

Kliimaministeeriumile

Rene Reisner

MTÜ Kodanike Teadusalgatus Eesti

Kert Lapimaa

**Ettepanekud Tuuleparkide keskkonnamõju hindamise juhendi
täiendavaks ülevaatamiseks infraheli osas**

13.03.2025

Sisukord

Sissejuhatus	3
TKH juhendis esitatud infraheli puudutavate väidete analüüs	3
WTAS tuuleturbiini akustiline signatuur	8
Impulssinfraheli selgitavad sonogrammid ja spektrogramm	13
Infraheli kõrgresolutsiooniga mõõtmine.....	16
G- korrektsioon.....	18
Z-korrektsioon	19
Ettepanekud	21
Kokkuvõte	21

Olles tutvunud värskest avaldatud Tuuleparkide Keskkonnamõju Hindamise (TKH) juhendis¹ väljatoodud infraheli puudutavate argumentidega, pean vajalikuks anda tagasisidet nimetatud peatükile selles juhendis.

Sissejuhatus

Olles kohtunud ja vestelnud mitmete ametkondade esindajatega ning erialaspetsialistidega tuugenitest pärineva infraheli teemal, on iga kord tulnud selgitada viimase erilisust. Sageli arvatakse, et tuugeni tekitatud infraheli on sarnane looduses esineva või inimtekkeliste mehhanismide poolt tekitatava tonaalse infraheliga. Ka THK juhendis on infraheli käsitletud tonaalsena, mis paraku viib eksitavate järeldusteni selle infraheli omaduste osas. Tuleb aga tähele panna, et infraheli, mis tuleneb tuugenist, on impulsilise iseloomuga. Selle fakti tõenduseks toon viited erinevates riikides tehtud mõõtmisraportitele, kus joonistub välja tuugeni akustilise signatuuri baassagedus koos harmoonilise jadaga mida nimetatakse tuuleturbiini akustiliseks signatuuriks (WTAS - *wind turbine acoustic signature*).

Matemaatikas kasutatakse harmoonilist jada perioodiliste sündmuste uurimiseks. Tuugenitest lähtuvad infraheli impulsslained on perioodilised ja langevad kokku harmoonilist jada järgiva matemaatilise seaduspärasusega. Looduses esinev infraheli ei ole matemaatiliselt täpselt korduv ega impulsilise iseloomuga.

TKH juhendis esitatud infraheli puudutavate väidete analüüs

- TKH juhendis on väidetud järgmist: „**Võrdlusriikide analüüsi (Lisa 1) kohaselt ei ole üheski võrdlusriigis kindlaks määratud metoodikat nii maismaa- kui ka meretuuleparkide poolt tekitatava infraheli arvutuslikuks hindamiseks. Riikides, kus tuulikute tööga kaasneva infraheli võimalikku mõju hinnatakse, tuginetakse olemasolevale parimale teadmisele ja varasematele uuringutele ehk mõju hinnang antakse eksperthinnanguna.**“ (lk18)

Ning samuti järgmist: “**Eristuv heli, mida labad teevad mastist möödumisel, nimetatakse müra modulatsiooniks. Selle efekti häirivusega arvestamiseks on vastavate parandustegurite rakendamist hinnatud, kuid täpset metoodikat tuulikute müra modelleerimisel sellega arvestamiseks ja parandustegurite rakendamiseks, pole välja töötatud ega saa modelleerimisel arvestada.**” (lk 10)

Seoses eelpool viidatud väitega, et täpset metoodikat pole välja töötatud, juhin tähelepanu asjaolule, et praeguseks on Uppsala Ülikooli professorid välja töötanud uue müramodelleerimise arvutitarkvara, mis suudab modelleerida ka tuugenijaamade infraheli levikut. Tarkvara modelleerimise tulemusi on võrreldud reaalsete mõõtmistulemustega ja need omavahel kattuvad.

¹ <https://kliimaministeerium.ee/sites/default/files/documents/2025-03/Tuuleparkide%20keskkonnam%C3%B5ju%20hindamise%20juhend.pdf>

Viidatud arvutitarkvara tööpõhimõte on kirjeldatud veebisaidil <https://rhows.com/> järgmiselt:

“Oleme välja töötanud simulatsioonitööriista, mis suudab täpselt ennustada heli levikut suurte vahemaade taha, kus madalsageduslik osa domineerib tänu kõrgsagedusliku heli tõhusale summutamisele atmosfääris. SoundSim360 on võimeline teostama helisimulatsioone keerukates keskkondades, sealhulgas hoonetes. Mudelisse on integreeritud heli peegeldused ja ülekanded hoone fassaadidelt. Simulatsioonitööriist suudab käsitleda ka heli levikut siseruumides. Heli levik läbi seinte sõltub tugevalt sagedusest ning samuti hoone seinte ja lagede ehitusmaterjalidest.

Tuuleturbiinid tekitavad kõrgetasemelist infraheli (sagedused alla 20 Hz). SoundSim360 arvestab realistliku 3D-atmosfääri ja tegeliku maailma topograafiaga, sealhulgas muutuva pinnaseolukorraga. Ainsaks sisendiks on heliallikate asukoht ja helirõhutasemed.”²

Olen isiklikult suhelnud Uppsala Ülikooli professori Ken Mattssoniga ning tema sõnul on tema uurimisrühm koostöös Gävle Kõrgkooliga koostanud teadustöö, mis peaks saama avaldatud mai kuus käesoleval aastal. 10. veebruaril 2025 avaldati Gävle Kõrgkooli veebilehel pressiteate, kus on märgitud, et juba mitu aastat on Gävle Kõrgkooli ja Uppsala Ülikooli teadlased tegelenud tuuleparkide inframüra kaardistamisega, et saada paremat ülevaadet selle levikust ja mõjust tervisele: „Uuringuid tehakse koostöös Uppsala Ülikooli teadlastega, kes on välja töötanud teoreetilise mudeli inframüra leviku kohta tuulegeneraatorite ümbruses. Mudeli kombineerimine Gävle Kõrgkooli teadlaste tehtud mõõtmistega võimaldab saada täpsema ülevaate inframüra levikust ja mõjust.“ Uurimisrühma kuuluv füüsika doktor José Chilo on märkinud: “Oleme teinud mõõtmisi tuuleparkides Norbergis (Västmanland), Åsedas ja Lervikis (Småland) ning võime kinnitada, et inframüra tase turbiinide lähedal võib olla väga kõrge“.

Pressiteates on José Chilo ka toonud välja infraheli negatiivset mõju tervisele ning osutanud puudulikule regulatsioonile: „Me näeme, et inframüra võib põhjustada stressi loomadel ja uneprobleeme inimestel. Samas teame ka, et tuulegeneraatorid tekitavad suhteliselt kõrge mürataseme ja vibratsioonid, mis mõjutavad tervist, kuid ei ole kindel, kas probleemide põhjustajaks on tajutav heli või inframüra. Praegu puuduvad ka spetsiifilised regulatsioonid inframüra käsitlemiseks.“³

- TKH juhendis on esitatud väited, et infrahelil ei olevat justkui olulist mõju inimestele: ***„Arvutuslikke hindamisi läbi ei viida, kuna tuulikute poolt tekitatav infraheli jääb asjakohaste teadusuuringute tulemuste kohaselt alla inimeste tajuläve ja ei oma seetõttu olulist mõju inimeste tervisele. Seetõttu hinnatakse nii Eesti kui muude riikide praktikas infraheli mõju eksperthinnanguna.“*** (lk 15)

² <https://rhows.com/>

³ <https://www.hig.se/artiklar/nyheter/nyhetsarkiv/2025-02-10-infraljud-fran-vindkraftverk-kan-paverka-halsan>

„Teadusuuringud ei ole tuvastatud otsest seost tuulikute poolt tekitatava infraheli ja terviseprobleemide vahel ehk puuduvad tõendatud põhjuslikud seosed: van Kamp ja van den Berg^{46, 47} on meta- ja kirjandusanalüüside põhjal järeldusele, et praeguste teadmiste kohaselt ei ole tõendatud, et tuulikute poolt tekitatav madalsageduslik ja infraheli avaldaks negatiivset mõju tervisele. Samas märgivad nad, et tuulikute tööga kaasnev pidev helitase ja võimalik amplituudi modulatsioon võivad põhjustada müra- ja tulenevat ärritust, kuid seda ei põhjusta niivõrd heli madalsageduslik või infraheli komponent.“ (lk 19)

„Saksamaa Keskkonnaagentuuri (UBA) poolt viidi läbi laboratoorsed uuringud, mis keskendusid infrahelist põhjustatud füüsilise ja psühholoogilise stressi uurimisele, ei täheldatud infrahelist tingitud ägedaid füüsilisi reaktsioone isegi kõrgetel helirõhutasemetel vahemikus 85–105 dB.“ (lk 19)

Juhin tähelepanu asjaolule, et praeguseks on ilmunud ka hulk uuringuid ja ülevaateartikleid, mis osutavad tuuleparkide negatiivset mõju tervisele. See, et erinevate teadustööde autorid on jõudnud erinevatele järeldustele, viitab tõsiasjale, et antud teemas puudub ühtne arusaam. Kuna jutt on võimalikust tervisekahjust, siis tuleks lähtuda ettevaatusprintsipist ning seada esikohale inimeste tervise kaitse. Praegusel kujul on juhend ilmselgelt kallutatud ning on kirjutatud viisil, mis soosib tuuleparkide arendamist ning ignoreerib võimalikke terviseriske.

Siinkohal toon välja mõned allikad paljudest, mis on selgelt näidanud, et tuuleturbiinide mõju tervisele eksisteerib.

Infrahelile kui terviseriskile on näiteks osutanud Saksa teadlased artiklis ***Infrasound from technical installations: Scientific basis for an assessment of health risks*** (2021), kus on järeldanud, et “Täna leitud kinnitavad, et infraheli on sellega kokkupuutuvatele inimestele põhimõtteline terviserisk. Seni on valitsuse algatatud tuuleturbiinide uuringutes jäetud tähelepanuta tegelike emissioonide järsud rõhuimpulsid. On vaja kehtestada piisav ohutusvaru ja viia läbi täiendavad uuringud, et määrata annuse (energia) ja reaktsiooni kõverad peamiste sümptomite jaoks.”⁴

Terviseriskidest on räägitud ka ülevaateartiklis ***Wind turbines and adverse health effects Applying Bradford Hill's criteria for causation*** (2021): “See analüüs jõuab järeldusele, et tuugenite lähedal elamine või töötamine võib põhjustada kahjulikke tervisemõjusid nii inimestel kui ka loomadel. Meie tulemused annavad tugevaid tõendeid selle kohta, et kahjulike tervisemõjude riski tuleks arvestada enne tuuleenergia projektide heakskiitmist ning kavandatud ja toimivate projektide

⁴ <https://www.asu-arbeitsmedizin.com/wissenschaft/wissenschaftliche-grundlagen-fuer-eine-bewertung-gesundheitlicher-risiken-infraschall>

vahekauguste hindamisel. Meie kliiniliste, bioloogiliste ja eksperimentaalsete tõendite analüüsi ning nende vastavuse põhjal üheksale Bradford&Hill (BH) kriteeriumile järeltame, et on suur tõenäosus, et tuugenitest pärinevad emissioonid, sealhulgas infraheli ja madalsageduslik müra (LFN), põhjustavad tõsist kahju tervisele vastuvõtlikel isikutel, kes elavad ja/või töötavad nende läheduses. Need mõjud võivad olla seotud tuugenite põhjustatud sündmustega, nagu korduvad unehäired, ärevus ja stress ning tõenäoliselt ka muu.”⁵

Lisaks teadustöödele, mis käsitlevad just tuugenite tekitatud infraheli mõju, on tehtud ka uuringud, mis on tõendanud infraheli üldist negatiivset mõju. Üks neist on näiteks uuring, kus vaadeldi infraheli mõju südamele: ***Negative Effect of High-Level Infrasound on Human Myocardial Contractility In-Vitro Controlled Experiment (2021)*** “See uuring näitab tugevat negatiivset mõju südamelihaskoe kontraktiilsusele *in vitro* kõrge helirõhutasemega infraheliga (üle 100 dBz) kokkupuutel. See tulemus on ainulaadne, kuna see on esimene tõend, mis demonstreerib infraheli otsest mõju inimese südamefunktsioonile. Mõõdetud efekt, mille kohaselt kontraktsioonijõud vähenes peaaegu 9% iga 10 dBz võrra üle 100 dBz taseme, on märkimisväärne, eriti arvestades, et see mõju ilmnes juba pärast ühetunnist kokkupuudet.”⁶

On uuritud ka infraheli mõju ajutegevusele funktsionaalse magnetresonantstomograafia abil: ***Altered cortical and subcortical connectivity due to infrasound administered near the hearing threshold – Evidence from fMRI (2017)*** “Kokkuvõttes on see uuring esimene, mis näitab, et kuulmisläve lähedal asuv infraheli võib põhjustada muutusi aju aktiivsuses mitmes ajupiirkonnas, millest osa on seotud kuulmisprotsessidega, samas kui teised on olulised emotsionaalse ja autonoomse kontrolli seisukohalt. Need tulemused võimaldavad spekulatsioonidele, kuidas pidev kuulmislävele lähedane infraheli võib organismile patogeenset mõju avaldada. Siiski on nende järelduste kinnitamiseks vaja täiendavaid (eriti pikaajalisi) uuringuid.”⁷

Kõige värskem magnetresonantstomograafia abil tehtud pikaajaline infraheli mõju puudutav uuring on avaldatud 2024. aasta oktoobris: ***Resting state network changes induced by experimental inaudible infrasound exposure and associations with self-reported noise sensitivity and annoyance.*** Uuring käsitleb pikaajalise kuuldamatu infraheli mõju ajutegevusele ning funktsionaalsele ühenduvusele eri ajupiirkondade vahel: “Meie uuring näitab, et pikaajaline kokkupuude kuuldamatu infraheliga sagedusel 6 Hz (80–90 dB) mõjutab puhkeolekuvõrgustike

⁵ https://journals.lww.com/endi/fulltext/2021/06030/wind_turbines_and_adverse_health_effects__applying.1.aspx

⁶ https://journals.lww.com/nohe/fulltext/2021/23090/negative_effect_of_high_level_infrasound_on_human.2.aspx

⁷ <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0174420>

funktsionaalset ühenduvust (FC) ventraalses vaikeolekuvõrgustikus (vDMN), sensomotoorses võrgustikus (SMN) ja täidesaatva kontrolli võrgustikus (ECN). Need võrgustikud ei ole tavaliselt seotud emotsionaalse ja autonoomse regulatsiooniga, vaid kognitiivsete ja sensorsete protsessidega. See erineb ainsast varasemast uuringust, mis käsitles infraheli mõju funktsionaalsele ühenduvusele – selles leiti eksperimentaalse kokkupuute ajal muutusi mandelkehas ja eesmisel tsingulaarkorteksis, mis viitas võimalikule stressivastusele. **Käesolevas uuringus pikaajaline kokkupuude infraheliga kuulmiskeskuse funktsionaalsust ei mõjutanud.** Olulisi muutusi täheldati ECN-is, kus funktsionaalne ühenduvus parempoolses alumises parietaalsagaras suurenes tõelise infraheliga kokkupuute ajal võrreldes platseebokokkupuute tingimustega.”⁸

Rasvases kirjas toodud lauses on toodud välja asjaolu, et infraheli, mis oma iseloomult on inimese jaoks kuuldamatu heli, ei mõjuta kuulmiskeskust, kuid ometi see avaldab mõju teistele ajupiirkondadele. Sellest tulenevalt tuleb seada kahtluse alla ka juhendis esitatud väidet, et infraheli, jääb inimeste tajulävest madalamale. Kusjuures, olles põgusalt tutvunud selle väite juures esitatud allikatega, tekib kahtlus, kas need on siinkohal tõlgendatud õigesti: ***“Ka tuulikud tekitavad töötades infraheli, kuid selle tase jääb teadusuuringute põhjal inimeste tajulävest madalamale 42, 43, 44 . Mõõtmistega on kindlaks tehtud, et juba 85 m kaugusel tuulikute ei esine infraheli tasemel, mis oleks inimestele tajutav.”*** (lk 19)

- Juhendis on viidatud Soomes 2020. aastal tehtud uuringule, tõlgendades seda vääralt: ***“Maijala ja kaasautorid analüüsisid, kas tuulikute poolt tekitatav infraheli võib seletada inimeste poolt teatatud terviseprobleeme (peavalu, pearinglus, unehäired). Täpsemalt viidi läbi küsimustikuuring ja teostati pikaajalisi mõõtmisi ja kuulmiskatseid. Teadlased jõudsid järeldusele, et tuulikute tekitatud infraheli tase jääb tavaliselt alla inimese tajuläve ja ei põhjusta seetõttu tõenäoliselt füüsilisi sümptomeid. Nad oletasid, et teatatud sümptomid võivad olla pigem seotud psühholoogiliste teguritega, nagu individuaalne tundlikkus või negatiivne suhtumine tuulikutesse, mitte aga infraheli endaga.”***

Esiteks on tsitaadi viimases lauses vääralt väidetud, et Maijala uuringus olevat oletatud, et „teatatud sümptomid võivad olla pigem seotud psühholoogiliste teguritega, nagu individuaalne tundlikkus või negatiivne suhtumine tuulikutesse“. Sellist järeldust ega oletust ei ole antud uuringus tehtud. Uuringus on hoopis püstitatud hüpotees, et madalsageduslikust müra olulisem mõju tekitaja võib potentsiaalselt olla tuulikute heli amplituudi kõikumine.

⁸ <https://www.nature.com/articles/s41598-024-76543-2>

Teiseks on antud uuring saanud kriitikat, mistõttu ei saa seda käsitleda põhjapanevaks. Aastal 2021. a meditsiiniajakirjas **ASU (Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin)** avaldatud teadusartiklis ***Infrasound from technical installations: Scientific basis for an assessment of health risks*** on viidatud Soome valitsuse tellitud uuringule, mille käigus teaduskonsortsium jõudis järeldusele, et tuulegeneraatoritest eralduv infraheli ei ole põhjuseks terviseprobleemidele, millest mitmete tuuleparkide ümbruses, umbes 2,5 km raadiuses elavad inimesed teatasid. Meditsiiniajakirja artiklis on toodud välja, et 2020.a Soome uuringus “registreeriti infraheli sagedusi ka alla 8 Hz, kuid seda tehti kolmandiku oktavi spektritena (terssiriba (1/3 oktaaviriba)). Need spektrid koosnevad keskmistatud helirõhu väärtustest kindlaksmääratud sagedusvahemikes, mis katavad ühe kolmandiku oktavist. Keskmistamise tõttu on tuulegeneraatoritest pärinevate helirõhu järskude impulsside, mis tekivad iseloomulikes sagedustes ja sõltuvad tuulikute pöörlemiskiirusest, mõju mõõtmistulemustele vähene (ei registreeri). Selle tulemusel “siluti” ära signatuur, mis on tervisemõjude seisukohalt tõenäoliselt kõige olulisem.” Kirjeldatud on amplituudmodulatsiooniga mitte arvestamist.⁹

WTAS tuuleturbiini akustiline signatuur

TKH Juhendi alusel järeldan, et selle koostajad on eeldanud, et tuugenite tekitatud infraheli on tonaalne, aga mitte impulssiline. See on aga paraku eksitav eeldus. Maailmas eripaigus ja erinevate uurimisrühmade poolt tehtud mõõtmised näitavad, et tuugenitel on oma eriline akustiline signatuur. Tuugeni rootori laba möödumisel tuugeni tornist surutakse õhk laba ja torni vahel kiiresti kokku ja selle tulemusel tekib akustiline lööklaine, mida nimetatakse labasageduseks inglise keeles Blade Pass Frequency. Sellega moodustub baassagedus millelele järgneb rida harmoonilisi sagedusi ja kokku moodustab see tuugeni akustilise signatuuri.

Tuugeni akustiline signatuur viitab tuuleturbiini poolt tekitatud iseloomulikule müra- ja vibratsioonimustrile, mis eristab seda muudest heliallikatest. See hõlmab:

1. Helispektrit – tuulegeneraatorid tekitavad madalsageduslikku müra, sealhulgas infraheli (<20 Hz) ja kuuldavat müra (20 Hz–20 kHz).
2. Müra impulsiivsust – labade pöörlemisel tekib perioodiline müra, mis on seotud aerodünaamiliste efektide ja mehhanismi tööga.
3. Vibratsioonimustrit – tuuleturbiini liikumine tekitab vibratsiooni, mis võib levida nii läbi õhu kui ka pinnase.

⁹ <https://www.asu-arbeitsmedizin.com/wissenschaft/wissenschaftliche-grundlagen-fuer-eine-bewertung-gesundheitlicher-risiken-infraschall>

4. Harmoonilisi ja sageduskomponente – tiivikute pöörlemisega seotud müra võib sisaldada konkreetseid sagedusi ja nende ülemtoone (harmoonilisi), mis sõltuvad pöörlemiskiirusest ja turbiini konstruktsioonist.
5. Ajaliselt muutuvat käitumist – sõltuvalt tuule kiirusest ja suunast võib tuulegeneraatori signatuur varieeruda.

Arvestamine tuugeni akustilise signatuuriga on oluline tuulepargi müra ja vibratsiooni mõju hindamisel, sest see võimaldab eristada tuulepargi müra muudest keskkonnamüradest ja hinnata selle võimalikku mõju inimeste tervisele ning elukeskkonnale.

Täna kehtivale seadusandlusele tuginedes ja mõõtmisi kavandades ei ole võimalik kindlaks teha tuugenist tulenevat signatuuri. **Selle tõttu on ka Saarde vallas läbiviidud müramõõtmiste tulemusel jõutud eksitava järelduseni, et tuugenitest tulenev müra ei ole impulssmüra.** Kuna akustikaga tegelevad akrediteeritud asutused viivad läbi mõõtmisi vastavalt seadusandlusele, siis ei ole nendel asutustel põhjust hankida seadmeid, mis seisaks kõrgemal kui seadusandluses nõutud täpsusklass.

Nagu öeldud on tuugenist tulenev infraheli väga spetsiifilise iseloomuga ja selle registreerimiseks on vaja kõrgresolutsiooniga mõõteaparatuuri. Seda on oluline mõista enne kui hakatakse hankima mõõteaparatuuri tuugenitest tulenevate infraheli häiringute mõõtmiseks ning tervist mõjutavate asjaolude väljaselgitamiseks.

Miks ei saa täna sotsiaalministri määruses nr 75 kirjeldatud kasutades mõõtmistel registreerida tuugeni signatuuri? Vastus peitub selles, et mõõtmisi viiakse läbi 1/3 oktaaviribas kasutades helirõhu esitamisel G-korreksiooni. Käesoleva dokumendi peatükis „Kõrgresolutsiooniga infraheli mõõtmine” on kirjeldatud täpsemalt, miks G-korreksiooni kasutades ei ole tehniliselt võimalik registreerida tuugeni signatuuri. Näiteks 1 Hz või madalama sageduse juures teeb 1/3 oktaaviriba analüüs impulsilise infraheli mõõtmise võimatuks, selle meetodi äärmiselt madala resolutsiooni tõttu. Kui nüüd lisada eelmainitule 1 või 10 minutiline mõõtmise samm, mille käigus keskmistatakse kogu mõõtmisperioodi jooksul registreeritud andmed, ei olegi võimalik heliimpulsse registreerida. Jääb vaid ekvivalentne (Leq) helirõhutase. Seadusandluse järgi on kõik korrektne, aga tegelikult jääb reaalne helimaastik registreerimata. **Seega hetkel kehtiva seadusandluse kohaselt infraheli mõõtmiste teostamisel ei ole tehniliselt võimalik registreerida tuugeni akustilist signatuuri.**

Järgnevalt on toodud mõned näited, kus mõõtmiste käigus on tuvastatud tuugeni signatuur. Mõõtmisi on tehtud erinevates riikides ja erinevate uurimismeeskondade poolt. Esimest korda on

tuugeni signatuuri mainitud aastal 1987 (Kelley et al.1987)¹⁰, mil USA Energeetikaministeerium ja NASA andsid dr Neil Kelley'le ja tema kolleegidele Solar Research Institute'is (mis hiljem muutus USA Energeetikaministeeriumi Riiklikeks Taastuvenergia Laboratooriumiteks) ülesande uurida Boone'i elanike kaebuste võimalike põhjusi.¹¹ Eksperimentaalse uuringu põhjal tuvastas Kelley tuuleturbiinidele iseloomuliku akustilise signatuuri ning, mis veel olulisem, ta esitas protsessi, mille abil saab mõõta ja määrata tuuleturbiini madalsagedusliku müra häirivust, mille alusel koostas ta tabeli, mis näitab tuuleturbiini madalsagedusliku müra häirivuspotentsiaali. Kelley poolt esitatud protsessi kohaselt mõõdetakse tuuleturbiini müra 1/3-oktavriba kaupa sagedusvahemikus 5–100 Hz. Müra levikut siseruumidesse määratakse arvutuslikult, seejärel arvutatakse ekvivalentne müratase. Saadud detsibellitase võrreldakse Kelley uuringus esitatud tabeliga. **Selle tabeli kohaselt tajub inimene impulsiivset madalsageduslikku heli tasemel 53 dB (lin), müra muutub häirivaks tasemel 57 dB (lin) ja vastuvõetamatult häirivaks tasemel 60 dB (lin).** Seega on ammu teada tuugenist tingitud madalsageduslik impulssmüra ja selle häiriv mõju tuugenite läheduses elavatele inimestele. Ehk võiksime töös väljatoodud normtasemed võtta aluseks ka Eestis?

Tuugeni signatuur on tuvastatud ka Austraalias aastal 2014 valminud raportis, kus on esitatud Cape Bridgewateri tuulepargi läheduses läbiviidud akustiliste testimiste tulemused: “Käesolevas aruandes esitatud materjal on seotud uuringuga, mis viidi läbi kolmes majas Cape Bridgewateri tuulepargi läheduses Edela-Victorias. Uuringu tellis Pacific Hydro, et uurida nende kolme maja elanike poolt esitatud mürakaebusi, ilma uurimisele piiranguid seadmata. Pacific Hydro määratles müra ja vibratsiooni seire eesmärgiks kindlaks teha, kas teatud tuuleolud või teatud helitasemed põhjustavad häiringuid, mida konkreetset kohalikud elanikud Cape Bridgewateris kogevad. Uuringus osalenud elanikud andsid uurijatele piiramatut juurdepääsu oma kinnistutele üheksa nädala jooksul, et teostada mõõtmisi nii siseruumides kui ka välitingimustes. Samuti lahkusid nad oma kodudest mitmeks ööks, et võimaldada kohapealset seiret nende kodudes. Elanikud pidasid uuringu vältel päevikut, kuhu nad kirjutasid oma tähelepanekud ja kommentaarid. Samuti osalesid nad aruteludes ja konsultatsioonides, jagades oma kogemusi kogu uuringu vältel. Pacific Hydro võimaldas piiranguteta juurdepääsu tuulepargile, et viia läbi mõõtmisi, mis võiksid uuringut toetada. See uuring paistab Austraalias silma kui esimene omataoline koostöö tuulepargi operaatori ja kohalike elanike vahel. Seetõttu annab see väärtuslikku teavet, mida tavapärased

¹⁰ A Proposed Metric for Assessing the Potential of Community Annoyance from Wind Turbine Low-Frequency Noise Emissions. (1987) <https://www.nrel.gov/docs/legosti/old/3261.pdf>

¹¹ <http://docs.wind-watch.org/Infrasound-wind-turbines-4-August-2015.pdf> (lk 7)

ühepoolsed akustilised hindamised ei sisalda. Aruandes esitatakse teave, järeldused ja soovitused, mis võivad aidata teistel osapooltel tuulepargi "müra" uurimisel.”¹²

Samuti 2013. aastal Austraalias avaldatud analüüsis tuvastati tuugenisignatuur: “Selles uuringus on tuvastatud mitmeid spektraalseid omadusi, mis võivad jääda tähelepanuta, kui analüüs põhineb ainult ajaliselt keskmistatud kolmandikuoktaavi tasemetel. On kindlaks tehtud, et eksisteerivad kaks tooni sagedustel umbes 28 Hz ja 46 Hz, mille vastavad rms-helirõhutasemed on lähedased enamiku inimeste kuulmislävele üksiksageduslike helide korral. Samuti on näidatud, et need toonid on amplituudmodulatsiooniga sagedusel umbes 0,8 Hz, mis vastab labade möödumise sagedusele (BPF). 15 dB amplituudmodulatsioon muudab selle müra palju märgatavamaks ja häirivamaks, kui oleks pidev tonaalne heli, mille alusel kuulmisläved on määratud.”¹³

Sama ka 2014. aastal Austraalias valminud juhtumiuuringus: “Esitatakse kahekanaliliste samaaegsete helisalvestuste tulemused väljas ja magamistoas Leonards Hilli tuulepargis, kus töötab kaks Repower 2MW MM82 tuugenit. Analüüs näitab amplituudmodulatsiooni dünaamilist mõju heli sumbumisele kahe mõõtekohaga ning toob esile, kuidas välis- ja sisekeskkonna heli summutus on teatud toa resonantssagedustel häiritud. Arutletakse erinevate mõõtemetodite üle ja jõutakse järeldusele, et helitaseme 10 Hz valimissagedus on ebapiisav, et täpselt määrata amplituudmodulatsiooni miinimumide ja maksimumide vahelist erinevust. Esitatakse ka infraheli mõõtmistulemused, mis näitavad, et amplituudmodulatsioon on jälgitav ka alla 20 Hz sagedustel, mistõttu võib madalsageduslikku infraheli samuti käsitleda amplituudmodulatsioonina.”¹⁴

¹² THE RESULTS OF AN ACOUSTIC TESTING PROGRAM CAPE BRIDGEWATER WIND FARM 44.5100.R7:MSC (2014) <https://docs.wind-watch.org/Cape-Bridgewater-Acoustic-Report.pdf>

¹³ Analysis of Unweighted Low Frequency Noise and Infrasound Measured at a Residence in the Vicinity of a Wind Farm (2013) https://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/AAS2013/papers/p24.pdf

¹⁴ AMPLITUDE MODULATION CASE STUDY AT THE LEONARDS HILL WIND FARM, VICTORIA, AUSTRALIA (2014) <https://docs.wind-watch.org/IOA-AMpaper.pdf>

Tuuleturbiinide akustilisest signatuurist on kirjutatud ka raamatu **“Management of Noise Pollution”** peatükis **“Infrasound Exposure: High-Resolution Measurements Near Wind Power Plants”**, kus on märgitud järgmist: “See peatükk keskendub infraheli (≤ 20 Hz) müratasemele, mida on registreeritud tuuleparkide lähedal asuvates kodudes ja nende ümbruses. Hoolimata kohalike elanike pidevatest kaebustest ei ole seni leitud rahuldavat akustilist seletust, mis õigustaks seda laialdast probleemi.

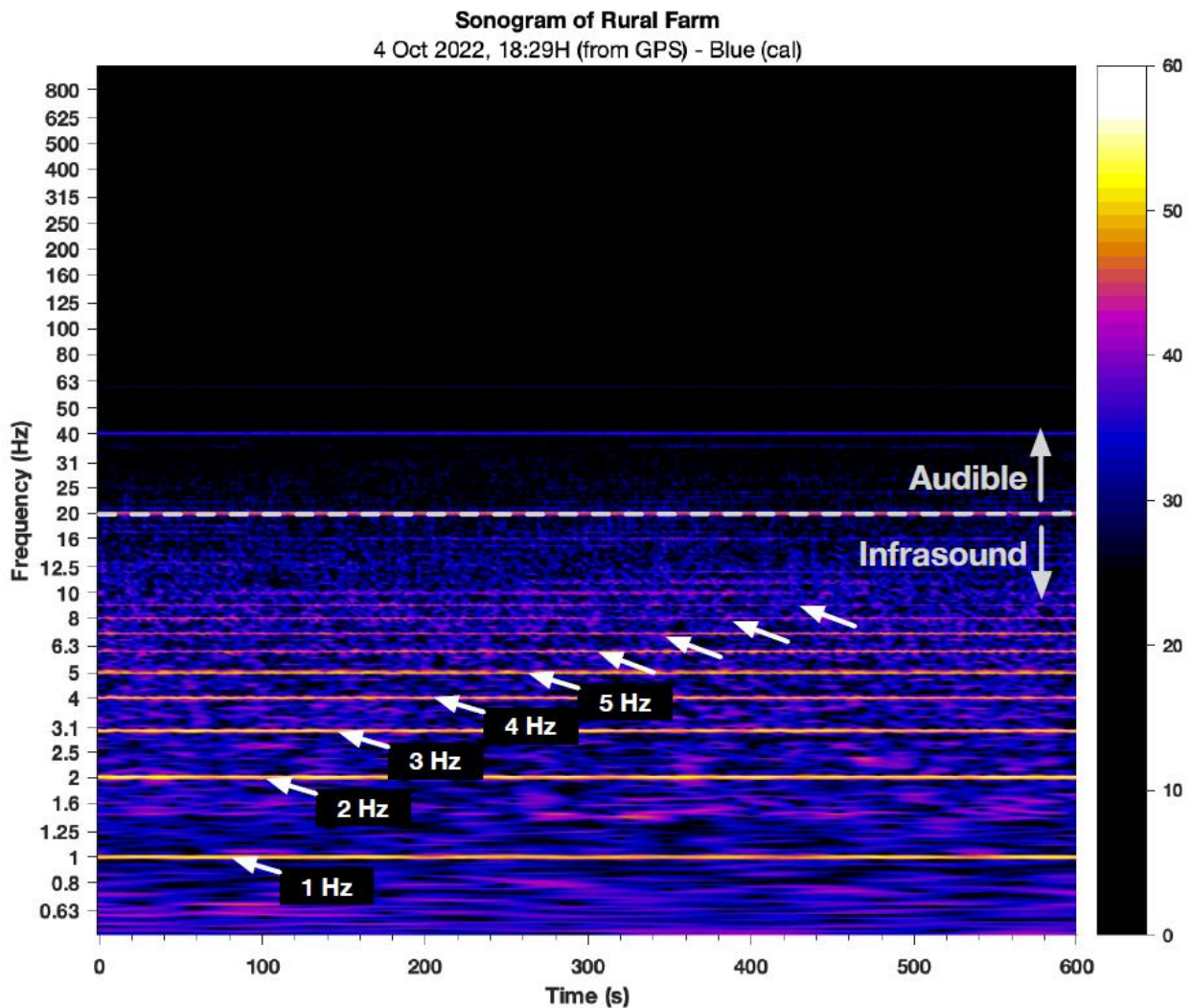
Paljudes kodudes üle maailma on tehtud pikaajalisi (mitmepäevaseid), kõrge lahutusvõimega salvestusi, kasutades 1/36 oktavi spektraalset eraldusvõimet ja 1-sekundilisi ajalisi sammusid. Need salvestused on paljastanud tuulikute akustilised signatuurid, mis koosnevad õhus levivate rõhupulsside jadadest. Spektraalanalüüsis tuvastatakse need harmooniliste seeriatena, mille põhisagedus langeb kokku tuuliku labasagedusega.

Käesolev aruanne dokumenteerib kolm juhtumit (Portugal ja Šotimaa). Tuuliku akustilise signatuuri suurimad tipud (kuni 25 dB üle taustamüra) esinesid sagedusvahemikus 0,5–5 Hz, mida klassikaliselt peetakse inimese kuulmislävest madalamaks. Siiski näivad need “kuuldamatud” nähtused esile kutsuvat tugevaid bioloogilisi reaktsioone. Arvestades nende harmooniliste seeriade tippe, tehakse ettepanek kasutusele võtta uus mõõdik, mis aitaks määrata infraheli doosi ja sellele reageerimise seoseid. See uus meetoodika võib olla rakendatav nii keskkonna- kui ka töölase infraheli mõju hindamiseks.”¹⁵

¹⁵ Infrasound Exposure: High-Resolution Measurements Near Wind Power Plants. (2022)
<https://www.intechopen.com/chapters/85225>

Impulssinfraheli selgitavad sonogrammid ja spektrogramm

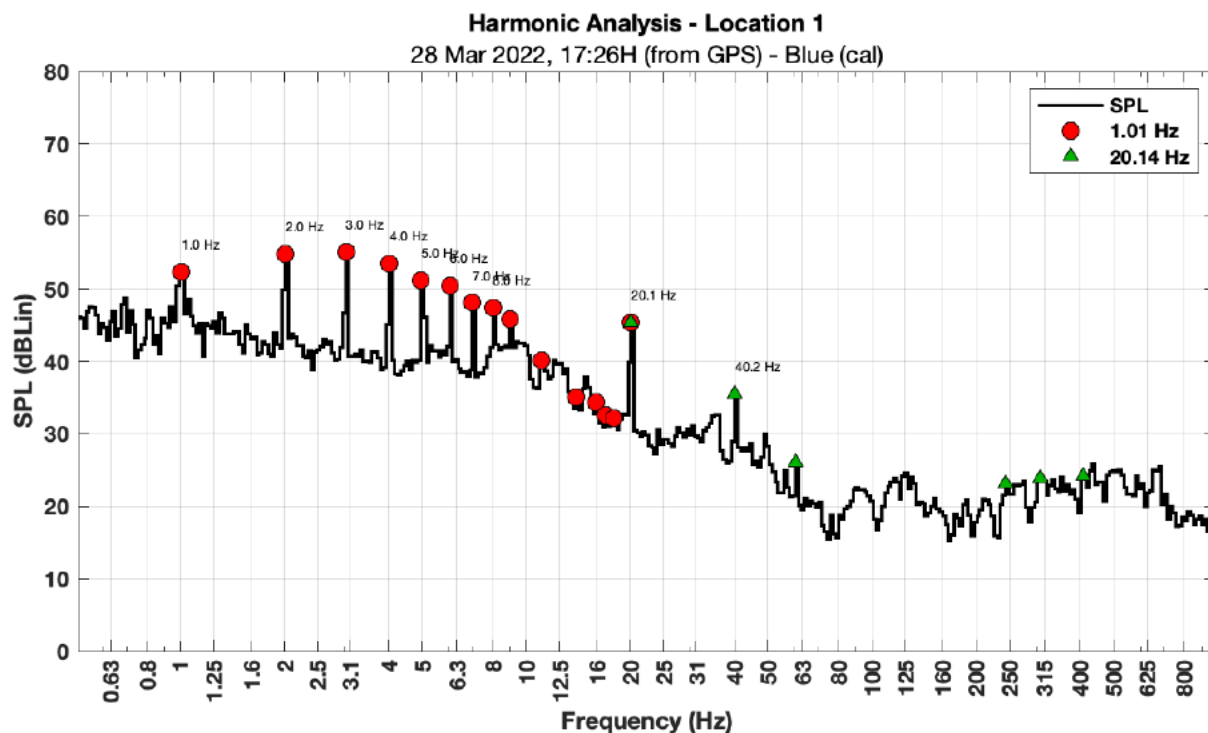
Siinkohal toon piltlikult välja, mida tähendab tuugeni signatuur sonogrammi ja spektrogrammi kujul. Materjal pärineb IARO (*International Acoustic Research Organization*) mõõteraportist *Annex A: Technical Background for Laypersons*.¹⁶



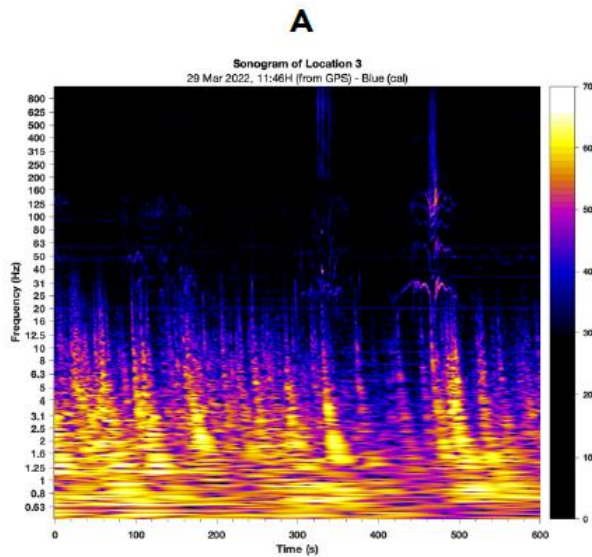
Joonis 1. Sonogramm, mis näitab WTAS-i (tuugeni akustilist signatuuri) olemasolu. See 10-minutiline segment salvestati Šotimaa maapiirkonnas asuvas farmis (18:29, 4. oktoobril 2022, mikrofoni magamistoas). Tunni jooksul, mille vältel see 10-minutiline segment salvestati, oli keskmine tuulekiirus 3,0 m/s (11 km/h) edelast ($W_{sp} = 3,0$ m/s (11 km/h), $W_{dir} = SW$). Horisontaalsed jooned näitavad rõhupulsside jada, millest igaüks eraldub turbiinist iga kord, kui laba läbib teatud osa oma pöörlemisest torni juures.

Selgitus sonogrammi lugemiseks: X-teljel on märgitud aeg sekundites, Y-teljel sagedus Hz ja paremal servas värvidega on märgitud heli rõhk dB(Lin)

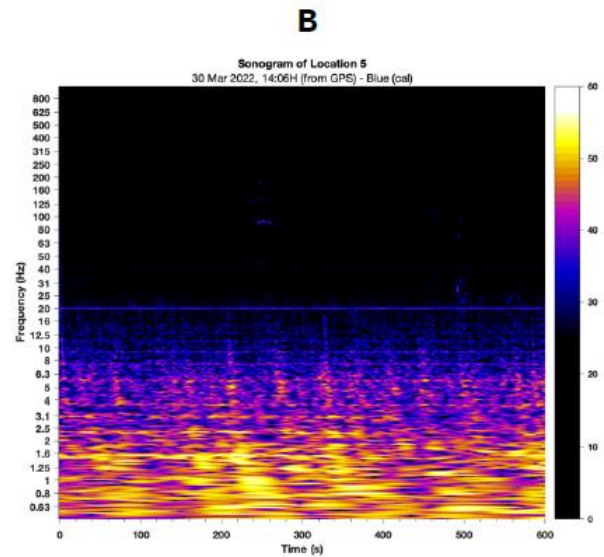
¹⁶ <https://iaro.org.nz/wp-content/uploads/2024/02/Annex-A-Technical-REDACTED.pdf>



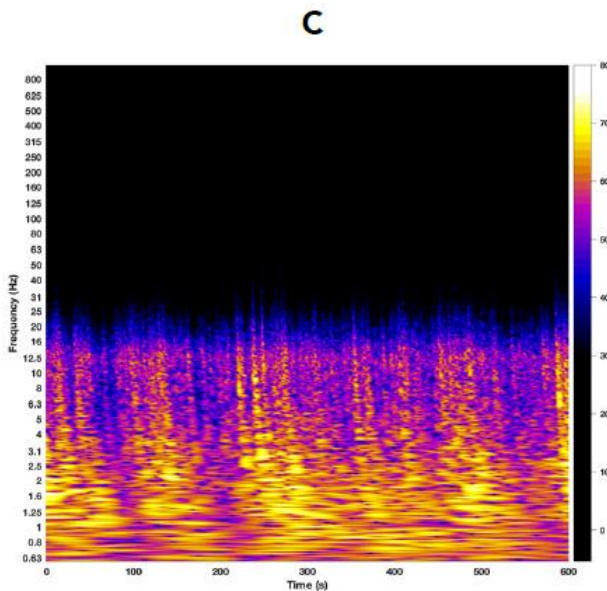
Joonis 2. Kümne minuti salvestis (spektrogramm) 1 sekundilise sammuga Šotimaa maapiirkonnas asuvast farmist, alates kella 17:26 (28. märts 2022, tuule kiirus 1,9 m/s (7 km/h), tuulesuund NW, mikrofoni asus kontoris). IARO analüüs: 1/36 oktaaviribas, korrigeerimata dB. Tugeva WTAS-i (tuugeni akustiline signatuur) esinemine on selgelt tuvastatud — harmooniline seeria põhisagedusega 1 Hz.



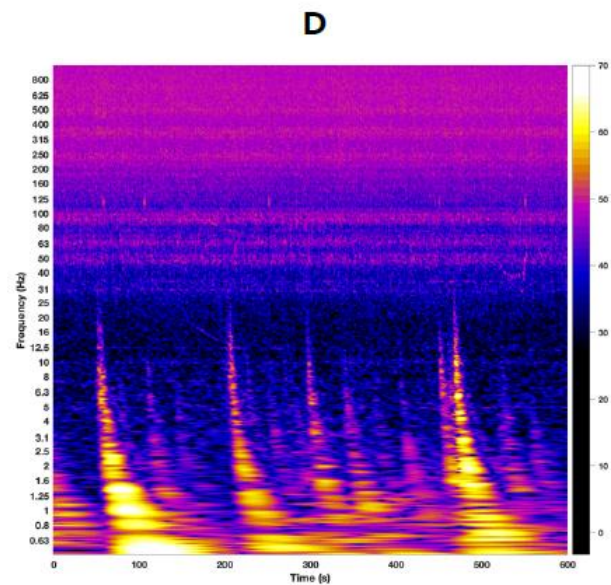
Location 3, Rural Farm, Scotland
29 Mar 2022 at 11:46H



Location 5, Rural Farm, Scotland
30 Mar 2022 at 14:06H



Beach, Rømo Island, Denmark
13 Dec 2016 at 01:10H



Roaring Stream, Ballantrae, Scotland
24 Aug 2017 at 09:00H

Joonis 3. Neli sonogrammi, mis on näiteks toodud tuulepuhangutest (A ja B), lainemürast (C) ja veekogu voolumürast (D). Tuulepuhangud, lained ja veemüra on iseloomulikud kõrgete, kolmnurksete kujunditega, mis on sonogrammi all (infraheli vahemikus) paremale kaldu. Pange tähele oja (D) valjusust kuuldavas vahemikus (ülemine roosa ala, pidevalt 50 dB või kõrgemal) võrreldes teiste näidetega, kus kuuldavad helid on palju madalamal tasemel.

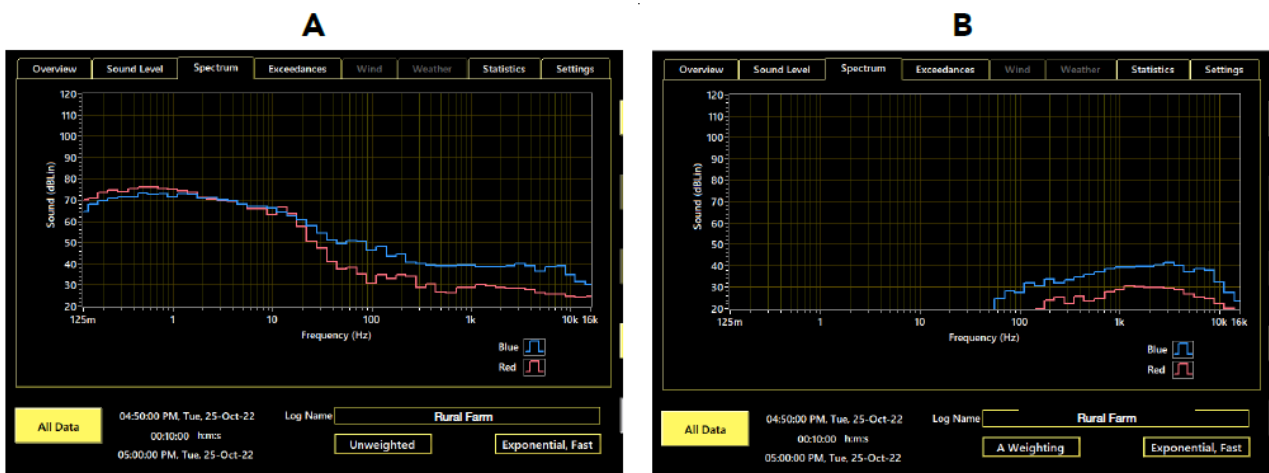
Infraheli kõrgresolutsiooniga mõõtmine

Mõõtmised mida täna tehakse vastavalt seaduses ja standardides ettenähtud metoodikatele, ei ole võimelised registreerima impulssinfraheli madalamat spektrit. Selleks tuleb kasutada oluliselt täpsemaid mõõtevahendeid.

- Esiteks mõõta mitte 1/3 oktaviribas vaid olulisemalt kitsamas ribas (n.1/36 oktaviribas).
- Teiseks tuleb helirõhku (SPL) mõõta/esitada lineaarselt (dB(Lin)) ilma korrektsiooni filtriteta (A, G, Z).
- Kolmandaks tuleb mõõta helirõhku mitte minutilise sammu või mõne muu ajalise sammuga esitades mõõtmisperioodi jooksu salvestatud tulemused ekvivalentsena, vaid mõõta vähemalt 1 sekundilise sammuga ja tulemused esitada ilma keskmistamata.

Milliseid seadmeid on mujal maailmas kasutatud kõrgeresolutsiooniga mõõtmiste tegemiseks saab lugeda eelmainitud viidetelt.

Näide kõrgresolutsiooniga mõõteseadme tööst mille on välja töötanud IARO (*International Acoustic Research Organization*) akustikud ja teadurid millesse on pandud aastatepikkune infraheli mõõtmiste kogemus.



Joonis 4. Salvestamine toimus Šotimaa maapiirkonna talus kell 16:50 (25. oktoober 2022).

Sinine mikrofoni asetati õue ja punane mikrofoni elutuppa. Tuulekiirus (Wsp) oli 7,2 m/s (26 km/h) ja tuulesuund (Wdir) SSE (kagu-kagu). Sinised jooned kajastavad andmete salvestust sinise mikrofoni ja punane joon punase mikrofoni.

A. ilma korrektsioonita.

B. rakendatud A-korrektsioon.

Selgelt on näha, kui rakendatakse A-korrektsiooni (B), on kõverad kärbitud ega kajasta füüsilist tegelikkust nii nagu korregeerimata helirõhu taseme korral (A).

Allolevas tabelis on välja toodud peamised olulise tähtsusega parameetrid, millest sõltub seadme impulsinfraheli mõõtmise võimekus.

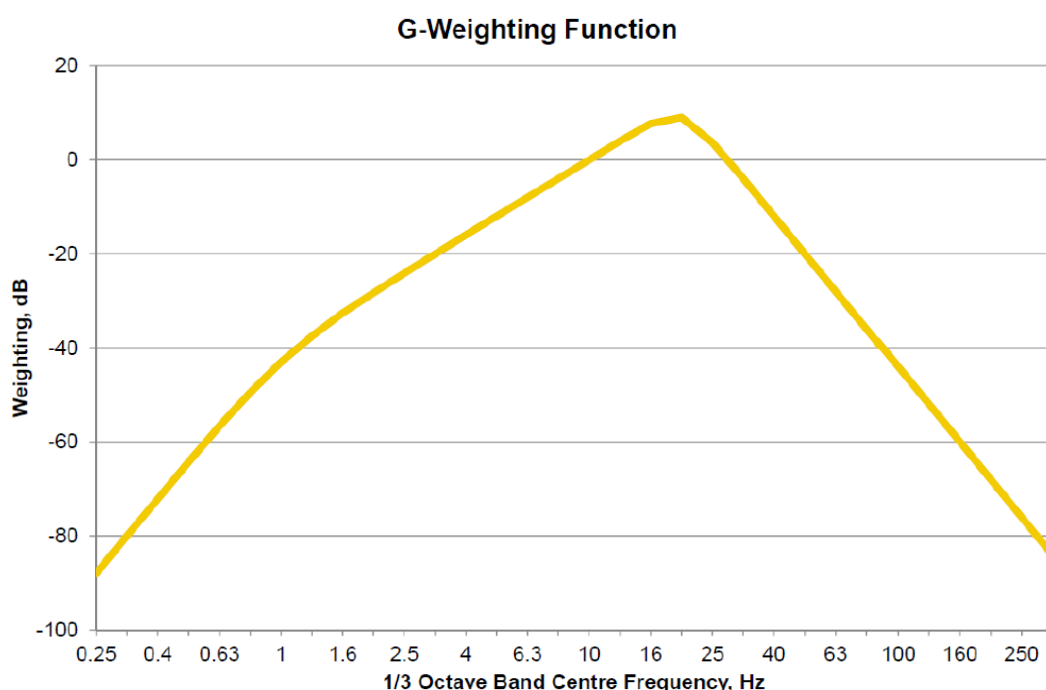
Parameter	IARO	Other
Frequency resolution	1/36 th of an octave	1/3 rd of an octave
Time resolution	Second by second	10-minute averages*
Frequency-weighting	None (Unweighted)	A-, C- or G-weighting

*1-minute and 10-second averages are also included in some situations.

All olevatel joonistel on välja toodud G ja Z korrektsiooni kõverad ja argumendid miks nende filtrite kasutamine madalas infraheli spektris mõõtmiseks ei sobi. A-korrektsiooni kõver ei ole ka Eesti seadusandluses infraheli mõõtmisteks ette nähtud, seega ei kajasta seda käesolevas raportis.

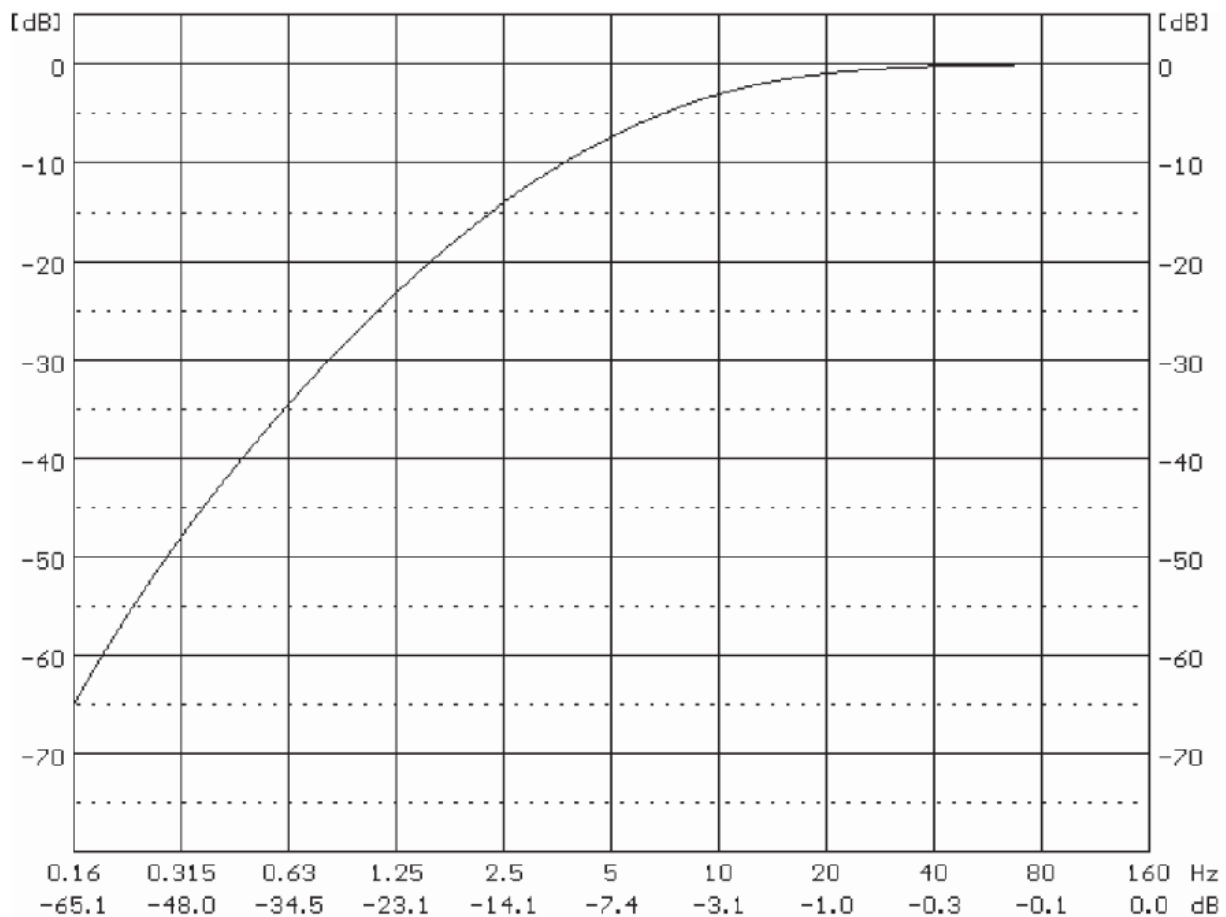
G- korrektsioon

Kuna tuugenist tulenev impulsiline infraheli sagedus võib jääda alla 1Hz on täna kehtiva määruse nr 75 ja standardi ISO 7196 kohaselt seda pea võimatu mõõta. 1. klassi mõõteseadme eraldusvõimeks on harilikult 1/3 oktaavi. Lisaks on määrusega nr 75 paika pandud korrektsiooni filter G. **dB(G) tugevalt alahindab mõõdetud helirõhku sagedustel, mis jäävad 10Hz allapoole.** 1 Hz sageduse puhul alahindab dB(G) filter helirõhku 50dB võrra. Seega sellise filtriga 1 Hz sagedust mõõtes tuleb mõõdetud helirõhule liita 50dB, et saada reaalne keskkonnas olev helirõhu väärtus. Määrus nr 75 ega ka ISO7196 sellist helirõhu mõõtetulemuse korrigeerimist ette ei näe.



Joonis 5. G-sageduskaalutuse filtri sagedusreaktsiooni kõver. Kaks andmepunkti saavad nullkorrektsiooni: 10 Hz ja 31,5 Hz. Teisisõnu mõõdab G-korrektsiooniga helitaseme mõõtja (SLM) füüsilist reaalsust täpselt ainult kahel sagedusel – 10 Hz ja 31,5 Hz. Nende üksikute andmepunktide vahel (10–31,5 Hz sagedusvahemikus) ülehindab G-korrektsioon helirõhutaseme (SPL) väärtust, mis tähendab, et SLM näitab kõrgemat dBG taset, kui tegelikult füüsiliselt olemas on. Kui sagedus langeb alla 10 Hz, suureneb korrektsiooni väärtus märkimisväärselt. 1 Hz juures on füüsilise reaalsuse ja SLM-i (sound level meter) mõõdetud väärtuste erinevus 50 dB.¹⁷

¹⁷ 5th International Conference On Wind Turbine Noise Denver 28-30 August 2013: The Measurement of Infrasound and Low Frequency Noise for Wind Farms (amended version)
[http://acoustics.com.au/media/The_measurement_of_infrasound_and_low_frequency_noise_for_wind_farms_\(amended\).pdf](http://acoustics.com.au/media/The_measurement_of_infrasound_and_low_frequency_noise_for_wind_farms_(amended).pdf)



Low band frequency characteristics of Z filter implemented in the instrument

Z-korreksioon

Sarnane moonutus võib tekkida ka dB(Z) filtrit kasutades, kus madalaid sagedusi mõõtes tugevalt alahinnatakse tegelikku helirõhku, mis peaks justkui korrektsioonita olema. Nii nagu all jooniselt näha on Z-filtri kõver 20Hz juures -1dB tegelikust. 1Hz juures on erinevus tegeliku ja mõõdetud helirõhu vahel üle 23dB. Z-korreksiooni Eesti vabariigi määrustega ei ole reguleeritud kuid siin toon selle lihtsalt informatsiooniks. Tihti eksitakse dB(Z) nimetama kui lineaarset helirõhu mõõtmistulemust.

Joonis 6. Kui müra kirjeldamiseks kasutatakse dB(Z) üldväärtust, siis nagu dB(G) filtri kõvera puhul, alahindab dB(Z) üldväärtus labade möödumissageduse ja selle madalamate harmooniliste panust.¹⁸

¹⁸ 5th International Conference On Wind Turbine Noise Denver 28-30 August 2013: The Measurement of Infrasound and Low Frequency Noise for Wind Farms (amended version)
[http://acoustics.com.au/media/The_measurement_of_infrasound_and_low_frequency_noise_for_wind_farms_\(amended\).pdf](http://acoustics.com.au/media/The_measurement_of_infrasound_and_low_frequency_noise_for_wind_farms_(amended).pdf)

Ettepanekud

- *Lähtuda ettevaatusprintsibist ning arvestada juhendis edaspidi teadusuuringutega, mis on leidnud seose infraheli ja terviseprobleemide vahel, millele on ka käesolevas töös viidatud.*
- *Väga kriitiliselt üle vaadata ohutud kaugused elamutest tuugenite planeerimisel ning lähtuda nende kauguste määramisel teadusest mitte poliitilisest otsusest.*
- *Tuugenite madalsagedusliku müra puhul arvestada impulssinfraheliga ning mitte võrrelda seda tööstusmüra, maanteemüra või mõne muu loodusliku/mitteloodusliku tonaalset (mitteimpulsilist) inframüra tekitava allikaga.*
- *Lähtuda Kelley et al.1987 välja pakutud impulsilise inframüra piirnormidest kuni selgub täpsem teadmine, tuginedes tänaste tuugenite parameetritele.*
- *Infraheli mõõtmiste planeerimisel arvestada mõõteseadmetega millel on võimekus mõõta helirõhku lineaarselt ilma korrektsiooni filtreid kasutamata ning kitsamas sagedusribas kui 1/3 oktaavi 1 sekundilise sammuga.*
- *Tuugenitest tuleneva tervisemõju hindamise protsessi (KSH&KMH) kaasata meditsiinilise taustaga spetsialiste.*
- *Värskelt avaldatud Tuuleparkide Keskkonnamõju Hindamise juhendis infraheli puudutav peatükk uuendada koostöös MTÜ Looduse ja Inimeste Eest töögrupiga.*

Kokkuvõte

Tuuleparkide keskkonnamõju hindamise juhendit oodati kaua, mille eesmärgiks on luua suunised tuugenite mõjuhindamise protsessi. Kahjuks uus juhend infraheli puudutavas osas selgust ei loo. Pigem on viidatud uuringutele, mis väidavad, et tuugenitest tulenev infraheli müra ei oma tervist kahjustavat toimet. Seega ei muutu ametkondade/arendajate arusaam ega hoiakud juba täna tuugenitest tingitud mürahäiringute käes kannatavate inimeste probleemidesse. Isiklikult jääb seda juhendit lugedes arusaamatuks, kuidas plaaniti selle juhendi ülesehitusega luua paremad juhised mõjude hindamiseks? Seda, kas keskkonna mõjude hindajatel on sellest lähtuvalt oma tööd edaspidi lihtsam teha, näitab aeg.

Keskendusin oma ettepanekute tegemisel just infraheli peatükile TKM's. Lisasin juhendis välja toodud eksitavatele väidetele vastuargumendid, mida ei saa ega tohi ignoreerida kui eesmärgiks on ikka vähendada tuugenitest tulevat inframüra häiringut. Pöördumises selgitasin tuugeni signatuuri iseärasusi viidates mujal maailmas tehtud mõõtmistele ja miks täna seda Saarde 24h müramõõtmiste käigus ei tuvastatud. **Äärmiselt oluline on mõista seejuures, et tuugeni infraheli on impulssheli, mida ei esine sellisel kujul mitte kusagil mujal tööstuses,**

maanteedel, lennunduses ega ammugi mitte looduses. Kui seda fakti jätkuvalt eirata, siis ei ole ka võimalik mõista, mida kuidas ja millega mõõta. See viib omakorda aina suurenevate sotsiaalmajanduslike probleemideni mille koosmõju kogu ühiskonnale ei oska täna keegi hinnata. Kui arvestada kõiki käesolevas töös esitatud argumente, siis suure tõenäosusega ei ole Eestis võimalik plaanitud mahus tuugeni jaamu rajada ja ei ole ka välistatud, et olemasolevad tuleb kas öisel ajal peatada või sootuks demonteerida. Siit omakorda tekib küsimus, kas ametkonnad on tõsiselt huvitatud infraheli puudutavad müranormid üle vaatama ja ajakohastama või on tuuletööstuse lobi niivõrd suur, et oldakse nõus Eesti Vabariigi kodanike elamiskõlblik elukeskond ärihuvidele ohvriks tooma?

kert lapimaa

MTÜ Kodanike Teadusalgatus Eesti

+372 53 0004 53