



Saare-Liivi meretuulepargi müra hindamine

Tallinn 2024

Nimetus: Saare-Liivi meretuulepargi müra hindamine

Töö tellija: **OÜ Utilitas Wind**
Reg nr 16171123
Maakri tn 19/1, Kesklinna linnaosa, 10145 Tallinn, Harju maakond
Tel +372 610 7107
E-post saareliivi@utilitas.ee

Töö teostaja: **LEMMA OÜ**
Reg nr 11453673
Harju maakond, Tallinn, Kristiine linnaosa, Värvi tn 5, 10621
Tel +372 5059914
E-post info@lemma.ee

Vastutav koostaja: Piret Toonpere

Töö versioon: 02.03.2025

Sisukord

Sisukord.....	3
Sissejuhatus.....	4
1 Kavandatava tegevus.....	5
2 Tuulikute tekitatav müra	7
3 Müra regulatsioon seadusandluses.....	10
3.1 Välisõhus leviv müra	10
3.2 Madalasageduslik müra	12
3.3 Infraheli	13
4 Metoodika	14
4.1 Välisõhus leviva müra leviku hindamine.....	14
4.2 Madalsagedusliku müra leviku hindamine	15
4.3 Infraheli leviku hindamine	16
4.4 Koosmõjude hindamine	16
5 Müra hindamise tulemused	17
Kasutatud allikad.....	20

Sissejuhatus

Käesolev mürahindang on koostatud OÜ Utilitas Wind Saare-Liivi meretuulepargi keskkonnamõju hindamise (KMH) aruande koostamise raames. Müra hindamisulatus on määratud KMH programmis, mis on Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve Ameti (edaspidi TTJA) poolt tunnistanud 22.12.2022 kirjaga nr 16-7/21-02502-095 nõuetele vastavaks.

Hinnangu koostasid LEMMA OÜ keskkonnakonsultandid Piret Toonpere (WindPro modelleeringud) ja Astrid Koplimäe. Piret Toonpere on läbinud WindPro tootjapoolse tarkvarakoolituse.

1 Kavandatava tegevus

Utilitas Wind OÜ (edaspidi Utilitas Wind) soovib Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve Ametile (edaspidi ka TTJA) esitatud hoonestusloa taotluse kohaselt rajada maksimaalselt kuni 299 elektrituulikuga tuuleelektrijaama Pärnumaa merealale Liivi lahes (Joonis 1). Kavandatud tegevuse asukoht paikneb Pärnu maakonnaga piirneva mereala maakonnaplaneeringust¹ tuuleenergeetika arendamiseks sobival alal. TTJA algatas 23.12.2021 otsusega nr 1-7/21-521 hoonestusloa menetluse koos keskkonnamõju hindamisega. Hiljem muutis TTJA oma 2021. a. otsust ning liitis esialgsele alale veel täiendavalt koormatava ala ja liitis need üheks terviklikuks ning luges hoonestusloa menetluse algatatuks.

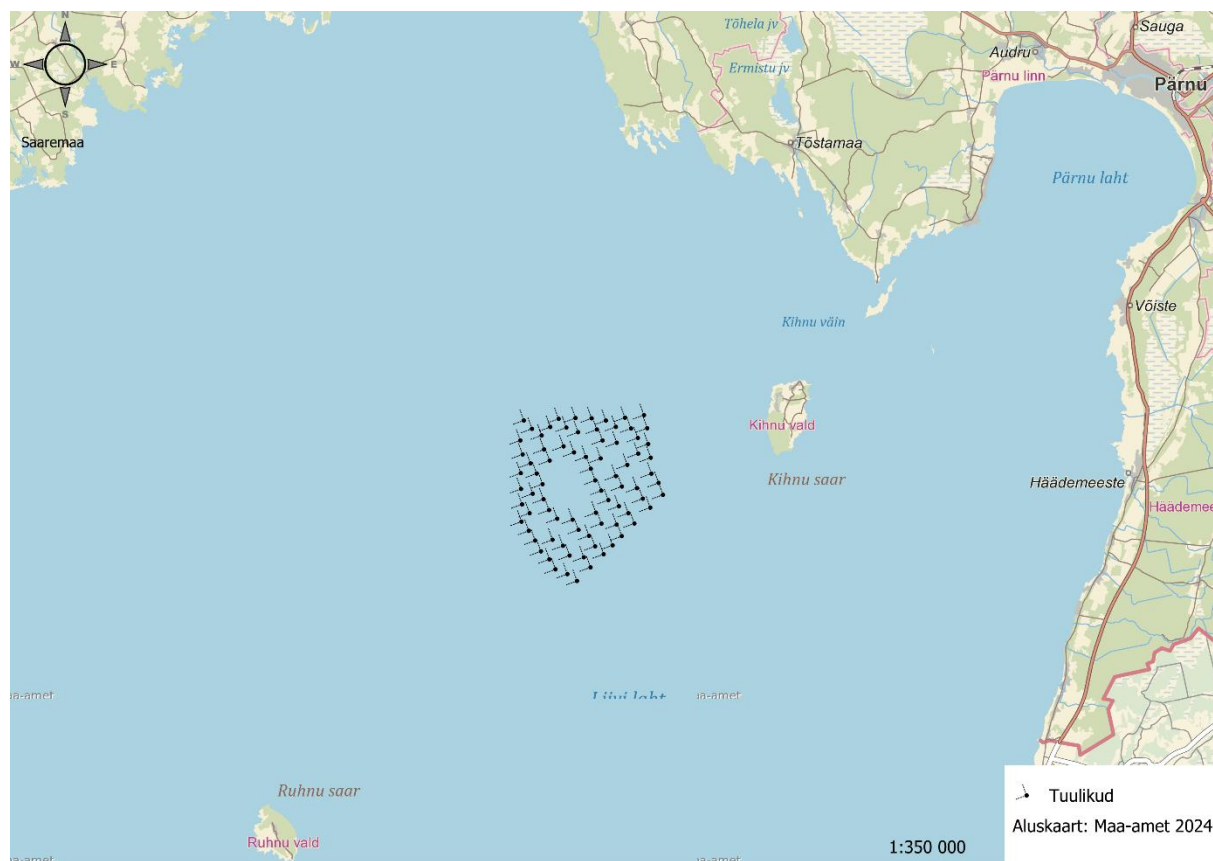
Saare-Liivi meretuulepargi² arenduse esimeses etapis on planeeritud püstitada kuni **80 tuulikut** (Tabel 1 ja Joonis 1). Käesolevas töös hinnatavate 80 tuuliku koordinaadid on esitatud **Error! Reference source not found.** Tuulikute paiknemise andmed on saadud töö tellijalt.

Tabel 1. Müra, varjutuse ja nähtavusanalüüsis kasutatavate tuulikute koordinaadid.

x	y	x	y	x	y	x	y
486762	6443037	479392	6442717	482612	6434627	478672	6442017
477932	6441287	483682	6435717	480342	6430937	479272	6434107
485412	6434587	476292	6439647	476152	6436677	483072	6436527
478872	6432297	485122	6442817	487342	6439367	486262	6439717
482242	6442767	477872	6431297	480852	6442787	477502	6438007
487402	6437997	487302	6435067	484852	6436887	486152	6436747
476132	6438037	476242	6435347	484052	6431817	481112	6433147
483282	6431047	482152	6429917	480152	6429337	484402	6433597
482552	6437417	485322	6438747	477092	6441857	476892	6434587
480982	6428747	482012	6432637	477372	6432227	484332	6442027
476192	6433857	481072	6441567	479822	6440347	478142	6440077
476392	6442577	478622	6439117	486662	6435837	481752	6439437
488402	6436167	487042	6441907	485642	6441887	486232	6441067
484412	6440657	476822	6433067	478092	6435787	482542	6431727
480602	6434027	483022	6439307	482172	6438417	480062	6441967
480722	6439827	476092	6440857	478602	6430607	484332	6437787
479122	6429747	485932	6433697	483092	6433687	479772	6431777
484842	6432607	478572	6434857	476972	6438877	484592	6435187
478012	6437087	488022	6437197	483182	6440857	477162	6436267
487122	6440547	483472	6442567	481572	6430787	482692	6441797

¹ <https://maakonnaplaneering.ee/maakonna-planeeringud/parnumaa/parnu-mereala-maakonnaplaneering/>

² Avalikku veekogu koormavat tuuleelektrijaama nimetatakse sünonüümina ka meretuulepargiks.



Joonis 1. Saare-Liivi meretuulepargi kavandatavate tuulikute asukohad, mis olid aluseks mürahinnangu koostamisele. (Aluskaart: Maa-amet 2024)

Kavandatavate elektrituulikute torni kõrguseks on kuni 270 m ja rootori diameetriks kuni 264 m. Modelleeringutes on tuulikuna kasutatud tuulikumodelit Vestas V264-15.0 MW™. Täpne kasutatav tuulikumudel ei ole teada ning võidakse kasutada ka teiste tootjate analoogseid tuulikuid. Tuuliku mudeli määramatust (ja sellest tulenevalt) müraheite määramatuse ulatust on arvestatud mürahinnangu koostamisel (vt ptk 4.1).

2 Tuulikute tekitatav müra

Füüsikaliselt on müra erinevate võnkesageduste ja intensiivsustega helide juhuslik segu. Kui võnked jäävad väljapoole tavapärasest inimese kuuldeulatust (20–20 000 Hz), siis nimetatakse neid vastavalt infrahelideks (alla 20 Hz) ja ultrahelideks (üle 20 000 Hz). Inimkõrv on kõige tundlikum helidele sagedusvahemikus 1000–4000 Hz. Madasageduslikud helid jäävad vahemikku 20–200 Hz. Tuulikute tekitatud müra koosneb erineva sagedusega heli komponentidest.

Müra võib defineerida igasuguse helina, mis on ebasoovitav ja häirib. Müra võib mõjutada inimeste tervist ja heaolu mitmel erineval viisil. Sõltuvalt müratasemest ja selle kestusest võib müra raskendada keskendumist, suhtlust ja võimet puhata. Pikaajaline kokkupuude kõrge müratasemega võib põhjustada kuulmiskahjustusi (nt kuulmisvõime halvenemist, mis ei ole tuulikute puhul tavaliselt asjakohane, kuna nende tekitatav müratase pole kuulmiskahjustuste tekkeks piisavalt kõrge), tekitada stressi või muid funktsionaalseid häireid.

Müra iseloomust sõltub selle tervisemõju ja häirivus. Kõrgsageduslikku ja impulssmüra (näiteks lõhkamistööde puhul, kus esineb lühiajalisi, kuid intensiivseid mürasündmusi) peetakse üldjuhul kõige ebameeldivamaks müra liigiks, eriti kui selline müra kestab pikemat aega. Üldiselt on ka kõrgsageduslik ja tonaalsete komponentidega müra mõnevõrra rohkem häiriv ja ärritav kui kesksageduslik ja ühtlase spektriga müra. Samas levib madalsageduslik müra sageli kaugemale. Muutuva intensiivsuse ja helisagedusega müra peetakse samuti inimese jaoks eriti häirivaks.

Tuuliku labade liikumisest tulenev aerodünaamiline müra on inimesele kõige enam kuuldav, samas kui muud müraallikad, nagu tuuliku mehaanilised osad, omavad tänapäevaste tuulikute puhul väiksemat rolli. Kuigi labade liikumisega kaasnevat heli ei ole võimalik täielikult vältida, saab müra vähendada näiteks rootori pöörlemiskiiruse vähendamisega, mis omakorda vähendab labade tipu liikumiskiirusest tulenevat hõõrdumismüra ning suure kiirusega kaasnevat aerodünaamilist heli.

Kaasaegsed tuulikud tekitavad mingil määral ka mehaanilist müra (näiteks käigukasti ja mootori tööst), kuid selle minimeerimiseks kasutatakse tänapäeval erinevaid isolatsioonimaterjale ja tehnilisi lahendusi, mis välistavad mehaanilise müra tajumise tuuleparkidest reeglina kaugemale jäävate müratundlike alade juures.

Tuuleparkide puhul mõjutavad müra levikut müratundlike aladeni peamiselt tuule kiirus ja suund, õhuniiskus, õhukihtide temperatuuri erinevused ning maastiku omadused (nagu reljeef, taimestik ja veekogud). On ilmne, et suurest hulgast tuulikutest koosnev tuulepark tekitab rohkem müra (ja vajab suuremat puhverala) võrreldes üksiku tuulikuga.

Tuulikute müra puhul on leitud erinevate keskkonnamüra allikatega seotud häiringute uuringutes, et tuulikute müra tajutakse häiringuna suhteliselt madala mürataseme juures (nt vahemikus 30–40 dB). Tuulikute müra peetakse sealjuures häirivamaks kui liikluse müra^{3,4}. Samas tervisemõjude seisukohast laiapõhjalised uuringud tuulikute müra puhul otsest seost

³ Radun, J., Maula, H., Saarinen, P., Keränen, J., Alakoivu, R., Hongisto, V. 2022. Health effects of wind turbine noise and road traffic noise on people living near wind turbines. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.112040>

⁴ Pedersen, E. 2007. Human response to wind turbine noise – perception, annoyance and moderating factors. Doctoral thesis. <https://gupea.ub.gu.se/handle/2077/4431>

krooniliste haigustega vms tervisemõjudega ei ole tuvastanud. Peamine mõju võib esineda häiringu näol⁵. Maismaa tuuleparkide puhul (mis paiknevad elamutele üldjuhul tunduvalt lähemal kui meretuulepargid) esineb tuulikute läheduses elavatel inimestel ka uinumisega seotud raskusi. Meretuulikud paigaldatakse tavaliselt piisavalt kaugemale rannikust ja elamutest, et vältida müra, mis võiks inimesi häirida või nende tervist kahjustada.

Tuulikud, nagu paljud teised helide allikad, põhjustatavad madalsageduslike helisid, kuid senised mõõtmised ja uuringud tuuleparkides ei ole senini tuvastanud madalsageduslikke helisid tasemel, kus nad oleksid tajutavad ja seega saaksid põhjustada tervisemõjusid.

Madalsageduslikku müra on läbivalt peetud tuulikute puhul oluliseks teemaks, kuna tuulikute puhul toimub müra levik väga ulatuslikule alale. Müra levimisel, aga sumbub õhus helide normaalse ja kõrgema sagedusega osa kiiremini kui madalsageduslik osa⁶. Madalsageduslik müra (ja ka laiaspektrilise müra madalsageduslik komponent) levib kaugemale kui kesk- ja kõrgsageduslik müra, kuna võrreldes kesk- ja kõrgsagedusliku müraga ei sumbu see nii efektiivselt atmosfääris ja erinevates tōketes. Heli kõrgemad sagedused neelduvad (sumbuvad) efektiivsemalt erinevates ainetes (sh gaasides ehk ka õhus). Madalsageduslikku müra summutavad aga peamiselt ainult massiivsed kehad (nt paksud seinad hoonetel) ning seetõttu on avamaastikus suhteliselt suure vahemaa korral (nt 1 km või rohkem) madalsageduslik müra mõnevõrra paremini kuuldav ning eristatav kui kesk- või kõrgsageduslik müra (mis on suuremal vahemaal olulisel määral juba ümbritsevas keskkonnas sumbunud).

Müraallikatest eemaldudes võib tajuada efekti, mille kohaselt ühest ja samast müraallikast lähtuva müra spekter tundub kuulaja jaoks mõnevõrra madalam (kuna kõrgsageduslik heli komponent sumbub ning hajub efektiivsemalt). Seetõttu võib ka tuulikust kaugemale liikudes tajuada, et kaugemale kostub pigem madalama sagedusega müraspekter. Samas tuuliku juures ei ole madalama sagedusega helide osa domineeriv. Sama nähtus on tunnetatav ka teiste müraallikate puhul – ka nt maanteest eemaldudes tundub kaugemal valdav madalamatel sagedustel liikluse müra.

Tuulikute puhul tõstatub sageli teemana ka **eriti madalsagedusliku müra ehk infraheli** (heli sagedusvahemikus ca 0–20 Hz) võimaliku mõju küsimus. Infraheli puhul on asjakohane samaaegselt käsitleda kahte helisid iseloomustavat muutujat: heli sagedusspektrit (Hz) ja helirõhu tugevust (dB). Väljaspool inimese tavapärasest kuulmislāve esineva infraheli mõju inimesele sõltub eelkõige selle tugevusest (dB).

Infraheli mõju inimese tervisele on maailmas uuritud ja on leitud, et intensiivne infraheli mõjutab inimese närvisüsteemi tuues kaasa mitmesuguseid hāireid, nagu hirm, keskendumishāired, väsimus, uimasus, iiveldus, kaaluhāired/isutus, peavalu jmt. Võimalikku tuuliku töötamisest tingitud infraheli on uuritud nii mitmetes riikides, sealhulgas on teostatud hulgaliselt testmõõtmisi. Uuringute üldine järeldus on, et moodsate vastutuult seadistatud tuuleturbiinide töötamisel tekkiv infraheli on väga madalal tasemel, mis jääb oluliselt

⁵ van Kamp, I.; van den Berg, F. 2021. Health Effects Related to Wind Turbine Sound: An Update. Int. J. Environ. Res. Public Health 2021, 18, 9133. <https://doi.org/10.3390/ijerph18179133>

⁶ Hansen, C.H., Doolan, C.J., Hansen, K., L. 2017. Wind Farm Noise: Measurement, Assessment and Control.

madalamaks kui lävi, mida seostatakse tervisemõjudega⁷. Seega infraheli võib tekitada tervisehäireid, kuid reaalseks ohu või häiringu (taju) tekkeks peab infraheli puhul esinema äärmiselt kõrge (intensiivne) helirõhk. Sellist intensiivse helirõhu tasemega infraheli ei kaasne kaasaegsete tuuleturbiinide töötamisega.

Üks värskemaid ja teadaolevalt seni kõige põhjalikum madalsagedusliku heli, sh infraheli, uuring tuulikutega seondult viidi läbi Soomes ja see avaldati inglise keeles 2020 aastal⁸. Uuring oli tellitud Soome riigi poolt ning selle viis läbi Soome Tehniliste Uuringute Keskus⁹. Uuring kombineeris pikaajalisi (308 päeva) heli mõõtmisi tuuleparkides, samuti kuulmisteste ja küsimustikke tuuleparkide lähialadel elanike hulgas. Eesmärgiks oli selgitada tuulikute tekitatavate madalsagedusliku müra omadused ja sellega kaasnevad mõjud inimesele. Uuring oli ajendatud probleemist, et osad tuulikuparkide lähiala elanikud seostavad tuulikute olemasolu endal esinevate terviseprobleemidega, eeskätt unehäiretega.

Uuringu kohaselt seostas 5% uuringusse hõlmatud tuuleparkide lähiala elanikke endal esinevate terviseprobleemide esinemist (nn sümptomitega vastajad) tuulikute madalsagedusliku heliga. Enim sümptomitega vastajaid jäi tuulikuparkide lähialale, mis uuringus oli määratud 2,5 km raadiuse alana. Lähiala elanikest esines nn sümptomitega vastajaid 15%.

Uuringu kohaselt jäid valdavad tuulepargi lähialadel mõõdetud eriti madalsagedusliku heli sagedused vahemikku 0,1–1 Hz, mis jääb allapoole inimkõrva kuuldeläve (16–20 Hz). Mida madalam on heli sagedus seda suurem peab olema helirõhk, et heli oleks tajutav. Uuring tuvastas uue aspektina, et tuulikud võivad põhjustada üksikuid madalsagedusliku heli piike (lühiajaline madalsagedusliku helirõhk kuni 102 dB). Teoreetiliselt võivad sellised piigid osade inimeste jaoks olla tajutavad. Samas ei suudetud tuvastada, et isikud, kes arvasid endal olevat tuulikute põhjustatud tervisemõjusid oleksid võimelised madalsageduslikke helisid paremini kuulma/tajuma. Kuulmistestidega püüti tuvastada terviseprobleeme kurtvate inimeste närvisüsteemi reageeringut madalsageduslikele helidele, kuid sellist seost ei leitud. Antud inimeste närvisüsteemis ja erinevates füsioloogilistes näitajates, ei tuvastatud mingit reageeringut kui neile lasti tuulikute madalsageduslikku heli. Uuring järeldas, et tuulikute madalsageduslikku müra, sh infraheli, ei saa seostada inimeste poolt kurdetavate tervisemõjudega.

⁷ Swen., M, Stefan., H, Martin., H, Susanne., K. 2022. Can infrasound from wind turbines affect myocardial contractility? A critical review. Noise Health 2022;24:96-106. <https://www.noiseandhealth.org/text.asp?2022/24/113/96/351963>

⁸ Majjala, P., Turunen, A., Kurki, I., Vainio, L., Pakarinen, S., Kaukinen, C., Lukander, K., Tiittanen, P., Yli-Tuomi, T., Taimisto, P., Lanki, T., Tiippana, K., Virkkala, J., Stickler, E., Sainio, M. 2020. Infrasound Does Not Explain Symptoms Related to Wind Turbines. Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 2020:34.

⁹ Majjala, P. 2020. VTT studied the health effects of infrasound in wind turbine noise in a multidisciplinary cooperation study. VTT Technical Research Centre of Finland.

3 Müra regulatsioon seadusandluses

Müra normtasemed on kehtestatud inimeste tervise kaitseks ja põhjendatud häiringute vältimiseks, seega loetakse normidele vastavaid olukordi vastuvõetavateks ehk mõjuhindamise vaates on eelduseks, et normidele vastava mürataseme korral oluline ebasoodne mõju puudub. Samas normtasemele lähedane müra võib teatud määral inimesi siiski häirida.

3.1 Välisõhus leviv müra

Välisõhus levivat müra reguleerib atmosfääriõhu kaitse seadus (AÕKS) ja müra normtasemeid sama seaduse § 56 lg 4 alusel kehtestatud määrus 16.12.2016 nr 71 „Välisõhus leviva müra normtasemed ja mürataseme määramise, määramise ja hindamise meetodid“.

Müra sihtväärtus on suurim lubatud müratase uute planeeringutega aladel. Uus planeeritav ala määruse nr 71 tähenduses on väljaspool tiheasustustala või kompaktse hoonestusega piirkonda kavandatud seni hoonestamata uus müratundlik ala.

Müra piirväärtus on suurim lubatud müratase, mille ületamine põhjustab olulist keskkonnanäringut ja mille ületamisel tuleb rakendada müra vähendamise abinõusid. Müra siht- ja piirväärtused erinevad alade juhtfunktsioonide põhisel. Mürakategooriad määratakse vastavalt üldplaneeringu maakasutuse juhtotstarbele järgmiselt:

- I kategooria – virgestusrajatise maa-alad;
- II kategooria – haridusasutuse, tervishoiu- ja sotsiaalhoolekandeasutuse ning elamu maa-alad, rohealad;
- III kategooria – keskuse maa-alad;
- IV kategooria – ühiskondlike hoonete maa-alad;
- V kategooria – tootmise maa-alad;
- VI kategooria – liikluse maa-alad.

Käesoleval juhul jäävad lähimad müratundlikud alad Kihnu saarele ning kõik Kihnu saarel paiknevad elamualad jäävad rohkem kui 10 km kaugusele lähimast kavandatud tuulikust. Kihnu rannikul paiknevad elamud liigituvad II kategooria alade alla.

Elamualade suhtes kehtib tööstusmürale piirväärtus päeval ajal 60 dB(A) ja öisel ajal 45 dB(A), sihtväärtus on päeval ajal 50 dB(A) ja öisel ajal 40 dB(A).

Kuna tuulikud töötavad ööpäevaringselt ning tuulikute müra võib pidada iseloomult häirivamaks kui mõnda muud tööstusmüra liiki, siis on tugevalt soovitatav tuuleparkide planeeringutes võtta eesmärgiks öise sihtväärtuse (40 dB(A)) tagamine. Ka Riigikohus on leidnud¹⁰, et vaatamata sellele, et AÕKS § 56 lg 2 p 2 kohaselt on müra sihtväärtus suurim lubatud müratase uute üldplaneeringutega aladel, ei tähenda see, et muudel aladel oleks müra sihtväärtus kaalumisel asjakohatu. PlanS § 8 järgi tuleb planeerimismenetluses olemasolevaid keskkonnaväärtusi põhimõtteliselt säilitada. Ruumilisel planeerimisel ei tule lähtuda üksnes õigusnormidega seatud piiridest, vaid leida optimaalne tasakaal kõigi puudutatud isikute huvide vahel. Müraolukorra olulist halvendamist tuleb järelikult püüda vältida ka allpool müra piirväärtust, kui see on mõistlikult võimalik. Müra sihtväärtused on kehtestatud terviseriskide ennetamiseks.

¹⁰ <https://www.riigikohus.ee/et/lahendid?asjaNr=3-20-2273/28>

Välisõhu normväärtustega võrdlemiseks kasutatakse tavapäraselt müra hinnatud taset päeval (7.00–23.00) ja öösel (23.00–7.00). Müra hinnatud tase on etteantud ajavahemikus mõõdetud või arvutatud müra A-korrigeeritud tase, millele on tehtud parandusi, arvestades müra tonaalsust, impulssheli või muid asjakohaseid tegureid.

Päevane ajavahemik (7–23) sisaldab ka öhtust aega (19–23), millele rakendatakse parandustegurit +5 dB.

Kui tuuliku töötamisega kaasneb tonaalne müra¹¹, mis on vastuvõtjale kuuldav ning selgesti eristatav (ning nt mõõtmistega täpsemalt fikseeritav), rakendatakse helirõhutasele parandust +5 dB (kuna selgelt eristuv ning domineeriv toon võib olla oluliselt häirivam kui laiaspektriline müra).

Tänapäevaste tuulikute puhul ei ole maailmapraktika alusel ilmnenu, et need tekitaksid tonaalselt müra ning müra hindamisel ning normtasemetega võrdlemisel ei ole rakendatud tonaalsusest tulenevat parandust.

Siseruumide müra normtasemed (ekvivalentne müratase, $L_{pA,eq,T}$) on kehtestatud sotsiaalministri 04.03.2002 määrusega nr 42 „Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid“, mille kohaselt eluhoonete elu- ja magamisruumides on tööstusaladelt (sh tuulepargi aladelt) lähtuva müra puhul päevasel ajal lubatud 30 dB, öisel ajal 25 dB. Antud nõue kehtib suletud akende korral siseruumis. Üldiselt kehtib põhimõte, et kui välisterritooriumil on tagatud müra normtase (eeskätt kui on tagatud sihtväärtus), siis ei ole tavapärase heliisolatsiooniga hoonete puhul oodata siseruumi müra normtasemete ületamist. Siseruumi müra normtasemete hindamine on asjakohane eeskätt juhul kui hoone välisterritooriumil on oodata kõrgeid (üle piirväärtuse) ulatuvaid müratasemeid.

Oluline on rõhutada, et müranormid on kehtestatud tagamaks, et müratase ei kahjustaks inimeste tervist. See aga ei tähenda, et müraallikat ei oleks kuulda. Häiringu korral kuuleb inimene müraallikat ja see võib teda häirida, kuid selline olukord ei ole tervisele kahjulik. Heli häirivus sõltub suuresti inimese individuaalsest tajumisest. Tuuleparkide töötamisaegse müra häirivuse lävendina (häiringutasemena) on erinevate uuringute analüüsi tulemusena välja pakutud 35 dB¹². Aga nagu juba öeldud, siis inimeste tundlikkus tuulikute müra häirivuse osas on erinev.

Teoreetiliselt põhjustada suuremat häiringut ka tuuliku labade liikumisest tuleneva heli rütmilisus, mille põhjustab labade möödumine tuuliku tornist (umbes kord sekundis). Siiski ei ole Eestis (ja ka teiste riikide praktikas) tuulikute puhul seni kehtestatud rangemaid nõudeid või parandustegureid, mis arvestaksid müra tsüklilisust ja võimalikku suuremat häiringut. Seetõttu lähtutakse tuulikute puhul praegu kehtivatest tööstusmüra normtasemetest, mis on juba oluliselt rangemad kui liikluse müra normid.

Ehitusmüra piirväärtusena rakendatakse kella 21.00–7.00 asjakohase mürakategooria tööstusmüra normtasest. Arvestades objekti kaugust asustatud aladest siis ehitusmüra piirväärtuste ületamine müratundlikel aladel on tugevalt ebatõenäoline ja ehitusmüra leviku põhjalikumat hindamist ei teostata. Ehitusmüra võib olla hindamisobjektiks mereelustiku

¹¹ Tonaalne müra - mingis spetsiifilises sagedusvahemikus esinev helirõhutase, mis on oluliselt suurem kui eelmises ja järgmises sagedusvahemikus esinev tase.

¹² Schmidt, J., H., Klokner, M. 2014. Health effects related to wind turbine noise exposure: a systematic review.

osas, kuid see ei kuulu käesoleva hinnangu hindamisulatusse (veealuse müra leviku osas koostakse eraldiseisev hinnang).

3.2 Madalasageduslik müra

Madalasageduslik müra käsitletakse käesolevas hinnangus heli, mille sagedus jääb vahemikku 20–200 Hz. See on helide vahemik, mida inimesed kuulevad ja mida võivad levitada tavalise müraallikad, nagu autod, tööstuslikud seadmed või tuulikud. Madalasageduslik müra levib tihti kaugemale kui kesk- ja kõrgsageduslik müra, kuna see ei neeldu efektiivselt erinevatesse takistustesse ja atmosfääri kihtidesse. Antud müra summutavad tulemuslikult massiivsed struktuurid nagu hoonete paksud seinad hoonetel, reljeef, pinnasest müratõkkevallid jne. Puuduliku heliisolatsiooniga hoonetes (vanemad puitmajad/suvilad) võib madalasageduslik müra levida efektiivsemalt (võrreldes kesk- ja kõrgsagedusliku müraga) hoonete siseruumidesse.

Tuuleparkide müra sisaldab mitmesuguseid helikomponente, mis võivad ulatuda madalasageduslikest helidest kuni kõrgema sagedusega helideni, kuid peamiselt jäävad need helid keskmise sagedusega helide vahemikku so 200–2000 Hz. Arvestama peab, et madalasageduslikus spektris (0–200 Hz) peab helirõhk olema märkimisväärselt kõrgem, et heli oleks inimese jaoks tajutav: umbes 80 dB 20 Hz sagedusel ja 100 dB 5 Hz sagedusel.

Müraallikast kaugemale liikudes võib märgata, et sama allika müraspekter muutub madalamaks, kuna kõrgsageduslikud komponendid neelduvad ja hajuvad efektiivsemalt. Tuulepargi müra võib seega distantsilt tunduda madalama sagedusega, kuigi tuulepargi läheduses ei domineeri madalasageduslik komponent.

Madalasageduslikule mürale on kehtestatud normtasemed (Tabel 2) sotsiaalministri 04.03.2002 määrusega nr 42 „Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid“. Normtasemed on määratud määruse lisas - Madalasagedusliku müra hindamine. Määruse lisas on esitatud helirõhutasemed madalasagedusliku müra häirivuse hindamiseks elamute elu- ja magamisruumides (ehk ainult siseruumides) ning nendega võrdsustatud ruumides öisel ajal. Vastavalt määrusele kasutatakse madalasagedusliku müra hindamist juhul, kui müra põhjustab kodanike kaebusi (siseruumides), kuid mõõdetud müratase ei ületa siseruumide normtasemeid ($L_{pA,eq,T}$) või on sellele väga lähedal. Kui mõõdetud helirõhutase mingil 1/3 oktaavriba kesksagedusel ületab toodud arvsuursi, loetakse kaebus põhjendatuks, mis annab aluse taotlema müravastaste meetmete rakendamist. Väärtusi võib seega pidada madalasagedusliku müra normtasemeteks uute objektide kavandamisel.

Tabel 2. Soovituslikud madalasagedusliku heli väärtused eluruumides.

1/3 oktaavriba kesksagedus, Hz	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Helirõhutase $L_{p,eq}$, dB	95	87	79	71	63	55,5	49	43	41,5	40	38	36	34	32

3.3 Infraheli

Infraheli on heli, mille sagedus on alla 20 Hz, st inimese kuuldeulatusest väljaspool. Infraheli on liiga madal kuulmiseks, kuid see võib ikkagi olla tunda, kui see on piisavalt tugev. Infraheli tekitavad näiteks maavärinad, suured masinad ja mõnikord ka tuulikud.

Infraheli mõju inimesele on seotud selle sageduse (Hz) ja helirõhu tugevusega (dB). Kuigi infraheli madal sagedus jääb kuulmisulatusest välja, võib see tugevate helirõhu tasemetega korral põhjustada füüsilisi tundeid ja ebamugavust. Sagedusi alla 20 Hz võib tunda inimene keha vibratsioonide kaudu st see võib põhjustada füüsilisi aistinguid, nagu „kõhu värinad“ või peapööritus, mis omakorda võib põhjustada rahutust või ärevust.

Infraheli piirväärtused elamutes ning ühiskasutusega hoonetes on kehtestatud sotsiaalministri 06.05.2002 määrusega nr 75 „Ultra- ja infraheli helirõhutasemetega piirväärtused ning ultra- ja infraheli helirõhutasemetega mõõtmise“. Määruse kohaselt loetakse infraheliks õhus levivat heli sagedusega alla 20 Hz. Väliskeskkonnas levivale infrahelile normtasemeid kehtestatud ei ole.

Püsiva tasemega infraheli G-korrigeeritud helirõhutaseme L_{pG} (või muutuva tasemega infraheli G-korrigeeritud ekvivalentse helirõhutaseme $L_{pG,eq,T}$) piirväärtus on 85 dB. Piirväärtusega võrdlemisel tuleb kasutada sageduslikult korrigeeritud väärtusi (soovituslikult standardi *EVS-ISO 7196 Acoustics – Frequencyweighting characteristic for infrasound measurements* või muu samaväärse dokumendi nõuete kohaselt).

4 Metoodika

4.1 Välisõhus leviva müra leviku hindamine

Tuulikute käitamisaegset müra hinnatakse uute planeeringute puhul arvutuslikult. Antud juhul kasutati selleks spetsiaaltarkvara WindPRO 4.0. Arvutamisel kasutati rahvusvahelist standardit ISO 9613-2: "Acoustics – Abatement of sound propagation outdoors, Part 2: General method of calculation", mis on Euroopa Liidu soovituslik tööstusmüra arvutusmeetod liikmesriikidele, kellel ei eksisteeri siseriiklike arvutusmeetodeid (Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2002/49/EÜ, 25. juuni 2002, mis on seotud keskkonnamüra hindamise ja kontrollimisega). Nimetatud standard on tuuleparkide müra leviku hindamisel laialt kasutatav ka muu maailma praktikas.

Müra leviku hindamisel on järgitud Kliimaministeeriumi poolt koostatud juhendmaterjali¹³. Antud juhul anti müra levik ebasoodsates tingimustes – müralevi maksimaalselt soodustav pärituul igas suunas. Tuulikutootjate tehniliste andmete alusel suureneb tuuliku müraemissioon tavaliselt kuni tuulekiiruseni 7–8 m/s¹⁴. Lisaks üle 8 m/s tuule korral hakkab looduslik tuulemüra varjestama tuulikute müra¹⁵.

Käesolevas töös kasutatava tuuliku Vestas V264 emiteeritav müratase on tootja andmetel kuni LwA=115,3dB(A). Tegu on ühe suurima (sh helirõhutaseme vaatest suurima) meretuulikuga. Arvestati tuuliku müra sagedusjaotust järgnevalt:

Status	Hub height [m]	Wind speed [m/s]	LwA,ref [dB(A)]	Pure tones	Octave data							
					63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
					[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
From Windcat	150,0	8,0	115,3	No	96,4	104,7	109,7	111,0	107,9	103,1	95,5	84,7

Kuna tuuleparki rajatavat tuuliku täpset mudelit ei soovita KMHs fikseerida, siis läheneti müra modelleerimisele konservatiivselt. Selleks, et hinnata halvimat võimalikku tekkivat olukorda liideti müratasemele nn **määramatuse tegur, mis määrati väga konservatiivselt + 5 dB**. Sellise väga konservatiivse määramatuse teguri kasuks otsustati kuna tuuliku mudel (ja seega ka tuuliku helivõimsustase võib erineda) ning väga suurte kaugustel müra leviku hindamine on seotud alati teatud määramatusega. Tavapäraste müra hinnangute puhul on müraallika ja retseptori vaheline kaugus tunduvalt väiksem kui 10 km.

Müra modelleerimisel lähtuti tuuliku torni kõrgusest 150 m ning rootori diameetrist 264 m. Samas ei esine arvutuslikult olulist erinevust mõnekümne meetrise torni kõrguse muutuse ning müra leviku arvutustulemuste vahel (erinevused jäävad väiksemaks kui 1 dB). Määravaks on eeskätt tuuliku helirõhutaseme, mitte mõõtmed.

Müra modelleerimine teostati 4 m kõrgusele maapinnast (tavapärane retseptori kõrgus, mida Eesti praktikas kasutatakse siseriiklike mürakaartide koostamisel on 2 m, kuid tuulikute puhul soovib Kliimaministeerium rakendada konservatiivsemat kõrgust 4 m). Meteoroloogilise koefitsiendi väärtuseks määrati 0 (Cmet=0).

¹³ Kliimaministeerium. 2024. Müraga arvestamine tuulikute planeerimisel.

¹⁴ Järeldus tehtud WindPro tuulegeneraatorite infot koondava andmebaasi põhjal.

¹⁵ Pérez, L., García, F. J. 2010. Effects of Wind Speed and Turbulence on Wind Turbine Noise Propagation. Noise Control Engineering Journal, 58(2), 132-139.

Müralevi modelleerimisel arvestatakse heli neelduvust või peegelduvust maapinnal. Maapinna heli neelavuse omadused on määratud skaalal 0 (akustiliselt "kõva" heli peegeldav pinnas: maantee, veekogud, betoon) kuni 1 (akustiliselt "pehme" heli neelav pinnas: põllud, põõsad, heinamaa, lumine pind). Antud juhul on arvestatud, et mereala võib olla peegeldavate omadustega ja konservatiivselt on kasutatud neelduvustegurit 0.

Maapinna reljeef kanti mudelisse Maa-ameti kõrgusandmete alusel (25 m võrguga). Samas antud ala puhul on kõrguste erinevused väga väikesed. Valdavalt on tegu merepinnaga ja Kihnu saarel jäävad maapinna kõrgused alla 10 m.

Meteoroloogiliste tingimustena kasutati WindPRO standardseadistust (temperatuur 10°C ja 70 % õhuniiskus).

Modelleerimisel ei ole arvestatud otseselt müra levikut takistavate objektidega nagu hooned ja metsaalad. Juhul, kui tuulikute ja vaatleja vahele jäävad metsatukad või kõrvalhooned, on tegelikkuses avalduvad müratasemed madalamad kui arvutustes näidatud. Arvestades aga teadusuuringutest tulenevaid järeldusi, et tuulikute müra on oma iseloomult häirivam kui nt liikluse müra, siis on õigustatud tuuleparkide mürahinnangutes konservatiivse lähenemise kasutamine. Samuti antud juhul on tegu valdavalt merealaga, kus takistused müra levikule puuduvad.

Müra leviku kohta vormistati mürakaardid, kus esitati A-korrigeeritud ekvivalentse helirõhu taseme $L_{pA,eq}$ arvusaarvused detsibellides 5 dB müravahemikes. Lisaks müra leviku kaartidele arvutati välja müratase Kihnu saarele jäävatel lähimatel müratundlikel aladel. Müratundlikud alad digitaliseeriti põhikaardi alusel ja retseptoriks määrati kogu elamu õueala. Kaugemal asuvate eluhoonete puhul on selgelt tagatud paremad tingimused kui kõige lähematel elamualadel ning seega kõigi Kihnu saarele jäävate eluhoonete eraldi käsitlemist ei ole vaja.

4.2 Madalsagedusliku müra leviku hindamine

Eestis kehtivad madalsagedusliku müra normtasemed siseruumides (ptk 3.2), kuid puuduvad siseriiklikud suunised kuidas arvutada tuulikute madalsagedusliku müra levikut ja vastavust ruumides kehtivatele soovituslikele väärtustele. Käesolevas töös on kasutatud Soomes rakendatavat hindamisjuhust ja WindPRO programmi mooduli „Decibel“ seadistust „Finnish Low Frequency Sound“. Metoodika on sobilik ka seetõttu, et Eesti ja Soome madalsagedusliku müra normtasemed on väga sarnased. Samuti võib eeldada, et ka sarnases kliimavööndis paiknevad elamud on sarnase ehitusega. Heli leviku hindamine toimub ka antud metoodika puhul ISO 9613-2 standardi alusel.

Käesolevas töös kasutati tuulikuna tuulikut Vestas V264. Arvestati tuuliku müra sagedusjaotust vahemikus 20-200 Hz järgnevalt:

LwA,ref	20,0 Hz	25,0 Hz	31,5 Hz	40,0 Hz	50,0 Hz	63,0 Hz	80,0 Hz	100,0 Hz	125,0 Hz	160,0 Hz	200,0 Hz	
[dB(A)]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	
	107,6	67,6	73,7	78,9	83,3	87,3	90,9	94,2	97,1	99,6	101,8	103,6

Kuna madalsagedusliku müra normväärtus kehtib hoones sees, siis on vaja selle arvutamisel arvestada ka hoonete heliisolatsiooni. Heliisolatsiooni väärtustena kasutati teaduskirjanduses leitavaid konservatiivseid väärtusi. Kuna eluhoonete heliisolatsioon võib hoonete lõikes märkimisväärselt erineda, siis eeldati, et halvimal juhul on hoonete puhul tegemist suvemaja

tüüpi hoonetega, mille heliisolatsioon on madal (Tabel 3, Windpro andmebaasi väikseima heliisolatsiooniga valik).

Tabel 3. Kasutatud hoonete madalsagedusliku müra isolatsioon.

Sagedus, Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Isolatsioon, dB	0	4,8	6,2	8,4	10,5	11,9	11,9	16,0	17,5	17,9	16,6

4.3 Infraheli leviku hindamine

Infraheli G-korrigeeritud helirõhutaseme L_pG piirväärtus on 85 dB. Piirväärtusega võrdlemisel tuleb kasutada sageduslikult korrigeeritud väärtusi (soovituslikult standardi EVS-ISO 7196 *Acoustics – Frequencyweighting characteristic for infrasound measurements* või muu samaväärse dokumendi nõuete kohaselt).

G-korrigeeritud mürataseme korral on korrigeeritud ja korrigeerimata mürataseme väärtused võrdsed sagedusel 10 Hz. Sagedusel 20 Hz tuleb G-korrektsiooni korral lisada korrigeerimata väärtustele 10 dB. Sagedustel alla 10 Hz ja üle 30 Hz tuleb aga korrigeerimata väärtusi G-korrektsiooni korral vähendada.

Selleks, et hinnata infraheli taset lähimate eluhoonete juures teisendati Vestas V236 lähteandmed standardi EVS-ISO 7196 kohaselt G-korrigeeritud helivõimsustasemeteks. Seejärel arvutati heli levik sama meetodikaga kui madalsagedusliku müra puhul.

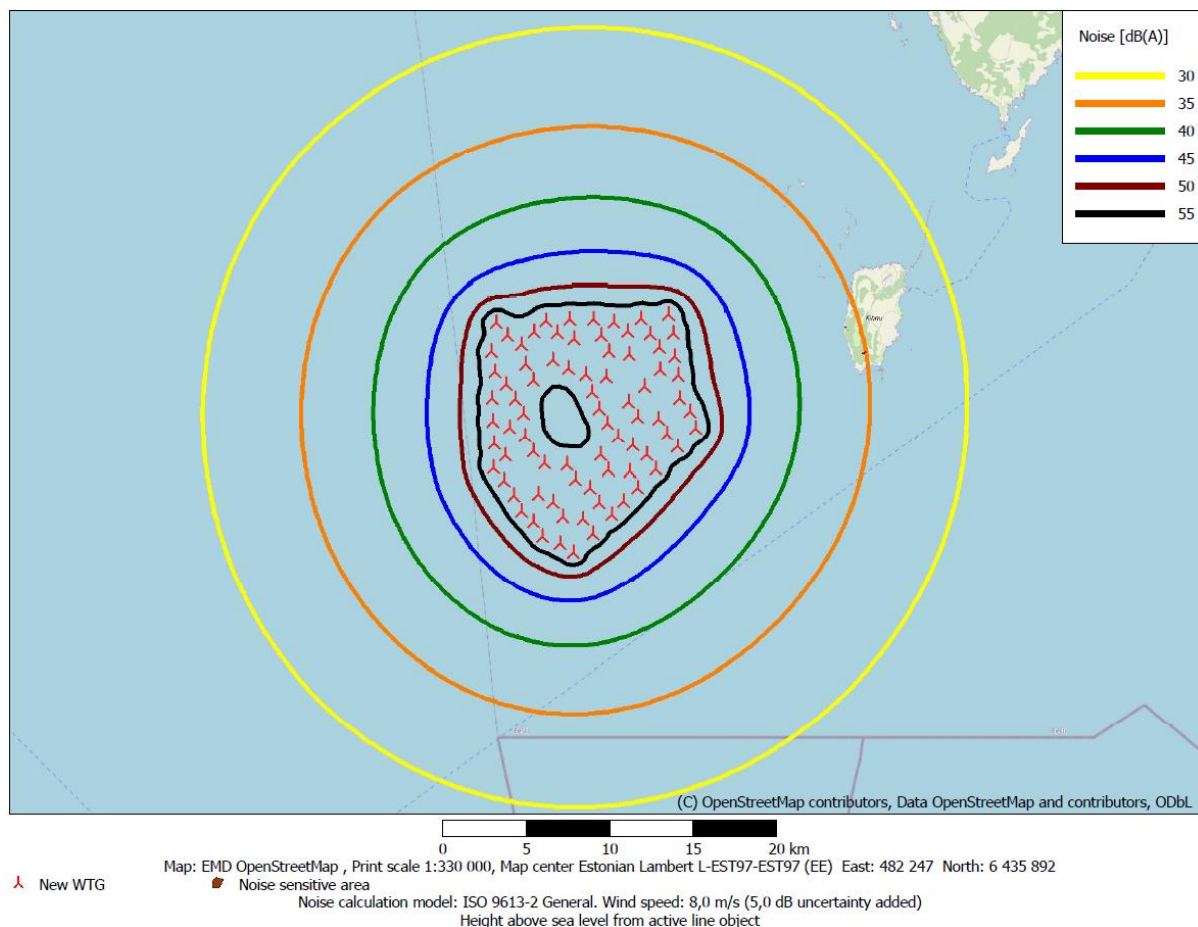
4.4 Koosmõjude hindamine

Saare-Liivi meretuulepargist u 7,3 km kaugusele kagu suunda on arendamisel Liivi lahe meretuulepark. Antud meretuulepargi müra hinnang on koostatud Kajaja Acoustics OÜ poolt (töö nr 20142). Antud müra hinnangu alusel jääb elamualadel kehtiva tööstusmüra öisele sihtväärtusele vastav 40 dB isojoon kõigi hinnatud alternatiivide puhul mere peale (kõigi alternatiivide korral lähimas punktis vähemalt $\geq 5,5$ km kaugusele Kihnu saarest ning vähemalt ≥ 13 km kaugusele rannikust). Samuti jäävad madasagedusliku müra tasemed tunduvalt madalamale kehtivatest normtasemetest. Arvestades mõlema tuulepargi suurt kaugust müratundlikest aladest, mõlema müra hinnangu tulemusi ja mõlemas müra hinnangus kasutatud konservatiivset lähenemist, siis ei ole oodata ka kahe tuulepargi koosmõjus müratundlikel aladel tekkivaid müratasemeid, mis võiksid põhjustada kehtivate normtasemetega ületamist.

Kontrollimaks olulise koosmõju puudumist viidi läbi koosmõju arvutuslik hindamine välisõhu müra normtasemetele vastavuse osas. Hinnati koosmõju müra tekke osas halvima Liivi lahe meretuulepargi alternatiiviga. Arvestati, et Liivi lahe tuuleparki rajatakse 50 tuulikut, mille helivõimsustase on 121 dBA. Tuulikute masti kõrgusena veepinnast arvestati 162 m.

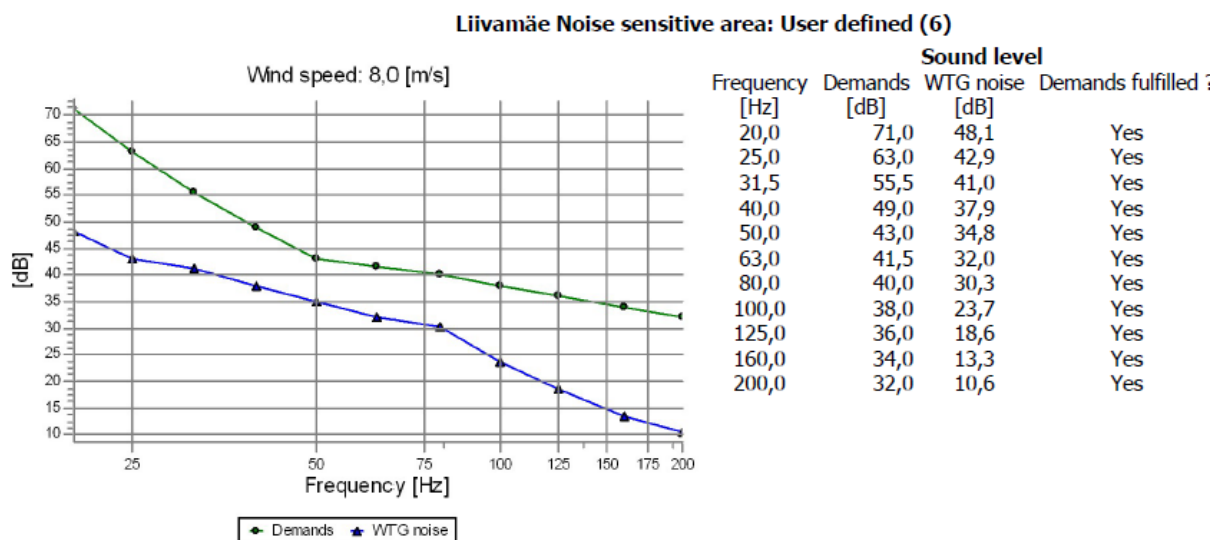
5 Müra hindamise tulemused

Müra hinnangust ilmnes, et lähimad müratundlikud alad paiknevad Kihnu saarel üle 10 km kaugusel kavandatavatest tuulikutest. Lähimate elamute juures tekib hinnangu kohaselt müratase 30,9 dB(A). Kui arvestada +5 dB määramatust, siis on lähimate elamute juures tekkiv müratase kuni 35,9 dB(A). Tööstusmüra öist piirväärtust 45 dB(A) ega öist sihtväärtust 40 dB(A) elamute juures ei ületata. Kogu Kihnu saar jääb alasse kus on ka kõige konservatiivsema arvutuse alusel tagatud tuulepargi tööst tulenev 40 dB(A) müratase. Enamik saarest jääb alasse, kus ei ole oodata üle 35 dB(A) suurust mürataset. Müra leviku kaart on esitatud Joonis 2.



Joonis 2. Mürakaart 4 m kõrgusel 115,3 dB(A) helivõimsustasemega tuulikute + 5 dB määramatuse korral.

Madalsagedusliku müra arvutused tehti tuulepargile lähimate eluhoonete osas. Lähimaks eluhooneks on Liivamäe maaüksusel paikneval elamualal olev hoone. Arvutustest ilmnes, et kõigis sagedusvahemikes jääb oodatav müratase siseruumis tunduvalt väiksemaks kui on kehtiv normtase (Joonis 3). Ka liites konservatiivselt + 5dB, arvestades eri tegurite määramatust müra hindamisel, on siiski kõigis sagedusvahemikes oodata müra normtasemete täitmist.



Joonis 3. Lähima eluhoone siseruumides tekkiva madalsagedusliku mürataseme (sinine joon) võrdlus normtasemega (roheline joon).

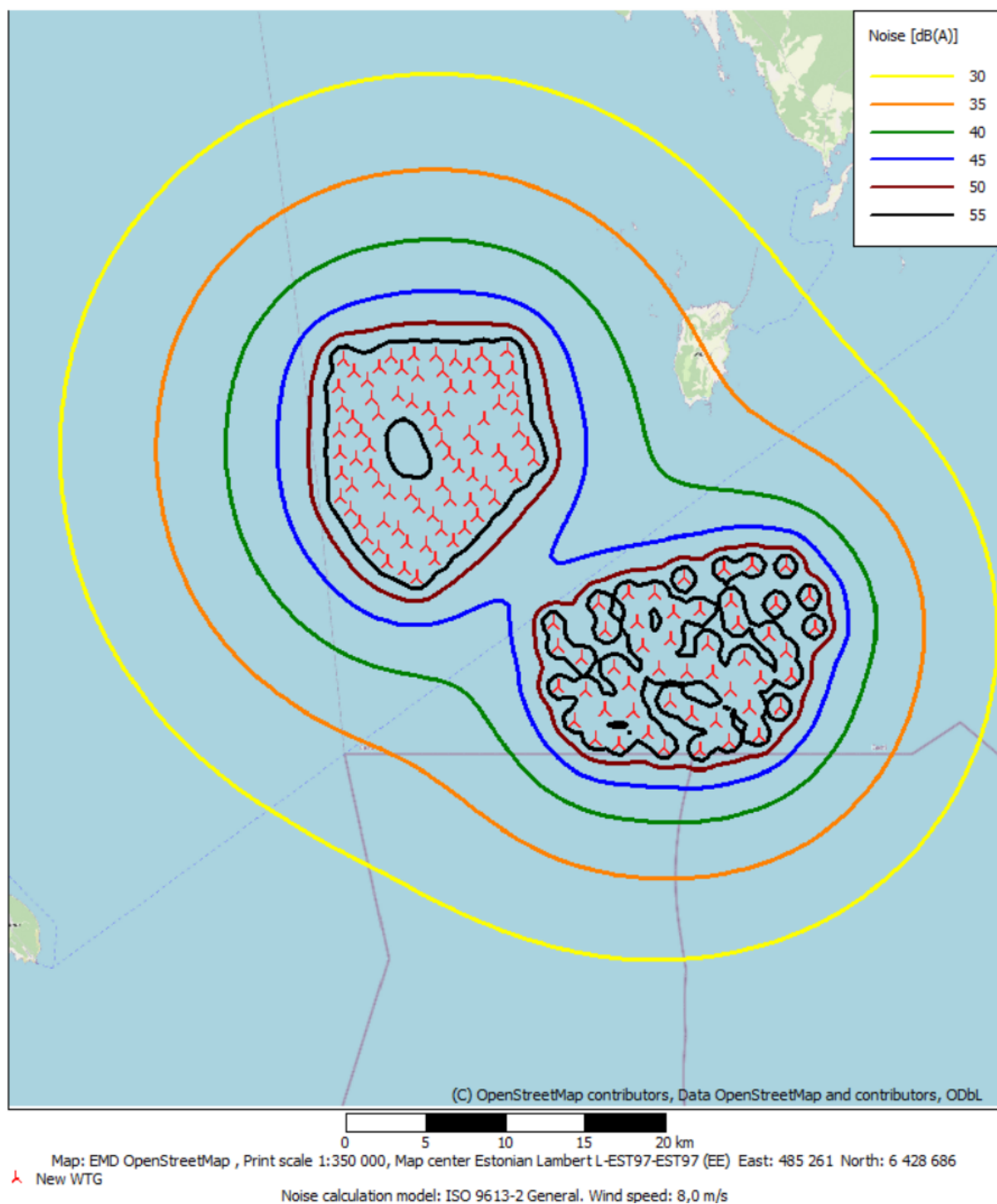
Madalsagedusliku müra arvutuslikust hinnangust ilmnes, et ühegi piirkonnas paikneva elumuala puhul ei ole oodata eluruumides kehtiva madalsagedusliku müra normtaseme ületamist.

Arvutuslik G-korrigeeritud müratase lähimate eluhoonete siseruumides on 70 dB (arvestades ka +5dB määramatust). Vastav müra normtase on 85 dB.

Eelneva alusel, arvestades nii kesksageduslikku müra, madalsageduslikku müra kui ka infraheli, ei ole tuulepargi rajamisega kaasnevana oodata olulist ebasoodsat müra mõju, mis võiks põhjustada olulist tervisemõju. Kõik väärtused jäävad väga konservatiivse hinnangu alusel tugevalt allapoole normväärtusi.

Kavandatava tegevusega ei kaasne olulist ebasoodsat keskkonnamõju, seega leevendavate meetmete rakendamine ei ole vajalik.

Koosmõjude hindamisel Liivi lahe meretuulepargiga ilmnes, et kahe meretuulepargi maksimaalmahus realiseerumisel lähimatel müratundlikel aladel on tekkiv müratase on kuni 36,8 dB(A). Tööstusmüra öist piirväärtust 45 dB(A) ega öist sihtväärtust 40 dB(A) elamute juures ei ületata. Kogu Kihnu saar jääb alasse kus on ka kõige konservatiivsema arvutuse alusel tagatud tuuleparkide tööst tulenev 40 dB(A) müratase (40 dB isojoon jääb u 3 km kaugusele Kihnu rannikust). Enamik saarest jääb alasse, kus ei ole oodata üle 35 dB(A) suurust mürataset. Müra leviku kaart on esitatud Joonis 4Joonis 2.



Joonis 4. Mürakaart 4 m kõrgusel Saare-Liivi meretuulepargi puhul 115,3 dB(A) helivõimsustasemega tuulikute + 5 dB määramatuse korral ja Liivi lahe meretuulepargi puhul 121 dB(A) helivõimsustasemega 50 tuulikuga lahenduse korral.

Kasutatud allikad

Hansen, C.H., Doolan, C.J., Hansen, K., L. 2017. Wind Farm Noise: Measurement, Assessment and Control.

Kliimaministeerium. 2024. Müraga arvestamine tuulikute planeerimisel.

Leventhall, H. G. 2006. Somatic Responses to Low Frequency Noise.

Maijala, P. 2020. VTT studied the health effects of infrasound in wind turbine noise in a multidisciplinary cooperation study. VTT Technical Research Centre of Finland

Maijala, P., Turunen, A., Kurki, I., Vainio, L., Pakarinen, S., Kaukinen, C., Lukander, K., Tiittanen, P., Yli-Tuomi, T., Taimisto, P., Lanki, T., Tiippana, K., Virkkala, J., Stickler, E., Sainio, M. 2020. Infrasound Does Not Explain Symptoms Related to Wind Turbines. Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 2020:34.

Pedersen, E. 2007. Human response to wind turbine noise – perception, annoyance and moderating factors. Doctoral thesis. <https://gupea.ub.gu.se/handle/2077/4431>

Pérez, L., García, F. J. 2010. Effects of Wind Speed and Turbulence on Wind Turbine Noise Propagation. Noise Control Engineering Journal, 58(2), 132-139.

Radun, J., Maula, H., Saarinen, P., Keränen, J., Alakoivu, R., Hongisto, V. 2022. Health effects of wind turbine noise and road traffic noise on people living near wind turbines. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.112040>

Schmidt, J., H., Klokke, M. 2014. Health effects related to wind turbine noise exposure: a systematic review.

Swen., M, Stefan., H, Martin., H, Susanne., K. 2022. Can infrasound from wind turbines affect myocardial contractility? A critical review. Noise Health 2022;24:96-106. <https://www.noiseandhealth.org/text.asp?2022/24/113/96/351963>

van Kamp, I.; van den Berg, F. 2021. Health Effects Related to Wind Turbine Sound: An Update. Int. J. Environ. Res. Public Health 2021, 18, 9133. <https://doi.org/10.3390/ijerph18179133>

WindPro kasutusjuhend. Kättesaadav: <https://help.emd.dk/knowledgebase/>

Kajaja Acoustics OÜ. 2024. Liivi lahe meretuulepark keskkonnamüra hinnang. Töö nr: 20142

Sotsiaalministri 04.03.2002 määrus nr 42 „Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid“

Sotsiaalministri 06.05.2002 määrus nr 75 „Ultra- ja infraheli helirõhutasete piirväärtused ning ultra- ja infraheli helirõhutasete mõõtmine“

Keskkonnaministri 20.10.2016 määrus nr 39 „Välisõhu mürakaardi, strateegilise mürakaardi ja müra vähendamise tegevuskava sisu kohta esitatavad tehnilised nõuded ja koostamise kord“

Keskkonnaministri 16.12.2016 määrus nr 71 „Välisõhus leviva müra normtasemed ja mürataseme mõõtmise, määramise ja hindamise meetodid“