TARTU ÜLIKOOL

TUULEPARKIDE AKUSTILISE MÕJU UURIMINE: MÕÕTMINE JA MODELLEERIMINE NING REGISTRIPÕHINE EPIDEMIOLOOGILINE TERVISERISKIDE UURING

I etapi vahearuanne

Eesti tuuleparkide müratasemete mõõtmised ning modelleerimise ja registripõhise uuringu ettevalmistus

Rahastanud Euroopa Liit
NextGenerationEU

Eesti
tuleviku heaks

Tartu 2026

Uuringurühma koosseis:

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

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

Taavi Tillmann (PhD, MSC, MBChB), Tartu Ülikool, ekspert

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

Töö tellijad: Kliimaministeerium ja Sotsiaalministeerium

Sisukord

Sisukord 3
1. Uuringu sisu 4
2. Uuringu metoodika välja töötamine 5
2.1 Kirjanduse ülevaate koostamine 5
2.2 Uuringu valimi koostamine 8
Tuuleparkide kaasamine uuringusse 8
Registripõhise uuringu valim 10
2.3 Andmeanalüüs 11
3. Tuulikute akustilised mõõtmised 13
4.1 Mõõtmistulemused Paldiski/Pakri uurimisalal 15
4.2 Mõõtmistulemused Aseriaru/Viru-Nigula/Aseri uurimisalal 19
4.3 Mõõtmistulemused Ojaküla uurimisalal 23
4.4 Tulemused Virtsu/Esivere/Tooma mõõtmisalal 26
4.5 Mõõtetulemused Nasva uurimisalal 29
6. Kokkuvõte 33
Kasutatud kirjandus 34

1. Uuringu sisu

Eestis on tuuleenergia osakaal elektritootmises suurenemas, kuid sellega seoses on kohalike elanike seas tekkinud mure tuulikute võimalike tervisemõjude pärast. Peamised küsimused on seotud tuulikute poolt tekitatud müra ja infraheliga. Käesolevale uuringule eelnevalt viidi 2025. aastal läbi uuring „Metoodika väljatöötamine tuuleparkide ja teiste energiatootmise tehnoloogiate võimalike tervisemõjudega seotud teadusuuringute tulemuste tõlgendamiseks Eesti tingimustes“ (Veber et al., 2025). Üks uuringu järeldusi oli, et maailmas on vähe kõrgekvaliteetseid epidemioloogilisi uuringuid, mis uurivad tuulikute mõju tervisele ja Eestis pole tuulikute mõju inimese tervisele uuritud.

Käesoleva uuringu eesmärk on hinnata tuuleparkidest pärinevate akustiliste tegurite (kuuldava heli, madalsagedusliku heli ja infraheli) võimalikku mõju tervisele ja häiritusele, tuginedes Eestis teostatavale registripõhisele ja küsitlusuuringule ning kuuldava heli, madalsagedusliku heli ja infraheli mõõtmistele ja/või modelleerimisele.

Uuringu käigus mõõdetakse ja modelleeritakse Eesti tuuleparkide tekitatud helitaset ja uuritakse selle võimalikku mõju inimeste tervisele. Uuring on jagatutud neljaks etapiks. Uuringu esimeses etapis koostati uuringu valim, määratledes uuritavad tuulepargid ja selged kriteeriumid mõõtmiskohtade valimiseks. Käesolevaks hetkeks on viidud läbi nii kuuldava heli, madalsagedusliku heli kui infraheli mõõtmised. Samal ajal on ette valmistatud metoodika registripõhise uuringu läbi viimiseks ning taotletud eetikakomitee luba andmete kogumiseks.

Registripõhise uuringu raames analüüsitakse uuringu järgmistes etappides terviseregistrite andmeid, et selgitada võimalikke seoseid tuulikute akustiliste tegurite/muude näitajate (võimsus, kõrgus jne) ja haigestumise/ravimite kasutamise vahel. Registripõhise uuringu käigus hinnatakse tuulikute mõjusid ka tundlikematele elanikkonnarühmadele nagu vanemad inimesed ja krooniliste haigustega inimesed.

2. Uuringu metoodika

2.1 Kirjanduse ülevaade

Selleks, et töötada välja uuringu eesmärgile vastav metoodika, tutvusime varasemalt läbi viidud teadustöödega.

Senised uuringud on näidanud, et mida tugevam on tuulikute kuuldav heli inimese elukohas, seda enam esineb elanikel häiritust (*annoyance*) (Guski et al., 2017; Knopper et al., 2014; Teneler & Hassoy, 2023; van Kamp & van den Berg, 2018, 2021). Häiritus on subjektiivne tunnus, mida mõõdetakse küsimustikuga. Kuigi häiritus ei ole otseselt kliiniliselt avalduv diagnoos, mõjutab see inimeste heaolu ning võib stressireaktsiooni vahendusel soodustada ka tõsisemate terviseseisundite, näiteks südame-veresoonkonna haiguste, teket (Basner et al., 2014). Samas pole häirituse seosed tuulikute kuuldava heliga väga selged. Mitmed uuringud on näidanud, et rohkem kui tuulikute kuuldav heli võivad häiritust mõjutada muud tegurid: nt suhtumine tuuleparki, uskumused tuulikute infraheli negatiivsete tervisemõjude kohta, tuulikute või nende tulede nähtavus koduaknast, tuulikutega seotud poliitiliste protsesside tunnetatud ausus ja avatus ning tuuleparkidest otsese isikliku kasu saamine või mitte saamine (nt talumistasu, soodsam elektrihind) (Freiberg et al., 2019; Knopper & Ollson, 2011). Saksamaa tuulepargi lähedal elavate inimeste hulgas läbi viidud küsitlus näitas, et tuulepargist oli tugevalt häiritud 9,9% kuni 6,8% elanikest ning nendest enamik (75,0%) olid olnud tuulepargi rajamise vastu juba enne selle püstitamist (Pohl et al., 2018).

Mõned uuringud on näidanud, et tuulikute kuuldav heli võib mõjutada inimeste und. Taanis läbi viidud suure valimiga (583 968 uuritavat) registripõhine retrospektiivne kohortuuring (Poulsen et al., 2019a) leidis, et võrreldes nendega, kelle elamu asus kõige madalamas tuulikute mürapiirkonnas (vähem kui 24 dB (A)), oli statistiliselt oluline 3–8% suurem risk uneravimite tarbimiseks neil, kes elasid kõrgema tuulikute müraga piirkonnas (müra elamute läheduses õues 24–42 dB (A)). Rohkem olid mõjutatud vanemad elanikud, kellel oli elamu läheduses välitingimustes tuulikute kuuldav helitase üle 42 dB (A). Neil oli 68% (HR 1,68; UI 1,27–2,21) suurem risk tarbida uneravimeid võrreldes nendega, kelle elamute läheduses oli müratase alla 24 dB (A) (Poulsen et al., 2019a). Samas mitmed teised uuringud pole aga seost tuulikute müra ja unehäirete vahel leidnud. Seoseid ei ole leitud laborikatsetes, kus une näitajaid

on mõõdetud objektiivselt polüsomnograafia (PSG) ja aktigraafia abil (Liebich et al., 2021). Seoseid leitakse sagedamini uuringutes, kus kasutatakse eneseraporteeritud une näitajaid (küsitlused, unepäevikud) (Liebich et al., 2021).

Mürast tingitud häiritus ja unehäired võivad soodustada haigestumist kroonilistesse haigustesse. Keskkonnamüra allikatest on kõige rohkem uuritud liiklusmüra mõju. Liiklusmüra puhul on näidatud, et aasta keskmine müratase öötundidel üle 45 dB (A) suurendab stressi taset ja halvendab und ning läbi selle suurendab riski haigestuda südame-veresoonkonna haigustesse (infrarkt, insult), metaboolsetesse haigustesse (diabeet, rasvumine) ning vaimse tervise haigustesse (depressioon, ärevushäire) (Basner et al., 2014; Basner & McGuire, 2018; van Kempen et al., 2018). Kuna liiklusmüra puhul on nende haigustega seoseid näidatud, siis on põhjendatud uurida samade tervisenäitakjate esinemist ka seoses tuulikute müraga. Nimetatud haiguste seoseid on juba uuritud ka tuulikute müraga, kuid uuringuid on väga, tulemused on vasturääkivad või pole seoseid leitud. Põhjus, miks seoseid pole leitud või need on ebaselged võib olla selles, et tuulikute müra on palju vähem uuritud kui liiklusmüra, kuid ka selles, et tuulikute müratase inimeste elukohas on oluliselt madalam kui liiklusmüra tase. Tuulikute müratase inimeste elukohas ei ületa enamasti 40 dB (A). Nii madalal tasemel pole ka liiklusmüral tervisemõju näidatud.

Taanis läbi viidud kohortuuring ei tuvastanud seoseid tuulikute müra ja insuldi ning infarkti vahel üle 44-aastastel naistel (Bräuner et al., 2018, 2019a), kuid teine kogu Taani elanikkonda hõlmav kohortuuring (Poulsen et al., 2019b) tuvastas võimaliku tuulikute müra seose infarkti ja insuldiga. Tuulikute müral on leitud seos ka kodade virvendusarütmia esinemisega Taani kohortuuringus üle 44-aastastel naistel (Bräuner et al., 2019b).

Seoseid pole leitud kuulmislanguse, hüpertensiooni, diabeedi ja halvenenud sünninäitajate (madal sünnikaal ja enneaegne sünd) ning tuulikute kuuldava heli vahel (Karasmanaki, 2022; Schmidt & Klokker, 2014; Teneler & Hassoy, 2023; van Kamp & van den Berg, 2021). Samas on maailmas tehtud väga vähe uuringuid tuuleparkide tervisemõjude kohta uuringukavanditega, mis võimaldavad järeldusi teha põhjuslike seoste kohta (1-2 kohortuuringut iga tervisemõju kohta). Registripõhiseid kohortuuringuid on läbi viidud vaid Taanis. Selleks et teha järeldusi põhjuslike seoste kohta on vaja rohkem uuringuid erinevates valimites.

Võimalik terviserisk tulenevalt kokkupuutest infraheliga (tuulikute heli kuuldamatu osaga) on olnud oluliseks teemaks avalikes aruteludes ja mitteteaduslikus kirjanduses paljudes riikides, kuid ühegi teadusuuringu tulemused pole tuulikute infraheli negatiivset mõju tervisele seni tuvastanud (Knopper et al., 2014; Knopper & Ollson, 2011; Maijala et al., 2021; Schmidt & Klokker, 2014; van Kamp & van den Berg, 2018; Veber et al., 2025). Üks hiljuti avaldatud uuring (Scatterty et al., 2026) näitas inimeste elukeskkonnas tavalise ventilatsiooni- ja küttesüsteemidest tuleneva infraheli (tugevusega 75-78 dB (Z)) mõju uuritavate kortisooli tasemetele. Ent selles katses puutusid uuritavad kokku suhteliselt kõrgete infraheli sagedustega (18 Hz), mida inimesed võisid ka kuulda ning samuti infraheli esitati koos kuuldava muusikaga. Infraheli tase selles uuringus oli valitud nii, et see oleks sarnane infraheliga, mida tavaliselt tekitavad mehaanilised seadmed siseruumides (nt ventilatsiooni- ja küttesüsteemid), mille infraheli tase on müraallikast kuni 100 m kaugusel sageli vahemikus 70–80 dB (Z) (Scatterty et al., 2026). Mitmed katsed on näidanud, et inimestel tekitab sümptomeid (nt peavalu) mitte kuuldamatu tuulikute infraheli ise, vaid selle kohta esitatud hirmutav info. Katsetes (Crichton, Dodd, Schmid, Gamble, & Petrie, 2014; Crichton, Dodd, Schmid, Gamble, Cundy, et al., 2014; Crichton et al., 2015; Crichton & Petrie, 2015a, 2015b; Tonin et al., 2016) jagati uuritavad kaheks, pooltele uuritavatele näidati videoid, mis rääkisid sellest, kuidas inimestel on tekkinud tervisemured seoses tuulikute infraheliga ja pooltele räägiti, et infraheli on ohtu või positiivse mõjuga. Mõlemale rühmale öeldi, et neile esitatakse sessiooni ajal infraheli ja paluti raporteerida enesetunnet ja sümptomite esinemist. Tegelikult esitati osadele päriselt infraheli ja teistele platseebo-infraheli (tegelikult infraheli ei esitatud, kuid selle esitamist imiteeriti). Häiritust ja sümptomite esinemist mõõdeti enne sessiooni ja sessiooni ajal. Hirmutava info rühmas häirituse ja erinevate sümptomite raporteerimise tase tõusis, positiivse ja neutraalse info rühmas häirituse ja sümptomite raporteerimine vähenes sessiooni ajal, sõltumata sellest, kas uuritavatele esitati kuuldamatut tuulikute infraheli või mitte (Crichton, Dodd, Schmid, Gamble, & Petrie, 2014; Crichton, Dodd, Schmid, Gamble, Cundy, et al., 2014; Crichton et al., 2015; Crichton & Petrie, 2015a, 2015b; Tonin et al., 2016).

Tuuliku tüübil võib olla oluline mõju eeskätt madalsageduslikule mürale. Wang jt (2024) uuring näitas, et võimsamad kui 4,5 MW tuulikud võivad tekitada enam madalsagedusliku heli (sagedustel 80-300 Hz) kui väikesemad 1,5 MW tuulikud (Wang et al., 2024).

2.2 Uuringu valimi koostamine

Tuuleparkide kaasamine uuringusse

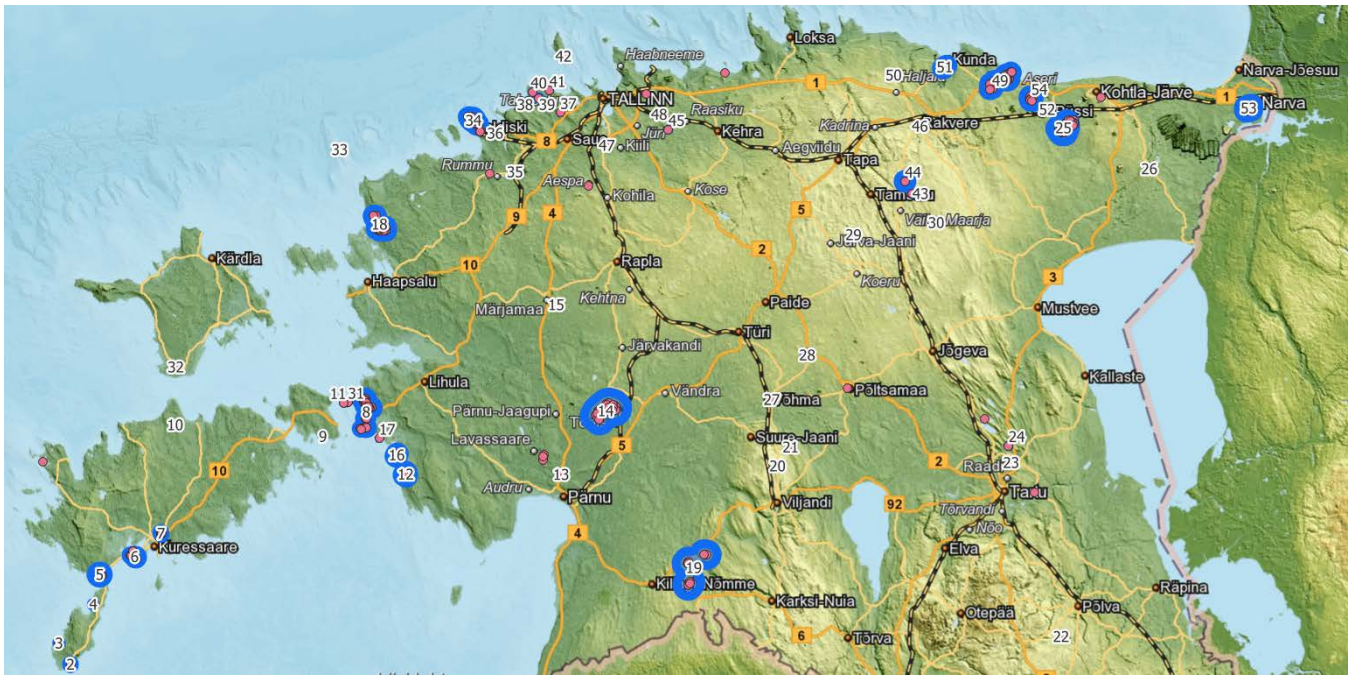
Uuringualad valiti välja kasutades kahte peamist kriteeriumit. Esimese kriteeriumina kasutati oletatavat elanike arvu tuulepargi vahetus läheduses. Vahetus läheduses elavate inimeste arvu hindasime kaudselt Maa-ameti kaardirakenduses olevate aadresside põhjal. Kuna tuuleparkide nimetused ei tähenda kindlat geograafiliselt piiratud ala, vaid ühel alal võib olla väga lähestikku mitu erinevat tuuleparki ja lisaks ka üksikuid tuulikuid, kasutatakse uuringus mõistet uuringuala, millel võib olla mitu tuuleparki ja lisa tuulikuid. Ühe uurimisalana käsitletakse: Aseriaru, Viru-Nigula ning Aseri tuulepargid; Paldiski ja Pakri tuulepargid; Virtsu I, II, III ja Esivere, Esivere I, Tooma II tuulepargid; Nasva, Nasva I ja Nasva II tuulepargid (Joonis 1).

Uuringuala on defineeritud alana, mis jääb uuritavast tuulepargist või tuuleparkidest 30 km raadiusesse. Uuringuala raadius (30 km) on valitud selliselt, et uurimisalale jääks uuritavaid, kes on tuulikutele lähemal ja rohkem mõjutatud tuulikute helist (vahetus läheduses elavad isikud) ja uuritavad, kes elavad tuulikutest kaugemal ja on vähem mõjutatud või pole üldse mõjutatud tuulikutest. Uurimisalade valikul on arvestatud sellega, et muud elukeskkonna ja sotsiaalmajanduslikud näitajad oleksid võimalikult sarnased mõlemas rühmas.

Tuulepargi vahetu lähedus on defineeritud kui 20 kordne tuulikute masti kõrgus meetrites. Näiteks 100 m kõrguse tuuliku masti korral on vahetu lähedus 2000 m. Selline vahetu läheduse hindamise metoodika põhineb Poulsen jt (Poulsen et al., 2018b, 2018a, 2018c, 2019b, 2019a) uuringutel. Eelkõige kaasati uuringusse tuulepargid, mille vahetus läheduses elab kõige rohkem inimesi. Lisaks arvestati ka Terviseametile esitatud pöördumiste arvu ja sisu. Selle teada saamiseks esitasime päringu Terviseametile. Terviseamet edastas meile isikuandmeteta üldise info elektrituulikutega seotud pöördumiste kohta seisuga 07.11.2025. Ajavahemikus 04.04.2024 kuni 25.04.2025 on esitatud tuulikute müra kohta kokku kaheksa kaebust. Kuus kaebust on esitatud füüsiliste isikute poolt, ühe on esitanud advokaadibüroo ja ühe Lüganuse vallavalitsus. Kolm kaebust on esitatud Sopi-Tootsi tuulepargi kohta. Kaevatakse unehäired, väsimust, ärevustunnet, närvilisust, jõuetust, nõrkust, peavalusid ja müra häiringut. Kaks kaebust on esitatud Saarde tuulepargi kohta. Kaevatakse samuti unehäired, probleeme kõrvadega, vererõhu probleemi ja peavalusid. Üks kaebus on esitatud ka Aburi tuulikute kohta, Aseriaru

tuulikute kohta ja Purtse tuulpargi kohta. Sopi-Tootsi ja Aseriaru tuulikud vastavad uuringusse lisamise kriteeriumile ka elanike arvu tõttu ning on kaasatud uuringusse. Aburi külas ja Purtse tuulepargi läheduses elab aga tuulikute vahetus läheduses väga vähe inimesi ja neid tuulikuid uuringusse ei kaasatud. Pöördumiste tõttu Terviseametisse on aga kaasatud uuringusse Saarde tuulepark. Lisaks kahele kaebusele on Saarde tuulepargi kohta esitatud Terviseametile seitse selgitustaotlust ja üks vaie. Saarde selgitustaotlustes seostavad elanikud tuulikutega lisaks eelpool mainitud sümptomitele ka vilinat kõrvus, tinnitust, südame rütmihäireid, valu kõrvades, kuulmisprobleeme, kopsupõletikku, astmat ja näo tõmblusi. Mõjualasse jäävate elanike arvu poolest oleks sobinud uuringualaks ka Salme ja Läätsa tuulepark (kokku 7 tuulikut), kuid uuringurühm ei saanud nende tuuleparkide omanikelt tuulikute mõõtmiseks vajalikke andmeid (nt labade pöörlemise kiirus mõõtmiste ajal). Seetõttu jäid Salme ja Läätsa tuulepark uuringust välja.

Uuringusse kaasati 7 uurimisala (Joonis 1). Uurimisalad on järgnevad (1-7) ning neil paiknevad järgnevad tuulepargid: 1) Ojaküla (3 tuulikut) 2) Aseriaru + Viru-Nigula + Aseri (17 tuulikut) 3) Sopi-Tootsi (38 tuulikut) 4) Paldiski + Pakri (26 tuulikut) 5) Virtsu I, II, III + Esivere-Tooma (29 tuulikut) 6) Nasva, Nasva I ja II tuulepargid (4 tuulikut) 7) Saarde (9 tuulikut).



Joonis 1. Eestis paiknevad tuulikud ja nende mõjupiirkonnad. Uuringusse kaasatud uuringualad: 51 - Ojaküla (3 tuulikut); 49 – Aseriaru/Viru-Nigula/Aseri (17 tuulikut); 14 - Sopi-Tootsi (38 tuulikut); 34 –

Paldiski/Pakri (26 tuulikut); 8 – Virtsu/Esivere/Tooma (29 tuulikut); 6 - Nasva tuulepargid (4 tuulikut); 19 – Saarde (9 tuulikut)

Uuringusse kaasatud uuringualade tuulikud on erineva vanusega, erineva kõrgusega ja erinevat tüüpi. Kõige vanemad tuulikud valmisid 2002. aastal (Virtsu I) ja kõige uuemad 2024. aastal (Sopi-Tootsi). Kõige kõrgemad on tuulikud Sopi-Tootsi tuulepargis (kogukõrgus 241 m) ja kõige madalamad Virtsu I tuulepargis (85 m). Enamike tuulikute võimsused jäävad uuringualadel 2–3,6 MW vahele. Madala võimsusega tuulikud (0,6–0,8 MW) on Virtsu I ja Nasva tuulepargis. Suurema võimsusega tuulikud on Saarde ja Sopi-Tootsi tuulepargis (4,3–6,7 MW).

Registripõhise uuringu valim

Registripõhises uuringus kasutame juba olemasoleva andmestiku BIG-HEART andmeid. BIG-HEART on Tartu Ülikooli teadlaste loodud riiklik andmestik, mis ühendab Eesti täiskasvanud elanike pseudonüümitud tervise- ja sotsiaalandmed erinevatest registritest. Andmestik loodi südame- ja veresoonkonnahaiguste uurimiseks 2023. aastal, kuid andmestik võimaldab ka teisi terviseuuringuid.

BIG-HEART andmestik hõlmab kõigi 2012. aastal Eestis elanud 36-aastaste ja vanemate isikute sotsiaal-demograafilisi ja terviseandmeid järgnevatest registritest: Tervisekassa retseptikeskus, Tervisekassa ravikindlustus, Rahvastikuregister, Tööturegister, Sotsiaalkaitse infosüsteem, Kinnistusraamat ja Äriregister. Andmebaasis on kokku 770 323 uuritavat. Andmestikku on koondatud teave tervishoiukülastuste, diagnooside, ravimikasutuse, töötuse episoodide, sotsiaaltoetuste, hariduse ja varalise seisu kohta.

Antud uuringu registripõhise valimi moodustavad kõik BIG-HEART andmebaasis olevad isikud vanuses 36 kuni 85 aastat, kes on elanud vähemalt aasta jälgimisperioodi jooksul (2012–2025) eelpool kirjeldatud uurimisaladel. Vastavalt esialgsele hinnangule Maa-ameti kaardirakenduse põhjal elab uuringualadel kokku hinnanguliselt 50 000 uuritavat.

Sellises valimis on kaasatud uuritavad, kes elavad tuulikutele lähemal ja on rohkem kokkupuutes tuulikute mõjudega ning ka võrdlusrühmas sellised elanikud, kes elavad kaugemal ja on seetõttu vähem kokkupuutes või pole üldse kokkupuutes tuulikute mõjudega. Kui kaugele täpselt ulatub tuulikute heli selgub mõõtmiste ja modelleerimiste käigus.

2.3 Andmeanalüüs

Kõigile aadresspunktidele, mis jäävad uuringualale leitakse keskkonnaandmed: modelleeritakse kuuldava ja madalsagedusliku heli ja infraheli näitajad ning arvutatakse kaugus lähimast tuulikust ja suure liikluskoormusega tee esinemine 500 m raadiuses. Samuti lisatakse lähima tuuliku andmed (võimsus, tüüp, kõrgus, püstitamise aasta jne).

Kasutades kohortuuringu disaini uuritakse registriandmete põhjal tuulikute müra/infraheli/kauguse/tuuliku tüübi seoseid järgmiste terviseseisunditega (sulgudes RHK10 kood): Südame-veresoonkonna haigused (I20–I25, I60–69, I50, I48); Südame isheemiatõved (I20–I25); Peaajuveresoonte haigused (I60–I69); Südamepuudulikkus (I50); Südame kodade virvendus (I48); Surm südame-veresoonkonna haigusesse (I20–I25, I60–69, I50, I48); Peavalu diagnoosid G44 (välja arvatud G44.3 ja G44.4); Migreen (G43); Muud peavalusündroomid (G44 välja arvatud G44.3 ja G44.4); Unehäirete ravimite välja ostmine (ATC kood: N05CC-CF, N05CH välja arvatud N05CD08); Antidepressantide välja ostmine (ATC kood: N06AA, AB, AF, AG, AX välja arvatud N06AX12 ja N06AX21); Depressiooni diagnoos (F32–F33).

Jälgitavad terviseseisundid on valitud teaduskirjanduse ning Terviseametile esitatud pöördumiste põhjal. Jälgimist alustame, kui uuritav on elanud vähemalt ühe aasta uuringualal ja jälgimine lõpeb uuritava terviseseisundi tekkimisel, surma korral, aadressi puudumise korral või viis aastat peale kolimist uuringupiirkonnast väljapoole. Maksimaalne jälgimise aeg on 1. jaanuar 2012 kuni 31. detsember 2025 (13 aastat). Uuringust jäävad välja uuritavad, kellel oli uuritav terviseseisund enne jälgimisperioodi algust ja üle 85-aastased uuritavad. Andmeanalüüsi käigus tehakse kindlaks statistilise seose olemasolu tuulikute näitajate (akustilised näitajad, tuuliku tüüp, tuuliku võimsus, tuuliku kõrgus, elukoha kaugus lähimast tuulikust) ja eelpool mainitud uuritavate terviseseisundite vahel. Statistiliste seoste hindamiseks kasutatakse kohandatud Coxi proportsionaalsete riskide mudelit või teisi kohandatud regressiooni mudeleid. Oluline on andmeanalüüsi käigus kohandada võimalikele segavatele teguritele, sest kohandamata mudel võib anda vale tulemuse. BIG-HEART andmestik sisaldab mitmeid erinevaid sotsiaal-demograafilisi ja majandusliku seisukorra kohta käivad andmeid, mis võimaldab kohandada mudeleid nendele teguritele. Segava tegurina võetakse arvesse näiteks vanust, sugu aga ka suure liikluskoormusega tee esinemist 500 m raadiuses. Olulisemate segavate tegurite välja selgitamiseks

luuakse põhjuslikkuse diagrammid (*directed acyclic graphs DAG*) kasutades selleks DAGitty tööriista (https://www.dagitty.net/). Lisaks akustilistele teguritele uuritakse tervisenäitajate seost ka kaugusega lähimast tuulikust, tuulikute kõrguse, tüübi ja muude näitajatega. Siiski ei saa registripõhises uuringus uurida tervisenäitajate seoseid inimeste suhtumisega ja uskumustega tuulepargi kohta ja visuaalse häiringuga. Selleks viiakse hiljem (uuringu järgmistes etappides) läbi küsitlusuuring. Andmeanalüüsil kasutatakse statistikaprogrammi R.

Andmete turvalisuse tagamiseks teostatakse kogu andmetöötlus Tartu Ülikooli Arvutiteaduste Instituudi SAPU turvalises keskkonnas, kus kõigi kasutajate tegevus on videosalvestatud, logitud ja auditeeritav. Andmete allalaadimine, kopeerimine ja töötlemine väljaspool SAPU turvalist keskkonda ei ole tehniliselt võimalik kuna SAPU-l puudub ühendus internetiga. Analüüsi käigus loodud üldistatud tabelid ja joonised saab alla laadida vaid BIG-HEARTi vastutav uurija (Taavi Tillmann), kes kinnitab, et nad ei sisalda uuritavate isikute tuvastamist võimaldavaid andmeid.

3. Tuulikute akustilised mõõtmised

Akustilised mõõtmised tuuleparkide läheduses viis läbi Tartu Ülikooli tellimusel Akukon Eesti OÜ. Akukon Eesti OÜ mõõtmistegevus sagedustel 0,1 Hz– 20 000 Hz on akrediteeritud, seetõttu saavad nad teostada juriidiliselt ja rahvusvaheliselt pädevaid mõõtmisi. Akukon Eesti OÜ teostab akrediteeritud mõõtmisi Soome emaettevõtte Akukon Oy akrediteeringu alusel, kasutades Euroopa akrediteerimisliikmesriikide piiriülest koostööd. Akukon Oy omab akrediteeringut T229 vastavalt standardile EN ISO/IEC 17025:2017, mille on välja andnud Soome akrediteerimiskeskus FINAS.

Mõõtmiseks kasutatud seadmed vastasid standardi EVS-EN 61672-1:2013 1. täpsusklassile, mis on vastavuses ISO 1996-1/2 nõuetega. Kõikidel mõõtevahenditel olid kalibreerimistunnistused. Mikrofonid kalibreeriti enne ja pärast mõõtmiste teostamist.

Mõõtmised teostati vastavalt järgmistele ISO standarditele:

- ISO 1996-1:2016 Description, measurement and assessment of environmental noise -- Part 1: Basic quantities and assessment procedures;
- ISO 1996-2:2017 Description, measurement and assessment of environmental noise -- Part 2: Determination of sound pressure levels.

Mõõtmised teostati viiel uurimisalal: 1) Ojaküla, 2) Aseriaru/Viru-Nigula/Aseri, 3) Paldiski/Pakri, 4) Virtsu/Esivere/Tooma ja 5) Nasva (Joonis 2). Käesolevas uuringus ei teostatud akustilisi mõõtmisi Sopi-Tootsi ja Saarde tuulepargi uuringualal, sest seal on juba tehtud põhjalikud mõõtmised Terviseameti poolt (Terviseamet, 2025b, 2025a) ning oma uuringus kasutame neid mõõtmisi. Akustiliste mõõtmiste eesmärgiks ei olnud nende võrdlemine normtasemetega, vaid võimalikult täpsete mõõtmistulemuste saamine tuulepargist kaugenedes, et hinnata heli levikut ja elanike kokkupuudet tuulikute heliga. Mõõtmiste tulemusi võrreldakse uuringu käigus modelleeritud tulemustega ja vajadusel tehakse parandusi modelleerimisse. Tuulikute helitaseme selgemaks eristamiseks taustamürast seisati osades tuuleparkides tuulikud pooleks kuni pooleteiseks tunniks.

Käesolevas uuringus mõõdeti helitugevust sagedusvahemikus 0,1–20 000 Hz hõlmates nii kuuldava heli, madalsagedusliku heli kui ka infraheli sagedused alates sagedusest 0,1 Hz. Helirõhutasemete mõõtmiste käigus fikseeriti kogumüra helirõhutasemed vaba helivälja tingimustes 1s sammuga. Igas tuulepargis

valiti välja üks tuulik ankruks, mille ümber mõõtmised teostati. Mõõtmised teostati alla tuult kuues mõõtepunktis järjest ankurtuulikust kaugenedes: 250, 500, 1000, 1500, 2000 ja 2500 meetri kaugusel tuulikust. Lähimas mõõtmispunktis (250 m) mõõdeti müratasemed 24 tunni jooksul. Muudes punktides teostati lühemad mõõtmised pikkusega vähemalt 15 min. Kõikides mõõtmispunktides olid seadmed paigutatud statiivile ning mõõtmised toimusid ~1,5 m kõrgusel maapinnast.



Joonis 2. Mõõdetud tuulepargid uuringualadel.

Mõõtetulemused esitati 250 m mõõtepunktis: 1) kaalumata kujul (L_{Zeq}), 2) A-, C-, ja G-kaalutud ekvivalentsed tasemed (L_{eq}) 3) A-kaalutud maksimaalsed (L_{AFmax}) 4) A-kaalutud minimaalsed (L_{ASmin}) helirõhutasemed 1 tunniste ajaperioodide kohta. Ülejäänud mõõtepunktides esitati kaalumata helitasemed (L_{Zeq}) ning A-, C-, ja G-kaalutud ekvivalentsed helirõhutasemed (L_{eq}) mõõdetud ajaperioodi kohta. Tulemused on esitatud summaarete müratasemetena, mis näitavad kogu müratasemed mõõtmise ajal ning puhastatud tasemetena, kus andmetest on eemaldatud selgemini eristuvad kõrvalised mürasündmused, mis avaldasid mõõtmistulemustele märkimisväärset mõju (suuremat tuulepuhangud, autode möödasõidud, linnulaul), kuid ka need tulemused sisaldavad ikkagi lisaks tuulikutest tulevale mürale looduslikku mürafooni ja muud taustmüra, mida polnud võimalik eemaldada, sest see ei eristu piisavalt tuulikute mürast. Kõikides mõõdetud punktides polnud tuulikute heli kõrvaga kuuldav. Lisaks

mõõdetud müratasemele arvutati hinnatud müratase. Hinnatud müratasemeks peetakse teatavas ajavahemikus mõõdetud helitaset, millele on tehtud parandusi, arvestades müra tonaalsust, impulssheli või muid asjakohaseid tegureid. Antud töös tuulikute helis tonaalsust ega impulssheli ei esinenud ning seetõttu tonaalsuse ja impulssheli parandust ei tehtud. Hinnatud müratasemete arvutamiseks puhastati mõõtmistulemused kõrvalistest suurematest mürasündmustest. Selle alla kuuluvad selgelt eristatavad mürasündmused, mis pole seotud tuulikutest tuleneva müraga nt selgelt eristuv linnulaul ja/või liiklusmüra sündmused vms. Kõik mõõtmistulemused on esitatud Akukon OÜ mõõteprotokollis (Lisa 1).

4.1 Mõõtmistulemused Paldiski/Pakri uurimisalal

Paldiski tuulepargis on 18 tuulikut kogu kõrgusega (kõrgus maapinnast kuni laba kõige kõrgema tipuni) 135 m ning Pakri tuulepargis 8 tuulikut kogukõrgusega 125 m, kokku 26 tuulikut (Joonis 3). Mõõtmisi teostati kaheksas punktis ja mõõtmiste ajal seisati tuulikud pooleks tunniks. Ööpäeva jooksul (24-tundi) mõõdeti 250 m kaugusel ankurtuulikust (joonisel heledam), ülejäänud punktides teostati lühiajalisi mõõtmisi (ligikaudu 15 minutit). Lisaks 500, 1000, 1500, 2000 ja 2500 m kaugusel teostatud lühiajalistele mõõtmistele tehti üks mõõtmine ka otse tuuliku kõrval (MP8). Mõõtepunktis MP8 tuulekiirusel 10,2 m/s mõõdeti A-kaalutud müratasemeks L_{Aeq} 67 dB (A) ja kaalumata müratasemeks L_{Zeq} 94 dB (Z).

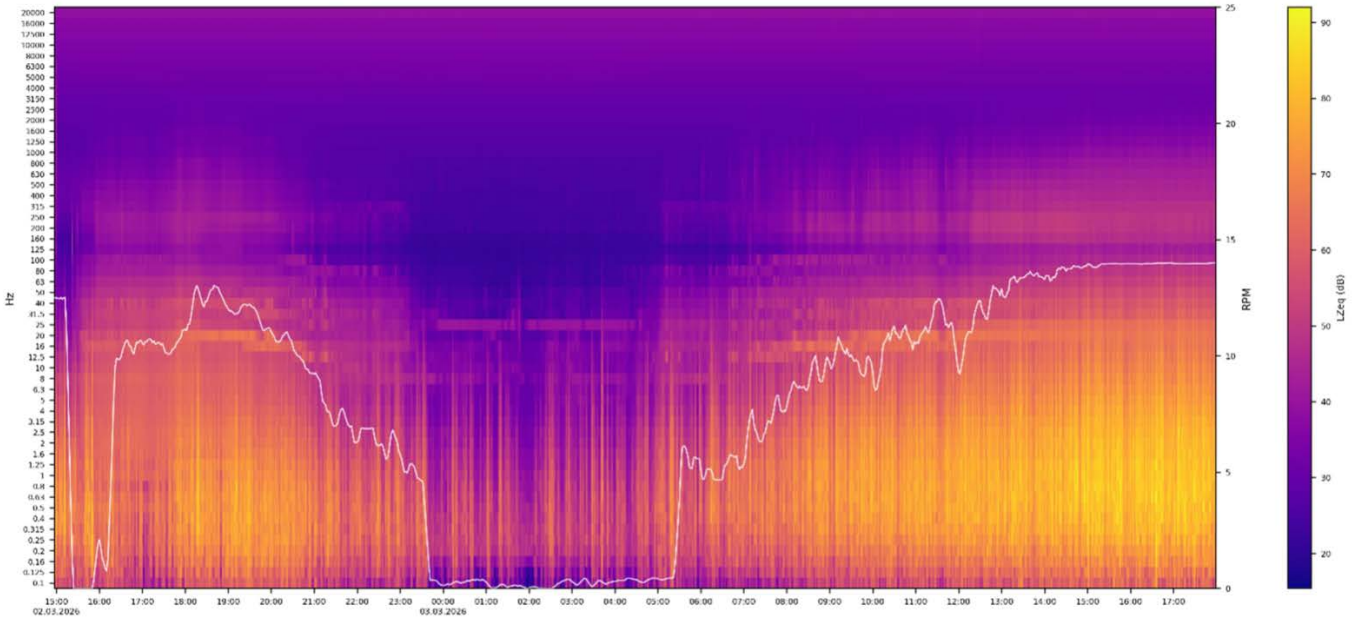


Joonis 3. Paldiski/Pakri uurimisala tuulikud ja mõõtmispunktid.

Sellel ajal kui tuulikud olid välja lülitatud ja ei töötanud (02.03.2026 kell 15.00–15.30) mõõdeti referentspunktis (joonisel 3 RMP1) 250 m kaugusel ankurtuulikust summaarseks A-kaalutud ekvivalentseks helitasemeks L_{Aeq} 45 dB (A), maksimaalseks A-kaalutud helitasemeks L_{AFmax} 50 dB (A) ning kaalumata helitasemeks L_{Zeq} 82 dB (Z). Tuule kiirus oli keskmiselt sellel ajal (tunni jooksul 15.00–16.00) 5,6 m/s ning maksimaalselt 7,9 m/s. Kui tuulepark jälle sisse lülitati ja tööd jätkas, siis järgneva tunni jooksul (16.00-17.00) jäi tunnikeskmine ekvivalentne helitase L_{Aeq} samaks (45 dB (A)), maksimaalne tase L_{AFmax} vähenes (48 dB (A)) ja kaalumata helitase samuti vähenes (77 dB (Z)). Seega olid mõõdetud helitasemed tuulikute töötamise ajal samad või väiksemad kui siis kui tuulikud ei töötanud. Tulemus võib mõjutatud olla sellest, et ka tuule kiirus tuulikute töötamise ajal samuti vähenes olles tunni keskmisena 3,8 (maksimaalselt 8,1) m/s ning visuaalsel vaatlusel ei peatunud kõik Pakri poolsaare tuulikud. Sarnase tuule kiirusega perioodile kui tuulikud ei töötanud (keskmiselt 5,3 ja maksimaaslelt 8,9 m/s) oli ajavahemikul 22.00–23.00 teostatud mõõtmine. Sel ajavahemikul (22.00–23.00) oli tuulikute töötamise ajal tunni keskmine L_{Aeq} 43 dB (A) ja L_{Zeq} 75 dB (Z), mis on samuti vastupidiselt ootustele vaiksem kui siis, kui tuulikud ei töötanud. Mõõtepunktis RMP1 olid õhtused ja öised (alates 21.00 õhtul kuni kella seitsmeni hommikul) tunnikeskmised helitasemed madalamad (L_{Aeq} 43 dB (A), L_{Zeq} 66–76 dB (Z)), kui päevasel ajal tehtud mõõtmiste ajal (kell 16.00 kuni 21.00 esimesel päeval ja kell 7.00-18.00 teisel päeval), mis varieerusid vahemikus L_{Aeq} 44–51 dB (A) ja L_{Zeq} 77–93 dB (Z). Õhtused ja öised madalamad helitasemed olid ilmselt tingitud nii tuule vaibumisest kui ka inimtegevuse ning loodushelide vähenemisest sellel ajal.

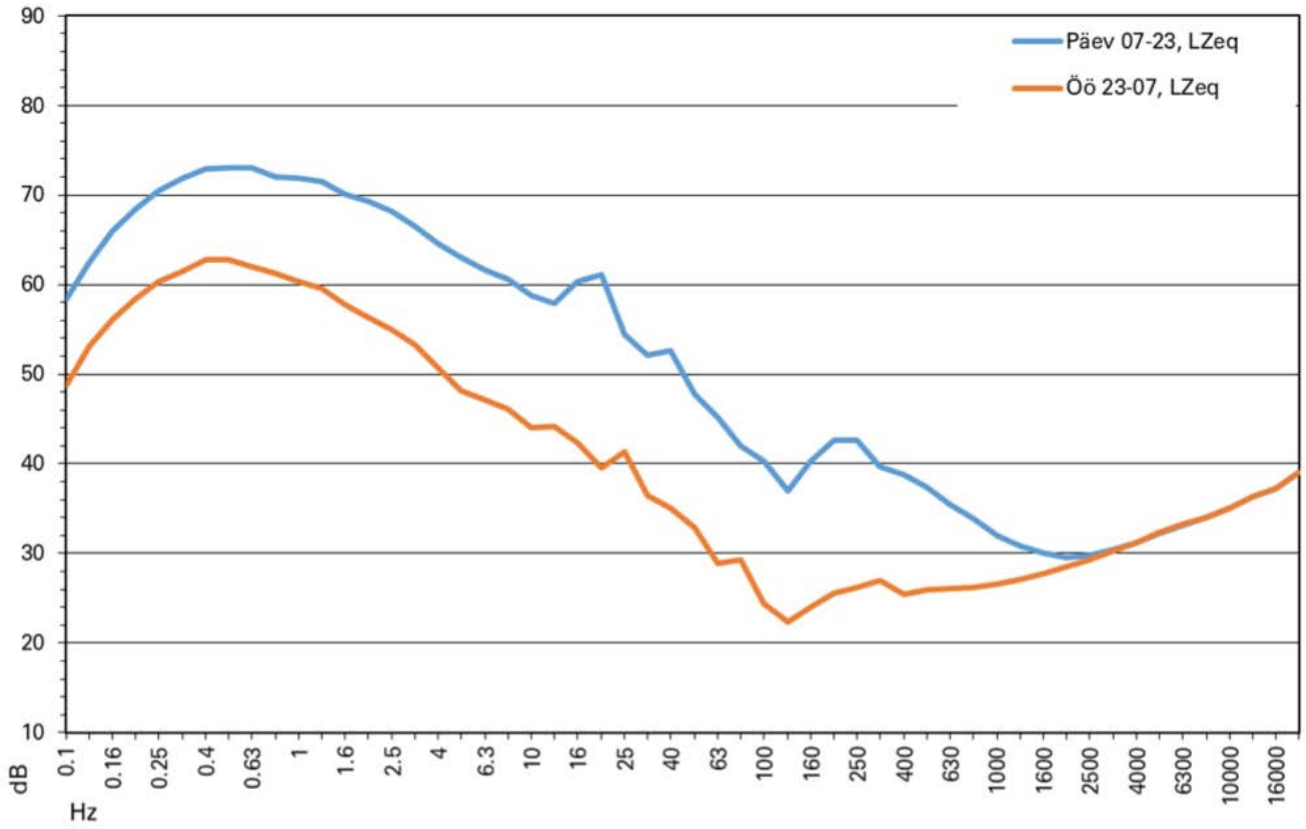
Spektrogrammilt näeme, et tuulikute välja lülitamine kell 15.00-15.30 kohe mõõtmiste alguses ei mõjutanud üldist helipilti. Nii madalamate kui kõrgemate sageduste helitugevused on sarnased perioodiga enne ja pärast tuulikute välja lülitamist. Samas on spektrogrammil visuaalselt märgatav, et öise tuulevaiksema perioodi ajal on nii madalama sagedusega kui ka kõrgema sagedusega helid oluliselt vaiksemad. Sel öisel ajal puudus nii tuulikute müra kui ka tuule kohin ja muud looduse hääled. Sarnast tulemust näeme ka G-kaalutud heli graafikult (Lisa 1 Graafik 3), kus tuulikuite välja lülitamine ei muutnud oluliselt G-kaalutud helitasemeid. Kuna tuulikute väljalülitamise ajal madalsagedusliku heli ja infraheli tase ei vähenenud, ent tuulevaiksel ajal vähenes, võib see näidata looduslike helide olulisust vaiksetel aladel. Samas peab siin arvestama, et välja lülitati vaid üks tuulepark ning teatud osa madalsageduslikust

helist võib pärineda ka teistest kaugemal asuvatest tuuleparkidest (küll oleks sel juhul siiski pidanud väljalülitamise ajal madalsageduslik heli s.h infraheli teatud osas vähenema).



Joonis 4. Paldiski/Pakri uurimisala mõõtmispunktis RMP1 mõõdetud müratasemete spektrogramm ja labade pöörlemise kiirus (rpm), mis on tähistatud valge joonega.

Jooniselt 5 on näha, et 250 m kaugusel ankurtuulikust on üldises kaalumata müratasemes kõige tugevam osa infraheli sagedusel umbes 0,5 Hz, mis ulatub maksimaalselt 73 dB (Z)-ni. Kui palju sellest infrahelist on põhjustatud tuulikute poolt ja kui palju tuleb muudest allikatest, pole võimalik antud mõõteandmete põhjal määratleda, kuid samas on näha spektrogrammilt, et tuulikute välja lülitamine infraheli taset nii madalal sagedusel (0,5 Hz) oluliselt ei mõjutanud (Joonis 4).



Joonis 5. Paldiski/Pakri uurimisala mõõtmispunktis RMP1 päevasel (07.00–23.00) ja öisel ajal (23.00–07.00) mõõdetud ja puhastatud müratasemete kaalumata keskmised väärtused L_{Zeq} dB (Z).

Kõige kaugemates punktides 2000 ja 2500 m kaugusel ankurtuulikust (MP5 ja MP6) mõõdeti umbes 20 minuti jooksul tuulekiirusega 9–10 m/s L_{Aeq} 49 dB (A) (mõlemas punktis) ja L_{Zeq} 82 (MP5) ja L_{Zeq} 79 dB (Z) (MP6). Puhastamine eristatavatest muudest mürasündmustest ei vähendanud oluliselt mõõdetud tulemusi (MP5 L_{Aeq} 48 dB (A) ja L_{Zeq} 82 dB (Z)). Samal ajal oli 250 m kaugusel ankurtuulikust müratasemed L_{Aeq} 51 dB (A) ja L_{Zeq} 92 dB (Z), mis näitab et ankurtuulikust kaugenedes müratase vähenes. Suuremad mõõdetud väärtused võrreldes eelmisel päeval tehtud mõõtmistega on seotud suurenenud tuulekiirusega nende mõõtmiste ajal ning samuti oli mõõtmistulemus suuresti mõjutatud tuulest ja puude kohinast, mida ei saa ka puhastamisega eemaldada, sest see ei eristu selgelt tuulikute mürast. Samas panustab nendesse tulemustesse ka kindlasti tuulikute heli. Päris ankurtuuliku kõrval (MP8 joonisel 3) mõõdeti tuulekiirusel 10,2 m/s A-kaalutud helitasemeks (kuuldavaks helitasemeks) L_{Aeq} 67 dB (A) ja kaalumata helitasemeks L_{Zeq} 94 dB (Z).

Hinnatud müratasemed jäid Paldiski ja Pakri uurimisalal mõõtepunktis RMP1 perioodil 02.03.2026 kell 15.00 – 03.03.2026 kell 15.00 päevasel ajal (Ld) 48 dB (A) ja öisel ajal (Ln) 43 dB (A) juurde. Müra piirväärtus II kategooria aladele (haridusasutuste, tervishoiu- ja sotsiaalhoolekandeasutuste ning elamumaa-alad, maatulundusmaa õuealad, rohealad) on kehtestatud keskkonnaministri 16.12.2016 määrusega nr 71 „Välisõhus leviva müra normtasemed ja müratasemete mõõtmise, määramise ja hindamise meetodid“ kuni 60 dB (A) päeval ja kuni 45 dB (A) öösel. Antud mõõtepunkt asus 250 m kaugusel tuulikust, kus ei paikne ühtegi eluhoonet ega ühiskondlikku hoonet ning tegemist ei ole määruses defineeritud II kategooria alaga, kuid müra piirväärtused II kategooria aladele ei olnud mõõtmiste ajal antud punktis ületatud.

Kokkuvõttes olid müratasemed Paldiski/Pakri uurimisalal mõjutatud rohkem ilmastikutingimustest ja taustamürast kui tuulikute mürast. Tuulikute välja lülitamine ei mõjutanud oluliselt kuuldava heli ega infraheli taset.

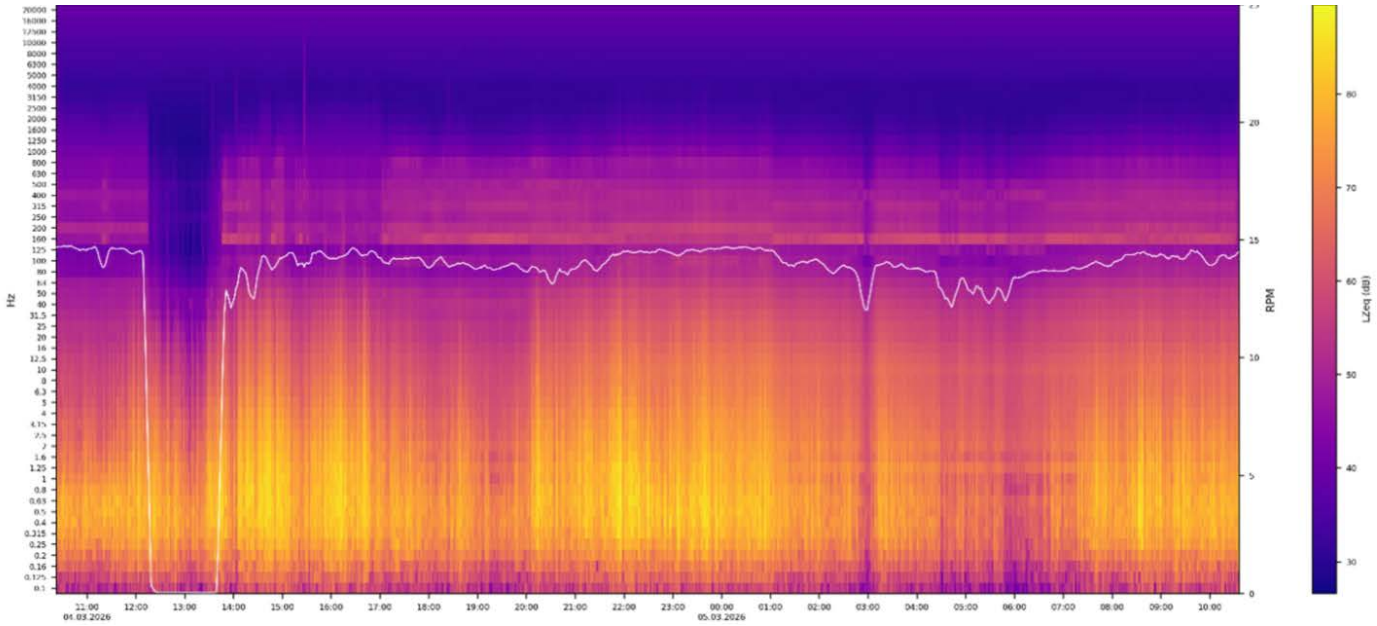
4.2 Mõõtmistulemused Aseriaru/Viru-Nigula/Aseri uurimisalal

Uurimisalal on lähestikku kolm tuuleparki kokku 17 tuulikuga. Viru-Nigula ja Aseriaru pargis on kokku 15 tuulikut kõrgusega 140 m. Kõige merepoolsemad kaks tuulikut on Aseri tuulepark, mille tuulikud on kõrgusega 124 m. Mõõtmisi teostati kokku kuues punktis ja mõõtmiste ajal seisati Viru-Nigula ja Aseriaru tuulepark üheks tunniks ja 30 minutiks, kuid tööle jäid kaks Aseri tuulikut (teine ettevõte). Mõõtmisi teostati allatuult valitud ankurtuulikust (joonisel heledam) 250, 500, 1000, 1500, 2000 ja 2500 m kaugusel (Joonis 5). Ööpäeva vältel (24-tundi) mõõdeti 250 m kaugusel ankurtuulikust, ülejäänud punktides teostati lühemaid mõõtmisi (ligikaudu 15 minutit). Tuulekiirused olid mõõtmiste ajal suhteliselt kõrged, enamasti tunni keskmised üle 8 m/s. Öistel tundidel (1.00–7.00) oli tuulekiirus veidi madalam (5,8–7,6 m/s).



Joonis 5. Aseriaru/Viru-Nigula/Aseri uurimisala tuulikud ja mõõtmispunktid.

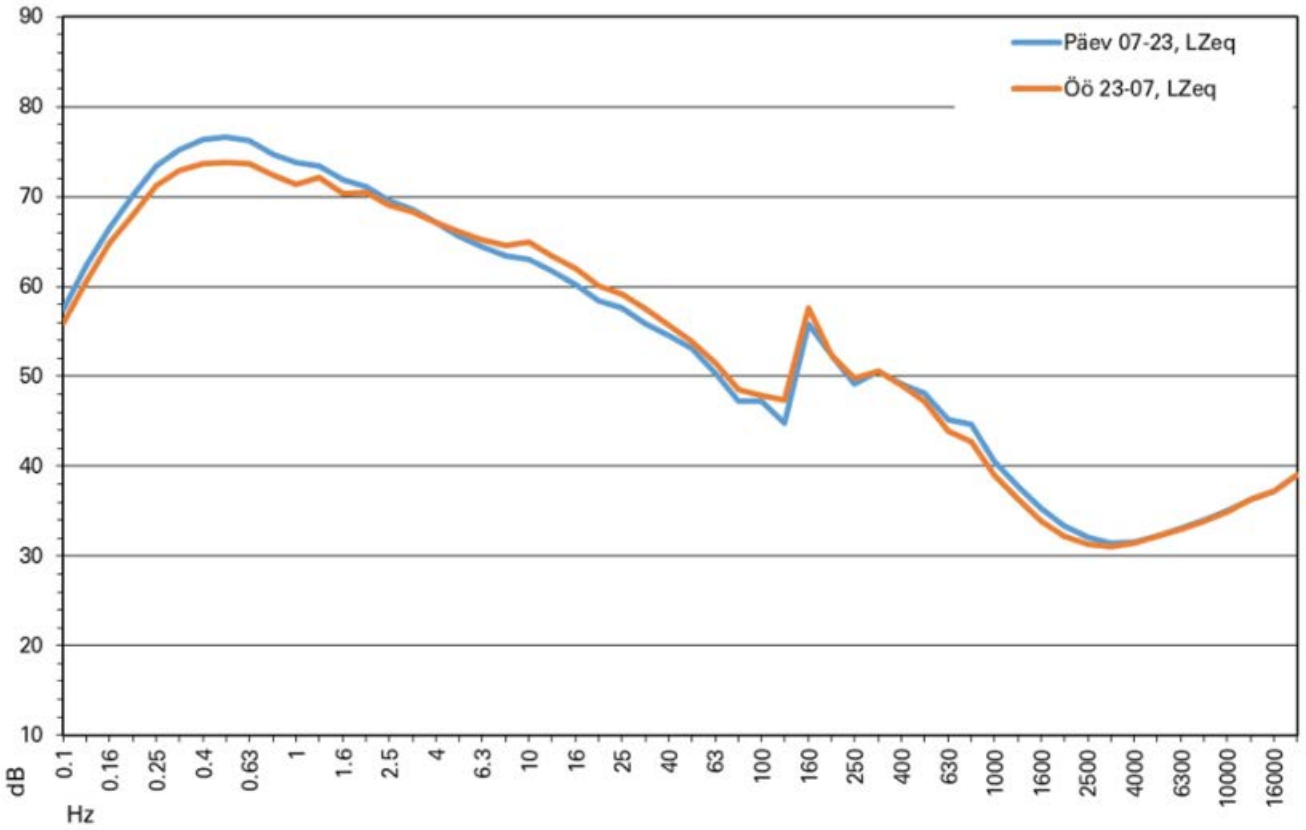
Uuringu käigus mõõdeti 250 m kaugusel (RMP1) ankurtuulikust kuuldava müra tunnikeskmine tase tuulikute töötamisel ajal L_{Aeq} 52–56 dB (A). Kui tuulikud seisid, oli L_{Aeq} märgatavalt väiksem, vaid 45 dB (A). Kaalumata tunnikeskmine müratase L_{Zeq} oli tuulikute seismise ajal 87–88 dB (Z), mis ei suurenenud tuulikute töötamise ajal kõikudes olenevalt ajaperioodist ja tuule tugevusest 78–92 dB (Z) vahel. Pooltel tundidel oli tuulikute töötamise ajal keskmine L_{Zeq} müratase väiksem (alla 87 dB (Z)) ja umbes pooltel tundidel sama või suurem. Ka spektrogrammilt on näha tuulikute seismise ajal kell 12.15–13.45 vähenenud mürataset heli kuuldavas alas (umbes alates 30 Hz), ent madalsagedusliku heli tugevus on tuulikute seismise ajal väga vähesel määral vähenenud ja ning alla <2,5 Hz sagedustel pole erinevust. G-kaalutud helitasemes näeme tuulikute seismise ajal samuti väikest vähenemist (Lisa 1, Graafik 7).



Joonis 6. Aseriaru/Viru-Nigula/Aseri uurimisala mõõtmispunktis RMP1 mõõdetud müratasemete spektrogramm ja labade pöörlemise kiirus rpm, mis on tähistatud valge joonega.

Ka Aseriaru/Viru-Nigula/Aseri mõõtmisalal on näha nagu ka Paldiski/Pakri mõõtmisalal, et 250 m kaugusel ankurtuulikust on üldises kaalumata müratasemes kõige tugevam osa infrahelil sagedusel umbes 0,5 Hz, kuid maksimaalne tulemus on 77 dB (Z) (Joonis 7). Kui palju sellest infrahelist on põhjustatud tuulikute poolt, on keeruline määratleda, ent tuulikute välja lülitamine infraheli taset (eeskätt kõige madalamatel sagedustel <2,5 Hz) oluliselt ei mõjutanud, mida näitas spektrogramm (Joonis 6).

Tuulikutest kõige kaugemas mõõtmispunktis MP6 mõõdeti tuulekiirusega 9.7 m/s L_{Aeq} 45 dB (A) ja L_{Zeq} 75 dB (Z), kuid kuna mõõtepunkt asub asulas, siis on see mõjutatud Aseri asula üldisest mürafoonist ja puude kohinast.



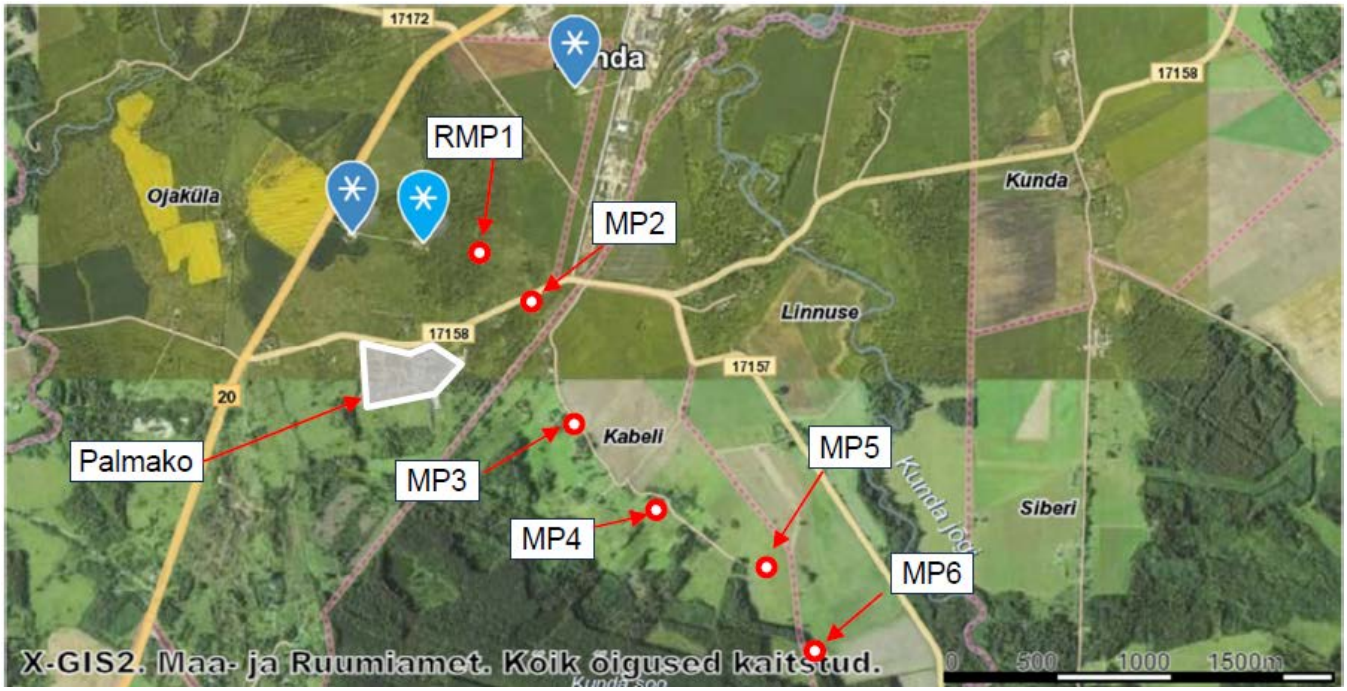
Joonis 7. Aseriaru, Viru-Nigula ja Aseri uurimisala mõõtmispunkti RMP1 päevasel (07.00–23.00) ja öisel ajal (23.00–07.00) mõõdetud müratasemete puhastatud kaalumata keskmised väärtused L_{Zeq} dB (Z)

Hinnatud müratasemed jäid Aseriaru/Viru-Nigula/Aseri uurimisalal mõõtepunktis RMP1 perioodil 04.03.2026 kell 10.00 – 05.03.2026 kell 10.00 päevasel ajal 56 dB (A) ja öisel ajal 54 dB (A) juurde. Antud mõõtepunkt asus kahe tuuliku vahel, umbes 250 m kaugusel mõlemast tuulikust, kus ei paikne ühtegi eluhoonet ega ühiskondlikku hoonet ning tegemist pole II kategooria alaga (nt elamumaa-alad). Müra piirväärtused II kategooria aladele on päevasel ajal kuni 60 dB (A) ja öisel ajal kuni 45 dB (A).

Kokkuvõttes näitasid Aseriaru/Viru-Nigula/Aseri uurimisala mõõtmised, et tugeva tuule tingimustes võivad tuulikud suurendada kuuldava heli ja madalsagedusliku heli taset (250 m kaugusel mõõdetud tuulikust), ent pigem ei mõjuta infraheli kõige madalamate sageduste (<2,5 Hz) taset.

4.3 Mõõtmistulemused Ojaküla uurimisalal

Ojaküla uurimisalal paikneb Ojaküla tuulepark kolme tuulikuga (Joonis 8). Kõigi tuulikute kogukõrgus on 139 m. Mõõtmisi teostati kuues mõõtepunktis ning tuulikud seisati mõõtmiste ajal pooleks tunniks.

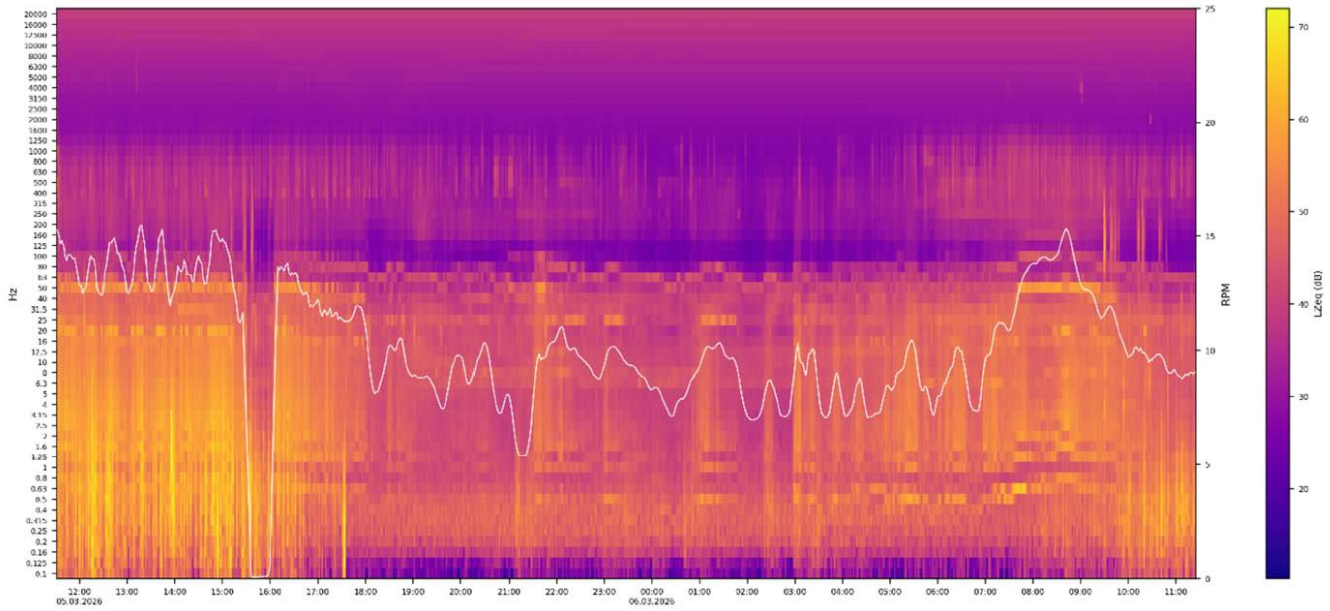


Joonis 8. Ojaküla uurimisala tuulikud ja mõõtmispunktid

Tuulekiirus oli mõõtmiste ajal varieeruv olles kõrgem (7,6–10,4 m/s) mõõtmiste esimesel päeval kell 11.00 kuni 18.00 ning madalam õhtul, öösel ja järgmise päeva hommikul. Tuulikute seismise ajal (esimesel mõõtepäeval kell 15.30–16.00) oli 250 m kaugusel ankurtuulikust (RMP1) tuulekiirusel 9,4 m/s L_{Aeq} 46 dB (A) ja L_{Zeq} 70 dB (Z). Tuulikute töötamise ajal enne nende peatamist sarnastes ilmastikutingimustes kell 14.00–15.00 oli samas mõõtepunktis tunnikeskmine müratase sarnane: L_{Aeq} 46 dB (A) ja L_{Zeq} 73 dB (Z). Samuti oli sarnane tunnikeskmine müratase ka pärast tuulikute peatamist kell 16.00–17.00: L_{Aeq} 45 dB (A) ja L_{Zeq} 70 dB (Z).

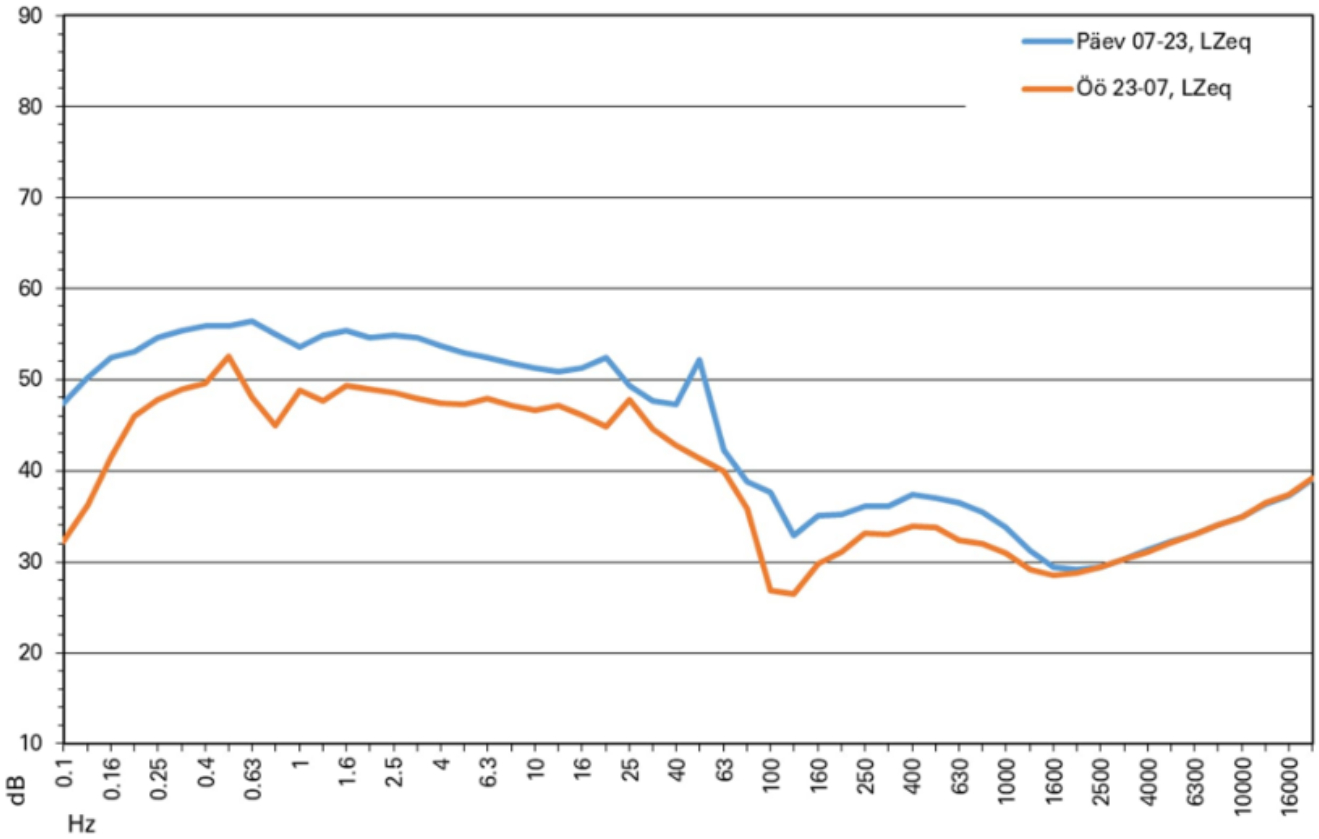
Kuigi tuulikute seiskamine ei muutnud oluliselt A-kaalutud ja kaalumata tunnikeskmiseid müratasemeid, on siiski spektrogrammis näha tuulikute seismise ajal kell 15.30–16.00 märgatavat helitasemete langust sagedustel ligikaudu 2Hz kuni 400 Hz, mis on eriti tugev kuuldavas madalsageduslikus osas 40 Hz kuni 315 Hz (Joonis 9). G-kaalutud helitasemets on samuti näha väike helitasemete vähenemine tuulikute

seismise ajal (Lisa 1 Graafik 11). Sarnaselt teistele tuuleparkidele ei mõjutanud tuulikute väljalülitamine helitugevust kõige madalamatel sagedustel (<2,5 Hz).



Joonis 9. Ojaküla uurimisala mõõtmispunktis RMP1 mõõdetud müratasemete spektrogramm ja labade pöörlemise kiirus rpm, mis on tähistatud valge joonega

Ka Ojaküla uurimisalal 250 m kaugusel ankurtuulikust oli üldises kaalumata müratasemes kõige tugevam osa madalatel infraheli sagedustel (kõige kõrgemad sagedustel 0,4–0,8 Hz), langedes sageduse tõustes. Võrreldes Aseriaru/Viru-Nigula/Aseri ja Paldiski/Pakri uurimisaladega olid infraheli tasemed oluliselt madalamad ning päeva keskmine kaalumata tase L_{Zeq} ei ületa 60 dB (Z) ja öö keskmine 55 dB (Z) (Joonis 10). Madalamaid infraheli väärtuseid võrreldes teiste tuuleparkidega võib põhusada asjaolu, et Ojaküla tuulepargis oli vähe tuulikuid (3 tuulikut), kuid sarnaselt on infraheli tasemed madalamad ka Virtsu/Esivere/Tooma uurimisalal kus paikneb 29 tuulikut. Samuti ei saa madalamat infraheli taset seletada tuulikute võimsusega. Ojaküla tuulikute võimsus on 2,3 MW, Paldiski/Pakri tuulikute võimsus on sarnane (2,5 MW) ning Aseriaru/Viru-Nigula/Aseri uurimisalal 2,35–3 MW.



Joonis 10. Ojaküla uurimisala mõõtmispunkti RMP1 päevasel (07.00–23.00) ja öisel ajal (23.00–07.00) mõõdetud müratasemete keskmised väärtused L_{Zeq} dB (Z).

Tuulikutest kaugeimas punktis MP6 mõõdeti tuulekiirusel 7 m/s müratasemed L_{Aeq} 43 dB (A) ja L_{Zeq} 73 dB (Z). Samas punktis sellel ajal kui tuulikud seisid ja ka tuulekiirus oli natuke madalam (5 m/s) mõõdeti vastu ootusi hoopis natuke suuremad müratasemed L_{Aeq} 45 dB (A) ja L_{Zeq} 74 dB (Z). MP6 tulemusi mõjutas mõõtmiste ajal esinev lennukimüra ja linnulaul.

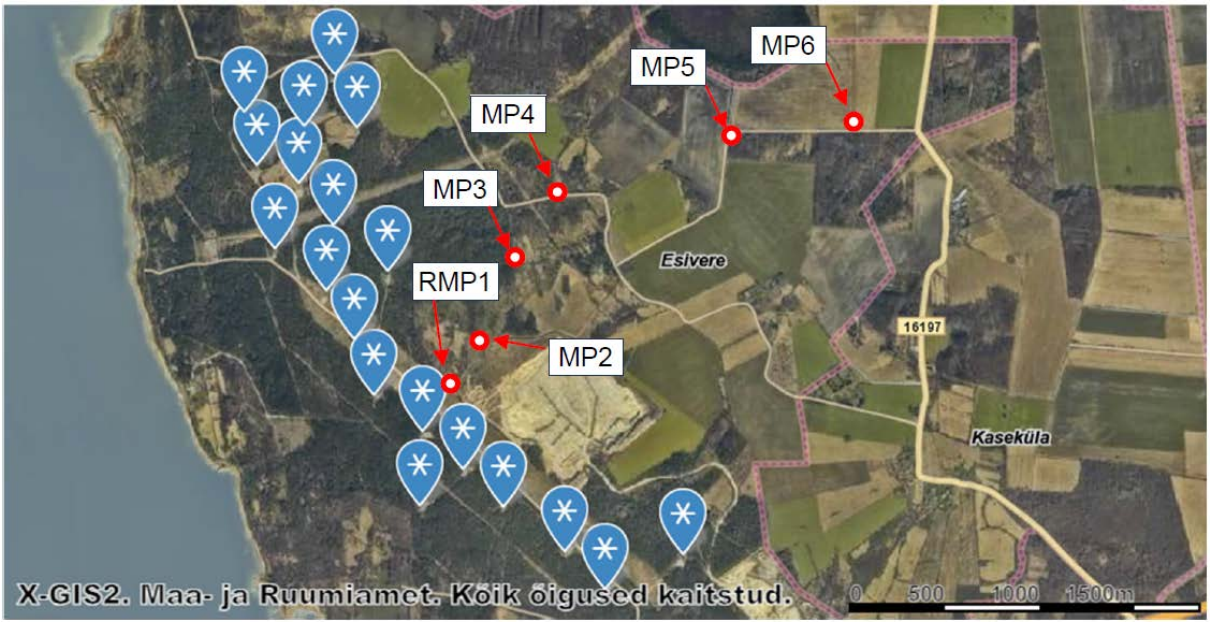
Hinnatud müratasemed jäid Ojaküla uurimisalal mõõtepunktis RMP1 perioodil 05.03.2026 kell 11.00 – 06.03.2026 kell 11.00 päevasel ajal 47 dB (A) ja öisel ajal 44 dB (A) juurde. Antud mõõtepunkt asus 250 m kaugusel tuulikust, kus ei paikne ühtegi eluhoonet ega ühiskondlikku hoonet ning tegemist pole II kategooria alaga. Siiski pole antud punktis piirväärtused II kategooria aladele (nt elualad) ületatud (kuni 60 dB (A) päeval ja kuni 45 dB (A) öösel).

Kokkuvõttes näitasid Ojaküla uurimisala mõõtmised, et tuulikute seisma panek ei toonud kaasa vähenemisi A-kaalutud ja kaalumata müratasemetes ei 250 m kaugusel ega ka 2500 m kaugusel

tuulikutest ning seetõttu olid mõõtmised rohkem mõjutatud taustamürast kui tuulikute mürast. Spektrogrammist oli siiski näha madalsagedusliku helitaseme vähenemist tuulikute seismise ajal. Ka G-kaalutud helitasemed olid tuulikute seismise ajal madalamad. Sarnaselt teiste tuuleparkide juures tehtud mõõtmistega ei täheldatud ka Ojaküla mõõtmisalal infraheli madalaimate sageduste (<2,5 Hz) tasemes muutusi tuulikute seisma jäämisel.

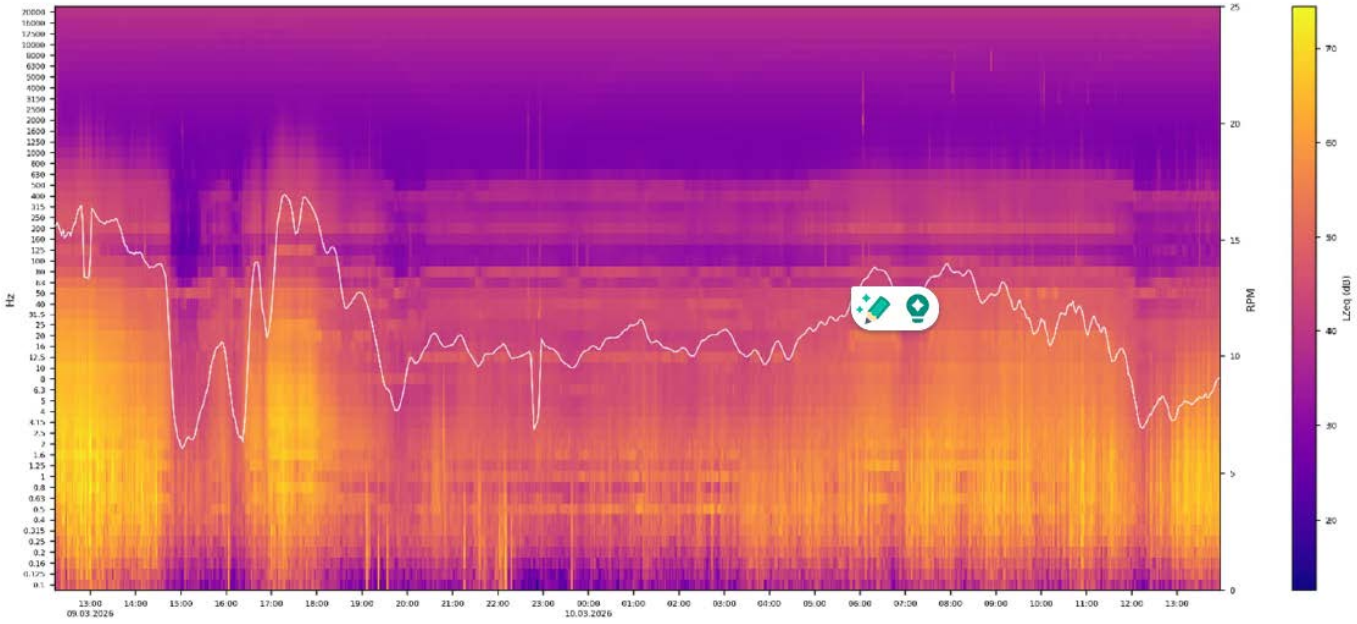
4.4 Tulemused Virtsu/Esivere/Tooma mõõtmisalal

Virtsu/Esivere/Tooma uurimisalal paikneb lähestikku 29 tuulikut kõrgusega 85–150 m. Kokku paikneb alal 6 tuuleparki – Virtsu I, Virtsu II, Virtsu III, Esivere, Esivere I, Tooma II. Mõõtmisi teostati allatuult valitud ankurtuulikust 250, 500, 1000, 1500, 2000 ja 2500 m kaugusel ning tuulikud mõõtmisperioodi ajal ei seisatud. Tunnikeskmised tuulekiirused olid mõõtmisperioodil madalad (0,5–4,5 m/s), kuid lühiajaliselt esines ka suuremaid tuulekiiruseid.



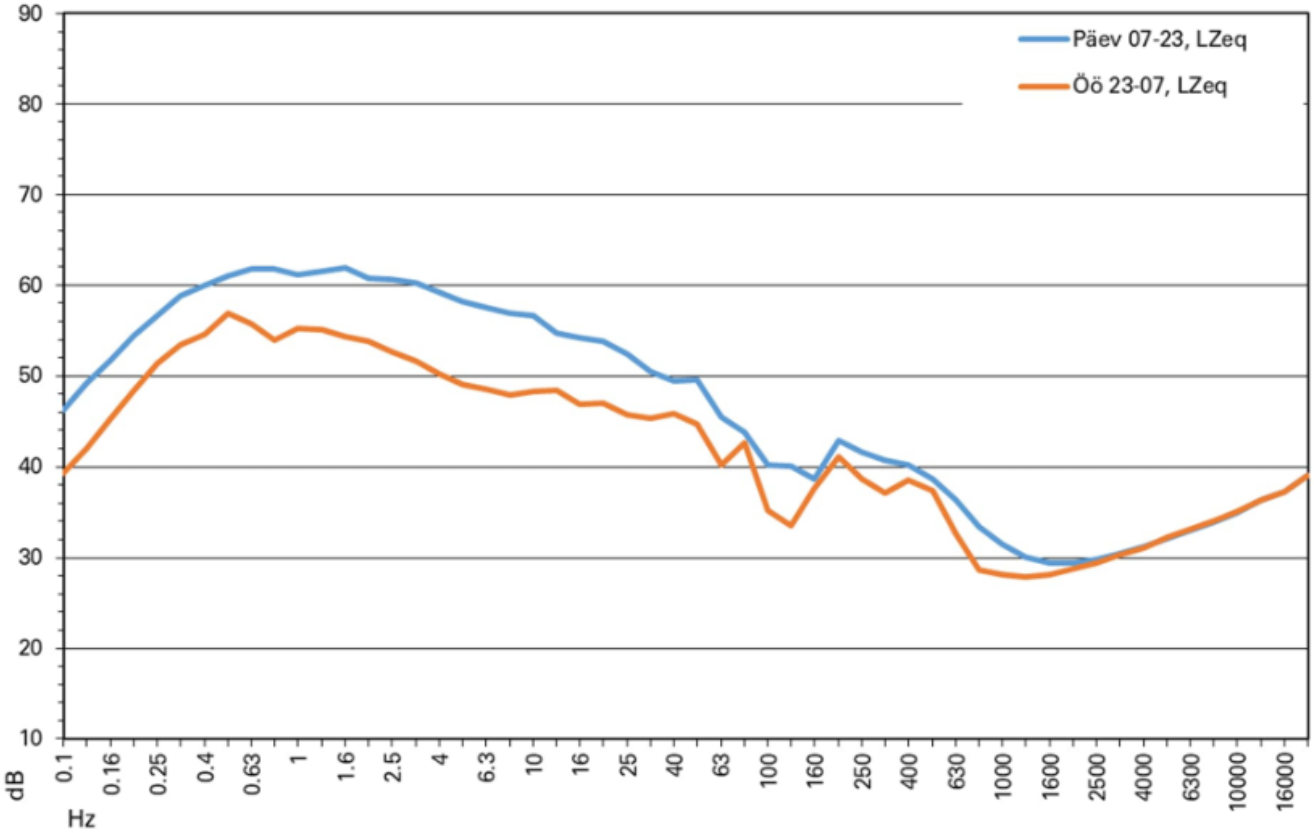
Joonis 11. Virtsu/Esivere/Tooma uurimisala tuulikud ja mõõtmispunktid

Mõõtepunktis 250 m kaugusel ankurtuulikust varieerusid kuuldava heli tunnikeskmised A-kaalutud tasemed L_{Aeq} 43–50 dB (A) vahel ning kaalumata tasemed L_{Zeq} 61–80 dB (Z) vahel. Esimesel mõõtmispäeval kella 15.00–16.00 vahel on spektrogrammil näha vaiksem periood, kus tuulikute labade kiirus on vähenenud ning müratase on madalam kogu spektri ulatuses (Joonis 12).



Joonis 12. Virtsu/Esivere/Tooma uurimisalal mõõtmispunktis RMP1 mõõdetud müratasemete spektrogramm ja labade pöörlemise kiirus (rpm), mis on tähistatud valge joonega.

Ka Virtsu/Esivere/Tooma uurimisalal 250 m kaugusel ankurtuulikust oli üldises kaalumata müratasemes kõige tugevam osa madalatel infraheli sagedustel mis langesid sageduse tõustes (Joonis 13). Võrreldes Aseriaru/Viru-Nigula/Aseri ja Paldiski/Pakri uurimisaladega olid infraheli tasemed oluliselt madalamad ning päeva keskmine kaalumata müratase L_{Zeq} ei ületa 62 dB (Z) ja öö keskmine kaalumata müratase 57 dB (Z).



Joonis 13. Virtsu/Esivere/Tooma uurimisala mõõtmispunkti RMP1 päevase (07.00–23.00) ja öise aja (23.00–07.00) mõõdetud ja puhastatud kaalumata müratasemete keskmised väärtused L_{Zeq}.

Kaugeimas punktis tuulikutest (MP6) tuulekiirusel 3,9 m/s mõõdeti summaarseteks müratasemeteks L_{Aeq} 48 dB (A) ja L_{Zeq} 72 dB (Z), mis on rohkem kui samal ajal tuulikutele oluliselt lähemal (250 m kaugusel) mõõdetud müratase L_{Aeq} 44 dB (A) ja L_{Zeq} 65 dB (Z), mis näitab et tulemust mõjutas peamiselt taustamüra. Puhastatud tasemed olid L_{Aeq} 42 dB (A) ja L_{Zeq} 64 dB (Z).

Hinnatud müratasemed jäid Virtsu/Esivere/Tooma uurimisalal mõõtepunktis RMP1 perioodil 09.03.2026 kell 12.00 – 10.03.2026 kell 12.00 päevasel ajal 47 dB (A) ja öisel ajal 44 dB (A) juurde. Antud mõõtepunkt asus 250 m kaugusel tuulikust, kus ei paikne ühtegi eluhoonet ega ühiskondlikku hoonet ning tegemist pole II kategooria alaga, kui müra piirväärtused II kategooria aladele pole anud punktis ületatud (kuni 60 dB (A) päeval ja kuni 45 dB (A) öösel).

Kokkuvõtvalt võib öelda, et Virtsu/Esivere/Tooma uurimisala müratasemed olid rohkem mõjutatud taustamürast kui tuulikute mürast.

4.5 Mõõtetulemused Nasva uurimisalal

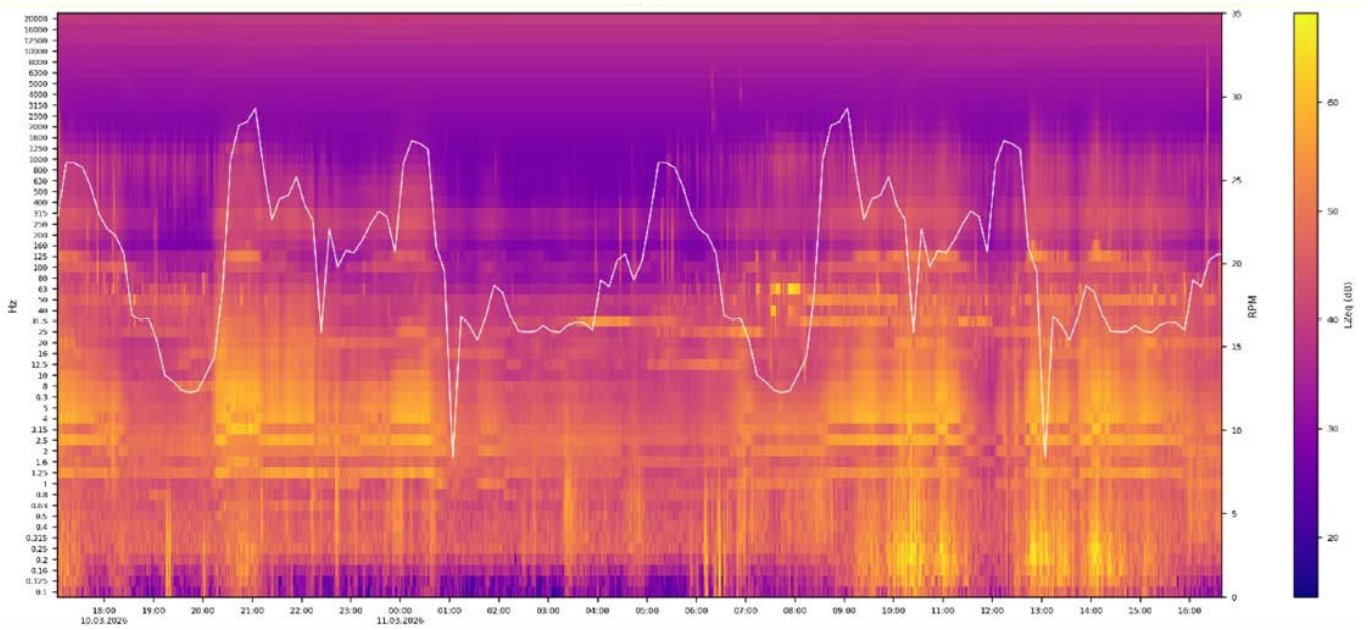
Nasva uurimisalal paikneb neli tuulikut kogukõrgusega 89–144 m. Alal on kokku kolm tuuleparki – Nasva, Nasva I ja Nasva II. Mõõtmisi teostati allatuult ankurtuulikust kaugenedes kuues mõõtepunktis. Mõõtmisperioodi ajal tuulikuid välja ei lülitatud. Tuulekiirused olid mõõtmiste ajal pigem madalad: 0,7–4,8 m/s.



Joonis 14. Nasva uurimisala tuulikud ja mõõtmispunktid

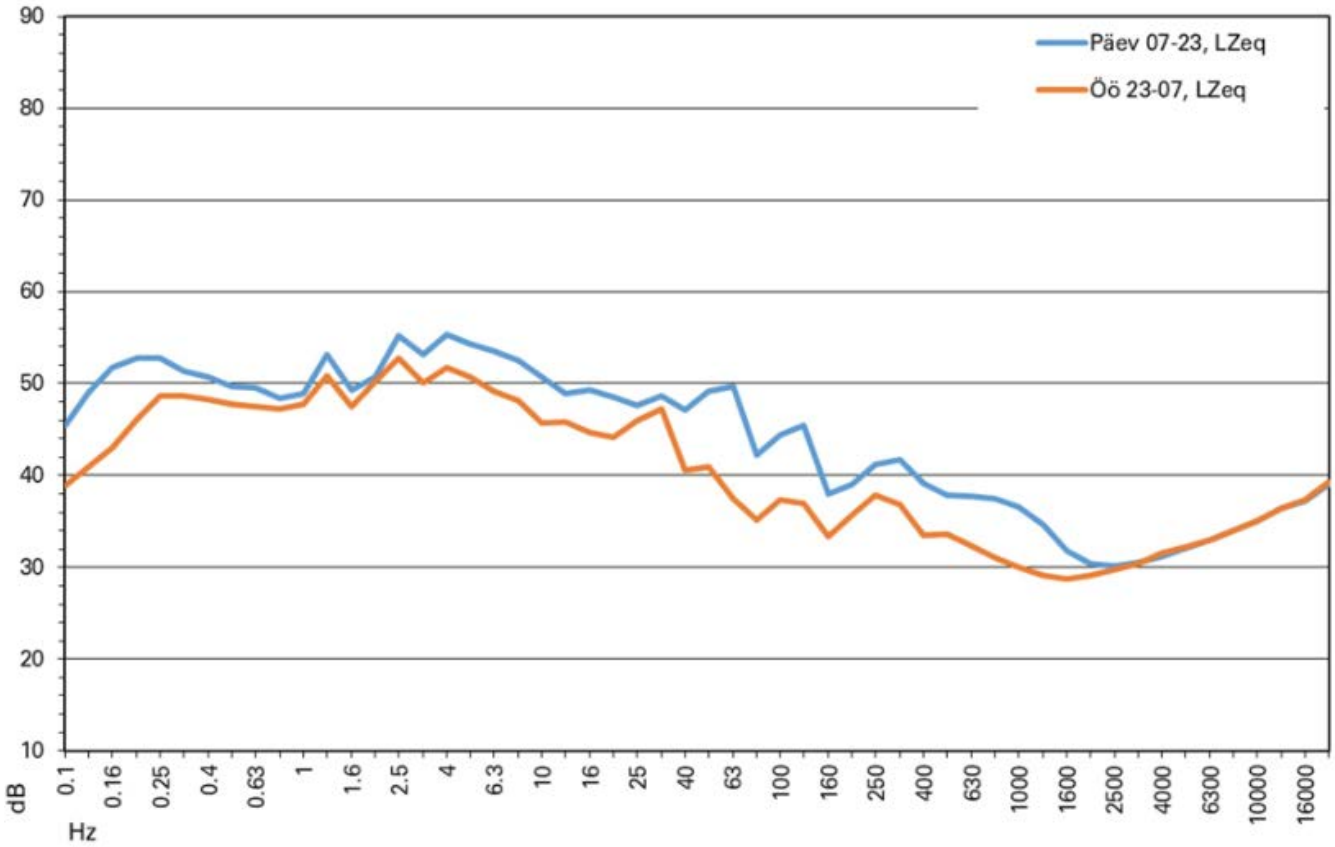
Mõõtepunktis RMP1 (250 m kaugusel ankurtuulikust) mõõdeti A-kaalutud tunni keskmisteks müratasemeteks L_{Aeq} 43–49 dB (A) ning kaalumata müratasemeteks L_{Zeq} 60–71 dB (Z).

Spektrogrammilt on näha, et väga madala sagedusega infraheli (alla 1 Hz) tugevus ei ole seotud tuulikute labade pöörlemise kiirusega (Joonis 15). Samuti puudub seos labade pöörlemise kiiruse ja G-kaalutud helitasemete vahel (Lisa 1, Graafik 19). Tuulikute labade kiiruse langedes on mõnikord vähenenud müratase kuuldavas sageduses, kuid mitte alati.



Joonis 15. Nasva uurimisala mõõtmispunktis RMP1 mõõdetud müratasemete spektrogramm ja labade pöörlemise kiirus (rpm), mis on tähistatud valge joonega.

Päevase ja öise aja keskmine kaalumata helitase on kõrgem madalatel sagedustel (maksimumid 2,5 ja 4 Hz juures), kuid ei ületa öösel 53 dB (Z) ja päeval 55 dB (Z) (Joonis 16). Tulemused on sarnased Ojaküla ja Virtsu/Esivere/Tooma mõõtmisala tulemustega, kuid madalamad kui Paldiski/Pakri ja Aseriaru/Viru-Nigula/Aseri uurimisalal mõõdetud tulemused.



Joonis 16. Nasva uurimisala mõõtmispunktis RMP1 päevasel (07.00–23.00) ja öisel ajal (23.00–07.00) mõõdetud ja puhastatud kaalumata müratasemete keskmised väärtused L_{Zeq} dB (Z).

Kaugeimas punktis tuulikutest (MP2) mõõdeti tuulekiirusel 7,7 m/s kõrvalistest helisündmustest puhastatud müratasemeteks L_{Aeq} 44 dB (A) ja L_{Zeq} 82 dB (Z). Samal ajal mõõdeti 250 m kaugusel puhastatud müratasemeteks L_{Aeq} 49 dB (A) ja L_{Zeq} 71 dB (Z). Kaalumata helitasemete tulemused näitavad, et ka puhastatud tulemused on mõjutatud asula üldisest mürafoonist ja tuulest tulenevatest mürasündmustest, sest helitase ei saa heliallikast kaugenedes suureneda.

Hinnatud müratasemed jäid Nasva uurimisalal mõõtepunktis RMP1 perioodil 09.03.2026 kell 12.00 – 10.03.2026 kell 12.00 päevasel ajal 47 dB (A) ja öisel ajal 44 dB (A) juurde. Antud mõõtepunkt asus 250 m kaugusel ankurtuulikust, kus ei paikne ühtegi eluhoonet ega ühiskondlikku hoonet ning tegemist pole II kategooria alaga. Siiski pole müra piirväärtused II kategooria aladele antud punktis ületatud (kuni 60 dB päeval ja kuni 45 dB öösel).

Kokkuvõtvalt võib öelda, et Nasva uurimisala helitasemed (eriti madalamatel sagedustel) olid rohkem mõjutatud taustamürast kui tuulikute mürast.

6. Kokkuvõte

Uuringu käigus viidi läbi akustilised mõõtmised viiel uuringualal erinevat tüüpi ja võimsusega tuulikute läheduses. Kõikidel juhtudel mõõdeti allatuult 250–2500 m kaugusel ankurtuulikust ning võimalusel peatati tuulepark teatud ajaks, et hinnata selle mõju mõõdetud helitasemetele. Mõõtmisi tehti standarditele vastavate kalibreeritud seadmetega sagedusvahemikus 0,1–20 000 Hz akrediteeritud mõõtmislabori poolt. Kaalumata tunnikeskmised helitasemed varieerusid referentspunktis 250 meetri kaugusel ankurtuulikust (RMP1) tuulikute seismise ajal 70–88 dB (Z) ja tuulikute töötamise ajal 59–93 dB (Z) vahel sõltudes peamiselt tuule kiirusest. Päevased ja öised keskmised infraheli tasemed erinevatel sagedustel 0,1–20 Hz ei ületa ühelgi sagedusel üheski mõõdetud referentspunktis (250 m kaugusel ankurtuulikust) ühelgi mõõdetud tuulekiirusel 80 dB (Z). Tunni keskmine A-kaalutud helitase (kuuldav heli) varieerus referentspunktides tuulikute seismise ajal vahemikus 45–46 dB (A) ning tuulikute töötamise ajal 43–55 dB (A) sõltuvalt tuule kiirusest. Tulemused näitavad, et tuulikute kuuldava heli ja madalsagedusliku heli tase võis 250 m kaugusel ankurtuulikust mõnel uurimisalal, eriti Aseriaru/Viru-Nigula/Aseri uurimisalal, tuulikute töötamise ajal vähesel määral suureneda, kuid üldiselt mõjutasid mõõdetud helitasemeid tugevalt ilmastik, tuul, puude kohin, asulate müra ja muud taustahelid. Kõige madalamate infraheli sageduste 0,1–2,5 Hz puhul ei ilmnenud tuulikute seiskamisel vähenemist ühelgi uurimisalal ning spektrogrammid viitasid pigem sellele, et väga madalsageduslik heli (alla 2,5 Hz) tulenes suuresti tuulest ja muudest looduslikest või keskkonna-allikatest.

Kokkuvõtvalt võib öelda, et tuulikud võivad teatud tingimustel suurendada kuuldavat ja madalsageduslikku heli tuulikute lähedal (250 m kaugusel), kuid mõõdetud infraheli madalaim komponent (alla 0,1–2,5 Hz) ei olnud selgelt tuulikute tööga seotud. Võrreldes referentspunktidega, mis asusid ankurtuulikust 250 m kaugusel, väheneb tuulikute heli kauguse suurenedes ning samal ajal hakkavad üha enam mõju avaldama teised heliallikad, nagu looduslikud helid ja asulates toimuv inimtegevus ning kaugemates punktides domineeris taustamüra. Tulemused kinnitavad vajadust hinnata tuuleparkide mõju pigem kuuldava ja madalsagedusliku heli kaudu, mis oli tuulikute tekitatud helist rohkem mõjutatud kui infraheli kõige madalamad sagedused.

Kasutatud kirjandus

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 (London, England)*, *383*(9925), 1325–1332. 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. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *15*(3). https://doi.org/10.3390/IJERPH15030519

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. *Environment International*, *121*(Pt 1), 794–802. https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2018.10.011

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. *Journal of the American Heart Association*, *8*(14). 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. *Environment International*, *130*. https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2019.104915

Crichton, F., Dodd, G., Schmid, G., Gamble, G., Cundy, T., & Petrie, K. J. (2014). The power of positive and negative expectations to influence reported symptoms and mood during exposure to wind farm sound. *Health Psychology : Official Journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association*, *33*(12), 1588–1592. https://doi.org/10.1037/HEA0000037

Crichton, F., Dodd, G., Schmid, G., Gamble, G., & Petrie, K. J. (2014). Can expectations produce symptoms from infrasound associated with wind turbines? *Health Psychology : Official Journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association*, *33*(4), 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. *Environmental Research*, *142*, 609–614. https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2015.08.016

Crichton, F., & Petrie, K. J. (2015a). Accentuate the positive: Counteracting psychogenic responses to media health messages in the age of the Internet. *Journal of Psychosomatic Research*, *79*(3), 185–189. https://doi.org/10.1016/J.JPSYCHORES.2015.04.014

Crichton, F., & Petrie, K. J. (2015b). Health complaints and wind turbines: The efficacy of explaining the nocebo response to reduce symptom reporting. *Environmental Research*, *140*, 449–455. https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2015.04.016

Freiberg, A., Schefter, C., Hegewald, J., & Seidler, A. (2019). The influence of wind turbine visibility on the health of local residents: a systematic review. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, *92*(5), 609–628. https://doi.org/10.1007/S00420-019-01403-W

Guski, R., Schreckenberg, D., & Schuemer, R. (2017). WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *14*(12), 1539. https://doi.org/10.3390/IJERPH14121539

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

Knopper, L. D., & Ollson, C. A. (2011). Health effects and wind turbines: A review of the literature. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, *10*(1), 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. *Frontiers in Public Health*, *2*(JUN), 63. https://doi.org/10.3389/FPUBH.2014.00063

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. *Journal of Sleep Research*, *30*(4). https://doi.org/10.1111/JSR.13228

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. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *149*(4), 2238–2248. https://doi.org/10.1121/10.0003509

Mattsson, K., Eriksson, G., Persson, L., Chilo, J., & Tatar, K. (2026). Efficient finite difference modeling of infrasound propagation in realistic 3D domains: Validation with wind turbine measurements. *Applied Acoustics*, *243*, 111156. https://doi.org/10.1016/J.APACOUST.2025.111156

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. (2018a). Long-term exposure to wind turbine noise and redemption of antihypertensive medication: A nationwide cohort study. *Environment International*, *121*(Pt 1), 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. (2018b). Long-term exposure to wind turbine noise at night and risk for diabetes: A nationwide cohort study. *Environmental Research*, *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. (2018c). Pregnancy exposure to wind turbine noise and adverse birth outcomes: a nationwide cohort study. *Environmental Research*, *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. (2019a). Impact of Long-Term Exposure to Wind Turbine Noise on Redemption of Sleep Medication and Antidepressants: A Nationwide Cohort Study. *Environmental Health Perspectives*, *127*(3). 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. (2019b). Long-Term Exposure to Wind Turbine Noise and Risk for Myocardial Infarction and Stroke: A Nationwide Cohort Study. *Environmental Health Perspectives*, *127*(3). https://doi.org/10.1289/EHP3340

Scatterty, K. R., VonStein, D., Prichard, L. B., Franczak, B. C., Hamilton, T. J., & Schmaltz, R. M. (2026). Infrasound exposure is linked to aversive responding, negative appraisal, and elevated salivary cortisol in humans. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *20*. https://doi.org/10.3389/FNBEH.2026.1729876

Schmidt, J. H., & Klokker, M. (2014). Health Effects Related to Wind Turbine Noise Exposure: A Systematic Review. *PLOS ONE*, *9*(12), e114183. https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0114183

Teneler, A. A., & Hassoy, H. (2023). Health effects of wind turbines: a review of the literature between 2010-2020. *International Journal of Environmental Health Research*, *33*(2), 143–157. https://doi.org/10.1080/09603123.2021.2010671/ASSET/CB263B43-F0EB-4EF2-94C8-593ADABE314A/ASSETS/IMAGES/CIJE_A_2010671_F0001_B.GIF

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*(1), 77–90. https://doi.org/10.1177/0263092316628257/ASSET/D90140C8-16F5-4714-B165-9A39FD096E84/ASSETS/IMAGES/LARGE/10.1177_0263092316628257-FIG13.JPG

van Kamp, I., & van den Berg, F. (2018). Health Effects Related to Wind Turbine Sound, Including Low-Frequency Sound and Infrasound. *Acoustics Australia*, *46*(1), 31–57. https://doi.org/10.1007/S40857-017-0115-6/FIGURES/3

van Kamp, I., & van den Berg, F. (2021). Health effects related to wind turbine sound: An update. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(17). https://doi.org/10.3390/IJERPH18179133

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*(2), 379. https://doi.org/10.3390/IJERPH15020379

Veber, T., Indermitte, E., Laisaar, K.-T., Katus, U., Kiisk, E., & Orru, H. (2025). *Tuulikute tervisemõjud: süstemaatiline ülevaade viimasel viieteistkümnel aastal eelretsenseeritavates teadusajakirjades avaldatud uuringutest*. https://kliimaministeerium.ee/tuulikute-tervisemojud-sustemaatiline-ulevaade-viimasel-viieteistkumnel-aastal

Wang, W., Yan, Y., Zhao, Y., & Xue, Y. (2024). Studies on the Experimental Measurement of the Low-Frequency Aerodynamic Noise of Large Wind Turbines. *Energies 2024, Vol. 17, Page 1609*, *17*(7), 1609. https://doi.org/10.3390/EN17071609

WHO. (2018). *Environmental noise guidelines for the European Region*. https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053563