



TARTU ÜLIKOOL

ÜLEVAATEUURINGU I ETAPI ARUANNE

**TUULIKUTE TERVISEMÕJUD: SÜSTEMAATILINE ÜLEVAADE VIIMASEL
VIIETEISTKÜMNEL AASTAL EELRETSENSEERITAVATES
TEADUSAJAKIRJADES AVALDATUD UURINGUTEST**

Uuringu pealkiri:

**Metoodika väljatöötamine tuuleparkide ja teiste
energiatootmise tehnoloogiate võimalike
tervisemõjudega seotud teadusuuringute tulemuste
tõlgendamiseks Eesti tingimustes**



Rahastanud Euroopa Liit
NextGenerationEU



Eesti
tuleviku heaks

Tartu 2025

Uuringurühma koosseis:

Triin Veber (MSc, MPH), Tartu Ülikool, projektijuht ja ekspert

Ene Indermitte (PhD, MPH), Tartu Ülikool, ekspert

Kaja-Triin Laisaar (MD, MPH, PhD) Tartu Ülikool, ekspert

Urmeli Katus (RN, MSc) Tartu Ülikool, vanemmetoodik

Ele Kiisk (MA, MSc) Tartu Ülikool, nooremtoodik

Hans Orru (PhD, MPH), Tartu Ülikool, teadusjuht

Töö tellija: Kliimaministeerium

Sisukord

Sissejuhatus ja uuringu teaduslik taust	4
Müra ja infraheli terminid ning piirnormid	6
Uuringu eesmärk	12
Meetodid	13
Tulemused	16
Tuulikute tekitatud kuuldava müra mõju inimese tervisele	17
Tuulikute tekitatud kuuldav müra ja uni	17
Tuulikute tekitatud kuuldav müra ja häiritus	21
Tuulikute tekitatud kuuldav müra ja kliiniliselt väljendunud tervisemõjud	22
Tuulikute tekitatud infraheli mõju inimese tervisele	25
Tuulikutega seotud visuaalsete aspektide mõju inimese tervisele	29
Tulemuste arutelu	31
Tuulikute tekitatud kuuldav müra ja uni	31
Tuulikutest põhjustatud häiritus	32
Tuulikute tekitatud infraheli mõju tervisele	36
Avalikes aruteludes ja meedias levivad väited infraheli tervisemõjude kohta	38
Tuulikute tekitatud kuuldav müra ja kliiniliselt väljendunud tervisemõjud	40
Tuulikute tekitatud elektromagnetväljad ja vibratsioon	43
Metoodika valiku põhjendus, uuringu tugevused ja nõrkused	44
Järeldused	46
Soovitused	48
Kasutatud kirjandus	50
Lisa 1. Kasutatud otsingutermid ja otsingustrateegia	57
Lisa 2. Tulemuste tabelid	58
Tabel 1. Süstemaatilised ülevaated	58
Tabel 2. Vaatlusuuringud	59
Tabel 3. Infraheli käsitlevad eksperimendid	61
Tabel 4. Eksperimendid mis sisaldavad tuulikute kuuldavat müra ja visuaalseid aspekte	65

Sissejuhatus ja uuringu teaduslik taust

Maailmas toimuvad kliimamuutused ohustavad tervist ja heaolu üle kogu maailma (Lancet Countdown, 2024). Kuna peamiseks kliimamuutusi mõjutavaks teguriks on kasvuhoonegaasid, on tagajärgede leevendamiseks Euroopa Liidus lepitud kokku, et gaaside heitkoguseid vähendatakse 2030. aastaks vähemalt 55% võrra võrreldes 1990. aasta tasemega (Euroopa Komisjon, 2019). Selle eesmärgi saavutamiseks arendavad paljud riigid üha enam taastuvenergia tootmismeetodeid, eelkõige tuule-energiat. Tuule-energia arendamisel on üheks kõige olulisemaks küsimuseks tuuleparkide terviseohutuse tagamine. Järelduste tegemiseks terviseohutuse kohta ei saa piirduda vaid valikulise teaduskirjandusega tutvumisega, vaid on vaja teha süstemaatiline kirjanduse ülevaade. Süstemaatiline kirjanduse ülevaade annab oluliselt terviklikuma ja usaldusväärsema pildi olemasolevast teaduslikust teadmistest, kui üksikute teadusartiklite lugemine ja nende tulemuste põhjal järelduste tegemine.

Üheks olulisemaks terviseohutusega seotud küsimuseks on tuulikute tekitatud müra. Mõned uuringud on näidanud, et tuulikute (tuulegeneraatorite, tuugenite, tuuleturbiinide) müra peetakse häirivamaks kui teisi müra-allikad, nagu näiteks transpordi- või tööstusmüra (Teneler and Hassoy, 2023). Arutletud on ka selle üle, et tuulikute müra võib mõjutada und ja häirida inimesi (Schmidt and Klokke, 2014). Häiritusest põhjustatud stress ja unehäired võivad aga omakorda viia kliiniliselt ilmnevate tervisemõjudeni (Basner et al., 2014). Näiteks on liikluse müra puhul näidatud mõju südameveresoontehaiguste (infarkt ja insult) ja metaboolsete haiguste (diabeet ja rasvumine) riski suurenemisele (van Kempen et al., 2018; Wu et al., 2023). Siiani läbi viidud ülevaateuuringud tuulikute müra kohta aga ei ole kinnitanud seost tuulikute müra ja kliiniliselt ilmnevate tervisemõjude vahel (Karasmanaki, 2022; Schmidt and Klokke, 2014; Teneler and Hassoy, 2023; van Kamp and van den Berg, 2021, 2018). Ent kas ja millised seoseid on uuemate uuringute tulemused näidanud tuulikute müra ja tervisenäitajate vahel, ei ole viimastel aastatel süstemaatiliselt analüüsitud.

Tuulikute müra liigitub tööstusmüra alla ja Eestis on tööstusmüra piirväärtusteks elamualal päeval 60 dB (A) ja öösel 45 dB (A). Müra sihtväärtusteks on päeval 50 dB (A) ja öösel 40 dB (A) (Keskkonnaministri määrus nr 71, 2016). Hetkel ei tohi uute tuuleparkide planeerimisel olemasolevatel elamualadel tuulikute müra ületada piirväärtusi. Praktikas lähtuvad aga mõjuhindajad üldjuhul välisõhu müra sihtväärtustest, ehk siis tuulikute müra ei tohiks öisel ajal elamumaal ületada 40 dB (A) (Kliimaministeerium, 2025). On oluline välja selgitada, kas praegune regulatsioon on terviseohutuse tagamiseks piisav või tuleb piirnorme rangemaks muuta.

Erinevad ülevaateuuringud pakuvad ohutuks tuulikute müratasemeks erinevaid väärtuseid. Schmidt ja Klokke (2014) süstemaatiline ülevaade soovib, et tuulikute müratase elamute läheduses õues ei ületaks L_{Aeq} 35 dB (A), et tagada elanikele võimalikult vähe häiriv keskkond (Schmidt and Klokke, 2014). Ellenbogeni jt ülevaates unehäirete teemal (Ellenbogen et al., 2024) jõeldati, et tuulikutest lähtuv müra, mis on mõõdetud väljaspool elamut kuni 46 dB (A) või modelleeritud uue standardi (ANSI/ACP 2022) järgi kuni 49 dB (A) ei ohusta inimese und. Maailma Terviseorganisatsioon (WHO) soovib piirata tuulikute müra elamu välisfassaadil päeva-õhtu-öö kaalutud helirõhutasemega L_{den} 45 dB (A) ja L_{night} 40 dB (A) (Basner and McGuire, 2018; Clark and Paunovic, 2018; Guski et al., 2017; van Kempen et al., 2018; WHO, 2009). L_{den} ei ole aga otseselt võrreldav meie seadusandluses kasutatavate müra indikaatoritega. Erinevaid müra indikaatoreid, ühikuid ja termineid on kirjeldatud täpsemalt peatükis „Müra ja infraheli terminid ning piirnormid“. Davy et al. (2020) on pakkunud välja, et L_{den} 45 dB (A) vastab müratasemele L_{Aeq} 38,6 dB (A) (Davy et al., 2020).

Austraalia ülevaateuuring leidis, et peamine näitaja, mille järgi tuleks tuulikutele piirnormi seada võiks olla see, et müra mõju all ei tunneks end tugevalt häirituna rohkem kui 10 % elanikkonnast. See piirnäitaja näib nende analüüsi põhjal jäävat vahemikku 34–40 dB L_{Aeq} (10 min) elamu välisküljel, keskmise väärtusega 37 dB L_{Aeq} (10 min) (Davy et al., 2020).

Oluliseks teemaks avalikes aruteludes paljudes riikides ja mitteteaduslikus kirjanduses on olnud võimalik terviserisk tulenevalt kokkupuutest infraheliga (tuulikute müra kuuldamatu osaga sagedusega alla 20 Hz) (Schmidt and Klokke, 2014; van Kamp and van den Berg, 2018). Samas seni ei ole näidatud tuulikute infraheliga seotud kahjulikke tervisemõjusid (Knopper and Ollson, 2011; Schmidt and Klokke, 2014; van Kamp and van den Berg, 2018). Küsimusi on tekitanud ka tuulikute madalsagedusliku heli (20–200 Hz) võimalikud tervisemõjud (Schmidt and Klokke, 2014).

Oluliseks tuulikutega kaasnevaks probleemiks on ka see, et tuulikud on erinevatel põhjustel mitmetele inimestele häirivad. Kuigi häiritust ei saa pidada kliiniliselt avalduvaks terviseväljundiks, sõltub sellest inimeste heaolu ning seetõttu võib seda pidada Maailma Terviseorganisatsiooni (WHO) tervisemääratluse osaks, mille kohaselt on tervis “täieliku füüsilise, vaimse ja sotsiaalse heaolu seisund, mitte üksnes haiguste või puuete puudumine” (WHO, 2025). Häirituse taset mõõdetakse reeglina küsimustikega, milles uuritavatel palutakse hinnata oma häirituse taset.

Siiani tehtud uuringud on näidanud, et lisaks mürale võivad häirituse kujunemisele kaasa aidata ka tuulikute visuaalsed aspektid nagu varjutus, vilkuvad tuled labade küljes, vaate rikkumine jne (Freiberg et al., 2019b; Knopper et al., 2014). Samuti sõltub häiritus inimeste enda teadmistest, hoiakutest ja suhtumisest. Inimestel, kellel on üldiselt negatiivne suhtumine tuule-energiasse, on näidatud suuremat häiritust võrreldes nendega, kelle suhtumine on neutraalne või positiivne (Karasmanaki, 2022). On näidatud, et inimesed, kes usuvad, et tuulikud on tervisele kahjulikud, kaebavad rohkem häiritust ja neil esineb rohkem ka tuulikute põhjustatud eneseraporteeritud terviseprobleeme. Seda nähtust nimetatakse notseeboefektiks (Davy et al., 2020; Karasmanaki, 2022). Häirituse vähendamiseks on oluline teada, millised tegurid täpsemalt suurendavad inimeste häiritust, et viia see miinimumini.

Kuigi paljud ülevaateartiklid analüüsivad tuulikute või tuuleparkide tervisemõjusid, esineb uuringukavandis ja metoodilises kvaliteedis mitmeid puuduseid. Enamik ülevaateid on narratiivsed (Karasmanaki, 2022; Knopper and Ollson, 2011; van Kamp and van den Berg, 2021) ja/või põhinevad ristlääbilõikelistel uuringutel, kus me ei saa luua kindlat ajalist seost kokkupuute ja tervisemõjude vahel. Narratiivsete ülevaadete puhul on suurem risk tulemuste kallutatuseks kui süstemaatilise ülevaate puhul. Üks väheseid süstemaatilisi ülevaateid, mis on siiani tehtud, on Schmidt ja Klokke 2014. aastal avaldatud uuring tuulikute müra tervisemõjudest. Uuringu koostamise ajal ei olnud sellel teemal aga veel läbi viidud ühtegi pikaajalist jälgimis-uuringut, mistõttu tugines ülevaade juhtumiuuringutele ja ristlääbilõikelistele uuringutele, mis oma uuringukavandi tõttu ei suuda pakkuda tõendeid põhjuslike seoste kohta. Hiljem on avaldatud kohortuuringuid, mis võimaldavad teha järeldusi põhjuslike seoste kohta tuulikute müra ja tervisenäitajate vahel, näiteks (Bräuner et al., 2018; Poulsen et al., 2019a), kuid nende tulemusi pole siiani süstemaatiliselt analüüsitud. Põhjuslike seoste kindlaks tegemiseks on samuti olulised eksperimentaalsed uuringud. Näiteks on avaldatud 2023. aastal eksperimentaalne uuring tuulikute infraheli mõju kohta (Marshall et al., 2023), kuid süstemaatiliselt pole eksperimentaalsete uuringute tulemusi tuulikute tervisemõjude kohta analüüsitud.

Müra ja infraheli terminid ning piirnormid

Müra on defineeritud kui inimest häiriv või tema tervist ja heaolu kahjustav heli (Sotsiaalministri määrus nr 42, 2002). Seega müra on subjektiivne näitaja – mis ühele tundub müra, võib teise inimese jaoks olla muusika. Müra tekitavad helid.

Heli on võnkumine, mis levib lainetena läbi keskkonna (nt õhu, vee või tahke aine). Kui heli levib õhus, tekib õhurõhu kõikumine. Helirõhk vaheldub atmosfääri rõhu suhtes, olles atmosfääri rõhu keskväärtusest kord suurem, kord väiksem (Lahti, 2010). Heli tugevuse määrab kindlaks rõhu muutuse ulatus ja seda mõõdetakse detsibellides (dB). Detsibell näitab, kui palju on heli valjem kui referentsväärtus. Õhus on referentsväärtuseks õhurõhk 20 mikropaskalit ($20 \mu\text{Pa}$ ehk $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$), mida peetakse inimese kuulmisläveks sagedusel 1000 Hz – see on kõige vaiksem heli, mida keskmine inimene sellel sagedusel suudab veel kuulda (Basner et al., 2014). Helirõhutase (ka müratase, ingl *SPL – sound-pressure level*) L_p on logaritmiline mõõdik, mis näitab heli efektiivset rõhku võrreldes referentsväärtusega (kokkulepitud kuulmise lävi) ja seda väljendatakse detsibellides (dB) (Sotsiaalministri määrus nr 42, 2002). Inimesed suudavad tajuda helirõhku vahemikus 0 dB (kokkulepitud kuulmise lävi) kuni üle 140 dB (valu lävi). Väikseim helitaseme muutus, mida inimesed suudavad välitingimustes eristada, on 3 dB. See muutus vastab helienergia kahekordistumisele. 10 dB suurenemist tajutakse subjektiivselt kaks korda valjemana, kuigi see tähendab füüsikaliselt helienergia kümnekordset suurenemist (Ellenbogen et al., 2024).

Lisaks heli tugevusele iseloomustab heli ka tema sagedus. Sagedus on heli võnkeamplituudide hulk sekundis ja selle ühikuks on herts (Hz). Mida madalam heli, seda väiksem sagedus ja mida kõrgem heli, seda suurem sagedus. Heli tämbri määrab helilainete sagedusjaotus (Lahti, 2010).

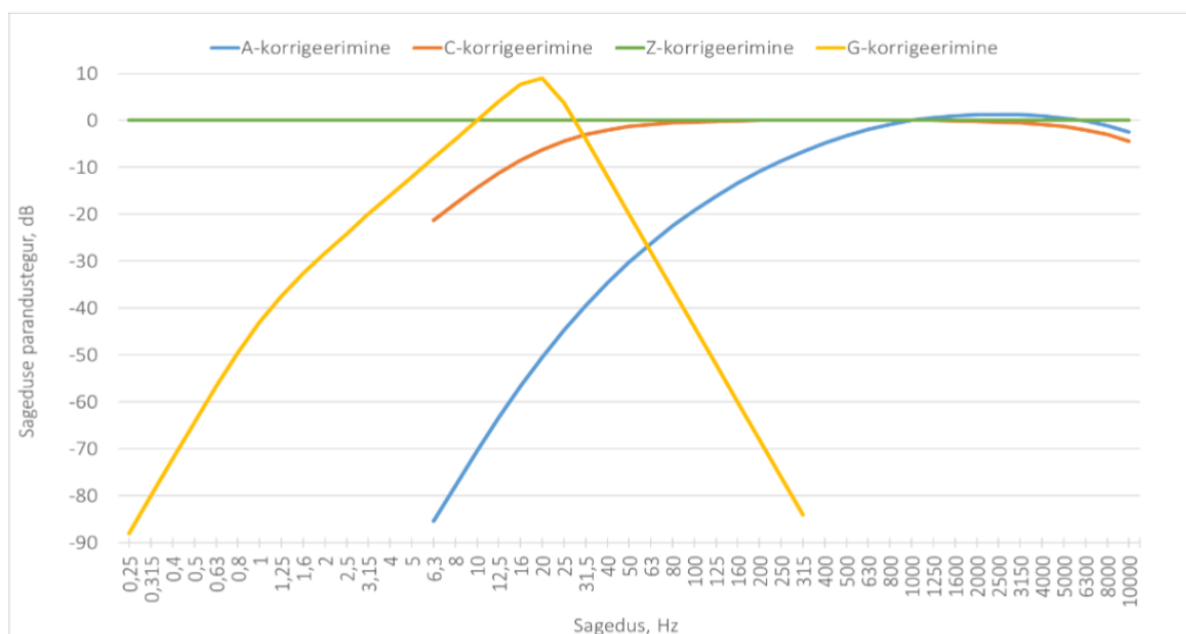
Heli on kokkuleppeliselt jaotatud sageduse järgi kolmeks: infraheli ($< 20 \text{ Hz}$), kuuldav heli (20–20 000 Hz) ja ultraheli ($> 20\,000 \text{ Hz}$). Infraheli on üldjuhul madalam kui inimese kuulmislävi ja seda inimene enamasti ei kuule. Looduses ei ole aga kindlaid piire – üleminek kuuldava ja mittekuuldava heli vahel on järkjärguline ja sujuv. Kõrgematel sagedustel on infraheli kuuldav või tunnetatav, kui see on väga tugev (Ellenbogen et al., 2024). Infraheli allikateks on loodusnähtused nagu tuul, lainetus, südame löögid jne. Infraheli tekitavad ja kuulevad ka sinivaalad (10–20 Hz). Levinumad inimtekkelised infraheli allikad on ventilaatorid, mootorid, autod, lennukid, rongid, õhksoojuspumbad, küttesüsteemid jne (Ellenbogen et al., 2024; Lahti, 2010).

Kuuldava müra allikad on näiteks liiklusmüra, naabrite tegevusest tulenev või töökohal esinev müra. Madalsagedusliku heli all peetakse silmas mõnikord kuuldava heli kõige madalamat sagedusvahemikku 20–200 Hz (Ellenbogen et al., 2024), aga mõnedes teadusartiklites ja ka määruse (Sotsiaalministri määrus nr 42, 2002) järgi, on madalsageduslik müra

sagedusvahemikus 10 Hz–200 Hz, mis kattub osaliselt infraheli sagedusega, kuid samas on ta ka kuuldav.

Inimene kuuleb erineva sagedusega helisid erineva tugevusega, liiga kõrgeid või madalaid helisid ei kuule aga üldse. Kuulmine on kõige tundlikum piirkonnas 2000–5000 Hz. Näiteks, 100 Hz sagedusega helide kuulmise tundlikkus on ligi 20 dB väiksem (Lahti, 2010). See tähendab, et kui heli sisaldab rohkem madalamaid või kõrgemaid sagedusi, on selle tajumiseks vaja suuremat helirõhutaset (heli tugevust) (Ellenbogen et al., 2024). Kuna mõõteaparaat mõõdab võrdselt kõiki sagedusi, tehakse müra paremaks hindamiseks korrektsioon, mis hindab heli sagedusi sarnaselt inimese kõrvale. Seda nimetatakse A-korrektsiooniks (L_{pA}). Võib kasutada ka terminit A-helitas või A-kaalutud helitas. Helitaseme tähistest L_{pA} võib jätta välja rõhu tähise p. Sageli kasutatakse ka A-kaalutud helitaseme väljendamiseks ühiku taga olevat märget dB (A) (Lahti, 2010).

Madalsagedusliku heli ja infraheli mõõtmise puhul kasutatakse C- või G-korrektsiooni või mõõdetakse ka ilma korrektsioonita (Z). Z-korrektsioon tähistatakse dB (Z) ja tegelikult tähendab see filtreerimata (korrigeerimata) (ingl *unweighted*) helitaset kogu sagedusvahemikus. Z tuleb ingliskeelsest väljendist *zero-weighted*. Kuidas erinevad sageduskorrektsioonid müra hindavad on näidatud joonisel 1.



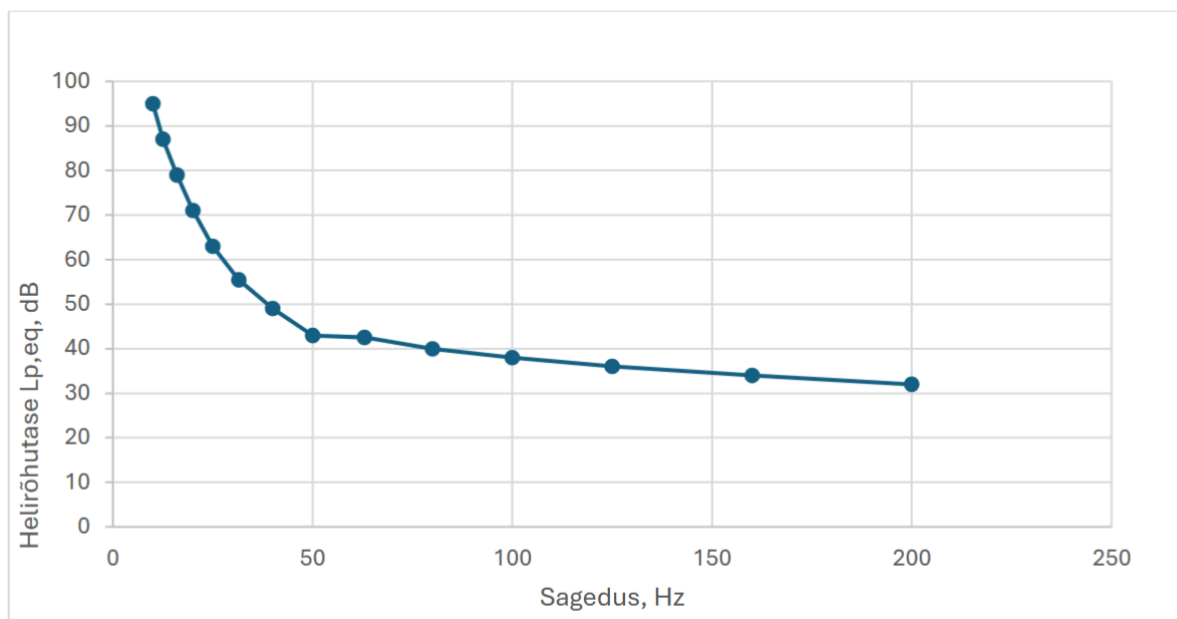
Joonis 1. Sageduse korregerimise (sageduse kaalumise) kõverad (Terviseamet, 2025a)

Kuna helirõhk (heli tugevus) on ajas pidevalt muutuv, siis keskkonnamüra hindamiseks on vaja võtta arvesse ka aega, mille jooksul müra mõõdetakse ja keskmistatakse. Selleks kasutatakse näitajat ekvivalentne helirõhutase $L_{pA,eq,T}$, mis iseloomustab muutuva tasemega müra ajavahemikul T, kasutades A-korrektsooni (Lahti, 2010; Sotsiaalministri määrus nr 42, 2002). Müra mõõtmise kestus (T) valitakse vastavalt mõõtemetodile ja müra iseloomule, muutuva tasemega müra puhul on selleks minimaalne ajavahemik 10 minutit (Sotsiaalministri määrus nr 42, 2002).

Lisaks ekvivalentsele müratasemele kasutatakse müra iseloomustamiseks ka näitajat maksimaalne helirõhutase $L_{pA,max}$, mis näitab etteantud ajavahemikus mõõdetud helirõhutaseme maksimaalset väärtust (Lahti, 2010; Sotsiaalministri määrus nr 42, 2002).

Väliskeskkonnas on kehtestatud Eestis müra piirnormid A-korrigeeritud helirõhutasemetele (Keskkonnaministri määrus nr 71, 2016). Siseruumides on reguleeritud nii A-korrigeeritud müratasemed kui ka C-korrigeeritud madalsagedusliku müra tasemed ning lisaks on nõuded ka madalsagedusliku müra hindamiseks ilma sageduskorrektsoonita (Sotsiaalministri määrus nr 42, 2002). Hetkel on tööstusmüra piirväärtusteks elamualal päeval 60 dB (A) ja öösel 45 dB (A). Müra sihtväärtusteks on päeval 50 dB (A) ja öösel 40 dB (A) (Keskkonnaministri määrus nr 71, 2016). Magamisruumides võib olla liikluse müra tase öösel kuni 30 dB (A) ja tehnoeadmete müra kuni 25 dB (A) ning nii öösel kui päeval 50 dB (C) (Sotsiaalministri määrus nr 42, 2002).

Madalsageduslike helide piiramiseks on kehtestatud madalsagedusliku müra sageduskõver (Joonis 2). (Sotsiaalministri määrus nr 42, 2002). Tegu on sageduskorrektsoonita väärtustega sagedusvahemikus 10–200 Hz. See sageduskõver lubab madalamatel sagedustel suuremaid korrigeerimata helitasemeid (10 Hz kuni 95 dB (Z)) ja kõrgematel sagedustel väiksemaid (200 Hz kuni 32 dB (Z)). Peale selle on Eestis olemas infra- ja ultrahelisid käsitlev määrus, mis kehtestab G-korrigeeritud ekvivalentse helirõhutaseme $L_{pG,eq,T}$ piirväärtuseks 85 dB (G) (Sotsiaalministri määrus nr 75, 2002).



Joonis 2. Normtasemed sageduskorrektsioonita helidele vastavalt sotsiaalministri 4. märtsi 2002. a määruse nr 42 lisale (Terviseamet, 2025b).

Üks tuuliku heli omane tunnus on amplituudmodulatsioon (AM), s.t ajas muutuv helitase, mis esineb ligikaudu kindla perioodilisusega. AM on helitaseme võnkumine, mille tsükliäeg vastab üldiselt labade möödumise sagedusele tuuliku tornist. Helitaseme kõikumised on tavaliselt väikesed, umbes 2–4 dB (McCunney et al., 2014), mistõttu käsitletakse tuulikute heli pidevana, mitte impulsshelina (Ellenbogen et al., 2024). Mõnel harvadel juhtudel võivad tuulikute helitaseme võnkumised aga olla palju suuremad – kuni 10 dB. Mitmest tuulikust koosnevates rühmades võivad üksikute generaatorite modulatsioonid sünkroniseeruda, põhjustades perioodilisi modulatsioonitugevuse suurenemisi. Võivad esineda ka perioodid, mil üksikute generaatorite modulatsioonid tasakaalustavad üksteist, vähendades modulatsioonitugevust. Mõnikord võib generaatorite sünkronisatsioon kesta tunde, kui tuule kiirus ja suund püsivad ühtlasena. AM-i tase ei ole korrelatsioonis tuule kiirusega. Enamik nn „tugeva“ AM-i juhtumeid on põhjustatud ebatavalistest meteoroloogilistest tingimustest. AM varieerub ka sõltuvalt asukohast — mõnes paigas esineb seda harva, samas kui teistes on seda mõõdetud kuni 30% ajast (McCunney et al., 2014).

Lisaks kasutatakse keskkonnamüra hindamiseks järgnevaid müra indikaatornäitajaid (Keskkonnaministri määrus nr 71, 2016):

L_{den} – päeva-õhtu-öömüraindikaator. Aasta kõikide päeva-, õhtu- ja ööaja helirõhutasete arvsuuruste alusel kindlaksmääratud pikaajaline keskmine helirõhutase, mis on müra üldise

häirituse indikaator. L_{den} määramisel rakendatakse öhtusele mürale parandustegurit +5 dB ja öisele mürale +10 dB. Näitaja arvutatakse L_{night} , L_{day} , $L_{evening}$ põhjal.

L_{night} – öömüraindikaator. Aasta kõikide ööaegade alusel kindlaks määratud pikaajaline keskmine helirõhutase, mis on unerahu rikkuva müra indikaator ja iseloomustab unerahu häirimist öösel kell 23.00–7.00. Määratakse vastavalt standardile ISO 1996–2: 1987.

L_{day} – päevamüraindikaator. Aasta kõikide päevaegade alusel kindlaks määratud pikaajaline keskmine helirõhutase, mis iseloomustab müra häirivat mõju päeval kell 7.00–19.00. Määratakse vastavalt standardile ISO 1996–2: 1987.

$L_{evening}$ – öhtumüraindikaator. Aasta kõikide öhtuaegade alusel kindlaks määratud pikaajaline keskmine helirõhutase, mis iseloomustab müra häirivat mõju öhtusel ajal kell 19.00–23.00. Määratakse vastavalt standardile ISO 1996–2: 1987.

Uuringu eesmärk

Uuringu eesmärk oli süstemaatiliselt analüüsida viimase viieteistkümne aasta (2010–2025) jooksul avaldatud tõendusteaduskirjandusest tuulikute tervisemõjude kohta.

Uurimisküsimused:

1. Millised on olemasolevate uuringute peamised järeldused tuulikute tervisemõjude kohta?
2. Milline on olemasoleva tõenduse üldine kvaliteet? Kas on tõendusteaduskirjandusest, et tuulikutel on negatiivne mõju inimeste tervisele?
3. Kui tuulikutel on negatiivne tervisemõju, siis millised tervisemõjud on seotud tuulikutega?
4. Kui tuulikutel on negatiivne tervisemõju, siis millist rolli mängivad keskkonnategurid, nagu müra, infraheli, varjutus, visuaalsed aspektid, psühholoogilised tegurid (sh üldine suhtumine tuulikutesse, inimeste uskumused ja arusaamad tuulikutest), vibratsioon ja elektromagnetväljad nende tervisemõjude tekkes?
5. Kui tuulikutel on tervisemõju, siis millistel tingimustel on tervisemõjude tekkimine tõenäolisem (nt millisel kaugusel tuulikust, kui võimsate või kõrgete tuulikute jne korral)?
6. Kas teatud elanikkonnarühmad on tuulikute võimalike tervisemõjude suhtes haavatavamad?
7. Milliseid tõendus põhiseid soovitusi saab anda poliitikakujundajatele, tööstuse sidusrühmadele ja mõjutatud kogukondadele inimeste tervise kaitsmiseks?

Meetodid

Käesolev uuring viidi läbi süstemaatilise kirjanduse ülevaatenä. Süstemaatilise kirjanduse ülevaate koostamisel kasutasime (kiir)ülevaate (ingl *rapid review*) metoodika põhimõtteid (Garritty et al., 2024; King et al., 2022). Süstemaatiline ülevaade on teaduslik uurimismeetod, mille eesmärk on koguda, hinnata ja sünteesida kõik asjakohased teaduslikud uuringud kindla uurimisküsimuse või teema kohta, kasutades süstemaatilist, läbipaistvat ja korratavat protsessi, et viia tehtud järelduste kallutatuse risk miinimumini. Selle eesmärgi saavutamiseks lepatakse kokku kindlad kriteeriumid mille alusel uuringud kaasatakse ja analüüsitakse. Uuringu igas etapis osaleb mitu uurimisrühma liiget, kes üksteise tööd kontrollivad. Kaasatud uuringuid võrreldakse omavahel uuringukvaliteedi alusel ning järelduste tegemisel arvestatakse rohkem kõrgema kvaliteediga uuringute tulemustega. Teaduslikud uuringud on kõige usaldusväärsem viis tõese info hankimiseks, kuid siiski ei ole võimalik teha ühtegi teaduslikku uuringut, ilma et sellega kaasneksid piirangud või risk ebatäpse tulemuse saamiseks. Uuringul võib esineda näiteks “valikunihe”. See tekib siis, kui uuringusse kaasatud osalejad ei esinda piisavalt hästi sihtrühma. Näiteks uneuuringusse võivad kandideerida terviseteadlikumad inimesed, kui on üldrahvastikus, keda me tahame uurida. Eneseraporteeritud andmete puhul esineb “meenutamisnihe”, näiteks haigusega patsiendid võivad oma kokkupuudet müraga paremini mäletada, kui terved inimesed. “Mõõtmisnihe” tekib, kui kokkupuute või tulemuse andmeid ei mõõdata täpselt, näiteks esineb mõõtmisviga müra mõõtmistes või võrreldavate rühmade puhul on kasutatud müra mõõtmiseks erinevaid metoodikaid. Vaatlusuuringute puhul on oluline arvesse võtta “segavaid tegureid (ingl *confounders*)”. Segavad tegurid esinevad siis, kui mõni muu tegur on seotud nii uuritava kokkupuutega kui ka tulemiga. Näiteks võivad rikkamad inimesed elada väiksema müraga piirkondades ning samuti on neil paremad võimalused tervislikemateks eluviisideks ning tegelikult mõjutab haiguste tekkimist hoopis inimeste sissetulek, kuigi tehtud analüüsis ilmneb seos müraga. Seda saab vältida kohandamisega segavatele teguritele (nt sissetulek, vanus, sugu). Kohandamine tagab, et võrreldakse omavahel vaid kohandatud näitajate poolest sarnaseid uuritavaid. Teaduslikes ajakirjades kipub esinema „avaldamisnihe”. Uuringud, mis leiavad seose, avaldatakse suurema tõenäosusega kui uuringud, mis seost ei leia. Eksperimentides on kõige levinum kallutatuse risk “pimendamise puudumine” – kui osalejad või uurijad teavad, millisele uurimisrühmale lastakse platseebo infraheli ja millisele päris heli, siis see mõjutab tulemust. Samuti võivad eksperimentist lahkuda teatud kindla omadusega inimesed, näiteks müratundlikud isikud. Võib ka esineda tulemi mõõtmise viga. Näiteks inimesel võib olla kõrge vererõhk, aga kui arst pole seda

diagnoosinud, siis registripõhises uuringus loetakse ta terveks. Samas kui inimene ise raporteerib, et tal on kõrge vererõhk, siis pole teada, kas see on ajutine vererõhu kõrgenemine (nt stressi tõttu) või on tal välja kujunenud kõrgvererõhktõbi. Kõiki neid võimalikke vea riske arvestasime oma uuringus järelduste tegemisel.

Uurimisküsimuste määratlemiseks kasutasime rahvusvaheliselt tunnustatud PECO (ingl *population, exposure, comparison, outcome*) raamistikku. Süstemaatilisse kirjanduse ülevaatesse kaasasime eelretsenseeritud teadusartiklid mis käsitlesid:

- Rahvastikuna (ingl *population*) üldrahvastikku (kõiki inimesi)
- Kokkupuutena (ingl *exposure*) nii maismaa kui avamere tuulikute või tuuleparkide järgmisi mõjutegureid: akustilised tegurid: müra (sagedusega üle 20 Hz), madalsageduslik müra (20 Hz kuni 200 Hz) ja infraheli (alla 20 Hz) tuulikute või tuuleparkidest; visuaalsed tegurid: vaate rikkumine maastikul, varjutus, tuulikutega seotud vilkuvad tuled öösel, otsene nähtavus koduaknast; psühholoogilised tegurid: üldine suhtumine tuulikutesse, inimeste uskumused ja arusaamad tuulikute (kui segav tegur), häiritus tuulikute; vibratsioon; elektromagnetväljad.
- Võrdlusrühmana (ingl *comparison*) inimesed, kes ei ole tuulikute kokkupuutes või on väiksemas kokkupuutes kui teised; platseeborühmad eksperimentaalsetes uuringutes; samad inimesed nii enne kui ka pärast ekspositsiooni (s.t enesekontrollid) “enne ja pärast” uuringutes.
- Tervisetulemitena (ingl *outcome*) kõiki võimalikke tervisega seotud tulemeid, sealhulgas häiritus, unehäired, tervisesümptomid (subjektiivselt või objektiivselt mõõdetud, mõõdetud füsioloogilised parameetrid), tervisega seotud elukvaliteet, psühholoogilised näitajad.

Kaasati vaid sellise uuringukavandiga uuringud, mis võimaldavad välja selgitada põhjuslikke seoseid. Kaasati järgmise uuringukavandiga uuringud:

- Üksikuuringud: longitudinaalsed uuringud (kohortuuringud, juht-kontrolluuringud); sekkumisuuringud (võrdlused enne ja pärast tuulikute püstitamist), eksperimentaalsed uuringud/katsed
- Süstemaatilised ülevaated

Me ei võtnud käesolevasse süstemaatilisse uuringusse järgmiseid uuringuid:

- Uuringud, mis ei käsitlenud inimeste tervisemõjusid. Uuringud, mis käsitlesid ainult tuulikute tehnilisi aspekte või uuritavateks olid loomad, elusloodus või katseloomad
- Uuringud, mis käsitlesid tuulikutega kokkupuudet töökeskkonnas, mitte elukeskkonnas
- Uuringud, mis küll käsitlesid heli (müra), infraheli, elektromagnetvälja, vibratsiooni ja visuaalsete aspektide tervisemõjusid, ent need polnud tuulikutega seotud
- Üksikuuringud, mis olid avaldatud enne 2010. aastat ja süstemaatilised ülevaated mis olid avaldatud enne 2015. aastat
- Narratiivsed ülevaateuuringud, juhtumiuuringud, ristlääbilõikelised uuringud, kirjad teadusajakirja, kommentaarid teadusajakirjas, juhtkirjad teadusajakirjas, konverentside kokkuvõtted
- Teabeallikad, mis ei olnud avaldatud eelretsenseeritud teaduskirjanduses
- Mitte-inglisekeelsed uuringud

Kui uurimisküsimuse kohta oli avaldatud põhjalik süstemaatiline ülevaade 2015. aastal või hiljem, kaasati uuringusse ainult pärast ülevaate kaasamisperioodi avaldatud üksikuuringud. Muudel juhtudel vastati uurimisküsimusele kaasates kõik sissearvamiskriteeriumitele vastavad üksikuuringud (Garritty et al., 2024; King et al., 2022).

Tuulikute (tuuleparkide) tervisemõjude kohta tehti süstemaatiline kirjanduse otsing. Otsing viidi läbi andmebaasis PubMed ja andmebaasis Scopus perioodi 1. jaanuar 2010 kuni 22. aprill 2025 kohta. PubMed andmebaasi otsingustrateegia on esitatud Lisas 1.

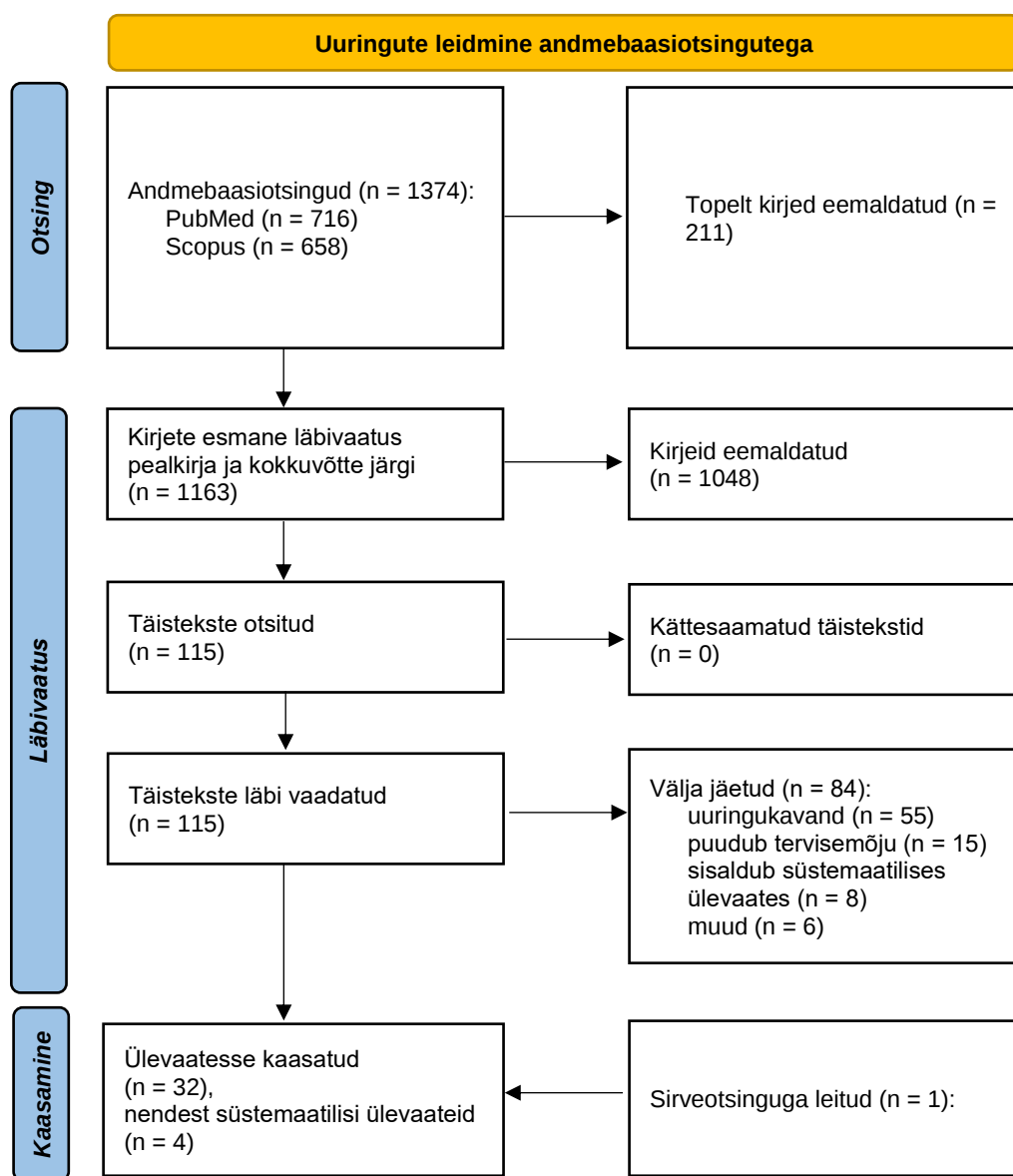
Duplikaatide eemaldamiseks kasutati „Endnote“ viitehaldustarkvara ja viidete haldamiseks kasutati „Mendeley Reference Manager“ tarkvara. Esmase uuringute valik (sõelumine) toimus uuringu pealkirja ja kokkuvõtte (ingl *titel/abstract*) põhjal. Alustuseks sõelusid kaks uurimisrühma liiget iseseisvalt 20 publikatsiooni ja arutasid seejärel tulemusi, et jõuda ühisele arusaamale uuringute kaasamise osas. Ülevaate kvaliteedi tagamiseks sõelusid kaks uurimisrühma liiget 20% kirjetest, ülejäänud sõelus vaid üks uurimisrühma liige.

Esmasel valikul potentsiaalselt sobivaks hinnatud uuringute täistekstid otsiti ja nende põhjal tehti teine sõelumine. Üks uurimisrühma liige luges läbi potentsiaalselt sobivate uuringute täistekstid ja kui ta otsustas seejärel mõne uuringu välja jätta, luges teine uurimisrühma liige täisteksti läbi ja kinnitas või lükkas ümber välja jätmise otsuse. Teise uurimisrühma liikme poolt siiski sobivaks tunnustatud uuring arutati läbi ja kaasamise või välja jätmise otsus tehti konsensuse alusel. Artiklite andmed sisestati MS Excel tabelisse.

Tulemused

Andmebaasiotsinguga leiti 1374 kirjet (teadusartiklit), millest 1163 puhul otsustati kas uuring vastab meie seatud kaasamiskriteeriumitele ainult pealkirja ja kokkuvõtete järgi. Täistekste vaadati läbi 115 juhul. Andmebaasiotsingutele lisaks leiti üks uuring sirveotsinguga. Kaasamiskriteeriumitele vastas ja käesoleva uuringu analüüsis kasutati 32 uuringut, millest 4 olid süstemaatilised ülevaated, 19 eksperimentid ja 9 vaatlusuuringud (Joonis 3).

Kõikide kaasatud artiklite olulisemad tulemused on kokkuvõtvalt kirjeldatud tabelites (Lisa 2, Tabelid 1–3).



Joonis 3. PRISMA voodiagramm teaduskirjanduse otsingute kirjeldamiseks.

Tuulikute tekitatud kuuldava müra mõju inimese tervisele

Tuulikute tekitatud kuuldav müra ja uni

Tuulikute kuuldava müra mõju kohta une kvaliteedile/unehäiretele on käesolevasse uuringusse kaastatud kaks süstemaatilist ülevaadet/meta-analüüsi (Godono et al., 2023; Liebich et al., 2021) (Lisa 2, Tabel 1), kaks eksperimenti unelaboris (Liebich et al., 2022a, 2022b) (Lisa 2, Tabel 4) ja üks pikaajaline jälgimisuuring (Poulsen et al., 2019b) (Lisa 2, Tabel 2).

Mõlemad käesolevasse ülevaatesse kaasatud süstemaatilised ülevaated järeldasid, et tuulikute müra suurenedes suureneb risk eneseraporteeritud une häireteks ja/või madalamaks une kvaliteediks (Godono et al., 2023; Liebich et al., 2021). Üks kaasatud ülevaateuuringutest (Liebich et al., 2021) ei leidnud aga müra mõju objektiivselt mõõdetud une näitajatele (polüsomnograafia (PSG) ja aktigraafia abil). Teine ülevaateuuring käsitles vaid subjektiivselt hinnatud une näitajaid ning leidis, et nii tuulikute kaugus kui ka helitugevus alates 30 dB (A) mõjutavad eneseraporteeritud unehäireid (Godono et al., 2023).

Süstemaatilise ülevaate ja meta-analüüsi (Liebich et al., 2021) eesmärgiks oli hinnata tuulikute müra mõju unele ainult valideeritud subjektiivsete ja objektiivsete mõõdikute abil. Objektiivsed näitajad mõõdeti polüsomnograafia (PSG) ja aktigraafia abil. Polüsomnograafia on objektiivse unemõõtmise 'kuldstandard', kuna see kasutab otsest elektroentsefalograafiat (EEG). Aktigraaf on randmel kantav liikumisandur, mis tuvastab une- ja ärkveloleku aja, lähtudes keha üldistest liigutustest. Subjektiivsed mõõdikud olid unepäevik ja küsimustikud. Ülevaatesse kaasati üheksa uuringut, mis kasutasid laialdaselt aktsepteeritud ja valideeritud objektiivseid ning subjektiivseid une hindamise meetodeid ja olid ilmunud peale 2000. aastat. Meta-analüüsi kaasati viis uuringut, millest neli kasutas PSG ja üks aktigraafiat (Liebich et al., 2021).

Kirjeldatud ülevaateuuring (Liebich et al., 2021) näitas, et tuulikute müra ei mõjuta oluliselt une peamisi objektiivseid näitajaid: uinumiseks kuluv aeg (ingl *sleep onset latency*, SOL), ärkvelolek pärast esimest uinumist (ingl *wake after sleep onset*, WASO), kogu uneaeg (ingl *total sleep time*, TST) ja une efektiivsus (ingl *sleep efficiency*), küll aga leiti mõju subjektiivselt mõõdetud (eneseraporteeritud) une näitajatele. Tuulikute müra mõjutas küsitluste põhjal insomnia ehk unetuse sümptomite tugevust (ingl *Insomnia Severity Index*, ISI), une kvaliteeti (ingl *Pittsburgh Sleep Quality Index*, PSQI) ja päeval kogetud unisust (ingl *daytime sleepiness*). Leiti viiteid ka sellele, et suurem amplituudmodulatsioon (AM) võib suurendada ärkveloleku aega ja vähendada sügava une staadiumi kestvust.

Teine une teemal läbi viidud süstemaatiline ülevaade ja meta-analüüs (Godono et al., 2023) hindas tuulikute müra mõju vaid eneseraporteeritud subjektiivsetele une näitajatele. Uuringus leiti, et nii tuulikute kaugus kui ka helitugevus mõjutavad eneseraporteeritud unehäireid. Madalaim unehäirete levimus leiti helitugevuse <30 dB (A) juures (31%) ja see tõusis müra tugevnedes. Eneseraporteeritud unehäirete levimus erinevatel kaugustel (meetrites) lähimast tuulepargi tuulikust oli uuringus (Godono et al., 2023) järgmine:

- <500 m: 79%
- 500–1000 m: 65%
- 1000–1500 m: 41%
- 1500–2000 m: 29%
- 2000–3000 m: 22%

Godono et al. (2023) ülevaade kaasas uuringuid Euroopast, USA-st, Kanadast, Jaapanist ja Hiinast, mis olid avaldatud aastatel 2004–2021. Tuulikute kaugus kaasatud uuringutes oli 495–3093 m ning tuulikute võimsus 0,5–3,5 MW.

Tuulikud võivad olla stressi allikad ning see võib kaasa aidata eneseraporteeritud unehäirete tekkimisele. Tuleb siiski arvestada, et eneseraporteeritud une näitajaid mõjutab meenutamisviga, une tajumise ebatäpsus või ärkamiste vale tõlgendamine ning (Godono et al., 2023) uuringus käsitleti vaid ristlambilõikelisi uuringuid, mis ei võimalda teha järeldusi põhjuslike seoste kohta. Godono et al. (2023) autorid hindavad enamike kaasatud uuringute kvaliteedi madalaks, tihti polnud kohandatud paljudele vajalikele teguritele, nagu õhusaaste, visuaalne häiring, õhu temperatuur ja niiskus ning uuritavate majanduslik olukord (Godono et al., 2023).

Austraalias viidi läbi kaks ühepoolset pimendatud juhuslikustatud kontrolluuringut magamislaboris, kus uuritavatele esitati varasemalt lindistatud tuulepargi kuuldav müra ja infraheli. Esimeses katses (Liebich et al., 2022a) magasid 68 uuritavat vanuses 18–80 aastat seitse järjestikust ööd magamislaboris, kus neile esitati tuulikumüra salvestist tugevusega 25 dB (A). Kasutatud salvestis oli reaalse tuulepargi müra salvestis, mis tehti elamu siseruumides, mis asus 3,3 km kaugusel tuulepargist Lõuna-Austraalias. Müra esitamise tase 25 dB (A) valiti, kuna see on sarnane aastaringselt siseruumides mõõdetud tuulikute mediaan müra tasemega 1–3 km kaugusel tuuleparkidest. See tase oli ka 6 dB (A) kõrgem labori taustamürast ja seega normaalse kuulmisega osalejatele selgelt kuuldav. Salvestised sisaldasid infraheli alates sagedusest 1,6 Hz ja tajutavat amplituudmodulatsiooni (AM). Objektiivseid unenäitajaid

hinnati polüsomnograafia (PSG) abil. Samuti salvestati elektromüograafia, elektro-okulograafia, elektrokardiograafia, pulssoksümeetria ja jalgade liigutuste signaalid. Subjektiivseid unenäitajaid hinnati valideeritud veebipõhise „unepäeviku“ küsimustiku abil. See päevik sisaldas küsimusi voodis olemise aja, voodist tõusmise aja ning une- ja ärkveloleku minutite kohta öö jooksul, võimaldades arvutada voodis veedetud aja, uinumisaja, ärkamiste arvu ja kestuse, ärkamise aja ning kogu uneaja. Uuritavad jagati nelja rühma: raporteerisid unehäireid seoses tuuliku müraga (N=14, elasid < 10 km kaugusel tuulepargist); unehäireteta (N=18, elasid < 10 km kaugusel tuulepargist); liiklusrüüa unehäiretega (N=18), kes raporteerisid liiklusrüüa seotud unehäiretest; kontrollrühm (N=18), kes elasid vaikes maapiirkonnas. Katse ajal mängiti uuritavatele neli erinevat müra stsenaariumit juhuslikus järjekorras neljal ööl pärast kohanemisööd: vaikne kontroll-öö vaid labori taustamüraga 19 dB (A); pidev tuuliku müra 25 dB (A) kogu öö; tuulikumüra 25 dB (A) ainult väljakujunenud une ajal ja tuulikumüra 25 dB (A) ainult ärkveloleku või kerge une ajal.

Uuringu (Liebich et al., 2022a) tulemused näitasid, et puudus märkimisväärne tuulikute müra mõju uuritud une näitajatele. See tähendab, et 25 dB (A) tasemel ei mõjutanud tuulikute müra oluliselt une efektiivsust, une latentsust, une koguaega, ärkveloleku aega pärast une algust ega erinevaid unestaadiume, sõltumata osaleja varasemast kokkupuutest müraga või enesehinnangulistest unehäiretest. Müratundlikumad magasid halvemini kontrollööil kui müra ei esitatud. Müratundlike uni ei erinenud teistest aga müraga öödel.

Teine uuring (Liebich et al., 2022b) tehti tugevama lindistatud tuuliku müraga ning seal osales 23 uuritavat vanuses 18–29 aastat, kes polnud varem tuuliku müraga kokku puutunud. Lindistatud tuulepargi müra (sisaldas ka infraheli) esitati magamislaboris tugevusega 33 dB (A) juhuslikus järjekorras vahelduvalt labori taustamüraga 23 dB (A). Tuulepargi müra sisaldas infraheli ja märgatavat AM-i 46 Hz juures. Uuring näitas, et tuulikute müra tasemel 33 dB (A) ei pikenda objektiivselt või subjektiivselt mõõdetud magama jäämise aega noortel, tervetel inimestel, kes ei ole varem tuulikute kokku puutunud.

Need kaks hea kvaliteediga juhuslikustatud kontrolluuringut (Liebich et al., 2022a, 2022b) näitasid, et tuulikute müra siseruumis tasemel 25 dB (A) ei avalda mõju objektiivsetele ega ka subjektiivsetele une näitajatele ka vanematel ja müratundlikel inimestel. Mõju ei täheldatud ka neil, kes ise raporteerisid tuulikute seotud unehäireid. Nende uuringute põhjal võiks arvata, et tuulikute müra siseruumides alla 25 dB (A), mis sisaldab ka amplituudmodulatsiooni, on ohutu ka tundlikele gruppidele. Ka tuulikute müra tasemel 33 dB (A) ei pikendanud magama

jäämise aega, kuid selles uuringusse olid kaasatud vaid noored inimesed ja käsitleti vaid ühte une näitajat ning seega ei saa teha järeldusi teiste une näitajate ja vanemate inimeste kohta.

Juhuslikustatud kontrolluuringute miinuseks on aga see, et nad ei näita müra pikaajalist mõju. Müra pikaajalist mõju unele on käsitletud Taanis läbi viidud suure valimiga kohortuuringus (Poulsen et al., 2019b). Selles hinnati tuulikute öise müra mõju elamu lähedal õues ja öise madalsagedusliku müra mõju siseruumides objektiivselt mõõdetud unehäirete näitajale, milleks oli Taani patsiendiregistri alusel uneravimite välja ostmine.

Poulsen et al. (2019b) uuringusse kaasati 583 968 uuritavat, kes uneravimeid jälgimise alguses ei võtnud. Neid jälgiti 17 aastat (1996 kuni 2013). Nendest 68 696 võtsid jälgimise lõpuks uneravimeid. Uuritavad olid vanuses 25–84 (Poulsen et al., 2019b).

Tuulikute müra modelleeriti (hinnati arvutuslikult ainult tuulikute pärinevat müra) kõigile Taani elamutele, mis asusid kuni 20 tuuliku torni kõrguse raadiuses (uuritav rühm). Näiteks, kui tuuliku torni kõrgus oli 35 m, siis modelleeriti tuulikute müra elamutele 700 m raadiuses, kui torni kõrgus oli 100 m, siis 2000 m raadiuses. Samuti modelleeriti tuulikute müra 25%-le juhuslikult valitud elamutele, mis asusid 20 kuni 40 tuuliku torni kõrguse raadiuses (kontrollrühm). Modelleeriti kaks müra näitajat: A-kaalutud öine müratase elamu lähedal õues sagedustel 10–10 000 Hz (mis lisaks kuuldavale helile sisaldas ka madalsageduslikku heli ja osaliselt infraheli) ja eraldi ainult madalsageduslik müra (osaliselt sisaldas ka infraheli) elamu siseruumides sagedustel 10–160 Hz. Tuulikute müra elamute lähedal õues jagati järgmistesse klassidesse: vähem kui 24; 24–30; 30–36; 36–42 ja üle 42 dB (A). Tuulikute madalsageduslik müra siseruumides jagati järgmistesse klassidesse: alla 5; 5–10, 10–15 ja üle 15 dB (A). Analüüsides kasutati 1-aasta ja 5-aasta keskmiseid müra näitajaid (Poulsen et al., 2019b).

Seoste hindamiseks müratasemete ja uuritavate uneravimite tarbimise vahel kasutati log-lineaarset Poissoni regressioonanalüüsi. Kõik analüüsid kohandati soole, kalendriaastale ning vanusele. Lisaks kohandati analüüsid haridustasemele, sissetulekule, perekonnaseisule, tööjõuturul osalemise staatusele, eluaseme tüübile (talu, ühepereelamu ja muu), liiklusköormusele 500 m raadiuses elukohast ja kaugusele lähimast teest, millel liigub üle 5 000 sõiduki päevas. Analüüsides võeti arvesse nende tunnuste muutumist ajas jälgimisaja jooksul (Poulsen et al., 2019b).

Kirjeldatud Poulsen et al. (2019b) uuringus leiti, et võrreldes nendega, kelle elamu asus kõige madalamas müraklassis (vähem kui 24 dB (A)), oli 3–8% statistiliselt oluliselt suurem risk uneravimite tarbimiseks neil, kes elasid kõrgemates müraklassides (müra elamute läheduses

õues 24–30; 30–36; 36–42 dB (A)). Neil, kes elasid kõige kõrgemas müraklassis (üle 42 dB (A)) oli 14% suurem risk uneravimite tarbimiseks võrreldes nendega, kes elasid kõige madalamas müraklassis (vähem kui 24 dB (A)), kuid see erinevus ei olnud statistiliselt oluline. Selleks et teada saada, kas erinevates vanustes inimesed võivad olla tuulikute müra erinevalt mõjutatud, analüüsiti uuritavaid vanusrühmade kaupa. Leiti, et tuulikumüra mõjutab rohkem vanemaid inimesi. Nendel üle 65-aastastel, kellel oli elamu läheduses õues tuulikutest kuuldav müratase üle 42 dB (A), oli 68% suurem risk tarbida uneravimeid võrreldes nendega, kelle elamute läheduses õues oli müratase alla 24 dB (A). Üle 65-aastaste vanusrühmas täheldati suuremat riski uneravimite tarbimiseks alates öisest müratasemest 30 dB (A) elamute läheduses õues. Madalsageduslikul müral siseruumides mõju uneravimite tarbimisele ei leitud.

Tuulikute tekitatud kuuldav müra ja häiritus

Häiritus on näitaja, mida mõõdetakse küsimustikuga. Uuritav hindab etteantud skaalal kui häirivaks ta müra peab. Keskkonnamüra ja häirituse vahelist seost on käsitletud ülevaateartiklis (Guski et al., 2017) (Lisa 2, Tabel 1). See ülevaade keskendus keskkonnamürale, milles lisaks tuulikutest pärinevale mürale hinnati ka autoteedelt pärineva liikluse müra, rongiliikluse ja lennuliikluse müra ning häirituse vahelist seost. Tuulikute müra käsitlevatest uuringutest oli kaasatud neli ristlääbilõikelist artiklit, mis olid avaldatud aastatel 2000–2012. Uuring näitas, et tuulikute müra suurenedes häirituse tõenäosus suureneb, kuid see seos pole nii selge kui liikluse müra puhul.

Mitmes käesolevasse uuringusse kaasatud katses (Lisa 2, Tabel 4) uuriti, kui palju aitab kaasa häirituse tekkimisele tuulikute heli üks spetsiifilisi omadusi amplituudmodulatsioon (AM) (Ioannidou et al., 2016; Lee et al., 2011; Schäffer et al., 2016, 2018). Lisaks on nendes uuringutes käsitletud ka müra sagedusjaotuse ja päritoluallika mõju häiritusele.

Laborikatse (Ioannidou et al., 2016) kavandati selleks, et selgitada, kuidas mõjutavad häiringu tekkimist AM sügavus (katse 1), AM sagedus (katse 2) ning AM tüübi ja sügavuse koostoime (katse 3). Uuritavatele esitati erineva modulatsioonisügavusega (ühtlasemat või rohkem varieeruvat) heli 30 s jooksul tugevusega 60 dB (A). Modulatsioonisügavus defineeriti kui maksimaalse ja minimaalse helitaseme vahe ning see ulatus erinevates helistiimulites kuni 12 dB (A). Kasutati nii lindistatud kui genereeritud tuulikute kuuldavat heli sagedusega 200–1200 Hz. Uuritavatel paluti katse ajal hinnata erinevate helinäidiste häirivust 10 palli skaalal. Uuringus leiti, et häiritust mõjutab AM sügavus. See tähendab, et mida väiksem on vahemik, milles müratase kõigub, seda vähem häirivam on heli. Leiti ka, et pole oluline kui sagedasti

müratase kõigub. Uuringu autorid soovivad võtta kasutusele meetmeid, et muuta tuulikute heli ühtlasemaks.

Amplituudmodulatsiooni uurimisele keskendub ka (Lee et al., 2011) laborikatse, kus osalejatele esitati müra erinevatel modulatsiooni tasemetel ja erineva tugevusega: 35, 40, 45, 50 ja 55 dB (A). Kasutati ühe reaalse tuuliku (1,5 MW võimsusega rootori diameetriga 72 m) kuuldava müra lindistust erinevatel kaugustel tuulikust sagedusel 250–8000 Hz. Ka see uuring näitas, et AM sügavuse suurenedes häiritus suurenes. Schäffer et al. (2016) uuring leidis samuti, et AM-i esinemine suurendas häiritust. Lisaks leidis (Schäffer et al., 2016), et sama heli tugevuse juures oli häiritus suurem tuulikute kui liikluse müra puhul (Lisa 2, Tabel 4).

Ka teine sama uurija poolt hiljem tehtud uuring (Schäffer et al., 2018) leidis, et AM-i sügavus suurendab häiritust. Lisaks leiti ka, et kunstlikult suurendatud madalsagedusliku komponendiga heli häiris rohkem kui tuuliku müra. Häiritus ei olnud seotud osalejate soo või müratundlikkusega, kuid oli kõrgem vanuse suurenedes ja oli madalam positiivsema suhtumise korral tuuleparkidesse (Schäffer et al., 2018).

Tuulikute tekitatud kuuldav müra ja kliiniliselt väljendunud tervisehäired

Kõik käesolevasse uuringusse kaasatud vaatlusuuringud uurisid kuuldava müra (sh madalsagedusliku müra) mõju erinevatele objektiivselt mõõdetud tervisehäiretele. Vaatlusuuringutest kaasati käesolevasse uuringusse kaheksa kohortuuringut (Bräuner et al., 2019a, 2019b, 2018; Poulsen et al., 2019a, 2019b, 2018a, 2018b, 2018c) ja üks juhtristuur (ingl *case-crossover*) (Poulsen et al., 2018d) (Lisa 2, Tabel 2). Kõik vaatlusuuringud on läbi viidud Taanis ja põhinevad kahe uuringukohordi (inimeste rühma) andmetel – Taani meditsiiniõdede kohort ja kogu Taani elanikkonda kaasav registripõhine kohort.

Taani meditsiiniõdede kohort loodi 1993. aastal, kui saadeti küsimustik Taani Õdede Organisatsiooni naisliikmetele, kes olid sel ajal vähemalt 44-aastased. Algselt oli kohordis 28 731 õde. Elukohtade teada saamiseks kasutati Taani elanike registrit. Taani meditsiiniõdede kohordi põhjal uuriti insuldi (Bräuner et al., 2019a), müokardiinfarkti (Bräuner et al., 2018) ja südame rütmihäirete (kodade virvendusarütmia) tekkimist (Bräuner et al., 2019b) seoses tuulikute müraga. Haigestumine tuvastati põhinedes Taani patsientide ja surmapõhjuste registritel.

Kõigis uuringutes modelleeriti A-kaalutud tuulikute müra sagedustel 10–10 000 Hz ja arvutati aasta keskmine L_{den} uuritavate elukohas maja välisfassaadil 6 km raadiuses lähimast tuulikust. Kõigis kolmes uuringus oli tuulikute müra tase madal, ainult 3% uuritavatest oli kokkupuutes

tuulikute müraga maja välisfassaadil üle 29,9 dB (A). Uuringutes ei leitud seost tuulikute müra ja müokardi infarkti ning insuldi tekkimise vahel.

Uuringu (Bräuner et al., 2019b) tulemused näitasid, et öine aasta keskmine tuulikute müra elamu välisfassaadil L_{night} üle 20 dB (A) võib suurendada kodade virvendusarütmia esinemist, võrreldes nendega, kellel on öösiti väiksem kui 20 dB tuulikute müra. Sarnane seos leiti ka L_{day} ja L_{evening} näitajaga, kuid sarnast seost ei leitud ööpäevaringse näitajaga L_{den} . Uuringud olid kohandatud olulistele teguritele, nagu näiteks vanus, kalendriaasta (millal kohorti värvati), töötamise staatus, suitsetamise staatus, alkoholi tarbimine, füüsiline aktiivsus, kehakaal, teised haigused, perekonnaseis jms. Uuriti ka kuidas liikluse müra ja õhusaaste (NO_2) võiks seoseid mõjutada. Kohandamine ei muutnud oluliselt leitud seoseid (või nende puudumist).

Poulsen'i uuringud (Poulsen et al., 2019a, 2019b, 2018d, 2018a, 2018b, 2018c) põhinesid Taani üleriikliku registripõhise kohordi andmetel. Uuringusse kaasati kõik Taani tuulikud ja kõik elanikud, kes olid vahemikus 1996 kuni 2013 elanud aasta või rohkem tuulepargi läheduses kuni 20 tuuliku torni kõrguse kaugusel ning juhuvalikuga 25% kõigist uuritavatest, kes olid elanud elamutes, mis jäävad 20–40 tuuliku torni kõrguse kaugusele tuulepargi lähimast tuulikust. Kokkupuute hindamiseks modelleeriti (hinnati arvutuslikult) A-kaalutud öine (kell 22.00 kuni 7.00) tuulikute müra arvestades tuuliku tüüpi, kõrgust, asukohta, tuule suunda ja teisi ilmastiku tingimusi. Modelleeriti müra elamute lähedal ööses sagedustel 10 kuni 10 000 Hz (sisaldab ka madalsageduslikku müra) ja eraldi madalsageduslik müra siseruumides (10–160 Hz). Öine müra elamute lähedal ööses jagati klassidesse: vähem kui 24; 24–30; 30–36; 36–42 ja üle 42 dB (A) ja madalsageduslik müra siseruumides alla 5; 5–10, 10–15 ja üle 15 dB (A). Kõik analüüsid kohandati uuritavate soole, uuringusse kaasamise kalendriaastale ning vanusele. Lisaks kohandati veel erinevates mudelites analüüs uuritavate haridustasemele, isiklikule sissetulekule, perekonnaseisule, tööturul osalemisele, piirkonna keskmisele sissetulekule, elamutüübile (korter või elamu), kaugusele teest (millel liigub ≥ 5000 sõidukit päevas), liiklusköormusele 500 m raadiuses elamust. Kõiki andmeid uuendati vastavalt inimese elukoha muutusele jälgimisaja jooksul.

Uuring leidis, et pikaajaline öine kokkupuude tuulikute müraga elamute lähedal ööses või tuulikute madalsagedusliku müraga siseruumides ei mõjuta diabeedi ja kõrge vererõhu tekkimise riski (Poulsen et al., 2018b, 2018a). Samuti ei leitud tõendeid selle kohta, et tuulikute müra oleks seotud ühegi uuritud halvenenud sünninäitajaga: enneaegne sünd, ajalise sünni väike kaal, gestatsioonivanuse kohta väike kaal ajalistel sündidel (Poulsen et al., 2018c).

Samas leiti, et kõrge pikaajaline öine kokkupuude elamute lähedal õues kuuldava tuulikute müraga (10 kuni 10 000 Hz) suurendab uneravimite ja antidepressantide võtmise riski. Müra üle 42 dB (A) suurendas antidepressantide võtmise riski 17%. Kõige rohkem olid mõjutatud vanemad kui 65-aastased uuritavad. Madalsageduslik müra siseruumides (10–160 Hz) uneravimite ja antidepressantide välja ostmist ei mõjutanud (Poulsen et al., 2019b).

Uuringud infarkti ja insuldi kohta ei anna selgeid vastuseid. Näiteks (Poulsen et al., 2019a) uuringus leiti vastuolulisi tõendeid tuulikute müra ning infarkti või insuldi seoste kohta. Uuritavatel, kes olid kokkupuutes öise müraga elamute lähedal õues 24–30 dB (A) ja 30–36 dB (A), oli suurem risk infarktiks ja insuldiks kui neil, kes puutusid kokku alla 24 dB (A) müraga. Suurem risk ei olnud aga statistiliselt oluline kokkupuutes tugevama tuuliku müraga 36–42 dB (A) ja ≥ 42 dB (A), mis näitab, et puudub annus-vastus seos. Ei leitud seost siseruumides oleva madalsagedusliku müra ning infarktide ja insultide tekkimise vahel.

Poulsen et al., 2018d uuris, kas lühiajalised muutused tuulikute müras võivad mõjutada infarktide ja insultide tõttu hospitaliseerimist ja surma. Uuriti mürataset neli päeva enne haigestumist või võrdluspäeva. Tulemused ei andnud veenvaid tõendeid seoste kohta lühiajalise öise müra ja müokardiinfarkti või insuldi vahel. Põhianalüüsis statistiliselt olulisi seoseid ei tuvastatud. Poulsen et al. (2018d) uuringus järel dati aga lisaanalüüside põhjal, et lühiajaline kõrgem madalsageduslik müra siseruumides siiski võib vallandada infarkti või insuldi (Poulsen et al., 2018d).

Sellele, et tuulikute müra võib mõjutada südameveresoonekonna haiguste teket, viitab ka Taiwanis läbi viidud katse (Chiu et al., 2021). Katsesse kaasati vabatahtlikkuse alusel inimesed, kes elasid tuulikute kuni 500 m kaugusel. Uuritavad jagati kahte gruppi – ühed viibisid 30 minutit 20 m kaugusel tuulepargi lähimast tuulikust õues ja teised 500 m kaugusel tuulepargi lähimast tuulikust siseruumides. Uuritavatel mõõdeti katse ajal südame löögisagedust ja südame löögisageduse varieeruvust kaasaskantava elektrokardiogrammi (EKG) salvestiga. Katsealal 20 m kaugusel lähimast tuulikust ulatus madalsageduslik müra (20–200 Hz) 38,3 dB (A) kuni 57,1 dB (A). Katse tulemused näitasid, et mida suurem oli tuulikute müra, seda väiksem oli südame löögisageduse varieeruvus (HRV). Kõrgem HRV viitab tavaliselt paremale kehalisele kohanemisvõimele ja stressitaluvusele, madalam HRV võib viidata stressile, väsimusele või terviseprobleemidele. Seega näitab antud uuring, et ebatavaliselt suur (nii lähedal tuulikutele inimesed tavaliselt ei ela) tuulikute müra võib suurendada südameveresoonekonna haiguste riski. Lisaks mõõdeti uuringus elumajade siseruumides olevat

madalsagedusliku müra, mis asusid lähimast tuulikust 124–330 meetri kaugusel. Nende elumajade siseruumides mõõdetud madalsagedusliku müra tase 20–200 Hz juures jäi vahemikku 30,7–43,4 dB (A).

Tuulikute tekitatud infraheli mõju inimese tervisele

Tõendus tuulikute infraheli potentsiaalsest mõjust inimeste tervisele pärineb meie uuringus 13-st eksperimendist (Lisa 2, Tabel 3). Peamised tervisetulemid, mille seost tuulikute infraheliga analüüsiti, olid une kvaliteet (Liebich et al., 2022a, 2022b; Marshall et al., 2023), vaimne tervis (Ascone et al., 2021; Małeckie et al., 2023; Rosciszewska et al., 2025), häiritus ja eneseraporteeritud sümptomid (Ascone et al., 2021; Maijala et al., 2021; Marshall et al., 2023). Eksperimentide seerias autorite kollektiivilt Crichton et al. uuriti kas tuulikute infraheli põhjustab häiritust ja erinevate sümptomite esinemist, nagu peavalu, survetunne kõrvades jne., ning kuivõrd mõjutab häiritust ja sümptomite raporteerimist meedias ja sotsiaalmeedias leviv info, et infraheli on ohtlik tervisele (Crichton et al., 2015, 2014b, 2014a; Crichton and Petrie, 2015a, 2015b).

Ainult tuulikute infraheli mõju (ilma kaasneva kuuldava mürata) uurivaid eksperimente oli käesolevasse uuringusse kaasatud viis (Ascone et al., 2021; Crichton et al., 2014b; Małeckie et al., 2023; Marshall et al., 2023; Tonin et al., 2016) (Lisa 2, Tabel 3).

Kõige kõrgema tõendatuse kvaliteediga on neist uuringutest Austraalia unelaboris läbi viidud katse (Marshall et al., 2023). Tegemist oli juhuslikustatud, topeltpimendatud katsega, mis viidi läbi isoleeritud unelaboris kontrollitud tingimustes (müratasemed ja muud tegurid on laboris täpselt teada), mis oli kujundatud stuudiokorteri stiilis. Uuringusse kaasati inimesed, kes küsitluse alusel pidasid ennast müratundlikeks. Uuringus osales 37 müratundlikku, kuid muidu tervet täiskasvanut vanuses 18–72 aastat, kellest 51% olid naised.

Uuritavad läbisid kolm katseperioodi. Iga katseperioodi jooksul, mis algas keskpäeva paiku, viibisid osalejad pidevalt ühes kolmest müratingimusest (infraheli, platseebo, liiklusmüra) 72 tunni vältel (sealhulgas kolm ööd) ilma laborist lahkumata. Labor oli sisustatud kui magamistuba koos privaatse vannitoaga. Peale igat katseperioodi veetsid uuritavad 10 päeva oma tavalises keskkonnas. Ei uuritavad ega ka uuringumeeskond ei teadnud, kas uuritavale esitatakse infraheli või mitte. Infraheli või platseebo-heli genereerimist juhiti eraldi ruumist inseneride poolt, kes ei kohtunud osalejatega. Ka statistilise analüüsi viisid läbi uurijad, kes samuti ei teadnud, milline tingimus vastas infrahelile. Kokkupuute tingimused olid märgistatud numbriliselt (1 vs. 2 vs. 3).

Uuritavad magasid juhuslikus järjekorras järgnevates tingimustes:

1. Infraheli (uuritav tingimus). Uuritavatele genereeriti öö jooksul infraheli sagedusega 1,6–20 Hz maksimaalse tugevusega 90 dB (Z) simuleerides tuuliku infraheli tavalisest kõrgemal tasemel. See heli oli uuritavatele kuuldamatu.
2. Platseebo (negatiivne kontroll). Uuritavatele ei esitatud mingeid lisahelisid, kuid kõlar oli paigutatud ruumi, et uuritavad ei teaks, kas heli genereeritakse või mitte. Siiski oli platseeborühm kokkupuutes taustamüraga, mis pärines labori õhukonditsioneerist. Keskmine taustamüra öö jooksul oli 39 dB (A) mis vastab müratasemele 80–85 dB (Z). Taustamüra domineerisid sagedused alla < 1 Hz.
3. Liikluse müra (positiivne kontroll). Uuritavatele esitati liikluse müra keskmise tugevusega öö jooksul 40–50 dB (A) ja maksimaalse tugevusega 70 dB (A). See müra oli kuuldav.

Mõõdetud füsioloogilised ja psühholoogilised näitajad hõlmasid objektiivselt ja subjektiivselt mõõdetud une näitajaid, südameveresoonkonna näitajaid (24-tunni vererõhk ja südame löögisagedus, endoteeli funktsioon ja pulsiline kiirus), stressihormoonide ja insuliini tase veres ja uriinis, neurokäitumuslikud ja psühholoogilised näitajad, küsimustikud “tuuleturbiini sündroomi” sümptomite kohta ja vaimse heaolu kohta.

Kokkupuude infraheliga ei halvendanud ühtegi subjektiivset ega objektiivset mõõdetud näitajat. Mõnede näitajate puhul infraheli parandas mõõdetud tervisenäitajaid, kuid uurijate hinnangul võisid need statistiliselt olulised seosed olla juhuslikud. Näiteks süstoolne vererõhk oli madalam ning Warwick–Edinburgh mentaalse heaolu indeks näitas uuritavate paremat enesetunnet infraheliga kokkupuute korral võrreldes platseeboga.

Uuringust järeldati, et tuulikute infraheli ei häiri inimeste und, ei põhjusta nn “tuuleturbiini sündroomi” sümptomeid, ei halvenda mõõdetud kardiovaskulaarse tervise näitajaid ega halvenda inimeste vaimset heaolu (Marshall et al., 2023). Uuringu tulemusi võib pidada hästi tõendatuteks.

Kõige pikaajalisem tuulikute infraheli katse tehti Saksamaal 38 osalejaga (Ascone et al., 2021). Uuritavate magamistuppa paigutati infraheli genereeriv seade või platseeboseade 28 ööks. Inimesed jagati juhuslikult kahte gruppi, esimesele grupile (23 inimest) genereeriti öisel ajal infraheli sagedusel 6 Hz tugevusega 80–90 dB (Z), platseebo grupile (15 inimest) infraheli ei genereeritud. Mõõdeti somaatilisi ja psühhiaatrilisi sümptomeid, müratundlikkust, une kvaliteeti, kognitiivset võimekust ja aju struktuuri (MRI abil) enne ja pärast sekkumist. Kokkupuude infraheliga ei mõjutanud eneseraporteeritud tervist, une kvaliteeti ega vaimseid

võimeid. Täheldati muudatusi aju hallaines, kuid seda ei saa tõlgendada ei kahjuliku ega kasuliku mõjuna ning see leid ei pruugi olla seotud infraheliga (Ascone et al., 2021).

Malecki et al., (2023) uuringu eesmärgiks oli testida kas infraheli amplituudmodulatsioon (AM) mõjutab tudengite vaimset jõudlust. Selleks jagati tudengid ülikoolis läbi viidud katses kolme rühma, kes olid eksponeeritud järgnevatele helidele: 1) Lindistatud tuuliku müra-st välja filtreeritud infraheli tugevusega 83 dB (G)/47 dB (A) ja AM-i sügavusega 4 dB 1 Hz juures; 2) Sünteesitud infraheli 5–20 Hz tugevusega 78 dB (G)/46 dB (A) ja sellel puudus AM; 3) Taustamüra tugevusega 63 dB (G)/43 dB (A) (liiklusmüra, kõne õppeasutuses). Uuringu tulemused ei näidanud olulisi erinevusi kognitiivsete testide tulemustes ega ka raporteeritud ebameeldivate aistingute või kaebuste arvus erinevate helitingimuste vahel, kui analüüsiti mehi ja naisi eraldi. Naised raporteerisid ebamugavustunnet ja erinevaid kaebusi rohkem kui mehed (Malecki et al., 2023).

Perioodil 2014–2015 tehti Uus-Meremaal Aucklandi Ülikoolis viis katset, et uurida, kuidas mõjutab meedia ja interneti teel leviv valeinfo infraheli kohta sümptomite tekkimist ja häirituse kogemist. (Crichton et al., 2015, 2014b, 2014a; Crichton and Petrie, 2015a, 2015b) (Lisa 2, Tabel 3).

Crichton et al., (2014b) eksperimendis jaotati juhuslikult 54 katsealust kahte rühma. Ühele rühmale tekitati reaalse internetis leviva info põhjal ootus, et infraheli on kahjulik mõju ja teisele rühmale tekitati ootus, et infraheli ei ole kahjulik. Kõrge negatiivse tervisemõju ootuse kujundamiseks näitati videoid, mis olid saadaval internetis ja sisaldasid inimeste kirjeldusi sümptomitest, mida nad seostasid tuuleparkide tööga. Madala negatiivse tervisemõju ootuse kujundamiseks esitati video, kus olid intervjuud ekspertidega, kes tutvustasid teaduslikku seisukohta, et tuuleparkides tekkiv infraheli ei põhjusta sümptomeid. Pärast ootuste loomist olid katsealused kokkupuutes 10 minuti jooksul genereeritud infraheliga (5 Hz, 40 dB) või platseeboheliga. Kõigile osalejatele öeldi, et nad on kokkupuutes infraheliga mõlema 10-minutilise seansi ajal. Nii osaleja kui eksperimenti läbi viiv uurija ei teadnud, millal oli tegemist päris infraheliga, millal platseeboga. Osalejad hindasid seitsme pallisel skaalal sümptomite esinemist enne kokkupuudet ja kokkupuute ajal. Hinnati sümptomite esinemist, mida internetis tuuleparkidega seostatakse: peavalu; survetunne kõrvades; kohin kõrvades; naha sügelus; survetunne põskkoobastes; pearinglus; survetunne rinnus; tunnetatud vibratsioon; südame pekslemine; iiveldus; väsimus; nõrkus. Kontrolliks hinnati ka muid suvalisi sümptomeid. Mõõdeti ka vererõhku ja südamelöögisagedust. Lisaks paluti hinnata kuivõrd vastab tõele

järgmine väide: “Ma tunnen muret tuulikute poolt tekitatud heli tervisemõjude pärast“ nii enne kui ka pärast video vaatamist. Kõrge negatiivse tervisemõjude ootusega rühm oli tervisemõjude pärast oluliselt rohkem mures ja nad raporteerisid katse ajal võrreldes katse-eelse testiga oluliselt rohkem ja intensiivsemaid sümptomeid olenemata tegelikust kokkupuutest infraheliga. Raporteeriti rohkem neid sümptomeid, mille seostest infraheliga oli uuritavaid teavitatud. Madalate ootustega rühmas raporteeritavate sümptomite arv ja intensiivsus ei muutunud võrreldes katse-eelse testimisega. Infraheli kokkupuude ei mõjutanud südame löögisagedust ega vererõhku kummaski rühmas. Uuring näitab, et reaalne internetis leviv info infraheli negatiivsete tervisemõjude kohta suurendab eneseraporteeritud sümptomite esinemist (Crichton et al., 2014b).

Sarnastes uuringutes (Crichton et al., 2015, 2014a) raporteeriti positiivsetel ootustel platseeboefekti. Uuritavad jagati kahte gruppi – ühtele tekitati negatiivne ootus, et tuulikud mõjutavad tervist halvasti, teisele aga positiivne ootus, et tuulikud mõjutavad tervist hästi. Mõlemale rühmale esitati genereeritud infraheli (9 Hz, 50,4 dB) ja tuulepargist 1 km kaugusel lindistatud kuuldav heli (43 dB) 7-minutiliste sessioonidena. Negatiivsete ootuste rühmas sessiooni ajal sümptomite raporteerimine suurenes, meeleolu halvenes ning häiritus suurenes. Positiivsete ootuste rühmas sümptomite raporteerimine vähenes, meeleolu paranes ja häiritus vähenes võrreldes enne sessiooni raporteerituga.

Crichton ja Petrie (2015b) kasutasid oma uuringus sarnast uuringuskeemi, kuid peale katseid positiivsete ja negatiivsete ootustega rühmadega, rühmadele jagatavat infot muudeti ja tehti kuulamiskatsed uuesti. Kui korduskatses negatiivsete ootuste rühmale jagati positiivset infot tuulikute kasulikkusest, siis nad raporteerisid vähem sümptomeid ja tuju paranes. Samuti nendel, kes olid kuulnud esimesena positiivset infot, ilmnes peale negatiivse info saamist halvem tuju ja rohkem sümptomeid. Tulemused näitavad, et positiivselt sõnastatud terviseabe kättesaadavus võib pöörata ümber või vähendada negatiivsete ootuste mõju, mis on tekkinud meedias avaldatud hoiatustest tuulikute terviseriskide kohta (Crichton and Petrie, 2015b).

Crichton ja Petrie (2015a) uurisid oma katses notseebo selgituse pakkumise tõhusust negatiivsete tervisemõjude ootuste muutmisel. Kõikidel uuritavatel tekitati negatiivsete tervisemõjude ootus. Seejärel uuritavad jagati juhuslikult kahte rühma: 1) uuritavatele jagati infot, et infraheli tervisemõjud on bioloogiliselt põhjendatud vs 2) uuritavatele selgitati, et tervisemõjud on notseebo-efekti tulemus. Pärast negatiivse info saamist suurenes raporteeritud sümptomite arv ja intensiivsus mõlemas rühmas võrreldes algseisuga, mis näitas

manipulatsiooni tõhusust antud katses. Bioloogilise põhjendatuse rühmas sümptomite raporteerimise suurenemine püsis ka teise seansi ajal. Notseebo-selgituse rühmas aga sümptomite arv ja intensiivsus vähenesid ning meeleolu parenes teise seansi ajal. Eksperiment näitab, et meediast leitud valeinfo suurendab sümptomite esinemist ja muret tervise pärast. Samuti seda, et notseebo-efekti selgituse pakkumine võib vähendada tuulikutega seostatavate sümptomite raporteerimist. Mõlemas rühmas osalejad pidasid neile antud selgitust arusaadavaks, mõistlikuks, veenvaks ja õigeks (Crichton and Petrie, 2015a).

Sarnase uuringu Crichton katsetele viisid läbi Tonin et al. (2016) kasutades tugevamat infraheli ja suuremat valimit (72 uuritavat vanuses 17–82). Simuleeriti muutuvat tuuliku infraheli sagedusega 0,8–40 Hz maksimaalse tugevusega 91 dB (Z). Uuritavad olid sellega kokkupuutes 23 minutit või lasti neile platseeboheli kõrvaklappidest. Tulemused toetavad samuti notseeboefekti esinemist. Infraheli rühmas infraheli kuulamise ajal sümptomite raporteerimine isegi vähenes. Samas ei leitud ka statistiliselt olulist seost enne kuulamiskatset esitatud informatsiooni iseloomu (ootused tervisemõjudeks või ootused, et tervisemõju pole) ja tulemuste vahel. Tulemus sõltus aga sellest, milline oli juba varasemalt välja kujunenud arvamus infraheli tervisemõjude osas. Need, kes uskusid, et infraheli mõjutab tervist negatiivselt, raporteerisid rohkem sümptomeid (Tonin et al., 2016).

Rosciszewska et al. (2025) uurisid tuulikute müra mõju kognitiivsele võimekusele. Uuritavad jaotati juhuslikult kolme rühma: 1) tuuliku müraga kokkupuude. Selles katses kasutati reaalselt lindistatud tuuliku müra 2 MW tuulikust 500 meetri kaugusel, mis sisaldas nii infraheli kui kuuldavat müra. Kasutatud helirõhutase oli 65,4 dB (Z) (vastab helitasemele 38,5 dB (A)). Tuulikumüra sisaldas AM-i (keskmine sagedus 0,8–1 Hz, sügavus ~6,9 dB); 2) kokkupuude liiklusmüraga. Kasutati salvestatud maanteeliikluse müra tugevusega 65,4 dB (Z) (vastab helitasemele 56,8 dB (A)); 3) kokkupuude vaid taustamüraga. Nende uuring näitas, et lühiajaline kokkupuude tuulikute müraga (tasemel, mis vastab tegelikule olukorrale 500 m kaugusel) ei mõjutanud statistiliselt oluliselt uuritavate kognitiivset jõudlust (aju funktsioonid, tähelepanu, mõtlemine). Samuti ei leitud statistiliselt olulist erinevust induktiivse mõtlemise testide tulemuste muutustes (täpsus, testi läbimise aeg, keskmine reaktsioonikiirus) erinevate mürakokkupuute tingimuste vahel (Rosciszewska et al., 2025).

Tuulikutega seotud visuaalsete aspektide mõju inimese tervisele

Käesolevasse uuringusse kaasati visuaalsete aspektide kohta üks süstemaatiline ülevaade (Freiberg et al., 2019b) ja üks katse (Murcia et al., 2017) (Lisa 2, Tabel 1 ja Tabel 4).

Tuulikute visuaalsete aspektidega seotud tervisemõjusid käsitleti aastal 2018 avaldatud süstemaatilises ülevaates, mis kaasas kõik epidemioloogilised uuringud aja- ja keelepiiranguta, mis olid avaldatud aastaks 2017 (Freiberg et al., 2019b). Kokku 17 uuringut kaasati kirjeldavasse analüüsi ja kuus uuringut meta-analüüsi. Uuringute kvaliteet hinnati kõrgeks viie uuringu puhul, kolme puhul aktsepteeritavaks ja ülejäänud uuringute kvaliteet hinnati madalaks. Ülevaade käsitles järgmiste tuulikute visuaalsete aspektide mõju une kvaliteedile ja häiritusele: otsene nähtavus elukohast; muutunud vaade maastikule; labade küljes vilkuvad tuled; takistusmärgistused; varjutus; peegeldused labadelt.

Otsesest nähtavusest, varjutusest ja vilkuvatest tuledest tingitud häiritus oli statistiliselt oluliselt seotud suurenenud unehäirete riskiga. Uuringus leiti, et ka muutunud vaade maastikule, takistusmärgistused ja valguse peegeldus tuuliku labadelt võib inimesi häirida (Freiberg et al., 2019b).

Uuringud näitasid, et kui tuulikud on kuuldavad, aga pole nähtavad kodust, siis see oluliselt vähendab häiritust. Kui tuulikud olid ühtaegu nii nähtavad kui kuuldavad, peeti müra siiski häirivamaks kui tuulikute visuaalseid aspekte. Uuringus selgus, et visuaalne häiritus ei pruugi aga võib sõltuda tuulikute kaugusest elamutest. Kaks uuringut näitasid, et häiritus tuulikute visuaalsetest aspektidest vähenes kauguse suurenedes, samas kui kahes teises uuringus ei leitud kaugusel olulist mõju visuaalsele häiritusele (Freiberg et al., 2019b).

Murcia et al. (2017) eksperimendis tehti elektroentsefalograafilisi (EEG) mõõtmisi, et mõõta nii objektiivselt kui ka subjektiivselt aju reaktsioone maastike visuaalidele. EEG salvestab aju elektrilisi impulsse, mida tekitab närvirakkude aktiivsus. Stiimulitena kasutati 60 erinevat pilti. Need jagati kolme rühma: pildid tuulikutega ja samad pildid ilma nendeta; pildid päikesepargiga ja ilma selleta; ning pildid tuumaelektrijaamaga ja ilma selleta. Nii ajutegevuse mõõtmised kui ka küsimustike vastused näitasid, et inimesed ei olnud rohkem häiritud tuulikute ja päikesepaneelidega piltidest. Samas leiti selgeid ja olulisi erinevusi maastike vaatlemisel, mis sisaldasid või ei sisaldanud tuumaelektrijaama. Tuumaelektrijaam tekitas negatiivseid emotsioone nii küsitluste kui ka EEG mõõtmiste järgi. Uuringu tulemust võis mõjutada asjaolu, et uuringus osales vaid 14 uuritavat ning enamik neist suhtus taastuvenergeetikasse positiivselt (Murcia et al., 2017).

Tulemuste arutelu

Tuulikute tekitatud kuuldav müra ja uni

Varasemad ülevaateuuringud on leidnud, et tuulikute kuuldava müra ja une näitajate vahel esineb seos (Ellenbogen et al., 2024; Karasmanaki, 2022; Schmidt and Klokke, 2014; Teneler and Hassoy, 2023). Samas meie uuringusse kaasatud artiklid seda üheselt ei kinnita. Meie uuring näitab, et paremini on tõestatud seos eneseraporteeritud unehäiretega kui objektiivselt mõõdetud unehäiretega (Godono et al., 2023; Liebich et al., 2021). Liebich et al. (2021) ülevaateuuring objektiivselt mõõdetud une näitajatele müra mõju ei leidnud, kuid leidis, et mõjutatud võivad olla eneseraporteeritud une näitajad (Liebich et al., 2021). Godono et al. (2023) ülevaateuuring leidis seose eneseraporteeritud une näitajate ja tuulikute müra vahel. Meie uuringusse kaasatud Poulsen et al. (2019b) kohortuuringus järelitati, et kindlat seost uneravimite tarvitamise ja tuulikute müra vahel üldpopulatsioonis ei ole, kuid samas leiti, et pikaajalisel kokkupuutel tuuliku kuuldava müraga üle 65 aastastel uuritavatel tõusis risk uneravimite tarvitamiseks alates öisest müratasemest 30 dB elamu lähedal õues. Selles seoses esines ka annus-vastus seos, mis tugevdab antud tulemuse tõendatust (Poulsen et al., 2019b). Samas ei olnud antud uuringu analüüsi võimalik kohendada inimeste suhtumisele, teadmistele või häirituse tajumisele ja seetõttu võis leitud seos tuulikute müra ja unehäirete tekkimise vahel olla mõjutatud muudest teguritest kui müra. Uuringus ei olnud arvestatud elumajade heli-isolatsioonide erinevusega, mis mõjutab inimeste tegelikku kokkupuudet tuulikute müraga öisel ajal.

Tuulikute müra mõju eneseraporteeritud unehäiretele võib olla otsene, aga võib olla ka seotud suurema häiritusega, mis võib omakorda olla mõjutad ka muudest teguritest (Teneler and Hassoy, 2023). Näiteks visuaalsete aspektide mõju kohta tehtud süstemaatiline ülevaade (Freiberg et al., 2019b) leidis, et unehäirete (nt unetuse või une kvaliteedi halvenemise) risk suurenes, kui inimesed nägid oma kodust tuulikuid, neid mõjutas varjutus või nad nägid tuulikute labade küljes olevaid öiseid tulesid.

Meie töösse kaasatud uuringute: kahe süstemaatilise ülevaate (Godono et al., 2023; Liebich et al., 2021), kohortuuringu (Poulsen et al., 2019b) ja kahe eksperimendi (Liebich et al., 2022a, 2022b) põhjal võib väita, et öine tuulikute müra elumute lähedal õues kuni 30 dB (A) ja siseruumides kuni 25 dB (A) ei suurenda unehäirete riski ka müratundlikel ja vanemaealistel inimestel (Liebich et al., 2022a, 2022b, 2021; Poulsen et al., 2019b). See järeldus põhineb väga

väikesel arvul uuringutel. Täiendavaid uuringuid une näitajate ja tuulikute kuuldava müra vahelise seose uurimiseks on kindlasti juurde vaja, et selle väite õigsust kontrollida.

Eestis Saarde tuulepargi lähedal asuvatel elamute õuealadel (kaugusega lähimast tuulikust 1060 kuni 3540 m) teostatud mõõtmised näitasid, et kuuldav müra jäi öösel elamute lähedal öues vahemikku 27,7 kuni 40,5 dB (A), kuid need mõõtmised ei eristanud tuulikute müra muust taustamürast (tuule kohin, vihmaabin, linnulaul, liiklus jne). Öine maksimaalne müratase 40,5 dB (A) oli mõjutatud tõenäoliselt hoopis lähedal paiknevast jõe mühast koos paisuga. Siseruumides tehtud mõõtmised näitasid öiseks müratasemeks 15,6 dB (A) kuni 24,1 dB (A) (Terviseamet, 2025b).

Sopi-Tootsi tuulepargi läheduses paiknevatel elamumaadel mõõdeti öisel ajal müratasemed 33,8–37,6 dB (A), mis samuti olid mõjutatud looduslikust taustamürast, mida pole võimalik mõõtmiste korral tuuliku müra eristada. Öised müratasemed siseruumides jäid vahemikku 15,3 kuni 18,2 dB (A) (Terviseamet, 2025a).

Poulsen et al. 2019b uuris eraldi ka madalsagedusliku müra (10–160 Hz) mõju unehäirete tekkimisele. Madalsageduslikul müral siseruumides mõju uneravimite tarbimisele ei leitud ühelgi uuritud müratasemel (kuni 20 dB (A)) (Poulsen et al. 2019b).

Tuulikute põhjustatud häiritus

Kuigi häiritust ei saa pidada kliiniliselt avalduvaks tervisemõjuks, sõltub sellest inimeste heaolu ning seetõttu võib seda pidada WHO tervisemääratluse osaks, mille kohaselt on tervis “täieliku füüsilise, vaimse ja sotsiaalse heaolu seisund, mitte üksnes haiguste või puuete puudumine” (WHO, 2025). Häiritus võib toimida ka vahendava tegurina muude tervisemõjude vahel, sealhulgas mõjutada läbi stressi ka tõsisemate seisundite nagu südame-veresoonkonna haigused teket (Basner et al., 2014; Freiberg et al., 2019a).

Mitmed varasemad ülevaateuuringud on näidanud, et mida tugevam on tuulikute müra, seda rohkem tunnevad inimesed ennast häirituna (Knopper et al., 2014; Teneler and Hassoy, 2023; van Kamp and van den Berg, 2021, 2018). Ka meie uuringusse kaasatud süstemaatiline ülevaade (Guski et al., 2017) näitas, et tuulikute müra suurenedes häirituse tõenäosus suureneb, kuid see seos pole nii selge kui liikluse müra puhul. Samas on häirituse levimus väga ebaühtlane ja seosed tuulikute kauguse, müra või muude näitajatega on iga uuringu puhul väga erinevad.

Varasemalt tehtud ülevaateuuring leidis, et tuulikute müra oli häirivam, kui teistest allikatest pärinev müra (Teneler and Hassoy, 2023). Käesolevasse töösse kaasatud uuringud sellele

küsimusele ühest vastust ei andnud. Näiteks Schäffer et al., (2018) katses kasutati genereeritud „roosat müra“, tuuleturbiini müra ja kunstlikult suurendatud madalsagedusliku komponendiga müra. Kõige vähem häiris roosa müra, sellele järgnes tuulikute müra ning kõige rohkem häiris kunstlikult suurendatud madalsagedusliku komponendiga müra (Schäffer et al., 2018). Soomes tehtud katse näitas, et tuulepargi kuuldavad helid olid häirivamad kui ookeani helid (Maijala et al., 2021). Schäffer et al., (2016) näitas oma katses, et sama helitugevuse juures hindasid uuritavad tuulikute müra häirivamaks kui liikluse müra. Selles katses simuleeriti 2 MW Vestas V90 tuuliku müra, millele oli lisatud ka genereeritud amplituudmodulatsiooniga helid (Schäffer et al., 2016). Samas (Roszczewska et al., 2025) katses lindistatud tuuliku müraga (2 MW tuulikust 500 meetri kaugusel), mis sisaldas samuti AM-i, uuritavad ei tajunud tuulikute müra häirivamana või rohkem stressi põhjustavana kui salvestatud maanteeliikluse müra. Autorite arvates võis seda põhjustada asjaolu, et uuritavad ei teadnud, millise müraga nad kokku puutuvad. Osalejad ei teadnud, kas või millist müra neile esitatakse, ega teadnud müra esitamise eesmärki. Pärast katset tehtud küsitluses ei tuvastanud keegi tuulikute müra, enamik kirjeldas seda kui "mingit müra", mõned võrdlesid ookeanilainete või lennukiga. Roszczewska et al. (2025) katses olid nii maanteeliikluse müra kui ka tuuliku müra filtreerimata kujul sama tugevusega 65,4 dB (Z), A-kaalutuna on sama helitase tuulikute puhul 38,5 dB (A) ja maanteemüra 56,8 dB (A). Roszczewska et al. (2025) katse tulemused toetavad (Crichton et al., 2015) hüpoteesi, et häiritust ei põhjusta mitte niivõrd müra või infraheli ise, vaid hoopis meedia poolt tekitatud negatiivne ootus, et tuulikute müra on häiriv ja terviseohtlik. Crichton et al. (2015) jagas uuritavad kaheks: ühele rühmale näidati videot, millega tekitati uuritavatele ootus, et tuulikute infraheli on kahjulik, teisele rühmale tekitati ootus, et see on kasulik. Mõlemale rühmale esitati nii genereeritud infraheli kui ka 1 km kaugusel tuulepargist lindistatud kuuldavat heli. Häiritust hinnati enne kuulamissessiooni ja selle ajal. Negatiivsete ootuste rühmas sessiooni ajal häiritus tõusis, positiivsete ootuste rühmas häiritus langes ning see ei sõltunud esitatavast mürast või infrahelist. Uuring näitab, et negatiivne informatsioon kutsub esile häiritust tuuleparkidest, positiivne informatsioon aga vähendab häiritust. Ka ülevaateartiklis (McCunney et al., 2014) tõdeti, et tuulikute müra mängib häirituse tekkimises vaid väikest rolli võrreldes teiste teguritega, mis mõjutavad inimeste valmisolekut häiritust kogeda seoses tuulikutega. Ka (Pohl et al., 2018) leidis, et müraga seotud häiritust mõjutas vähesel määral lähima tuuliku kaugus ja heli tugevus, kuid kõige rohkem mõjutas see, kuivõrd inimesed tundsid, et tuulikute planeerimisprotsess oli läbi viidud õiglaselt ja läbipaistvalt.

Knopperi ja Ollson (2011) sõnul võib häirituse teke olla tugevamalt seotud tuulikute visuaalsete aspektide ja inimeste hoiakutega tuulikute suhtes kui tuulikute tekitatud müraga (Knopper and Ollson, 2011). Uuringud on näidanud, et kui tuulikud on kuuldavad, aga pole nähtavad kodust, siis see vähendab oluliselt häiritust. Samas kui tuulikud olid ühtaegu nii nähtavad kui kuuldavad, peeti müra häirivamaks kui tuulikute visuaalseid aspekte (Freiberg et al., 2019b).

Üks olulisi häiritust mõjutavaid visuaalseid aspekte on varjutuse esinemine. Varjutus pole pidev, vaid esineb kindlatel ajahetkedel: päike peab paistma piisavalt madalalt ja tuuliku rootor peab olema õiges suunas, et elamu jääks tuulikust langeva varju alla. Varjutus on häiriv, kuid sellel ei ole leitud kliiniliselt väljendunud tervisemõjusid (Freiberg et al., 2018; Knopper et al., 2014; Teneler and Hassoy, 2023). Tuulikud tuleks eelistatult paigutada nii, et varjutus ei häiriks elanikke. Kui see ei ole võimalik, siis saab varjutuse ulatuse ja mõju hindamiseks kasutada spetsiaalset tarkvara ning võtta kasutusele leevendusmeetmeid. Leevendusmeetmetena soovitatakse seada varjutusele ajalisi piiranguid. Elamualal ei tohiks varjutuse aeg ületada halvimal juhul 30 tundi aastas ega 30 minutit päevas. Tuulikuid saab programmeerida seiskuma nendel kellaaegadel, mil varjutuse piirväärtused võivad ületatud saada (World Bank Group, 2015).

Tuulikute läheduses elavad inimesed raporteerivad erinevaid tervisesümptomeid ja tihti „tuuleturbiini sündroomi“ sümptomeid. Need inimeste poolt kirjeldatud tervisesümptomid võivad olla tingitud häiritusest, mis omakorda põhjustab stressi. Need sümptomid ei pruugi olla seotud tuulikute müraga (Knopper and Ollson, 2011).

Artiklis (Pohl et al., 2018) analüüsiti, kas tuulikute läheduses elavatel inimestel esinevad kaebused ja häiritus on seotud otseselt tuulikute müraga või on olulised muud tegurid. Samuti uuriti millistel tingimustel häiritus tekib. Uuriti ühe tuulepargi läheduses (1,25 kuni 2,89 km kaugusel lähimast tuulepargi tuulikust) elavaid inimesi aastatel 2012 ja 2014 Saksamaal. Uuringus osales esimesel aastal 212 inimest ja teisel aastal 133 inimest. Uuritavad olid kokkupuutes kas tuulikute müraga elamute lähedal õues 25–30 dB (A) või 30–35 dB (A), mis pärines Enercon E-82 tüüpi tuulikutest, mis olid 150 m kõrged ja võimsusega 2 MW.

Kõikidest elanikest kuulis tuulikute müra 69,3% ja 30,7% ei kuulnud. Ligi pooled (53,6%) uuritavatest kogesid häirivat müra kord nädalas, 20,9% kord kuus ja 13,6% peaaegu iga päev. 18,4% ei olnud üldse häiritud. Ainult väikesel protsendil elanikest täheldati tugevat häiritust tuulikute mürast, mis aja jooksul vähenes: 2012. aastal oli tugevalt häiritud kümnendik (9,9%) elanikest, kaks aastat hiljem aga vaid 6,8%. On märkimisväärne, et enamik tugevalt häiritud

elanikest (75,0%) oli juba enne tuulepargi rajamist olnud tuulepargi vastu, kas passiivselt või aktiivselt tegutsedes. Samuti tunnetasid nad tuulikute planeerimisprotsessi ebaõiglasena ning neil olid vähesed teadmised sellest, kuidas ise oma olukorda parandada. Uuringu läbiviimise ajal (kolm aastat pärast tuulikute püstitamist) elas tuulepargi läheduses tuulikute pooldajaid veidi rohkem (40,2%) kui vastaseid (35,8%). Ainult väike osa, 16,7%, oli ambivalentne ning 7,4% ei omanud tuulepargi suhtes arvamust, kuid vastased olid aktiivsemad kui pooldajad (Pohl et al., 2018).

Pohl et al. (2018) uuringu käigus said uuritavad jälgida, millal tuulikumüra neid kõige rohkem häirib ja ka häirivat müra lindistada. Häiriv müra esines kõige sagedamini öhtuti (33,6%) ja öösi (18,2%). Häiring esines kõige rohkem siis kui inimesed magasid (30,0%) või puhkasid (24,5%). Kõige enam tekitas see viha 39,1%. Häiring esines enamasti läänetuulte korral (68,2%) ja niiske ilmaga (30,9%). Kõige sagedamini kasutatud meetmed müramõjude vähendamiseks olid vestlused pereliikmete, sõprade ja naabritega (32,1%), akende sulgemine (25,9%), asukoha muutmine (siseruumides 11,8% ja õues 7,1%) ning raadio/teleka heli valjemaks keeramine (7,5%). Häirivat tuulikute müra iseloomustati peamiselt kui ebaregulaarset ja valjususe poolest kõikuvat. Häiritutest 71,6% kirjeldas seda kui pulseerivat sahinat. Kaebusi ei põhjustanud müra absoluutne valjus, vaid helitugevuse varieerumine ehk amplituudmodulatsioon (Pohl et al., 2018).

Pohl et al. (2018) uuringus kaebas rohkem elanikke liikluse müra (16%) kui tuulikute müra (10%, kaks aastat hiljem 7%) tõttu tekkinud füüsiliste ja psühholoogiliste sümptomite üle. Mõlemad müra allikad põhjustasid sarnaseid sümptomeid: vähenenud töövõime ja keskendumisvõime, ärrituvuse/viha sagenemine, negatiivne meeleolu ning häiritud uni.

Oluline häirituse mõjutaja on samuti finantsilise kasu saamine tuulepargist (Taylor and Klenk, 2019; van Kamp and van den Berg, 2018). Talunikud, kes said tuulikute majanduslikku kasu, olid tuulikute väga vähe häiritud ja raporteerisid vähem tervise- ja uneprobleeme kui ülejäänud uuritavad, kuigi nad elasid tuulikutele lähemal ja olid kokkupuutes suurema müratasemega kui ülejäänud vastajad. Siiski ei pruugi häirituse vähendamisel olla oluline vaid majanduslik kasu. Rolli võisid mängida ka erinev hoiak, haridus ja suurem kontroll tuulikute paiknemise üle (van Kamp and van den Berg, 2018).

Käesolevasse uuringusse kaasatud eksperimentidest näitas enamik, et häiritus on suurem, kui kuuldav tuulikute müra sisaldab amplituudmodulatsiooni (AM). Mida sügavam on AM, seda suurem on häiritus (Ioannidou et al., 2016; Lee et al., 2011; Maijala et al., 2021; Schäffer et al.,

2018, 2016). Ka Austraalia teadlased leidsid oma ülevaateartiklis, et AM on oluline tuulikute heli omapära, mis võib häiritust suurendada ning soovitasid katsetada AM mõõtmiste ja piirangute seadmisega AM-le Austraalias häirituse vähendamiseks (Davy et al., 2020).

Kokkuvõtvalt võib öelda, et seos tuulikute ja häirituse vahel sõltub mitmetest teguritest, nagu ootused/teadmised tuulikute tervisemõjudest, tunnetatud planeerimisprotsessi õiglusest ja läbipaistvusest, majanduslikust kasust, visuaalsetest aspektidest ja müra. Tõenäoliselt tekitab häiritust kõigi nende tegurite kombinatsioon ja vaid ühe teguri (nt müra) vähendamine ei pruugi vähendada häiritust.

Sõltumata selle põhjustest, võib teataval määral häiritust elanikkonnas eeldada nagu iga teise kohaliku keskkonna muutusega seotud projekti puhul. See, milline häirituse tase on vastuvõetav, on poliitiline otsus, mis tuleks teha kaaludes tuule-energia kasulikkust võrreldes selle negatiivsete mõjudega (Knopper and Ollson, 2011).

Tuulikute tekitatud infraheli mõju tervisele

Tuulikute müra sisaldab endas alati ka infraheli. Internetis ja avalikel aruteludel levivad arvamused, et just see osa tuuliku müra võib olla tervisele ohtlik. Koondasime kokku eksperimendid (Lisa 2, Tabel 3), mis katseliselt uurisid just tuulikute infraheli komponendi mõju tervisele, kas eraldi või koos tuuliku kuuldava müraga. Internetis ja meedias levivad väited ongi olnud nende katsete läbiviimise ajendiks. Seetõttu on ka uuritud peamiselt tervisenäitajaid, mille kohta arvamusi levib: inimeste poolt infraheliga seostatavad erinevad sümptomid (nt survetunne kõrvades, peavalu jne), häiritus, unehäired ja mõju kognitiivsele võimekusele. Meie uuringusse kaasatud katsed näitasid, et kokkupuude infraheliga ühelgi uuritud helirõhutasemel (kuni 91 dB (Z)) ei halvendanud ühtegi uuringutes mõõdetud tervisenäitajat. Unehäiretele ja unekvaliteedile ei leidnud mõju (Ascone et al., 2021; Liebich et al., 2022a, 2022b; Marshall et al., 2023). Häiritusele ja vaimsele heaolule ei leidnud mõju (Crichton et al., 2015; Maijala et al., 2021; Marshall et al., 2023; Rosciszewska et al., 2025). Kognitiivsele võimekusele ei leidnud mõju (Ascone et al., 2021; Małeckie et al., 2023; Rosciszewska et al., 2025). Südameveresoonkonna näitajatele (südame löögisagedus, vererõhk) ei leidnud mõju (Maijala et al., 2021; Marshall et al., 2023). Sümptomite esinemisele, mida inimesed ise seostavad tuulikute infraheliga, ei leidnud mõju (Crichton et al., 2014b, 2014a; Crichton and Petrie, 2015b, 2015a; Maijala et al., 2021; Małeckie et al., 2023; Marshall et al., 2023). Ka varasemalt teostatud ülevaateuuring infraheli ja madalsagedusliku heli kohta (van

Kamp and van den Berg, 2018) leidis, et tuulikute infraheli komponendi spetsiifilise mõju kohta tervisele puuduvad tõendid.

Eestis läbi viidud mõõtmiste järgi on Saarde tuulepargi läheduses (2070 kuni 2530 m lähimast tuulikust) mõõdetud filtreerimata infraheli tugevus sagedusel 6,3 Hz öösel nelja elamu siseruumides 35–50 dB (Z) (Terviseamet, 2025b) ning Sopi-Tootsi tuulepargi läheduses (1400 kuni 2560 m lähimast tuulikust) 37,7 kuni 58,2 dB (Z) (Terviseamet, 2025a). Ascone et al., 2021 ei leidnud pikaajalises katses (28 ööd järjest) mõju oluliselt tugevamal sarnase sagedusega (6 Hz) infrahelil tugevusega (80–90 dB (Z)). Eksperimendis (Crichton et al., 2014b) kasutati realistlikumat tuulikute infraheli taset. Uuritavad olid 10 minuti jooksul kokkupuutes genereeritud infraheliga sagedusel 5 Hz, tugevusega 40 dB. Kokkupuude infraheliga ei mõjutanud sümptomite esinemist nagu peavalu, survetunne kõrvades, vererõhk ja südame löögisagedus. Samas katses leiti aga oluline mõju eneseraporteeritud sümptomite esinemisele põhinevalt eelnevalt uuritavatele edastatud informatsioonile. Need uuritavad, kellele näidati reaalse internetis leviva info põhjal koostatud videot infraheli negatiivsete tervisemõjude kohta, hakkasid raporteerima videos mainitud sümptomeid olenemata sellest, kas nad olid või ei olnud kokkupuutes infraheliga (Crichton et al., 2014b). Tuleb arvestada ka sellega, et Eestis tehtud mõõtmised ei erista tuulikute infraheli teistest võimalikest infraheli allikatest kodus (ventilaatorid, õhksoojuspumbad jne), mis võisid mõõdetud infraheli taset suurendada ning tegelik tuulikute poolt tekitatud infraheli tase võib Saarde ja Sopi-Tootsi tuulepargi läheduses asuvates kodudes olla mõõdetust madalam.

Crichton'i uuringud (Crichton et al., 2015, 2014b, 2014a; Crichton and Petrie, 2015b, 2015a) näitavad selgelt, et ootused võivad mõjutada sümptomite ja meeleolu raporteerimist nii positiivses kui ka negatiivses suunas. Kuigi tegelik kokkupuude (nt infraheli) võib olla kahjutu, tekitab ootus või arvamus, et see on kahjulik, inimestel reaalseid sümptomeid. Seda nähtust nimetatakse notseeboefektiks. Internetis levib palju valeinfot infraheli tervisemõjude kohta, ning seda informatsiooni pole võimalik parandada või muuta. Crichton'i uuringud näitavad, et kui inimestele selgitada notseeboefekti olemust või pakkuda neile vastukaaluks positiivset informatsiooni seoses tuulikutega, vähendab see häiritust ja sümptomite teket.

Kuna ka palju tugevamatel infraheli tasemetel, mis esinevad tavapäraselt tuuleparkide lähedal asuvates elamutes, ei ole praeguseks mingit mõju täheldatud, ei ole käesoleva uuringu alusel põhjust eeldada, et Eestis kehtivatele piirnormidele vastav tuulikutest pärinev infraheli

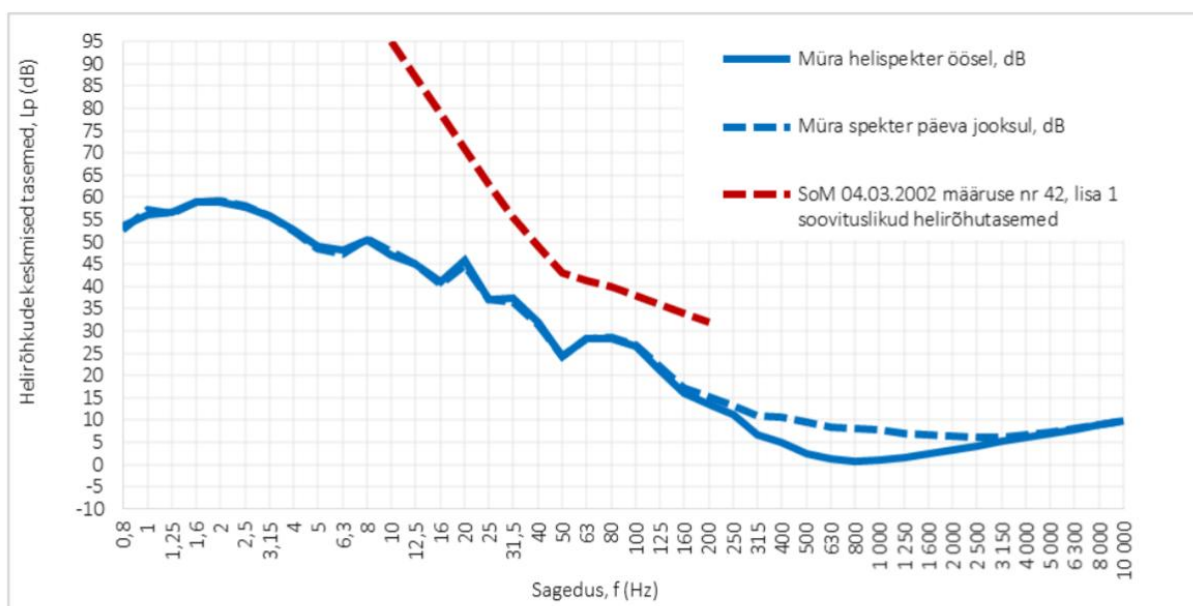
mõjutaks inimeste tervist. Käesoleva uuringu põhjal ei ole põhjust soovitada ka muudatusi praegustes infraheli piirnormides.

Infraheli on tavaline meie keskkonnas. Näiteks Staniek et al., (2013) uuring näitas, infraheli töötava söekaevanduse ventilatsioonišahtist oli tugevam kui tuulepargi oma 750 m kaugusel lähimast tuulikust (Staniek et al., 2013). Suurte tuulikute (võimsusega üle 2 MW) infraheli võib olla 68–1000 meetri kaugusel vahemikus 59–107 dB (G). Sarnased infraheli tasemed võivad olla ka 350 meetri kaugusel gaasielektrijaamast (74 dB (G)), 70 meetri kaugusel suurematest maanteedest (76 dB (G)) ning 25 meetri kaugusel rannajoonest (75 dB (G)) (Schmidt and Klokke, 2014).

Avalikes aruteludes ja meedias levivad väited infraheli tervisemõjude kohta

Ühe levinuma internetis leviva järgneva teooria autoriks on Nina Pierpont. Pierpont (2009) järgi võib infraheli jõuda sisekõrva ning stimuleerida tasakaaluorganeid (vestibulaarorganeid), eriti otoliite – sensoorseid struktuure, mis reageerivad liikumisele ja raskusjõule. See ebatavaline või pidev stimulatsioon võib tema sõnul põhjustada sümptomeid nagu peapööritus, tasakaaluhäired, iiveldus ja nüstagm (tahtmatu silmaliikumine). Nina Pierpont on välja pakkunud termini “tuuleturbiini sündroom”. See ei ole meditsiiniline diagnoos, vaid on Nina Pierpont poolt välja pakutud termin võtmaks kokku inimeste kaebusi, mida tuulikutega seostatakse (Pierpont, 2009). Ülevaateuuringu (Schmidt and Klokke, 2014) järgi on Pierpont (Pierpont, 2009) allika puhul tegemist juhtumite sarja uuringutüübiga (ingl *case series study*), mis sobib hästi hüpoteeside püstitamiseks, kuid metoodiliselt ei võimalda selline lähenemine tuvastada põhjuslikku seost uuritava mõjuteguri ja tervisetulemi vahel. Harrison (2015) on arutletud selle üle, kas tuulikute tekitatud infraheli mõju sisekõrva vestibulaarorganitele võiks üldse olla bioloogiliselt võimalik. Uuring järeldab, et vestibulaarse süsteemi akustiline aktiveerimine on võimalik alates helitasemest 110 dB (Z), loomkatsete põhjal alates 120 dB (Z). Võrreldes seda reaalselt elamualadel esinevate infraheli tasemetega (ligikaudu 60 dB (Z)) leiab uuring, et tuulikute madalsagedusliku ja infraheli mõju tasakaaluorganitele pole bioloogiliselt põhjendatud (Harrison, 2015).

Eesti elamute siseruumides läbi viidud mõõtmised (Terviseamet, 2025a, 2025b) näitavad, et kõige tugevam on korrigeerimata tuulikute helitase sagedustel 0,8–2 Hz ulatudes enamasti 50 kuni 66 dB (Z). Suurematel sagedustel heli tugevus langeb, nii nagu on näha joonisel 4. Joonisel on näiteks toodud Sopi-Tootsi tuulepargi tuulikule kõige lähemal asuva (1400 m) elamu müratasemete mõõtmise tulemused kõikidel sagedustel nii öösel kui päeval.



Joonis 4. Korrigeerimata helitasemete mõõtmise tulemused elamu siseruumis Sopi-Tootsi tuulepargi tuulikust 1400 m kaugusel (Terviseamet, 2025a).

Tuuleturbiinisündroomi sümptomite (nt peavalu, väsimus, peapööritus, iiveldus, survetunne kõrvades jt) esinemist kokkupuutes infraheliga testiti eksperimentaalselt uuringutes (Crichton et al., 2014b, 2014a; Crichton and Petrie, 2015b, 2015a; Maijala et al., 2021; Małeckie et al., 2023; Marshall et al., 2023). Ükski neist eksperimentidest ei tuvastanud, et kokkupuude infraheliga oleks tekitanud nimetatud sümptomeid või üldse mingeid sümptomeid (Lisa 2, Tabel 3).

Avalikes aruteludes viidatakse sageli ka Portugali teadlaste uurimisrühma hüpoteesile, et kõrge infraheli ja madalsagedusliku heli tase põhjustab “vibroakustilist haigust” (VAD) (Alves-Pereira and Castelo-Branco, 2007; Castelo-Branco and Alves-Pereira, 2004). Alves-Pereira ja Castelo-Branco (2007) ning Castelo-Branco ja Alves-Pereira (2004) on väitnud, et VAD esineb inimestel, kes töötavad kohtades, kus on kõrge infraheli ja madalsagedusliku heli tase, täpsemalt lennukites, rongides, baarides, diskoteekides, metroos ja tavalistes autodes. Vibroakustilist haigust kirjeldavad nad kui kogu keha haaravat patoloogiat, mis võib väljenduda väga erinevates haigustes ja sümptomites nagu hingamisteede, seedesüsteemi, närvisüsteemi südameveresoontkonna haigused ja sümptomid, vähk, autoimmuunhaigused ja endokriinsed häired, kuid selle algpõhjuseks on kollageeni ja elastiini ebanormaalne vohamine rakuvaheaines. VAD ei ole samuti tunnustatud meditsiiniline diagnoos (van Kamp and van den Berg, 2018). VAD-i diagnoosib ja sellest räägib vaid üks väike grupp teadlasi, kes publitseerib enamasti eelretsenseerimata väljaannetes, milles ristviidatakse peamiselt iseendale (Chapman

and George, 2013). Enamik allikaid, millele see kontseptsioon toetub, on konverentside ettekanded, väga vanad eelretsenseerimata väljaanded (alates 1928), mis on osaliselt venekeelsed. VAD kui diagnoos on siiani jäänud teoreetiliseks hüpoteesiks, mis pole tänaseks teiste uurijate poolt kinnitust leidnud.

Meile teadaolevalt ei ole siiani avaldatud ühegi teadusuuringut eelretsenseeritavas teadusajakirjas, kus oleks uuritud tuulikute poolt tekitatud infraheli või madalsagedusliku heli seost VAD-ga. Ka selle teooria põhilised autorid Mariana Alves-Pereira ja A.A Nuno Castelo-Branco pole meile teadaolevalt avaldanud ühtegi artiklit eelretsenseeritavas teadusajakirjas tuulikute tekitatud infraheli või madalsagedusliku heli seostest tervisega. Seega, pole teaduslikult aktsepteeritud kinnitust elanikkonnas levivatele väidetele, et Mariana Alves-Pereira teadustööd on näidanud tuulikute infrahelil ja/või madalsageduslikul helil olulisi tervisemõjusid.

Tuulikute tekitatud kuuldav müra ja kliiniliselt väljendunud tervisemõjud

Kuuldavast mürast põhjustatud häiritus ja unehäired võivad soodustada haigestumist diagnoositavatesse haigustesse (Basner et al., 2014). Seda on juba näidatud liiklusmüra puhul (van Kempen et al., 2018). Liiklusmüra puhul on kõige paremini tõendatud seos autoteedelt pärineva müra (veokid, mootorrattad, trammid, autod jne) ja südame-veresoonkonnahaiguste vahel (van Kempen et al., 2018).

Sarnaseid seosed pole siiani tuulikute kuuldava müraga leitud, kuid samas on leitud viiteid nende seoste võimalikkusele. Bräuner et al. (2019b) tulemused näitasid, et öine, päevane ja öhtune aasta keskmine tuulikute müra elamu välisfassaadil L_{night} , L_{day} , ja $L_{evening}$ üle 20 dB (A) võib põhjustada kodade virvendusarütmia sagenemist, kuid sarnast seost ei leitud ööpäevaringse näitajaga L_{den} (Bräuner et al., 2019b). Uuringud Taani meditsiiniõdede kohordiga ei tuvastanud seoseid tuulikute müra ja insuldi ning infarkti vahel üle 44-aastastel naistel (Bräuner et al., 2019a, 2018), kuid kogu Taani elanikkonda hõlmava kohordi puhul (Poulsen et al., 2019a) saadi vastuolulisi tulemusi, millest konkreetseid järeldusi teha on raske. Viiteid seose võimalikkusele tuulikute kuuldava müra ja infarkti ning insuldi vahel leidis ka Poulsen et al. (2018d), mis uuris lühiajalise kõrgema mürataseme kokkupuute mõju infarkti ja insuldi esinemisele (Poulsen et al., 2018d).

Kogu Taani elanikkonda hõlmavas kohordis leiti, et suurem pikaajaline öine kokkupuude tuuleparkide kuuldava müraga (sagedusel 10 kuni 10 000 Hz) elamute lähedal õues suurendab uneravimite ja antidepressantide võtmise riski eelkõige vanemaelistel alates müratasemest 30

dB (A) (Poulsen et al., 2019b). Ent kuna seda seost käsitles ainult üks uuring, ei saa selle tulemi tõendatuse taset pidada kõrgeks.

Võrreldes liiklusrüüru tasemetega on nendes Taanis läbi viidud uuringutes rüüru tase väga madal. Autoteedel pärineval liiklusrüüru on leitud mõju südameveresoonekonna haigustele alates rüüru tasemest L_{den} 53 dB (A) (WHO, 2019). Enamik uuritavaid Taani üleriiklikus kohordis (79%) elas elamutes, kus tuulikute rüüru tase elamute lähedal õues oli alla 24 dB (A). Kuigi uuringusse oli kaasatud üle 700 000 inimese, oli üle 42 dB rüüraga kokkupuutes vähe inimesi ja juhtude arv (47 infarkti ja 23 insulti) võis jääda liiga väikeseks, et statistiliselt olulisi seoseid leida (Poulsen et al., 2019a). Enamike tuulikute kõrgus Taanis on alla 100 m, kuid leidub ka kõrgemaid tuulikuid. Madalamate tuulikute (alla 35 m kõrgused) korral elavad inimesed Taanis tuulikutele lähemal kui 500 m. Need uuritavad, kes elasid kõige madalamate tuulikute (alla 35 m kõrgused) läheduses (lähemal kui 500 m), moodustasid enamiku kõige kõrgema rüüraga kokkupuutes olevast rühmast (üle 42 dB (A)). Kõrgemate tuulikute läheduses elavad inimesed puutusid kokku enamasti madalama rüüru tasemega (Poulsen et al., 2019a).

Taani uuringutes kasutati rüüru taset, mis polnud mõõdetud, vaid modelleeritud. Rüüru tase modelleeriti arvestades tuuliku rüüru emissiooni, ilmastikutingimusi, uuritava elukoha kaugust ja muud olulist infot, kuid tegemist on ikkagi arvutusliku näitajaga. Samas on see näitaja täpsem, kui mõõdetud rüüru tase, sest mõõtmisel pole võimalik eristada tuulikute rüüru teistest rüüru allikatest (taustamüüru) nagu tavalised loodushääled (tuule kohin, vihma sabin, linnulaul), liiklusrüüru või inimeste endi tekitatud rüüru. Modelleeritud rüüru tase näitab ainult tuulikute pärinevat rüüru taset (Lahti, 2010).

Inimest ümbritsevas keskkonnas ei ole kunagi absoluutset vaikust. Taustamüüru ise võib olla tihti ligi 40 dB (A). Taustamüüru tekitavad näiteks kodumasinad, ventilatsioonisüsteem, õhukonditsioneer jt tehnoeadmed, loodushääled ning linnakeskkonnas ka liiklusrüüru. Käesolevasse uuringusse kaasatud katsetes oli taustamüüru helikindlates laborites Liebich'i kahes katsetes 19–23 dB (A) (Liebich et al., 2022a, 2022b) ning 39 dB (A)/80–85 dB (Z) Marshall et al. (2023) katses, kus see pärines õhukonditsioneerist. Tuulikute rüüru esitati Marshall et al. (2023) katses kontrollitud tingimustes helikindlas laboris, kuid õhukonditsioneer ei saanud välja lülitada, sest muidu oleks uuritavaid mõjutanud ebaharilik temperatuur. Taustamüüru Malecki et al. (2023) katses oli 43 dB (A). See katse toimus õppehoones tunni ajal.

Taani uuringutes oli kohandatud väga paljudele olulistele tunnustele, kuid siiski pole võimalik sellistes registripõhistes uuringutes analüüse kohandada inimeste suhtumisele, negatiivsetele ootustele, poliitilisele õiglustundele ja teistele häiritust põhjustavatele teguritele, sest selliseid andmeid registrites ei registreerita. Nii südameveresoonkonna haiguseid, unehäireid kui ka depressiooni võib mõjutada tuuleparkidega seotud häiritus, mis omakorda võib olla põhjustatud väga erinevatest teguritest (vt peatükk Tuulikute tekitatud kuuldav müra ja häiritus).

Sellele, et südameveresoonkonna haigused võivad olla mõjutatud tuulikute kuuldavast mürast, viitab ka üks eksperiment (Chiu et al., 2021). See eksperiment näitas, et mida suurem oli tuulikute müra, seda väiksem oli uuritavate südame löögisageduse varieeruvus. Südame löögisageduse varieeruvus (HRV) on mõõdik, mis kirjeldab südamelöökide vahelise ajavahemiku muutuseid. HRV peegeldab autonoomse närvisüsteemi aktiivsust ja tasakaalu. Kõrgem HRV viitab tavaliselt paremale kehalisele kohanemisvõimele ja stressitaluvusele, madalam HRV võib viidata stressile, väsimusele või terviseprobleemidele. Antud uuringus viibisid katsealused 30 minutit 20 m kaugusel lähimast tuulikust ja madalsageduslik müra (20–200 Hz) oli 38,3–57,1 dB (A). Seega näitab antud uuring, et tavapärasest suurem tuulikute müra võib suurendada südameveresoonkonna haiguste riski. Kuna uuring toimus vabas õhus ja siseruumides, mitte kontrollitud tingimustega laboris, mõjutasid uuringu tulemusi ka teised tegurid, näiteks müra teistest allikatest. Samuti ei arvestatud uuringus võimaliku psühholoogilise stressiga ja õhu saastega, mis samuti teadolevalt HRVd mõjutab.

Taanis läbi viidud pikaajalised suure valimiga registripõhised kohortuuringud näitasid, et tuulikute müra ühelgi uuritud tasemel ei mõjutanud diabeedi ja kõrge vererõhu teket ega ka halvendanud sünninäitajaid (Poulsen et al., 2018a, 2018b, 2018c).

Kokkuvõtvalt võib öelda, et tänaseks pole leitud selgeid seoseid tuuliku kuuldava müra ja kliiniliselt väljendunud tervisemõjude vahel, kuid on leitud viiteid, et kuuldav müra võib suurendada südame-veresoonkonna haiguste ja depressiooni riski. Samas pikaajalisi kõrge kvaliteediga jälgimisuuringuid on tänaseks tehtud liiga vähe, et kindlaid järeldusi teha. Selgete annus-vastus seoste leidmist piirab ka asjaolu, et pole inimesi, kes oleks pikaajaliselt kokkupuutes kõrge tuulikute müraga (üle 50 dB (A)), sest tuulikuid ei lubata ehitada elamutele nii lähedale, et selline müra kokkupuude võiks tekkida.

Madalsageduslik müra siseruumides (10–160 Hz) ei olnud Taanis läbi viidud kohortuuringu põhjal seotud infarktide, insultide, diabeedi, halvenenud sünninäitajate, kõrge vererõhu,

depressiooni ja unehäirete tekkimisega ühelgi uuritud müratasemel (kuni 20 dB (A)) (Poulsen et al., 2019a, 2019b, 2018a, 2018b, 2018c).

Tuulikute tekitatud elektromagnetväljad ja vibratsioon

Meie ei leidnud ühtegi käesoleva uuringu kaasamiskriteeriumitele vastavat teadusartiklit, mis oleks uurinud tuulikute põhjustatud elektromagnetväljade (EMV) või vibratsiooni mõju tervisele. Neid tegureid on analüüsinud aga Knopper et al. (2014) ja van Kamp ja van den Berg (2018) oma ülevaateuuringutes.

Elektromagnetväli (EMV) on füüsikaline väli, mis tekib elektrilaengute ja elektrivoolu toimel ning koosneb kahest omavahel seotud komponendist: elektriväljast ja magnetväljast. Elektriväli tekib siis, kui on olemas pingete erinevus (nt elektrijuhtmes, patareis või elektriliinis). Magnetväli tekib siis, kui elektrivool liigub (nt kui lülitad sisse seadme või töötab elektrimootor) (WHO, 2016). EMV-d on meie keskkonnas kõikjal olemas. Elektriväljad tekivad atmosfääris paiknevate elektrilaengute kuhjumisel äikese ajal, maa magnetväli põhjustab kompassinõela asetumist põhja-lõuna suunas (WHO, 2016). Lisaks looduslikele allikatele ümbritsevad meid ka inimtekkelised väljad: röntgenikiirgus, elektripistikust tuleva vooluga kaasnevad madalsageduslikud EMV-d ning kõrgema sagedusega raadiolained (WHO, 2016).

Väga suure tugevusega EMV-del on tuvastatud nii lühiajalisi otseseid kui pikaajalisi tervisemõjusid ning seetõttu on Eestis, nagu paljudes teistes riikides, kehtestatud nõuded ja piirnormid elektromagnetväljadele töökeskkonnas ja elukeskkonnas (Sotsiaalministri määrus nr 38, 2002; Vabariigi Valitsuse määrus nr 44, 2016). Ent enamike EMV-de allikate (elektrijuhtmed, mikrolaineahjud, mobiiltelefonid jne) väljatugevused on madalad, nad asuvad kodumajapidamistes ja töökohtades inimestest piisavas kauguses või puututakse nendega kokku lühiajaliselt ning seetõttu nad tervist enamasti ei ohusta (WHO, 2016).

Rahvusvaheline Vähiuuringute Agentuur on aastal 2011 liigitanud raadiosageduslikud EMV-d inimesele võimalikuks rühm 2B kantserogeenseks. Seda kategooriat kasutatakse siis, kui põhjuslikku seost peetakse võimalikuks, kuid sellele puudub tõendus inimuuringutes (IARC, 2011). Mõned uuringud on leidnud, et madalasageduslikud EMV-d, mis tulevad peamiselt elektrijuhtmetest, võivad suurendada leukeemia ning aju- ja rinnakasvajate riski (Carpenter, 2019). Siiski on enamike uuringute tulemused vasturääkivad, näitavad enamasti mõju puudumist ja kindel tõendus EMV-de pikaajalisest mõjust tervisele hetkel puudub (Bodewein et al., 2019).

Knopper et al. 2014 ülevaateuuring näitas, et EMV-de tasemed, mis on mõõdetud tuuliku jalast 2–3 meetri kaugusel, on sarnased või madalamad kui paljude levinud kodumasinade (nt külmkapp, nõudepesumasin, mikrolaineahi, föön) poolt tekitatud tasemed ning tunduvalt allpool kehtivaid regulatiivseid piirväärtusi. Seetõttu on tervisemõju tuulikute elektromagnetväljadest väga ebatõenäoline (Knopper et al., 2014).

Vibratsioon on tahke keha võnkumine (Sotsiaalministri määrus nr 78, 2002). Vibratsiooni tervisemõjud ilmnevad eelkõige töökeskkonnas, kus inimesed puutuvad kokku tööriistade nagu trellpuur või suurte masinate nagu traktor vibreerimisega (Terviseamet, 2025c). Elukeskkonnas võib vibratsiooni põhjustada liiklus (nt rongid, raskeveokid), mille tulemusena võivad väriseda aknad, tekkida hoonetesse praod. Vibratsioonile on kehtestatud elamutes ka piirväärtused (Sotsiaalministri määrus nr 78, 2002).

Vibratsiooni mõõtmised tuulikute ümbruses (vähem kui 300 m kaugusel tuulikute test) on andnud väärtusi, mis on peaaegu nullilähedased (Kliimaministeerium, 2025; Knopper et al., 2014; van Kamp and van den Berg, 2018). Seega tuulikute poolt põhjustatud vibratsioon ei ole arvestatav ohutegur inimestele, kes elavad tuulikute läheduses.

Metoodika valiku põhjendus, uuringu tugevused ja nõrkused

Kaasasime uuringusse ainult eelretsenseeritud ajakirjades avaldatud teadusartiklid, mille disain võimaldas selgitada välja põhjuslikke seoseid. Kõige usaldusväärsemad on juhuslikustatud kontrolluuringud. Seetõttu kaasasime uuringusse ka kõik kriteeriumitele vastavad eksperimendid. Neid aga pole võimalik teha pikaajalise kokkupuute uurimiseks. Selleks, et uurida mingi keskkonnateguri pikaajalisi mõjusid, tuleb teha pikaajalisi jälgimisuuringuid. Sellised uuringud on kohortuuringud, mis samuti kaasasime oma ülevaatesse. Samuti kaasasime süstemaatilised ülevaated ja meta-analüüsid, mis on kõige kõrgema kvaliteediga uuringute tüüp. Süstemaatiline ülevaade on olemasoleva tõenduse süntees, mis kasutab selget, läbipaistvat ja süstemaatilist metoodikat teemakohase tõenduse leidmiseks, hindamiseks ja esitamiseks. Me ei kaasanud narratiivseid ülevaateid, sest need on subjektiivsuse tõttu kõrge vea riskiga. Ei kaasanud samuti ristlääbilõikelisi uuringud, sest nende puhul pole võimalik tuvastada põhjuslikku seost. Ristlääbilõikeliste uuringute korral uuritakse kokkupuudet mõjutava teguriga (näiteks müraga) ja tulemi (tervisehäire) esinemist samal ajavahemikul (näiteks küsitluse ajal). Seega ei saa teada kumb oli enne, kas tervisehäire või mõjutav tegur. Et mõjutav tegur (näiteks müra) saaks põhjustada tervisehäiret, peab ta esinema enne tervisehäire kujunemist. Sellist lähenemist võimaldab kohortuuring.

Me kaasasime uuringusse ainult inglise keeles avaldatud teadusliku kirjanduse. See ei põhjusta meie hinnangul suurt kallutatust meie saadud tulemustes, sest inglise keel on tänapäeval põhiline teaduskeel, milles avaldatakse kõik olulisemad teadustulemused. On vähe tõenäoline, et mõni väga oluline tulemus on avaldatud vaid mõnes muus keeles. Lisaks ei ole mõistlik kaasata kõikides keeltes avaldatud kirjandust seetõttu, et uurimisrühm ei valda kõiki keeli ning kõikides keeltes uuringute kaasamisel oleks artiklite tulemuste valesti tõlgendamise oht suur.

Järeldused

Johtuvalt süstemaatilises kirjanduse ülevaates leitud teadusuuringutest saame teha järgnevad järeldused:

- Tuulikute tekitatud piirnormidesse jääval elektromagnetväljal, vibratsioonil ja infrahelil ei ole teadusuuringud näidanud negatiivset mõju tervisele. Tõendus infraheli tervisemõjude puudumise kohta põhineb kolmeteistkümnel käesolevasse ülevaatesse kaasatud ekperimendil.
- Tuulikute madalsageduslik müra siseruumides (10–160 Hz) ei olnud käesoleva uuringu põhjal seotud infarkti, insuldi, diabeedi, halvenenud sünninäitajate, kõrge vererõhu, depressiooni ja unehäirete tekkimisega ühelgi uuritud müratasemel (kuni 20 dB A). Kuna müra ekspositsiooni ja iga tervisetulemi suhet käsitles ainult üks uuring, ei saa selle tulemi tõendatuse taset pidada kõrgeks.
- Taanis läbiviidud pikaajalised suure valimiga registripõhised uuringud leidsid, et tuulikute kuuldav müra (sh madalsageduslik müra) ei mõjutanud diabeedi ja kõrge vererõhu teket ega ka halvendanud laste sünninäitajaid (sünnikaal ning enneaegse sünni esinemine) ühelgi uuritud müratasemel (kuni 50 dB (A)). Kuna müra ekspositsiooni ja iga tervisetulemi suhet käsitles ainult üks uuring, ei saa selle tulemi tõendatuse taset pidada kõrgeks.
- Tänapäevaks pole leitud selgeid seoseid tuuliku kuuldava müra (sh madalsagedusliku müra) ja kliiniliselt väljendunud tervisemõjude vahel. Siiski on leitud viiteid, et kuuldav müra võib suurendada mõnede südameveresoontekonna haiguste (kodade virvendusarütmia, infarkt ja insult) riski, suurendada depressiooni esinemist ja halvendada unekvaliteeti. Praeguseks on läbi viidud ainult kaks suuremat kohortuuringut Taanis, mille tõttu ei saa pidada antud tulemuste tõendatuse taset kõrgeks. Vaja on rohkem pikaajalisi jälgimisuuringuid, et tervisemõjusid täpsemalt tuvastada.
- On selge tõendus, et tuulikud põhjustavad elanikes häiritust. Häirituse teket mõjutavad lisaks tuulikute mürale ka muud tegurid. Olulist rolli mängivad meediast saadud ootused/teadmised tuulikute tervisemõjude kohta, planeerimisprotsessi tunnetatud õiglus ja läbipaistvus, majanduslik kasu ja visuaalsed aspektid. Tõenäoliselt tekitab häiritust kõigi nende tegurite kombinatsioon.
- Suuremat amplituudmodulatsiooni sügavust (helitasemete muutuseid) sisaldavad kuuldavad tuulikute helid on kuulamiskatsete põhjal häirivamad kui väiksema

amplituudmodulatsiooni sügavusega helid. Tuulikute kuuldava müraga kaasnev suurem amplituudmodulatsiooni sügavus võib suurendada inimeste häiritust tuuleparkidest.

Soovitused

Hetkel on tööstusmüra (sh tuulikute) piirväärtusteks elamualal päeval 60 dB (A) ja öösel 45 dB (A). Müra sihtväärtusteks on päeval 50 dB (A) ja öösel 40 dB (A) (Keskkonnaministri määrus nr 71, 2016). Siseruumides võib olla liiklusratase päeval kuni 30 dB (A) ja tehnoeadmete müra öösel kuni 25 dB (A) (Sotsiaalministri määrus nr 42, 2002). Tuuleparkide keskkonnamõju hindamise juhendis soovitatakse lähtuda tuulikute puhul välitingimustes kõige rangemast väärtusest, ehk siis tuulikute müra ei tohiks öisel ajal elamute lähedal öues ületada 40 dB (A) (Kliimaministeerium, 2025).

Meie uuringu põhjal ei ole hetkel alust soovitada elamualal öoes rangemat piirväärtust kui näeb ette tuuleparkide keskkonnamõju hindamise juhend (Kliimaministeerium, 2025). Praegu tekitab Eesti tuuleparkide müra regulatsioonis segadust piirnormide ja sihtväärtuste erinevus ning kindla piirnormi puudumine tuulikutele. Soovitame tuulikute müra selgemalt seadusandluses reguleerida. Käesolevasse uuringusse kaasatud uuringute põhjal soovitame käesoleva hetke teadmise alusel kehtestada piirväärtus, et tuulikute müra ei tohi elamu vahetus läheduses välitingimustes öisel ajal (23.00–07.00) ületada 40 dB (A), nagu on juba soovitatud ka tuuleparkide keskkonnamõju hindamise juhendis. Elu- ja magamisruumides soovitame tuulikute müra piirnormiks kehtestada päeval 30 dB (A) ja öösel 25 dB (A) sarnaselt juba kehtivatele piirangutele liiklusratase ja tehnoeadmete müra kohta.

Antud uuringu põhjal ei ole alust soovitada rangemaid piirnorme infrahelile, mis on kehtestatud määruses (Sotsiaalministri määrus nr 75, 2002) ja madalsageduslikule helile, mis on kehtestatud määruses (Sotsiaalministri määrus nr 42, 2002).

Soovitame jätkata Eestis tuuleparkide müra ja infraheli mõõtmistega ning tervisemõjude ja inimeste tunnetatud häirituse uuringutega. Kui viie aasta möödudes peaks lisanduma uusi olulisi teadusuuringuid, soovitame hinnata piirväärtuste paikapidavust uuesti.

Käesolevast uuringust selgus, et suuremat amplituudmodulatsiooni (AM) sügavust sisaldavad kuuldavad tuulikute helid on kuulamiskatsete põhjal häirivamad kui väiksema AM sügavusega helid ning tajutav AM võib suurendada inimeste häiritust tuuleparkidest. Soovitame arendajatel ja teadlastel uurida võimalusi AM sügavuse vähendamiseks, et vähendada tuulikute müra häirivust. Mida ühtlasem on tuulikute müratase, seda vähem häirivam see on. Tuuleparkide tekitatava müra mõõtmisel ja modelleerimisel tuleks eraldi välja tuua nii keskmine kui maksimaalne müratase ning võimalusel ka AM sügavus.

Meie uuringu tulemused näitavad, et häiritust mõjutavad mitmed tegurid peale tuulikute müra, ning vaid müra piiramine ei pruugi olla piisav häirituse leevendamiseks. Sama olulist rolli, kui müra piirangud, võivad häirituse ennetamisel mängida elanike informeeritus notseeboefektist, negatiivsete ootuste puudumine seoses tuulikute tervisemõjudega ja arusaam tuulikute positiivsetest omadustest (Crichton et al., 2015, 2014b, 2014a; Crichton and Petrie, 2015b, 2015a; Tonin et al., 2016). Samuti mõjutab tuulikutega seotud häirituse teket poliitiliste protsesside tunnetatud avatus ja õiglus (Pohl et al., 2018), majanduslik kasu (McCunney et al., 2014) ning visuaalsed aspektid (Freiberg et al., 2019b). Häirituse ennetamiseks ja leevendamiseks on oluline pakkuda kogukondadele objektiivset teaduslikku infot, et leevendada internetis infraheli kohta leviva valeinfo mõju häiritusele. Positiivseid kogemusi on saadud varajase ja mitteametliku elanike kaasamisega tuulikute planeerimisprotsessidesse. Samuti on oluline, et elanikud tunnetaksid, et nende muredega arvestatakse ja rakendatakse leevendavaid meetmeid isegi ka siis kui kõik vastab normidele (näiteks modelleeritud müratase on 39,9 dB).

Oluline visuaalse häirituse aspekt, mida saab vähendada, on varjutus. Vastavad leevendusmeetmed on ka juba kirjeldatud tuuleparkide keskkonnamõjude hindamise juhendis (Kliimaministeerium, 2025) ja neid tuleb alati rakendada.

Käesoleva uuringu põhjal ei ole selget alust soovitada minimaalset kaugust lähimast tuulikust elamutele, kuna tuulikud võivad olla väga erineva müraemissiooniga ning samuti erineda muude häiritust põhjustavate tegurite poolest.

Olemasolevad uuringud näitavad seda, et tuulikuid on võimalik paigutada tervisele ohutult, kui paigutada need käesolevas uuringus soovitatud müranormidele vastavalt, viia läbi planeeringud läbipaistvalt kogukonna huve arvestades ja neile ka kasu pakkudes ning minimiseerida visuaalset reostust. On oluline märkida, et tuule-energia kasutusele võtmine aitab leevendada kliimamuutuseid ning vähendab õhusaastusest tulevaid terviseprobleeme. Näiteks õhusaaste tõttu suri 2020. aastal Eestis enam kui 1000 inimest varem kui oleks võinud (Oru et al., 2022).

Kasutatud kirjandus

- Alves-Pereira, M., Castelo-Branco, N.A.A., 2007. Vibroacoustic disease: Biological effects of infrasound and low-frequency noise explained by mechanotransduction cellular signalling. *Prog Biophys Mol Biol* 93, 256–279. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2006.07.011>
- Ascone, L., Kling, C., Wieczorek, J., Koch, C., Kühn, S., 2021. A longitudinal, randomized experimental pilot study to investigate the effects of airborne infrasound on human mental health, cognition, and brain structure. *Sci Rep* 11. <https://doi.org/10.1038/S41598-021-82203-6>
- Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., Stansfeld, S., 2014. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *Lancet* 383, 1325–1332. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61613-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61613-X)
- Basner, M., McGuire, S., 2018. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Effects on Sleep. *Int J Environ Res Public Health* 15. <https://doi.org/10.3390/IJERPH15030519>
- Bodewein, L., Schmiedchen, K., Dechent, D., Stunder, D., Graefrath, D., Winter, L., Kraus, T., Driessen, S., 2019. Systematic review on the biological effects of electric, magnetic and electromagnetic fields in the intermediate frequency range (300 Hz to 1 MHz). *Environ Res* 171, 247–259. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2019.01.015>
- Bräuner, E. V., Jørgensen, J.T., Duun-Henriksen, A.K., Backalarz, C., Laursen, J.E., Pedersen, T.H., Simonsen, M.K., Andersen, Z.J., 2019a. Association Between Long-Term Exposure to Wind Turbine Noise and the Risk of Stroke: Data From the Danish Nurse Cohort. *J Am Heart Assoc* 8. <https://doi.org/10.1161/JAHA.119.013157>
- Bräuner, E. V., Jørgensen, J.T., Duun-Henriksen, A.K., Backalarz, C., Laursen, J.E., Pedersen, T.H., Simonsen, M.K., Andersen, Z.J., 2019b. Long-term wind turbine noise exposure and the risk of incident atrial fibrillation in the Danish Nurse cohort. *Environ Int* 130. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2019.104915>
- Bräuner, E. V., Jørgensen, J.T., Duun-Henriksen, A.K., Backalarz, C., Laursen, J.E., Pedersen, T.H., Simonsen, M.K., Andersen, Z.J., 2018. Long-term wind turbine noise exposure and incidence of myocardial infarction in the Danish nurse cohort. *Environ Int* 121, 794–802. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2018.10.011>
- Carpenter, D.O., 2019. Extremely low frequency electromagnetic fields and cancer: How source of funding affects results. *Environ Res* 178. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2019.108688>
- Castelo-Branco, N.A.A., Alves-Pereira, M., 2004. Vibroacoustic disease. *Noise Health* 6(23), 3–20.
- Chapman, S., George, A.S., 2013. How the factoid of wind turbines causing ‘vibroacoustic disease’ came to be ‘irrefutably demonstrated.’ *Aust N Z J Public Health* 37, 244–249. <https://doi.org/10.1111/1753-6405.12066>
- Chiu, C.H., Lung, S.C.C., Chen, N., Hwang, J.S., Tsou, M.C.M., 2021. Effects of low-frequency noise from wind turbines on heart rate variability in healthy individuals. *Sci Rep* 11. <https://doi.org/10.1038/S41598-021-97107-8>

- Clark, C., Paunovic, K., 2018. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Quality of Life, Wellbeing and Mental Health. *Int J Environ Res Public Health* 15. <https://doi.org/10.3390/IJERPH15112400>
- Crichton, F., Dodd, G., Schmid, G., Gamble, G., Cundy, T., Petrie, K.J., 2014a. The power of positive and negative expectations to influence reported symptoms and mood during exposure to wind farm sound. *Health Psychol* 33, 1588–1592. <https://doi.org/10.1037/HEA0000037>
- Crichton, F., Dodd, G., Schmid, G., Gamble, G., Petrie, K.J., 2014b. Can expectations produce symptoms from infrasound associated with wind turbines? *Health Psychol* 33, 360–364. <https://doi.org/10.1037/A0031760>
- Crichton, F., Dodd, G., Schmid, G., Petrie, K.J., 2015. Framing sound: Using expectations to reduce environmental noise annoyance. *Environ Res* 142, 609–614. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2015.08.016>
- Crichton, F., Petrie, K.J., 2015a. Health complaints and wind turbines: The efficacy of explaining the nocebo response to reduce symptom reporting. *Environ Res* 140, 449–455. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2015.04.016>
- Crichton, F., Petrie, K.J., 2015b. Accentuate the positive: Counteracting psychogenic responses to media health messages in the age of the Internet. *J Psychosom Res* 79, 185–189. <https://doi.org/10.1016/J.JPSYCHORES.2015.04.014>
- Davy, J.L., Burgemeister, K., Hillman, D., Carlile, S., 2020. A Review of the Potential Impacts of Wind Turbine Noise in the Australian Context. *Acoust Aust* 48, 181–197. <https://doi.org/10.1007/S40857-020-00192-4/FIGURES/1>
- Ellenbogen, J.M., Kellam, C.B., Hankard, M., 2024. Noise-induced sleep disruption from wind turbines: scientific updates and acoustical standards. *Sleep* 47. <https://doi.org/10.1093/SLEEP/ZSAD286>
- Euroopa Komisjon, 2019. The European Green Deal - European Commission [WWW Document]. URL https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (accessed 7.23.25).
- Freiberg, A., Schefter, C., Girbig, M., Murta, V.C., Seidler, A., 2019a. Health effects of wind turbines on humans in residential settings: Results of a scoping review. *Environ Res* 169, 446–463. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2018.11.032>
- Freiberg, A., Schefter, C., Girbig, M., Murta, V.C., Seidler, A., 2018. Health effects of wind turbines in working environments – A scoping review. *Scand J Work Environ Health* 44, 351–369. <https://doi.org/10.5271/SJWEH.3711>
- Freiberg, A., Schefter, C., Hegewald, J., Seidler, A., 2019b. The influence of wind turbine visibility on the health of local residents: a systematic review. *Int Arch Occup Environ Health* 92, 609–628. <https://doi.org/10.1007/S00420-019-01403-W>
- Garritty, C., Hamel, C., Trivella, M., Gartlehner, G., Nussbaumer-Streit, B., Devane, D., Kamel, C., Griebler, U., King, V.J., 2024. Updated recommendations for the Cochrane rapid review methods guidance for rapid reviews of effectiveness. *BMJ* 384. <https://doi.org/10.1136/BMJ-2023-076335>

- Godono, A., Ciocan, C., Clari, M., Mansour, I., Curoso, G., Franceschi, A., Carena, E., De Pasquale, V., Dimonte, V., Pira, E., Dallapiccola, B., Normanno, N., Boffetta, P., 2023. Association between exposure to wind turbines and sleep disorders: A systematic review and meta-analysis. *Int J Hyg Environ Health* 254, 114273. <https://doi.org/10.1016/J.IJHEH.2023.114273>
- Guski, R., Schreckenberger, D., Schuemer, R., 2017. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance. *Int J Environ Res Public Health* 14, 1539. <https://doi.org/10.3390/IJERPH14121539>
- Harrison, R. V., 2015. On the biological plausibility of Wind Turbine Syndrome. *Int J Environ Health Res* 25, 463–468. <https://doi.org/10.1080/09603123.2014.963034>
- IARC, 2011. IARC classifies Radiofrequency Electromagnetic Fields as possibly carcinogenic to humans IARC [WWW Document]. URL <https://www.iarc.who.int/pressrelease/iarc-classifies-radiofrequency-electromagnetic-fields-as-possibly-carcinogenic-to-humans/> (accessed 7.22.25).
- Ioannidou, C., Santurette, S., Jeong, C.-H., 2016. Effect of modulation depth, frequency, and intermittence on wind turbine noise annoyance. *J Acoust Soc Am* 139, 1241–1251. <https://doi.org/10.1121/1.4944570>
- Karasmanaki, E., 2022. Is it safe to live near wind turbines? Reviewing the impacts of wind turbine noise. *Energy for Sustainable Development* 69, 87–102. <https://doi.org/10.1016/J.ESD.2022.05.012>
- Keskkonnaministri määrus nr 71, 2016. Välisõhus leviva müra normtasemed ja mürataseme mõõtmise, määramise ja hindamise meetodid–Riigi Teataja [WWW Document]. URL <https://www.riigiteataja.ee/akt/127052020002?leiaKehtiv> (accessed 5.29.25).
- King, V.J., Stevens, A., Nussbaumer-Streit, B., Kamel, C., Garritty, C., 2022. Paper 2: Performing rapid reviews. *Syst Rev* 11. <https://doi.org/10.1186/S13643-022-02011-5>
- Kliimaministeerium, 2025. Tuuleparkide keskkonnamõju hindamise juhend, müra, vibratsioon, varjutamine [WWW Document]. URL <https://kliimaministeerium.ee/sites/default/files/documents/2025-03/Tuuleparkide%20keskkonnam%C3%B5ju%20hindamise%20juhend.pdf> (accessed 7.28.25).
- Knopper, L.D., Ollson, C.A., 2011. Health effects and wind turbines: A review of the literature. *Environ Health* 10, 1–10. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-10-78/COMMENTS>
- Knopper, L.D., Ollson, C.A., McCallum, L.C., Aslund, M.L.W., Berger, R.G., Souweine, K., McDaniel, M., 2014. Wind Turbines and Human Health. *Front Public Health* 2, 63. <https://doi.org/10.3389/FPUBH.2014.00063>
- Lahti, T., 2010. Ökokratt - Keskkonnamüra käsiraamat [WWW Document]. URL <https://www.okokratt.ee/index.php/et-ee/kaeimasolevad-projektid/muera/keskkonnamra-ksiraamat-mainmenu-339> (accessed 5.29.25).
- Lancet Countdown, 2024. The 2024 Global Report of the Lancet Countdown [WWW Document]. URL <https://lancetcountdown.org/2024-report/> (accessed 7.23.25).
- Lee, Seunghoon, Kim, K., Choi, W., Lee, Soogab, 2011. Annoyance caused by amplitude modulation of wind turbine noise. *Noise Control Eng J* 59, 38–46. <https://doi.org/https://doi.org/10.3397/1.3531797>

- Liebich, T., Lack, L., Hansen, K., Zajamšek, B., Lovato, N., Catcheside, P., Micic, G., 2021. A systematic review and meta-analysis of wind turbine noise effects on sleep using validated objective and subjective sleep assessments. *J Sleep Res* 30. <https://doi.org/10.1111/JSR.13228>
- Liebich, T., Lack, L., Hansen, K., Zajamšek, B., Micic, G., Lechat, B., Dunbar, C., Nguyen, D.P., Scott, H., Catcheside, P., 2022a. An experimental investigation on the impact of wind turbine noise on polysomnography-measured and sleep diary-determined sleep outcomes. *Sleep* 45. <https://doi.org/10.1093/SLEEP/ZSAC085>
- Liebich, T., Lack, L., Micic, G., Hansen, K., Zajamšek, B., Dunbar, C., Lechat, B., Scott, H., Lovato, N., Decup, F., Nguyen, D.P., Catcheside, P., 2022b. The effect of wind turbine noise on polysomnographically measured and self-reported sleep latency in wind turbine noise naïve participants. *Sleep* 45. <https://doi.org/10.1093/SLEEP/ZSAB283>
- Maijala, P.P., Kurki, I., Vainio, L., Pakarinen, S., Kuuramo, C., Lukander, K., Virkkala, J., Tiippana, K., Stickler, E.A., Sainio, M., 2021. Annoyance, perception, and physiological effects of wind turbine infrasound. *J Acoust Soc Am* 149, 2238–2248. <https://doi.org/10.1121/10.0003509>
- Małeck, P., Pawlaczyk-Łuszczynska, M., Wszolek, T., Preis, A., Kłaczyński, M., Dudarewicz, A., Pawlik, P., Stępień, B., Mleczko, D., 2023. Does Stochastic and Modulated Wind Turbine Infrasound Affect Human Mental Performance Compared to Steady Signals without Modulation? Results of a Pilot Study. *Int J Environ Res Public Health* 20. <https://doi.org/10.3390/IJERPH20032223>
- Marshall, N.S., Cho, G., Toelle, B.G., Tonin, R., Bartlett, D.J., D'rozario, A.L., Evans, C.A., Cowie, C.T., Janev, O., Whitfeld, C.R., Glozier, N., Walker, B.E., Killick, R., Welgampola, M.S., Phillips, C.L., Marks, G.B., Grunstein, R.R., 2023. The Health Effects of 72 Hours of Simulated Wind Turbine Infrasound: A Double-Blind Randomized Crossover Study in Noise-Sensitive, Healthy Adults. *Environ Health Perspect* 131. <https://doi.org/10.1289/EHP10757>
- McCunney, R.J., Mundt, K.A., Colby, W.D., Dobie, R., Kaliski, K., Blais, M., 2014. Wind turbines and health: a critical review of the scientific literature. *J Occup Environ Med* 56, e108–e130. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000000313>
- Murcia, G.M.D., Ferrer, S.F., Sorinas, J., Ferrandez, J.M., Fernandez, E., 2017. Application of electroencephalographic techniques to the study of visual impact of renewable energies. *J Environ Manage* 200, 484–489. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2017.05.096>
- Orru, H., Teinmaa, E., Maasikmets, M., Keernik, H., Paju, M., Sikk, A., Tamm, T., Lainjärv, H.M., Kriit, H.K., Lõhmus Sundström, M., 2022. Välisõhu kvaliteedi mõju võrdlus inimeste tervisele Eestis aastatel 2010 ja 2020 ning õhusaaste tervisemõjude prognoos aastaks 2030 [WWW Document]. URL <https://keskkonnaportaal.ee/et/valisohu-kvaliteedi-moju-vordlus-inimeste-tervisele-eestis-aastatel-2010-ja-2020-ning-ohusaaste> (accessed 7.30.25).
- Pierpont, N., 2009. (PDF) Wind Turbine Syndrome: A Report on a Natural Experiment [WWW Document]. URL https://www.researchgate.net/publication/265247204_Wind_Turbine_Syndrome_A_Report_on_a_Natural_Experiment (accessed 7.17.25).
- Pohl, J., Gabriel, J., Hübner, G., 2018. Understanding stress effects of wind turbine noise – The integrated approach. *Energy Policy* 112, 119–128. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2017.10.007>

- Poulsen, A.H., Raaschou-Nielsen, O., Peña, A., Hahmann, A.N., Nordsborg, R.B., Ketzel, M., Brandt, J., Sørensen, M., 2019a. Long-Term Exposure to Wind Turbine Noise and Risk for Myocardial Infarction and Stroke: A Nationwide Cohort Study. *Environ Health Perspect* 127. <https://doi.org/10.1289/EHP3340>
- Poulsen, A.H., Raaschou-Nielsen, O., Peña, A., Hahmann, A.N., Nordsborg, R.B., Ketzel, M., Brandt, J., Sørensen, M., 2019b. Impact of Long-Term Exposure to Wind Turbine Noise on Redemption of Sleep Medication and Antidepressants: A Nationwide Cohort Study. *Environ Health Perspect* 127. <https://doi.org/10.1289/EHP3909>
- Poulsen, A.H., Raaschou-Nielsen, O., Peña, A., Hahmann, A.N., Nordsborg, R.B., Ketzel, M., Brandt, J., Sørensen, M., 2018a. Long-term exposure to wind turbine noise at night and risk for diabetes: A nationwide cohort study. *Environ Res* 165, 40–45. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2018.03.040>
- Poulsen, A.H., Raaschou-Nielsen, O., Peña, A., Hahmann, A.N., Nordsborg, R.B., Ketzel, M., Brandt, J., Sørensen, M., 2018b. Long-term exposure to wind turbine noise and redemption of antihypertensive medication: A nationwide cohort study. *Environ Int* 121, 207–215. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2018.08.054>
- Poulsen, A.H., Raaschou-Nielsen, O., Peña, A., Hahmann, A.N., Nordsborg, R.B., Ketzel, M., Brandt, J., Sørensen, M., 2018c. Pregnancy exposure to wind turbine noise and adverse birth outcomes: a nationwide cohort study. *Environ Res* 167, 770–775. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2018.09.011>
- Poulsen, A.H., Raaschou-Nielsen, O., Peña, A., Hahmann, A.N., Nordsborg, R.B., Ketzel, M., Brandt, J., Sørensen, M., 2018d. Short-term nighttime wind turbine noise and cardiovascular events: A nationwide case-crossover study from Denmark. *Environ Int* 114, 160–166. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2018.02.030>
- Rosciszewska, A., Buszkiewicz, M., Dobrzynska-Kobylec, G., Klichowska, A., Przybyla, T., Nagy, B.B., Wicher, A., Klichowski, M., 2025. Cognitive neuroscience approach to explore the impact of wind turbine noise on various mental functions. *Humanities and Social Sciences Communications* 2025 12:1 12, 1–17. <https://doi.org/10.1057/s41599-025-04645-x>
- Schäffer, B., Pieren, R., Schlittmeier, S.J., Brink, M., 2018. Effects of Different Spectral Shapes and Amplitude Modulation of Broadband Noise on Annoyance Reactions in a Controlled Listening Experiment. *Int J Environ Res Public Health* 15. <https://doi.org/10.3390/IJERPH15051029>
- Schäffer, B., Schlittmeier, S.J., Pieren, R., Heutschi, K., Brink, M., Graf, R., Hellbrück, J., 2016. Short-term annoyance reactions to stationary and time-varying wind turbine and road traffic noise: A laboratory study. *J Acoust Soc Am* 139, 2949–2963. <https://doi.org/10.1121/1.4949566>
- Schmidt, J.H., Klokke, M., 2014. Health Effects Related to Wind Turbine Noise Exposure: A Systematic Review. *PLoS One* 9, e114183. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0114183>
- Sotsiaalministri määrus nr 38, 2002. Mitteenioniseeriva kiirguse piirväärtused elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes, õpperuumides ja mitteenioniseeriva kiirguse tasemetega mõõtmise [WWW Document]. URL <https://www.riigiteataja.ee/akt/163816?leiaKehtiv> (accessed 8.9.25).

- Sotsiaalministri määrus nr 42, 2002. Mõõtmisnormid elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid [WWW Document]. Riigi Teataja. URL <https://www.riigiteataja.ee/akt/163756> (accessed 7.11.25).
- Sotsiaalministri määrus nr 75, 2002. Ultra- ja infraheli helirõhutasemete piirväärtused ning ultra- ja infraheli helirõhutasemete mõõtmine [WWW Document]. URL <https://www.riigiteataja.ee/akt/129122020046?leiaKehtiv> (accessed 5.29.25).
- Sotsiaalministri määrus nr 78, 2002. Vibratsiooni piirväärtused elamutes ja ühiskasutusega hoonetes ning vibratsiooni mõõtmise meetodid [WWW Document]. URL <https://www.riigiteataja.ee/akt/110061?leiaKehtiv> (accessed 8.9.25).
- Staniek, A., Kompała, J., Bramorska, A., Bartmański, C., 2013. Comparison analysis of noise generated by wind turbines with the other noise source in outdoor environment. *Vibrations in Physical Systems* 2023, 2023108. <https://doi.org/10.21008/j.0860-6897.2023.1.08>
- Taylor, J., Klenk, N., 2019. The politics of evidence: Conflicting social commitments and environmental priorities in the debate over wind energy and public health. *Energy Res Soc Sci* 47, 102–112. <https://doi.org/10.1016/J.ERSS.2018.09.001>
- Teneler, A.A., Hassoy, H., 2023. Health effects of wind turbines: a review of the literature between 2010-2020. *Int J Environ Health Res* 33, 143–157. https://doi.org/10.1080/09603123.2021.2010671/ASSET/CB263B43-F0EB-4EF2-94C8-593ADABE314A/ASSETS/IMAGES/CIJE_A_2010671_F0001_B.GIF
- Terviseamet, 2025a. Sopi-Tootsi tuulepargi müra mõõtmiste aruanne [WWW Document]. URL <https://sopitootsipargid.ee/et/avaleht/> (accessed 7.21.25).
- Terviseamet, 2025b. Saarde tuulepargi mürauring [WWW Document]. URL <https://utilitas.ee/failipank/saarde-tuulepargi-murauuring/> (accessed 7.21.25).
- Terviseamet, 2025c. Müra ja vibratsioon [WWW Document]. URL <https://www.terviseamet.ee/keskkonnatervis/fuusikalised-ohutegurid-elukeskkonnas/mura-ja-vibratsioon#kohtvibratsioon> (accessed 8.9.25).
- Tonin, R., Brett, J., Colagiuri, B., 2016. The effect of infrasound and negative expectations to adverse pathological symptoms from wind farms. *Journal of Low Frequency Noise Vibration and Active Control* 35, 77–90. https://doi.org/10.1177/0263092316628257/ASSET/D90140C8-16F5-4714-B165-9A39FD096E84/ASSETS/IMAGES/LARGE/10.1177_0263092316628257-FIG13.JPG
- Vabariigi Valitsuse määrus nr 44, 2016. Töötavastavuse ja tööohutuse nõuded elektromagnetväljadest mõjutatud töökeskkonnale, elektromagnetväljadega kokkupuute piirnormid ja rakendusväärtused ning elektromagnetväljade mõõtmise kord [WWW Document]. URL <https://www.riigiteataja.ee/akt/107042016004?leiaKehtiv> (accessed 7.22.25).
- van Kamp, I., van den Berg, F., 2021. Health effects related to wind turbine sound: An update. *Int J Environ Res Public Health* 18. <https://doi.org/10.3390/IJERPH18179133>
- van Kamp, I., van den Berg, F., 2018. Health Effects Related to Wind Turbine Sound, Including Low-Frequency Sound and Infrasound. *Acoust Aust* 46, 31–57. <https://doi.org/10.1007/S40857-017-0115-6/FIGURES/3>
- van Kempen, E., Casas, M., Pershagen, G., Foraster, M., 2018. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Cardiovascular and

- Metabolic Effects: A Summary. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2018, Vol. 15, Page 379 15, 379. <https://doi.org/10.3390/IJERPH15020379>
- WHO, 2025. Constitution of the World Health Organization [WWW Document]. URL <https://www.who.int/about/governance/constitution> (accessed 7.24.25).
- WHO, 2019. Environmental noise guidelines for the European Region [WWW Document]. URL <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053563> (accessed 7.24.25).
- WHO, 2016. Radiation: Electromagnetic fields [WWW Document]. URL <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-electromagnetic-fields> (accessed 7.22.25).
- WHO, 2009. Night noise guidelines for Europe [WWW Document]. URL <https://iris.who.int/handle/10665/326486> (accessed 7.28.25).
- World Bank Group, 2015. Environmental, Health, and Safety Guidelines for Wind Energy [WWW Document]. URL <https://documents1.worldbank.org/curated/en/498831479463882556/pdf/110346-WP-FINAL-Aug-2015-Wind-Energy-EHS-Guideline-PUBLIC.pdf> (accessed 7.28.25).
- Wu, S., Du, W., Zhong, X., Lu, J., Wen, F., 2023. The association between road traffic noise and type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Environmental Science and Pollution Research* 30, 39568–39585. <https://doi.org/10.1007/S11356-023-25926-5/TABLES/5>

Lisa 1. Kasutatud otsingutermid ja otsingustrateegia

Otsingustrateegia andmebaasis PubMed

((("wind"[MeSH Terms] OR wind turbine[Title/Abstract] OR wind turbines[Title/Abstract] OR wind farms[Title/Abstract] OR wind parks[Title/Abstract] OR wind power plants[Title/Abstract] OR wind mill[Title/Abstract] OR wind generators[Title/Abstract]) AND ("noise"[MeSH Terms] OR "sound"[MeSH Terms:noExp] OR noise[Title/Abstract] OR infrasound[Title/Abstract] OR low-frequency noise[Title/Abstract] OR sound[Title/Abstract] OR vibration[Title/Abstract] OR visibility[Title/Abstract] OR visual[Title/Abstract] OR shadow flickering[Title/Abstract] OR flicker[Title/Abstract] OR electromagnetic field[Title/Abstract] OR "Electromagnetic Fields"[Mesh] OR infrasonic[Title/Abstract] OR "low frequency"[Title/Abstract] OR light flickering[Title/Abstract] OR stroboscopic effect[Title/Abstract] OR blinking lights[Title/Abstract] OR reflections[Title/Abstract] OR horizon pollution[Title/Abstract] OR light effects[Title/Abstract])) AND (("2010/01/01"[Date - Publication] : "2025/04/22"[Date - Publication]))

Lisa 2. Tulemuste tabelid

Tabel 1. Süstemaatilised ülevaated

Allikas	Ekspositsioon	Tervisetulemid	Uuringukavandid	Uuringute ilmumisaeg	Kaasatud uuringute arv	Uuringute kvaliteedi hindamine	Uuringutulemused
Liebich et al 2021	Müra dB (A) L_{Aeq}	Objektiivsed une häirumise näitajad: WASO ¹ , SOL ² , TST ³ , une efektiivsus	Eksperimendid, <i>pre-post</i> uuringud, ristlääbilõikelised	2000–2020	9 kvalitatiivses analüüsis; 5 meta-analüüsis	Hinnatud üksikuuringute raporteerimiskvaliteeti STROBE ⁴ loendi mugandusega. Üldine uuringute raporteerimiskvaliteet madal. Nihkeriski hindamiseks ühtegi vahendit ei kasutatud, hinnang anti uuringute piirangute ja nihete olemasolu põhjal järgnevalt: 4 uuringut kõrge, 4 keskmise (<i>some concerns</i>) ja 1 madala nihkeriskiga	Objektiivselt mõõdetud une makrostruktuuri indikaatorid ei ole oluliselt mõjutatud tuulikute mürale eksponeeritutel võrreldes tuulikute mürale mitteeksponeeritud kontrollidega. Leiti mõju subjektiivselt mõõdetud une näitajatele
Guski et al 2017	Müra dB (A), L_{den}	Häiritus	Ristlääbilõikelised	2000–2012	4	GRADE ⁵ meetodikaga hinnati madal ja mõõdukas tõendatuse aste.	Tuulikute heli tugevus on seotud häiritusega isegi väiksema kui 40 dB L_{den} juures.
Godono et al 2023	Kaugus tuulikutest Müra dB (A)	Eneseraporteeritud une kvaliteet	Ristlääbilõikelised	2004–2021	15	Uuringute metodoloogilist kvaliteeti hinnati <i>US National Institutes of Health Quality Assessment Tool</i> töövahendiga: 2 kõrge, 5 keskmise ja 8 madala kvaliteediga uuringut	Tuulikutest kaugemal une häirumise levimus vähenes ja suurema helirõhutaseme korral levimus suurenes.
Freiberg et al 2019b	Visuaalsed aspektid (nähtavus elukohast, varjutus, vilkuvad tuled jne)	Häiritus, une kvaliteet, elu kvaliteet	Kohort, ristlääbilõikeline	Kuni = 2017	17 kvalitatiivses analüüsis; 6 meta-analüüsis	Ristlääbilõikeliste uuringute kvaliteeti hinnati Appraisal tool for Cross-Sectional Studies (AXIS) töövahendiga ja kohortuuringuid Scottish Intercollegiate Guidelines Network (SIGN) ja Critical Appraisal Skills Programme (CASP) töövahendeid kombineerides. 5 uuringut kõrge, 3 aktsepteeritava ja 7 madala kvaliteediga	Otsesest nähtavusest, varjutusest ja vilkuvatest tuledest tingitud häiritus oli statistiliselt oluliselt seotud suurenenud unehäirete riskiga. Ka muutunud vaade maastikule, takistusmärgistused ja valguse peegeldus tuuliku labadelt võib inimesi häirida.

¹WASO - ärkvelolek pärast esimest uinumist (ingl *wake after sleep onset*)

²SOL - uinumiseks kuluv aeg (ingl *sleep onset latency*)

³TST - kogu uneaeg (ingl *total sleep time*)

⁴STROBE – vaatlusuuringute raporteerimise põhimõtted (ingl *STrengthening the Reporting of OBservational studies in Epidemiology*)

⁵GRADE - tõendatuse hindamise meetodika (ingl *Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation*)

Tabel 2. Vaatlusuuringud

Allikas	Uuringukavand ja uuritavad	Valimi suurus	Vanus	Jälgimise aeg	Kokkupuude	Tervisetulem	Tulemi mõõtmise viis	Uuringu tulemused
Bräuner et al 2018	Taani õdede kohortuuring	23 994	≥44	1982–2013	Modelleeritud A-kaalutud tuuleturbiinide müra sagedustel 10 Hz–10 000 Hz. Arvutatud aasta keskmine L_{den} uuritavate elukohas maja välisfassaadil 6 km raadiuses lähimast tuulikust.	686 infarkti (1,7 uut juhtu 1000 inimaasta kohta)	Taani patsientide ja surmapõhjuste registrid	Pikaajaline kokkupuude tuulikute müraga ei olnud seotud infarkti tekkimisega 44-aastastel ja vanematel naistel.
Bräuner et al 2019b	Taani õdede kohortuuring	23912	≥44	1982–2013	Modelleeritud A-kaalutud tuuleturbiinide müra sagedustel 10 Hz–10 000 Hz. Arvutatud aasta keskmine L_{den} uuritavate elukohas maja välisfassaadil 6 km raadiuses lähimast tuulikust. 1-, 5-, ja 11-aasta keskmised	1097 insulti (2,7 uut juhtu 1000 inimaasta kohta)	Taani patsientide register	Pikaajaline kokkupuude tuulikute müraga ei olnud seotud insuldi tekkimisega 44-aastastel ja vanematel naistel.
Bräuner et al 2019a	Taani õdede kohortuuring	24137	≥44	1982–2013	Modelleeritud A-kaalutud tuuleturbiinide müra sagedustel 10 Hz–10 000 Hz. Arvutatud aasta keskmine L_{den} uuritavate elukohas maja välisfassaadil 6 km raadiuses lähimast tuulikust. 1-, 5-, ja 11-aasta keskmised	1430 kodade virvendusarütmia (3,5 uut juhtu 1000 inimaasta kohta)	Taani patsientide ja surmapõhjuste registrid	Uuringu tulemused leidsid viiteid tuulikute müra ja kodade virvendusarütmia tekkimise vahelisele seosele, kuid ei leitud selgelt väljendunud statistiliselt olulist seost 44-aastastel ja vanematel naistel.
Poulsen et al 2018a	Taani üleriigiline registripõhine kohortuuring	614 731	25–84	1996–2012	Modelleeritud öine A-kaalutud müratase elamu õuealal sagedustel 10–10,000 Hz ja siseruumide madalsageduslik müra sagedustel 10–160 Hz. 1-aasta ja 5-aasta keskmised	25 148 diabeeti	Taani diabeediregister	Pikaajaline kokkupuude tuulikute öise müraga elamute õuealal ja madalsagedusliku müraga siseruumides ei olnud seotud diabeedi tekkimisega.
Poulsen et al 2018b	Taani üleriigiline registripõhine kohortuuring	535 675	25–84	1996–2013	Modelleeritud öine A-kaalutud müratase elamu õuealal sagedustel 10–10,000 Hz ja siseruumide madalsageduslik müra sagedustel 10–160 Hz. 1-aasta ja 5-aasta keskmised	83 729 inimest ostis välja suukaudseid hüpertensiooniravimeid	Taani retseptikeskuse andmed	Pikaajaline kokkupuude tuulikute öise müraga elamute õuealal ja madalsagedusliku müraga siseruumides ei olnud seotud suukaudsete hüpertensiooniravimite väljaostmisega
Poulsen et al 2018c	Taani üleriigiline registripõhine kohortuuring	135 795 üksiksünnitust, 122 792 ajalisi üksiksünnitust	NA ¹	1996–2013	Modelleeritud öine A-kaalutud müratase elamu õuealal sagedustel 10–10,000 Hz ja siseruumide madalsageduslik müra sagedustel 10–160 Hz. 1-aasta ja 5-aasta keskmised	13 003 enneaegset sündi; 12 220 sündi väikese sünnikaaluga gestatsioonivanuse kohta; 1127 ajalisi sündi väikese kaaluga	Taani sünniregister	Kokkupuude raseduseaegse öise müraga elamute õuealal ja madalsagedusliku müraga siseruumides ei olnud seotud halvenenud sünninäitajatega

Poulsen et al 2019a	Taani üleriigiline registripõhine kohortuuring	711 249 infarkt 712 401 insult	25–84	1996–2013	Modelleeritud öine A-kaalutud müratase elamu õuealal sagedustel 10–10,000 Hz ja siseruumide madalsageduslik müra sagedustel 10–160 Hz. 1-aasta ja 5-aasta keskmised	19 145 infarkti, 18 064 insult	Taani patsientide ja surmapõhjuste registrid	Uuringus leiti viiteid sellele, et pikaajaline kokkupuude tuulikute öise müraga elamute õuealal võib suurendada infarkti ja insuldi riski. Madalsageduslik müra siseruumides ei olnud seotud infarktide ja insultide tekkimisega
Poulsen et al 2019b	Taani üleriigiline registripõhine kohortuuring	583 968 uneravimite valim; 584 891 anti-depressantide valim	25–84	1996–2013	Modelleeritud öine A-kaalutud müratase elamu õuealal sagedustel 10–10,000 Hz ja siseruumide madalsageduslik müra sagedustel 10–160 Hz. 1-aasta ja 5-aasta keskmised	68 696 inimest ostis uneravimeid 82 373 inimest ostis antidepressante	Taani retseptikeskuse andmed	Pikaajaline kokkupuude tuulikute öise müraga elamute õuealal oli seotud uneravimite ja antidepressantide välja ostmisega üle 65-aastastel uuritavatel. Pikaajaline kokkupuude madalsagedusliku müraga siseruumides ei olnud seotud uneravimite ja antidepressantide välja ostmisega
Poulsen et al 2018c	Taani üleriigiline registripõhine case-crossover uuring	15 092 infarkti (13 343 inimest) 14 623 insult (13 026 inimest)	≥18	1982–2013	Modelleeritud öine A-kaalutud müratase elamu õuealal sagedustel 10–10,000 Hz ja siseruumide madalsageduslik müra sagedustel 10–160 Hz 4 päeva jooksul enne haigestumist või referenspäeva	Infarkt, insult	Taani patsientide ja surmapõhjuste registrid	Lühiajaline kokkupuude tuulikute öise müraga elamute õuealal ja madalsagedusliku müraga siseruumides ei olnud seotud infarktide ja insultide esinemisega põhianalüüsis. Lisa-analüüsid leiti viiteid sellele, et kõrge madalsagedusliku müra siseruumides võib vallandada infarkti või insuldi.

¹ NA – pole andmeid

Tabel 3. Infraheli käsitlevad eksperimendid

Allikas	Riik	Uuringukavand	Valimi suurus	Vanus	Kokkupuude	Tervisetulem	Tulemi mõõtmise viis	Uuringu tulemused
Marshall et al 2023	Austraalia	Juhuslikustatud, kontrollitud, topelt pimendatud, kolme uurimisrühmaga uuring. Kaasati vaid müratundlikud inimesed, kes osalesid kolmes katses. Iga katse kestis 72 tundi järjest.	37	18–72	Genereeriti infraheli sagedusega 1,6–20 Hz maksimaalse tugevusega 90 dB (Z) simuleerides tuulikute infraheli. Kontrollgrupile genereeriti liikluse müra öö jooksul (22.00–07.00) keskmise tugevusega 40–50 dB (A) ja maksimaalse tugevusega 70 dB või ei genereeritud mingit müra (keskmine taustamüra öö jooksul 39 dB (A) / 80–85 dB (Z), mis pärines õhukonditsioneerist).	Kõigil uuritavatel mõõdeti erinevaid füsioloogilisi ja psühholoogilisi näitajaid. Une näitajad, kardiovaskulaarsed näitajad, psühholoogilise ja vaimse heaolu näitajad, stressi näitajad vereproovist. Uuritavatel paluti hinnata ka nn “tuuleturbiini sündroomi” sümptomite esinemist.	PSG ¹ ja küsimustikud.	Kokkupuude infraheliga ei halvendanud ühtegi mõõdetud tervisenäitajat. Liikluse müra pikendas magama jäämise aega.
Ascone et al 2021	Saksamaa	Juhuslikustatud kontrollitud, ühesuunaliselt pimendatud pikaajalise kokkupuute (1 kuu) uuring. Kaks rühma: infraheli vs platseebo.	38	18–45	Genereeritud infraheli (6 Hz, 80–90 dB (Z)) või platseebo-heli uuritavate magamistubades 28 ööd järjest.	Eneseraporteeritud sümptomid, une kvaliteet, vaimne võimekus.	Küsimustikud, vaimse võimekuse testid, MRI (magnet-resonants-tomograafia).	Kokkupuude infraheliga ei mõjutanud eneseraporteeritud tervist, une kvaliteeti ega vaimseid võimeid. Täheldati muudatusi aju hallaines kuid seda ei saa tõlgendada ei kahjuliku ega kasuliku mõjuna.
Crichton et al 2014a	Uus-Meremaa	Juhuslikustatud, kontrollitud topeltpime provokatsiooni uuring, kaks uurimisrühma: 1) tekitati reaalse internetis leviva info põhjal ootus, et infraheli on kahjulik vs 2) tekitati ootus, et infraheli ei ole kahjulik.	54	Üli-õpilased	Genereeritud infraheli (5Hz, 40 dB) ja platseebo-heli 10 minuti pikkuste seanssidena.	24 erinevat eneseraporteeritud sümptomit, näiteks peavalu, survetunne kõrvades, pearinglus, iiveldus. Mõõdetud vererõhk ja südame löögisagedus.	Sümptomite raporteerimine skaalal enne sessiooni ja sessioonide ajal.	Kõrgete kahjulike mõjude ootustega rühmas raporteeriti sümptomite arvu ja intensiivsuse olulist suurenemistest võrreldes kokkupuute eelse hindamisega nii infraheli kui ka platseebo-heli sessiooni ajal. Madalate kahjulike mõjude ootustega rühmas muutuseid ei täheldatud. Infrahelil mõju vererõhule või südame löögisagedusele ei täheldatud. Uuring näitab, et reaalse internetis leviv info infraheli negatiivsete tervisemõjude kohta suurendab eneseraporteeritud sümptomite esinemist.

Crichton et al 2014b	Uus-Meremaa	Juhuslikustatud, kontrollitud, kaks uurimisrühma: 1) tekitati ootus, et infraheli on kahjulik vs 2) tekitati ootus, et infraheli on kasulik.	60	Üli-õpilased	Genereeritud infraheli (9 Hz, 50,4 dB) ja tuulepargist 1 km kaugusel lindistaud kuuldav heli (43 dB) esitati samaaegselt 7-minutiliste sessioonidena.	Eneseraporteeritud 24 erinevat sümptomit, lisaks 12 positiivse meeleolu väljendust ja 12 negatiivse meeleolu väljendust.	Sümptomeid ja meeleolu hinnati skaalal enne igat sessiooni ja sessioonide ajal.	Negatiivsete ootuste rühmas sessiooni ajal sümptomite raporteerimine suurenes ja meeleolu halvenes, positiivsete ootuste rühmas sümptomite raporteerimine vähenes ja meeleolu paranes võrreldes enne sessiooni raporteerituga. Uuring näitab, et positiivsel infol on platseebo efekt.
Crichton et al 2015	Uus-Meremaa	Juhuslikustatud, kontrollitud, kaks uurimisrühma: 1) tekitati ootus, et infraheli on kahjulik vs 2) tekitati ootus, et infraheli on kasulik.	60	Üli-õpilased	Genereeritud infraheli (9 Hz, 50,4 dB) ja tuulepargist 1 km kaugusel lindistaud kuuldav heli (43 dB) esitati samaaegselt 7-minutiliste sessioonidena.	Häiritus, 12 positiivse meeleolu väljendust ja 12 negatiivse meeleolu väljendust, lisaks enesehinnanguline müra tundlikkus.	Häiritust, meeleolu ja müra tundlikkust hinnati skaalal enne igat sessiooni ja sessioonide ajal.	Positiivsete ootuste rühmas raporteeriti sessiooni ajal vähem häiritust kui negatiivsete ootuste rühmas. Uuring näitab, et negatiivne informatsioon kutsus esile häiritust tuuleparkidest, positiivne informatsioon aga vähendab häiritust, ja seda ka müratundlike hulgas.
Crichton ja Petrie 2015b	Uus-Meremaa	Juhuslikustatud, kontrollitud, kaks uurimisrühma: 1) tekitati ootus, et infraheli on kahjulik vs 2) tekitati ootus, et infraheli on kasulik. Tehti korduskatse, kus jagatavat infot muudeti.	64	17–56	Genereeritud infraheli (9 Hz, 50,4 dB) ja tuulepargist 1 km kaugusel lindistaud kuuldav heli (43 dB) esitati samaaegselt 10-minutiliste sessioonidena.	Eneseraporteeritud 24 erinevat sümptomit, 12 positiivse meeleolu väljendust ja 12 negatiivse meeleolu väljendust.	Sümptomeid ja meeleolu hinnati skaalal enne igat sessiooni ja sessioonide ajal.	Negatiivsete ootuste rühmas sümptomite raporteerimine suurenes ja meeleolu halvenes võrreldes enne sessiooni raporteerituga ja vastupidi. Kui korduskatse negatiivsete ootuste rühmale jagati positiivset infot tuulikute kasulikkusest, siis nad raporteerisid vähem sümptomeid ja tuju paranes. Samuti nendel, kes olid kuulnud esimesena positiivset infot, peale negatiivse info saamist tuju halvenes ja sümptomeid oli rohkem. Tulemused näitavad, et positiivselt sõnastatud terviseabe kättesaadavus võib pöörata ümber või vähendada negatiivsete ootuste mõju, mis on tekkinud meedias avaldatud hoiatustest tuulikute terviseriskide kohta.
Crichton ja Petrie 2015a	Uus-Meremaa	Kõikidel uuritavatel tekitati negatiivsete tervisemõjude ootus. Seejärel uuritavad jagati juhuslikult kahte rühma: 1) uuritavatele jagati infot, et infraheli tervisemõjud on bioloogiliselt põhjendatud vs 2)	66	17–70	Genereeritud infraheli (9 Hz, 50,4 dB) ja tuulepargist 1 km kaugusel lindistaud kuuldav heli (43 dB) esitati samaaegselt 14-minutiliste sessioonidena.	Eneseraporteeritud 24 erinevat sümptomit, 12 positiivse meeleolu väljendust ja 12 negatiivse meeleolu väljendust.	Sümptomeid ja meeleolu hinnati skaalal enne igat sessiooni ja sessioonide ajal. Hinnati ka kuivõrd usutav ja arusaadav tundub jagatud info.	Pärast negatiivse info saamist suurenes raporteeritud sümptomite arv ja intensiivsus mõlemas rühmas võrreldes algseisuga. Bioloogilise põhjendatuse rühmas sümptomite suurenemine püsis ka teise seansi ajal. Notseebo-selgituse rühmas aga sümptomite arv ja intensiivsus vähenesid ning meeleolu paranes. Eksperiment näitab, et meediat leitav valeinfo suurendab sümptomite esinemist ja muret tervise pärast. Samuti seda, et notseebo-efekti

		uuritavatele selgitati, et tervise mõjud on notseebo-efekti tulemus						selgituse pakkumine võib vähendada tuulikute seostatavate sümptomite raporteerimist. Mõlema rühma osalejad pidasid neile antud selgitust arusaadavaks, mõistlikuks, veenvaks ja õigeks.
Tonin et al 2016	Austraalia	Randomiseeritud topeltpimendatud katse kõrvaklappidest tuleva infraheliga 4 rühma	72	17–82	Simuleeritud tuulikute muutuv infraheli 0,8–40 Hz maksimaalse tugevusega 91 dB (Z) 23 minutit või platseebo-heli Osalejates kujundati ootus, et infraheli avaldab kahjulikku mõju või ootus, et kahjulik mõju puudub.	Eneseraporteeritud 24 erinevat sümptomit, Mure tuulikute tervise mõjude pärast.	Küsimustikud enne ja pärast kuulamis-sessiooni	Infraheli rühmas sümptomite esinemine vähenes. Ootuste kujundamine osalejate seas ei õnnestunud. Ilmnes statistiliselt oluline sümptomite süvenemine nende osalejate seas, kellel oli enne katset usk sellesse et infraheli mõjutab tervist, olenemata sellest kas nad kuulsid infraheli või platseeboheli. Tulemused toetavad notseeboefekti hüpoteesi.
Liebich et al 2022a	Austraalia	Randomiseeritud kontrollitud ühepoolset pimendatud katse magamislaboris	68	18–80	Lindistatud tuulepargi müra / infraheli esitati magamislaboris tugevusega 25 dB (A) seitsmel järjestikusel ööl. Labori taustamüra oli 19 dB (A). Tuulepargi müra sisaldas infraheli alates 1,6 Hz ja amplituudmodulatsiooni sagedustel 31,5 ja 63 Hz.	Objektiivselt mõõdetud ja eneseraporteeritud une kvaliteet	PSG ¹ , unepäevik, küsimustikud une ja müratundlikkuse kohta	Tuulikute müra siseruumis 25 dB (A) tasemel ei avalda mõõdetavat mõju objektiivsetele ega ka subjektiivsetele une näitajatele. Mõju ei täheldatud ka neil, kes ise teatasid tuulikute seotud unehäiretest.
Liebich et al 2022b	Austraalia	Randomiseeritud kontrollitud ühepoolset pimendatud katse magamislaboris	23	18–29	Lindistatud tuulepargi müra / infraheli esitati magamislaboris tugevusega 33 dB (A) juhuslikus järjekorras vahelduvalt labori taustamüraga (23 dB (A)). Tuulepargi müra sisaldas infraheli ja märgatavat amplituudmodulatsiooni 46 Hz juures.	Aeg, mis kulub uinumiseni (une latentsus)	PSG ¹ , unepäevik, küsimustikud une ja müratundlikkuse kohta	Uuring näitab, et tuuleturbiinide müra tasemel 33 dB (A) ei pikenda objektiivselt või subjektiivselt mõõdetud magama jäämise aega noortel, tervetel inimestel, kes ei ole varem tuulikute kokku puutunud.
Maijala et al 2021	Soome	Randomiseeritud kontrollitud topeltpimendatud katse	26	30–72	Lindistatud heli tuulepargi alal 200 m turbiinist (47–57 dB (A), 52–77 dB (Z)), õuealal 1,5 km turbiinist (42–59 dB (A)) ja siseruumides (41–43 dB (A)). Valiti välja kõrgeima helirõhu tasemega ja suurima amplituudmodulatsiooni	Mõõdetud autonoomse närvisüsteemi reaktsioonid (südamelöögisagedus, südamelöögisageduse varieeruvus, naha elektrijuhtivus).	Häiringu hindamise skaalal; mõõdetud südamelöögisagedus, südamelöögisageduse varieeruvus,	Uuring näitab, et katses kasutatud infraheli tasemed ei mõjutanud uuritavate häiritust ega autonoomse närvisüsteemi reaktsioone, kuigi katselised tingimused vastasid akustiliselt tegelikele tuuleparkidele. Uuritavad ei eristanud infraheli sisaldavaid esitusi neid mitte sisaldavatest. Infraheli esitamine või mitte-esitamise ei mõjutanud

					sügavusega lindistused. Kontrollina kasutati ookeaniranna heli (34–45 dB (A)). Inimesele esitati või ei esitatud infraheli (20 Hz), mis oli välja filtreeritud tuulepargi helist.	Subjektiivsed häiringu hinnangud	naha elektrijuhtivus	häiringu taset. Tuulepargi kuuldavahelid olid häirivamad kui ookeani helid. Samuti olid häirivamad suurema amplituudmodulatsiooniga helid. Uuritavad, kes enne uuringut raporteerisid infraheliga seotud tervisemuredest ei erinenud oma reaktsioonide poolest infrahelile teistest uuritavatest.
Matecki et al 2023	Poola	Randomiseeritud katse, 3 rühma, tingimused pole kontrollitud (toimus klassiruumis)	129	21–24	Erinevad ekspositsioonid: *Lindistatud ja filtreeritud tuulikute infraheli tugevusega 83 dB (G) / 47 dB (A). *Sünteesitud infraheli 5–20 Hz tugevusega 78 dB (G) / 46 dB (A) ja sellel puudus amplituudmodulatsioon või hälve. *Taustamüra tugevusega 63 dB (G) / 43 dB (A).	Kognitiivseid funktsioonid, eelkõige tähelepanu. Tunded ja sümptomid	Kognitiivsete võimete testid, küsitlused enne ja pärast seanssi	Uuringu tulemused ei näidanud olulisi erinevusi kognitiivsete testide tulemustes ega ka raporteeritud ebameeldivate aistingute või kaebuste arvus erinevate helitingimuste vahel, kui analüüsiti mehi ja naisi eraldi. Naised raporteerisid ebamugavustunnet ja erinevaid kaebusi rohkem kui mehed.
Rosciszewska et al 2025	Poola	Randomiseeritud kontrollitud ühepoolset pimendatud katse, 3 rühma	45	18–25	Lindistatud tuuliku müra 2 MW tuulikust 500 meetri kaugusel. Kasutatud heli tugevus oli 65,4 dB (Z) / 38,5 dB (A). Tuulikumüra sisaldas amplituudmodulatsiooni (keskmine sagedus 0,8–1 Hz, sügavus ~6.9 dB). Salvestatud maanteeliikluse müra 65,4 dB (Z) / 56,8 dB(A). Kontrollis esines taustamüra.	Kognitiivseid funktsioonid, häiritus, stress, depressioon	EEG ² mõõtmised, kognitiivsete võimete testid, küsimustikud häirituse, depressiooni, ärevuse ja stressi kohta	Lühiajaline kokkupuude tuulikute müraga ei mõjutanud uuritavate kognitiivset võimekust (mõõdetud aju funktsioonid tähelepanu, mõtlemine). Tuulikute müra ei tajutud oluliselt häirivamana või stressi tekitavamana kui liikluse müra. Osalejaid ei teadnud müra allikat ning see võis olla põhjuseks, miks tuulikute müra ei märgitud häirivamana.

¹PSG – polüsomnograafia

²EEG – elektroentsefalograafia on aju elektrilise aktiivsuse mõõtmise meetod

Tabel 4. Eksperimendid mis sisaldavad tuulikute kuuldavat müra ja visuaalseid aspekte

Allikas	Riik	Uuringukavand	Valimi suurus	Vanus	Kokkupuude	Tervisetulem	Tulemi mõõtmise viis	Uuringu tulemused
Chiu et al 2021	Taiwan	Randomiseeritud katse, kaks rühma, kuid pole kontrollitud tingimused.	29	22–75	Madalsageduslikku tuulikute müra (20–200 Hz) mõõdeti 20 m kaugusel lähimast tuulikust (38,3–57,1 dB (A)) välitingimustes ja 500 m kaugusel lähimast tuulikust siseruumides (32,2–52,5 dB (A)).	Südame löögisagedus ja südame löögisageduse varieeruvus	Kaasaskantav elektro-kardiogrammi (EKG) salvesti	Katse näitas, et kokkupuude tuulikute müraga võib vähendada südame löögisageduse varieeruvust. See võib suurendada südame-veresoonkonna haiguste riski.
Ioannidou et al 2016	Taani	Kontrollitud katse, kõik uuritavad kuulasid ja hindasid erineva AM ¹ -ga helisid.	19	23–28	Erineva AM ¹ -ga helid sagedusega 200–1200 Hz ja tugevusega 60 dB (A), mis põhinesid tuulepargi lindistustel, kuid, mille AM ¹ -i muudeti katse teostamiseks kunstlikult.	Häiritus	Enesehinnanguline skaalal 1–10	Häiritust mõjutab AM ¹ sügavus. Mida väiksem on vahemik milles müratase kõigub, seda vähem häirivam on heli.
Lee et al 2011	Lõuna-Korea	Kontrollitud katse, kõik uuritavad kuulasid erineva helitugevusega ja erineva AM ¹ -ga helisid.	30	20–30	Lindistatud ühe tuuliku müra (250 Hz–8000 Hz). Osalejatele esitati müra tasemetel 35 dB, 40 dB, 45 dB, 50 dB ja 55 dB (A), iga AM ¹ -i sügavuse taseme kohta.	Häiritus	Enesehinnanguline skaalal 1–11	Mida suurem oli AM ¹ sügavus, seda rohkem suurenes häiritus. Samuti suurenes häiritus tugevama heli korral.
Schäffer et al 2018	Šveits	Kontrollitud katse, kõik uuritavad kuulasid erineva sageduse jaotuse ja erineva AM ¹ -ga helisid.	52	18–62	Genereeritud helid vahemikus 16 Hz kuni 16 kHz tugevusega 40 dB (A). Katsetes kasutati roosat müra, tuuleturbiini müra (simuleeritu 2 MW Vestas V90 tüüpi tuulikut) ja suurendatud madalsagedusliku komponendiga müra.	Häiritus	Enesehinnanguline skaalal 1–11, küsimustik taustaandmete jaoks	Häiritus suurenes AM ¹ sügavuse suurenedes. Häiring oli kõrgem juhusliku AM ¹ -ga olukordades kui ilma AM ¹ -ta helide korral. Suurendatud madalsagedusliku komponendiga heli häiris rohkem kui tuuliku müra. Häiring ei olnud seotud osalejate soo või müratundlikkusega, kuid oli kõrgem vanuse suurenedes ja madalam positiivsema suhtumise korral tuuleparkidesse.
Schäffer et al 2016	Šveits	Kontrollitud katse, kõik uuritavad kuulasid erinevate omadustega helisid.	60	18–60	Genereeritud heli tugevusega 35 ja 60 dB (A), mis simuleeris 2 MW Vestas V90 tuulikut, mis töötas tugeva tuule tingimustes. Genereeriti ka erineva AM ¹ -ga helid (ilma AM ¹ -ta, perioodiline ja juhuslik AM ¹). Uuringus kasutati kokku 30 erinevat helistiimulit. Need esindasid tuuleturbiini ja liikluse müra erinevaid situatsioone, varieerudes helirõhutaseme, allika tüübi ja AM ¹ -i osas. Üksik helistiimul kestis 25 sekundit.	Häiritus	Enesehinnanguline skaalal 1–11, küsimustik taustaandmete jaoks	Sama heli tugevuse juures oli häiritus suurem tuulikute kui liikluse müra puhul. AM ¹ -i esinemine suurendas häiringut.

Murcia et al 2017	Hispaania	Eksperiment	14	18–34	Stiimulitena kasutati 60 pilti. Need jagati kolme rühma: pildid tuuleturbiinidega ja samad pildid ilma nendeta; pildid päikesepargiga ja ilma nendeta; ning pildid tuumaelektrijaamadega ja ilma nendeta.	Häiritus, emotsioonid	EEG ² , küsimustikud Piltide skoorivahemik oli 9st (väga meeldiv) kuni 1ni (väga ebameeldiv).	Nii objektiivsed kui subjektiivsed mõõtmised näitasid, et häiritus ja emotsioonid ei erinenud kui uuritavatele näidati pilte maastikest tuulikutega või ilma ning päikesepaneelidega või ilma. Pildid tuumajaamaga tekitasid aga inimestes negatiivseid emotsioone.
-------------------	-----------	-------------	----	-------	---	-----------------------	---	---

¹AM – amplituudmodulatsioon

²EEG – elektroentsefalograafia on aju elektrilise aktiivsuse mõõtmise meetod