual Report* 31: 10
- Barton DC, Holmes AL (2007) Off-Highway Vehicle Trail Impacts on Breeding Songbirds in Northeastern California *The Journal of Wildlife Management*, 71: 1617-1620
- Bayne EM, Habib L, Boutin S (2008) Impacts of Chronic Anthropogenic Noise from Energy-Sector Activity on Abundance of Songbirds in the Boreal Forest *Conservation Biology*, 22: 1186-1193
- Beason RC (2004) What Can Birds Hear? *USDA National Wildlife Research Center - Staff Publications*. 78
- Bermúdez-Cuamatzin E, Ríos-Chelén AA, Gil D, Garcia CM (2011) Experimental evidence for real-time song frequency shift in response to urban noise in a passerine bird *Biology Letters* 7: 36–38
- Bottalico P, Spoglianti D, Bertetti CA, Falossi M (2015) Effect of Noise Generated by Construction Sites on Birds
- Blickley JL, Blackwood D, Patricelli GL (2012) Experimental Evidence for the Effects of Chronic Anthropogenic Noise on Abundance of Greater Sage-Grouse at Leks *Conservation Biology* 26: 461–471
- Blickley JL, Word KR, Krakauer AH, Phillips JL, Sells SN, Taff CC, Wingfield JC Patricelli GL (2012) Experimental Chronic Noise Is Related to Elevated Fecal Corticosteroid Metabolites in Lekking Male Greater Sage-Grouse (*Centrocercus urophasianus*) *PLoS ONE* 7: e50462

- Brouček J (2014) Effect of noise on performance, stress, and behaviour of animals *Slovak Journal of Animal Science* 47: 111-123
- Brown AL (1990) Measuring the effect of aircraft noise on sea birds *Environment International* 16: 587-592
- Brumm H (2004) The impact of environmental noise on song amplitude in a territorial bird. *Journal of Animal Ecology* 73: 434–440
- Brumm H, Schmidt R, Schrader L (2009) Noise-dependent vocal plasticity in domestic fowl *Animal Behaviour* 78: 741–746
- Brumm H, Slabbekoorn H (2005) Acoustic Communication in Noise *Advances in the Study of Behaviour* 35
- Brumm H, Slater PJB (2006) Ambient Noise, Motor Fatigue, and Serial Redundancy in Chaffinch Song *Behavioral Ecology and Sociobiology* 60: 475-481
- Burger J (1998) Effects of Motorboats and Personal Watercraft on Flight Behavior over a Colony of Common Terns *The Condor* 100: 528-534
- Cartwright LA, Taylor DR, Wilson DR, Chow-Fraser P (2014) Urban noise affects song structure and daily patterns of song production in Red-winged Blackbirds (*Agelaius phoeniceus*) *Urban Ecosystems* 17: 561–572
- Cardoso GC, Atwell JW (2011) On the relation between loudness and the increased song frequency of urban birds *Animal Behaviour* 82: 831-836
- Chloupek P, Voslářová E, Chloupek J, Bedáňová I, Pištěková V, Večerek V (2008) Stress in Broiler Chickens Due to Acute Noise Exposure *Acta Veterinaria Brunensis* 78: 93–98;
- Conomy JT, Dubovsky JA, Collazo JA, Fleming WJ (1998) Do Black Ducks and Wood Ducks Habituate to Aircraft Disturbance? *The Journal of Wildlife Management*, 62: 1135-1142
- Crino OL, Johnson EE, Blickley JL, Patricelli GL, Breuner CW (2013) Effects of experimentally elevated traffic noise on nestling white-crowned sparrow stress physiology, immune function and life history *The Journal of Experimental Biology* 216: 2055-2062
- Delaney DK, Grubb TG, Beier P, Pater LL, Reiser MH (1999) Effects of Helicopter Noise on Mexican Spotted Owls *The Journal of Wildlife Management* 63: 60-76

- Deoniziak K, Osiejuk TS (2016) Disentangling Relations among Repertoire Size, Song Rate, Signal Redundancy and Ambient Noise Level in European Songbird *Ethology* 122: 734–744
- Fahrig, L, Rytwinski T (2009) Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. *Ecology and Society* 14: 21
- Francis CD, Ortega CP, Cruz A (2009) Noise Pollution Changes Avian Communities and Species Interactions *Current Biology* 19: 1415–1419
- Francis CD, Ortega CP, Cruz A (2011) Different behavioural responses to anthropogenic noise by two closely related passerine birds *Biology Letters* 7: 850–852
- Gross WB (1990) Effect of Exposure to a Short-Duration Sound on the Stress Response of Chickens *Avian Diseases* 34: 759-761
- Gross K, Pasinelli G, Kunc HP (2010) Behavioral Plasticity Allows Short-Term Adjustment to a Novel Environment *The American Naturalist* 176
- Goodwin SE, Shriver WG (2010) Effects of Traffic Noise on Occupancy Patterns of Forest Birds *Conservation Biology* 25: 406–411
- Habib L, Bayne EM, Boutin S (2007) Chronic industrial noise affects pairing success and age structure of ovenbirds *Seiurus aurocapilla* *Journal of Applied Ecology* 44: 176-184
- Halfwerk W, Holleman LJM, Lessels CM, Slabbekoorn H (2010) Negative impact of traffic noise on avian reproductive success *Journal of Applied Ecology* 48: 210–219
- Hayward LS, Bowles AE, Ha JC, Wasser SK (2011) Impacts of acute and long-term vehicle exposure on physiology and reproductive success of the northern spotted owl. *Ecosphere* 2
- Jankowski MD, Franson JC, Möstl E, Porter WP, Hofmeister EK (2010) Testing independent and interactive effects of corticosterone and synergized resmethrin on the immune response to West Nile virus in chickens. *Toxicology* 269: 81–88
- Komenda-Zehnder S, Cevallos M, Bruderer B (2003) Effects of disturbance by aircraft overflight on waterbirds – an experimental approach.
- Krause B (2008) Anatomy of the soundscape: evolving perspectives *Audio Engineering Society* 56: 1/2

- Leonard ML, Horn AG (2005) Ambient noise and the design of begging signals *Proceedings of the Royal Society B* 272: 651–656
- Leonard ML, Horn AG (2008) Does ambient noise affect growth and begging call structure in nestling birds? *Behavioural Ecology*
- Leonard ML, Horn AG (2012) Ambient noise increases missed detections in nestling birds *Biology Letters*
- Luther D, Baptista L (2010) Urban noise and the cultural evolution of bird songs *Proceedings of the Royal Society B* 277: 469–473
- Marsh RR, Xu L, Moy JP, Saunders JC (1990) Recovery of the basilar papilla following intense sound exposure in the chick *Hearing Research* 46: 229-238
- McClure CJW, Ware HE, Carlisle J, Kaltenecker G, Barber JR (2013) An experimental investigation into the effects of traffic noise on distributions of birds: avoiding the phantom road *Proceedings of the Royal Society B* 280: 20132290
- Meillère A, Brischoux F, Ribout C, Angelier F (2015) Traffic noise exposure affects telomere length in nestling house sparrows. *Biology Letters* 11: 20150559
- Mockford EJ, Marshall RC (2009) Effects of urban noise on song and response behaviour in great tits *Proceedings of Royal Society B* 276: 2979–2985
- Newton I. (1998). Population limitation in birds. Academic Press, London
- Niemic AJ, Raphael Y, Moody DB (1994) Return of auditory function following structural regeneration after acoustic trauma: behavioral measures from quail *Hearing Research* 79: 1-16
- Ortega CP (2012) Effects of Noise Pollution on Birds: A Brief Review of Our Knowledge *Ornithological Monographs* No. 74: 6-22
- Owens JL, Stec CL, O'Hatnick A (2012) The effects of extended exposure to traffic noise on parid social and risk-taking behavior *Behavioural Processes* 91: 61–69
- Parris KM, Schneider A (2009) Impacts of Traffic Noise and Traffic Volume on Birds of Roadside Habitats *Ecology and Society* 14: 29
- Patricelli GL, Blickley JL (2006) Avian Communication in Urban Noise: Causes and Consequences of Vocal Adjustment *The Auk* 123: 639–649



- Potvin DA, Curcio MT, Swaddle JP, MacDougall-Shackleton SA (2016), Experimental exposure to urban and pink noise affects brain development and song learning in zebra finches (*Taenopygia guttata*). *PeerJ* 4: e2287
- Quinn JL, Whittingham MJ, Butler SJ, Cresswell W (2006) Noise, predation risk compensation and vigilance in the chaffinch *Fringilla coelebs* *Journal of Avian Biology* 37: 601-608
- Romero LM (2004) Physiological stress in ecology: lessons from biomedical research *Trends in Ecology and Evolution* 19: 5
- Ryals BM, Dooling RJ, Westbrook E, Dent ML, MacKenzie A, Larsen ON (1999) Avian species differences in susceptibility to noise exposure *Hearing Research* 131: 71-88
- Schroeder J, Nakagawa S, Cleasby IR, Burke T (2012) Passerine Birds Breeding under Chronic Noise Experience Reduced Fitness. *PLoS ONE* 7: e39200
- Slabbekoorn H, den Boer-Visser A (2006) Cities Change the Songs of Birds *Current Biology* 16: 2326–2331
- Slabbekoorn H, Peet M (2003) Ecology: Birds sing at a higher pitch in urban noise. *Nature* 424: 267-267
- Slabbekoorn H, Ripmeester EAP (2007) Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation *Molecular Ecology*
- Swaddle JP, Page LC (2007) High levels of environmental noise erode pair preferences in zebra finches: implications for noise pollution *Animal behaviour* 74: 363-368
- Tilgar V, Ojaste I, Saag P (2015) Metsise (*Tetrao urogallus*) stressitase seoses sõjaliste harjutustega *Hirundo* (1) 1-9
- Žikić D, Ušćebrka G, Gledić D, Lazarević M, Stojanović S, Kanački Z (2011) The influence of long term sound stress on histological structure of broiler`s adrenal glands *Biotechnology in Animal Husbandry* 27: 1613-1619
- Villain AS, Fernandez MSA, Bouchut C, Soula HA, Vignal C (2016) Songbird mates change their call structure and intrapair communication at the nest in response to environmental noise *Animal Behaviour*
- Ware HE, McClure CJW, Carlisle JD, Barber JR (2015) Phantom road experiment reveals traffic noise is an invisible source of habitat degradation *PNAS Early Edition*

## Internetiallikad

1. Eesti keele seletav sõnaraamat: [www.eki.ee/dict/ekss/ekss.html](http://www.eki.ee/dict/ekss/ekss.html)
2. Eesti märksõnastik: [ems.elnet.ee/](http://ems.elnet.ee/)

Lihlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Riin Viigipuu

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihlitsentsi) enda loodud teose

“Inimtekkelise müra mõju lindude kommunikatsioonile ja kohasusele”

mille juhendaja on Vallo Tilgar

1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **18.05.2017**