



TERVISEAMET

Sopi-Tootsi tuulepargi mürauuringu, sh madalsagedusliku müra ja infraheli leviku ja helirõhutasemete mõõtmiste selgitav aruanne

Tallinn 2025

Nimetus: Sopi-Tootsi tuulepargi mürauuringu, sh madalsagedusliku müra ja infraheli leviku ja helirõhutasemete mõõtmiste selgitav aruanne

Aruande koostasid:

Natalja Šubina – keskkonnatervise osakonna nõunik, Terviseamet

Margus Korsjukov – keskkonnatervise osakonna teenuse juht, Terviseamet

Sisukord

1. Kokkuvõte.....	3
2. Sissejuhatus	4
3. Sopi-Tootsi tuulepark.....	4
4. Mõõtekohad	4
5. Mõõtmised	7
5.1. Mõõtmistingimused	7
5.2. Mõõtemetoodika	8
5.3. Mõõteriistad	8
6. Müra hindamise regulatsioonid.....	9
7. Müra mõisted ja parameetrid.....	9
8. Müra arvutustulemused	10
8.1. Mõõtemääramatus	11
9. Uuringu tulemused.....	12
9.1. Välisõhus leviv müra	12
9.2. Siseruumides leviv müra	14
9.3. Infraheli	15
10. Tuulepargi prognoositud ja mõõdetud müratasemete võrdlus	16

1. Kokkuvõte

Aruanne käsitleb Sopi-Tootsi tuulepargi põhjustatud kuuldava müra, madalsagedusliku müra ja infraheli levikut ning nende helirõhutasemete mõõtmist. Mõõtmised viidi läbi Terviseameti Rahvatervise labori poolt kolmel erineval ajavahemikul 2025. aasta kevadel Põhja-Pärnumaa vallas.

Uuringu eesmärk:

Selgitada tuulepargi müra mõju elamualadele ja eluruumidele, hinnates tulemusi vastavalt Eesti seadusandluses kehtestatud normtasemetele.

Peamised järeldused:

1. Välisõhus leviv müra

- Kõik mõõdetud müratasemed elamualadel jäid alla kehtestatud **piirväärtuste (60 dBA päeval, 45 dBA öösel)** ning isegi **sihtväärtuste (50 dBA päeval, 40 dBA öösel)**.
- Tulemused olid ka allpool juhendis „Tuuleparkide keskkonnamõju hindamise juhend. Müra, vibratsioon, varjutamine“ toodud **soovituslikke tasemeid**.
- **Maksimaalsed müratasemed** jäid lubatud piiridesse.

2. Siseroomides leviv müra

- Kõikides eluruumides oli öise müra tase normidest madalam.
- Päeval ajal saadi objektiivsed mõõtmistulemused kahes eluruumis, mis ei olnud olmemürast mõjutatud. Nendes ruumides A-korrigeeritud ekvivalentne müratase oli normist madalam
- **Madalsagedusliku müra tase** jäi kõigis eluruumides **alla soovituslike helirõhutasemete**.

3. Infraheli

- Mõõdetud infraheli tase jäi kõigis mõõtmispaikades **alla LpG 85 dB piirväärtuse**, nii sise- kui välisõhus. Tulemused olid vahemikus LpG 48,1-59,9 dB
- See kinnitab, et **infraheli ei ületa terviseriski taset** ei tuulikute juures ega elamutes.

Järeldus:

Sopi-Tootsi tuulepargi tekitatud müra (sh madalsageduslik müra ja infraheli) **ei ületa kehtestatud normtasemeid**.

2. Sissejuhatus

Uuringu eesmärk oli mõõta Sopi-Tootsi tuulepargi tööst põhjustatud kuuldava müra, madalsagedusmüra ja infraheli tasemeid tuulepargi läheduses asuvatel elamualadel ja eluruumides ning tuulepargi territooriumil.

Mõõtmised tellis Enefit Green AS (reg.kood 11184032) (Lelle 22, 11318 Tallinn).

Mõõtmised teostati Pärnu maakonnas, Põhja-Pärnumaa vallas, Sopi-Tootsi tuulepargi territooriumil ja ümberkaudsetel elamumaadel ja maatulundusmaa õuealadel.

Mõõtmised teostati ajavahemikes: 27.-28.03.2025, 04.-05.04.2025; 28.-29.04.2025.

Mõõtmised viis läbi Terviseameti Rahvatervise labor. Labor on akrediteeritud Eesti Akrediteerimiskeskuse poolt ning vastab EVS-EN ISO/IEC 17025:2017 esitatud katselaborite pädevuse üldnõuetele (EAK tunnistus L042).

Mõõtmistulemused vormistati mõõtmiste aruandena 6/4-6-2/2431 ning käesoleva selgitava aruandena. Lisaks müramõõtmiste korral tavapäraselt mõõtelabori poolt koostatavatele mõõtmiste aruannetele otsustati seoses avalikkuse suure huviga teema vastu koostada käesolev täiendav selgitav aruanne andmaks paremat ülevaadet mõõtmiste aruannetes kasutatud mõistetest ning mõõtetulemuste seostest kehtivate normtasemetega. Nii mõõtmisaruanded kui ka käesolev selgitav aruanne on mõeldud kasutamiseks tervikuna.

3. Sopi-Tootsi tuulepark

Sopi-Tootsi tuulepargis on kokku 38 tuulikut Nordex N163/6.X, koguvõimsusega 255MW, mille tipukõrgus on 241,5 meetrit. Lähim tuulik Metsaküla elumajadele on ca 1400 m, Viluveri küla elumajadele ca 2100 m, Tabria küla elumajadele ca 1500 m ja Tootsi alevi elumajadele on ca 2300 m, kaugusel.

4. Mõõtekohad

Müramõõtmiste planeerimisel ja mõõtmiskohtade valikul lähtuti andmetest valitsevate tuulte suundade ja -kiiruste kohta, mis on peamised müraallikate nagu Sopi-Tutsi tuulepargi toimimist iseloomustavad tegurid. Lisaks võeti arvesse kohaliku omavalitsuse poolseid ettepanekuid.

Müra mõõtmisteks valitud mõõtepunktide andmed on esitatud tabelis 1:

Tabel 1. Mõõtepunktide andmed

Mõõtepunkt	Mõõtepunkti asukoht, tunnus	Sopi-Tootsi tuulepargis lähim tuulik	Kaugus müraallikast, m	Geograafilised koordinaadid L-Est 97 süsteemis	
Mõõtmiste seeria 27.–28.03.2025:					
MP1-1 (REF)	Sopi-Tootsi tuulepargi territoorium	Reilika tuulik	245-250	6498510.7	545613.1

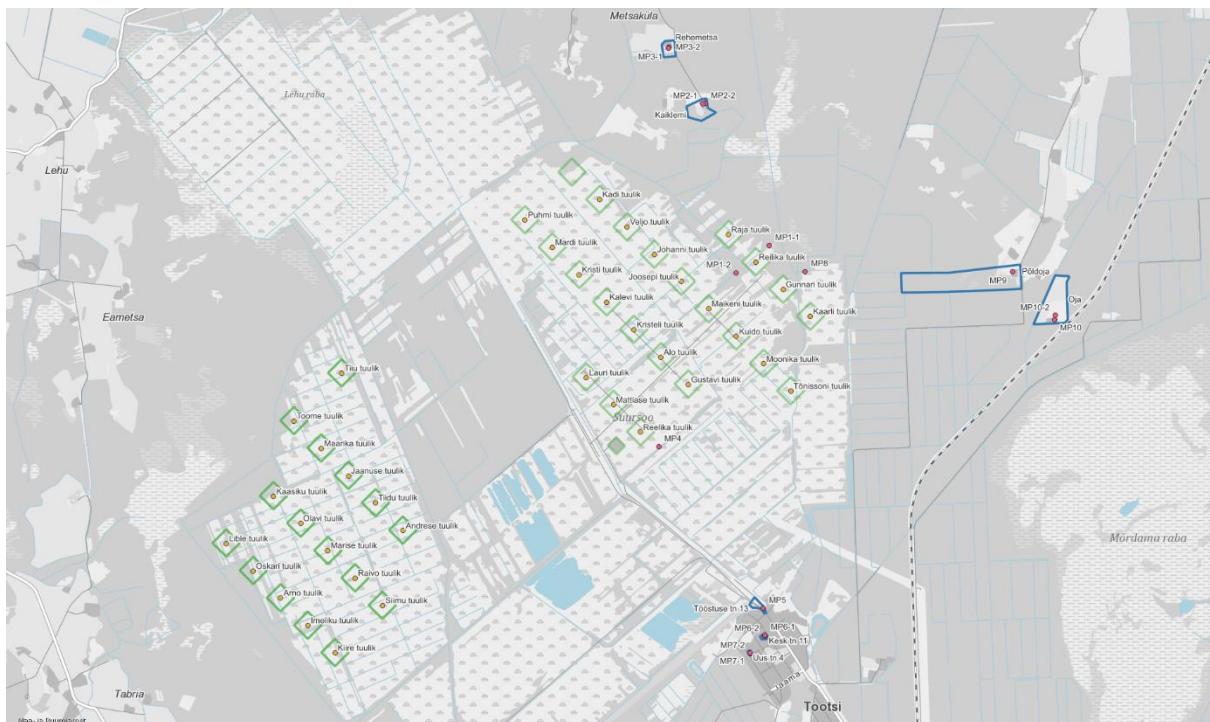
MP1-2	Sopi-Tootsi tuulepargi territoorium	Reelika tuulik	245-250	6498205.7	545255.7
MP2-1	Kaiklemi kinnistul, Metsaküla (27601:004: 0001)	Kadi tuulik	1400	6499962.7	544913.9
MP2-2	Kaiklemi kinnistul elamu eluruum	Kadi tuulik	1400	6499967.2	544932.7
MP3-1	Rehemetsa kinnistul, Metsaküla (27601:004: 0141)	Kadi tuulik	1680	6500535.2	544546.6
MP3-2	Rehemetsa kinnistul elamu eluruum	Kadi tuulik	1680	6500552.8	544555.1
Mõõtmiste seeria 04.–05.04.2025:					
MP4 (REF)	Sopi-Tootsi tuulepargi territoorium	Reelika tuulik	245-250	6496410.1	544452.2
MP5	Sopi-Tootsi tuulepargi territoorium	Reelika tuulik	2220	6494735.4	545536.4
MP6-1	Kesk tn 11, Tootsi alev (80501:001: 0089)	Reelika tuulik	2470	6494460.4	545554.1
MP6-2	Kesk tn 11 elamu eluruum	Reelika tuulik	2470	6494450.5	545550.9
MP7-1	Uus tn 4, Tootsi alev (80501:001: 0019)	Reelika tuulik	2560	6494279.3	545399.8
MP7-2	Uus tn 4 elamu eluruum	Reelika tuulik	2560	6494273.1	545403.2
Mõõtmiste seeria 28.–29.04.2025:					
MP8 (REF)	Sopi-Tootsi tuulepargi territoorium	Gunnari tuulik	245-250	6498228.2	545955.5

MP9	Põldoja kinnistul, Viluvere küla (63801:001:1392)	Kaarli tuulik	2120	6498223.2	548114.4
MP10	Oja kinnistu eluruum, Viluvere küla	Kaarli tuulik	2480	6497730.9	548550.5
*MP10-2	Oja kinnistul, Viluvere küla (93001:001:0001)	Kaarli tuulik	2480	6497708.1	548538.1

* Mõõtmised Oja kinnistul mõõtmispunktis MP10-2 ei õnnestunud tehnilistel põhjustel, mis on seotud veaga mõõdetud andmete salvestamisel välisele mäluksmele.

Müra mõõtmispunktide paiknemine Sopi-Tootsi pargis asuvate allikate suhtes on toodud joonisel 1:

Joonis 1. Müra mõõtmispunktide paiknemine Sopi-Tootsi pargis



Mõõtmispunktide paigutus on ära toodud iga mõõtmisseeria kohta eraldi ja on kättesaadav Maa- ja Ruumiameti geoportaali lingina <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/link/5jyF6zY2>

Müra mõõtmiseks välitingimustes paigaldati mõõtemikrofonid statiividele maapinnast 2 m kõrgusele. Eluruumides mõõdeti müra 1,0 m kuni 1,5 m kõrgusel põrandapinnast.

Mõõtmiskohtade vaated ja mikrofonide asukohad mõõtmispunktides on kujutatud aruandele lisatud fotodel.

Mõõtmiste ajal töötasid kõik Sopi-Tootsi tuulepargi tuulikud, välja arvatud 04.04-05.04.2025, millal ei olnud tehnilistel põhjustel töös: WT40 (Kristi tuulik), WT4 (Imeliku tuulik) ja WT36 (Mattiase tuulik).

5. Mõõtmised

Müra tasemete mõõtmiseks kasutati standardile EVS-EN 61672-1:2013 vastavaid 1. täppisklassi müramõõteseadmeid. Mõõtesüsteemid kontrolliti enne ja pärast mõõtmisi kasutades akustilist kalibraatorit. Kõigil mõõtevahenditel on kehtivad kalibreerimistunnistused.

Müraparameetrite mõõtmine Sopi-Tootsi tuulepargis viidi läbi ajavahemikus 28. märts kuni 6. aprill 2025 kolmes mõõteserias. Mõõtmiste läbiviimiseks valiti tuulikute efektiivse töö tagavad tüüpilised ilmastikutingimused. Iga müra mõõtmiste seeria kestus oli vähemalt 24 tundi.

Tuulepargi tööd iseloomustava kuuldava müra (sagedusel 20 - 10000 Hz) tasemete mõõtmised välisõhus ja eluruumides viidi läbi vastavalt standardis EVS-ISO 1996-2:2017 toodud meetodikale.

Sagedusvahemikus 10 Hz kuni 10 kHz madalsagedusliku müra mõõtmisel eluruumides lähtuti standardi EVS-EN ISO 16032:2024 nõuetest.

Eluruumides infraheli mõõtmised viidi läbi vastavalt standardi EVS-ISO 7196:2002 nõuetele, kasutades mõõteseadmeid koos madalsagedusmikrofonidega, mis on võimelised mõõtma sagedusvahemikus 0,5 Hz kuni 10 000 Hz.

Kõigis mõõtepunktides valiti üksikmõõtmiste tulemuste registreerimise ajaliseks sammuks 1 sekund. Mõõtmiste käigus fikseeriti A-korrigeeritud ekvivalentsed ($L_{pA,eq,T}$) ja maksimaalsed (L_{pAmax}) samuti ka C- ja G-kaalutud müra tasemed ning helirõhutasemed 1/3-oktaavribades sagedusvahemikus 0,8–10000 Hz, mida kasutati andmete analüüsimisel müraallika identifitseerimiseks helispektri alusel, samuti müra tonaalsuse määramiseks.

Üksikmõõtmiste tulemuste põhjal on koostatud müra A-korrigeeritud tasemete ajalise muutuste diagrammid, mis iseloomustavad tuulepargi põhjustatud müra taseme sõltuvust tuulegeneraatorite tiivikute pöörlemiskiirusest, mis omakorda sõltub tuule kiirusest ja tuulikute koormusest.

5.1. Mõõtmistingimused

Labori hinnangul on suure tõenäosusega käesolevate mõõtmiste tulemuste stabiilsust kõige enam mõjutanud teguriteks mõõtmiste ajal mõõtepaigas valitsenud ilmastikutingimused – tuule kiirus, tuule suund ja õhukihtide omadused. Tabelis 2 on toodud andmed müra mõõtmise ajal valitsenud ilmastikutingimuste kohta, mis põhinevad Riigi Ilmateenistuse Viljandi vaatlusjaama andmetel.

Tabel 2. Ilmastikutingimused mõõtmistel

Ilmavaatluse ajavahemik	Õhu temp (°C)	Õhu niiskus (%)	Õhu rõhk (hPa)	*Tuule suund (°)	*Tuule kiirus (m/s)
27.-28.03.2025	3,6-5,2	73-98	1013-1017	202-237	5,7
04.-05.04.2025	0,3-7,1	52-95	1007-1015	332-23	8,3
28.-29.04.2025	7,5-12,8	55-90	1008-1020	212-306	9,0

**Tabelis on näidatud tuule kiirus ja selle suund tuuliku kõrgusel Enefit Green AS poolt edastatud andmetel.*

5.2. Mõõtemetoodika

EVS-ISO 1996-2:2017 Akustika. Keskkonnamüra kirjeldamine, mõõtmine ja hindamine. Osa 2: Helirõhu taseme määramine

EVS-EN ISO 16032:2024 Akustika. Hoonete tehnoseadmetest ja hoones toimuvast tegevusest tuleneva helirõhutaseme mõõtmine. Inseneritehniline meetod

EVS-ISO 7196:2002 Akustika - Sageuse korrigeerimise karakteristikud infraheli mõõtmiseks (standard ei kuulu labori akrediteerimise ulatusse)

5.3. Mõõteriistad

Tabel 3. Mõõtmistel kasutatud mõõteriistad

Nimetus	Valdaja	Number	Kalibreeritud
Müra seirejaam SV 307A	Tallinna labor	133485	17.07.2023 00065374/02/2023
Müra seirejaam SVAN 958A		69081	24.03.2025 ATLC-25/0230A
Müra seirejaam SV 977D		99832	13.03.2025 00103889/02/2025
Müra analüsaator SVAN 958		20775	23.11.2023 00073333/02/2023
Müra analüsaator SVAN 977B		45717	21.11.2023 00073335/02/2023
Müra analüsaator SVAN 979		35866	20.03.2025 00102226/02/2025
Akustiline kalibraator B&K 4231		2253431	24.05.2024 ATLC-24/0286

6. Müra hindamise regulatsioonid

Tööstusmüra on müra, mida põhjustavad paiksed müraallikad, sealhulgas elektrituulikud. Tuulikute tegevusest põhjustatud müra normtasemed on kehtestatud keskkonnaministri 16.12.2016 määrusega nr 71 „[Välisõhus leviva müra normtasemed ja mürataseme mõõtmise, määramise ja hindamise meetodid](#)“. Elu- ja puhkealadel, elamute ning ühiskasutusega hoonete maa-aladel müra mõõtmis- ja arvutustulemuste hindamiseks tuleb rakendada keskkonnaministri 16.12.2016 määruse nr 71 lisas 1 toodud normtasemeid ([Lisa 1](#)), millega võrreldakse käesolevas aruandes toodud müra hinnatud tasemete arvvaartusi.

Määrus 71 eristab müra normtasemetena müra piirväärtust ja sihtväärtust. Müra piirväärtus on suurim lubatud müratase, mille ületamine põhjustab olulist keskkonnahäiringut ja mille ületamisel tuleb rakendada müra vähendamise abinõusid. Müra sihtväärtus iseloomustab häid akustilisi tingimusi.

Samuti eristatakse müra normtasemete kehtivusel eri funktsiooniga alasid. Elamumaa-alad ja maatulundusmaa õuealad kuuluvad II kategooria alade hulka.

Müra normtasemed elamute ja ühiskasutusega hoonete sees ning mürataseme mõõtmise meetodid on reguleeritud sotsiaalministri 04.03.2002 määrusega nr 42 „[Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid](#)“. Lisaks elu- ja magamisruumides kehtivale ekvivalentse helirõhutaseme A-korrigeeritud väärtusele on määruuses määratud ka ekvivalentse helirõhutaseme C-korrigeeritud väärtus. Tehnoseadmete tööst ja tööstusettevõtete tegevusest tekkiva madalsagedusmüra taset hinnatakse võrdluses määruuse lisas 1 kohase soovitatud madalsagedusmüra helirõhutasemega ([Lisa](#)).

Infraheli hindamiseks, mille allikaks on tööstusobjektide tehnoloogilised seadmed, kohaldatakse sotsiaalministri 06.05.2002 määruse nr 75 „[Ultra- ja infraheli helirõhutasemete piirväärtused ning ultra- ja infraheli helirõhutasemete mõõtmine](#)” nõudeid“.

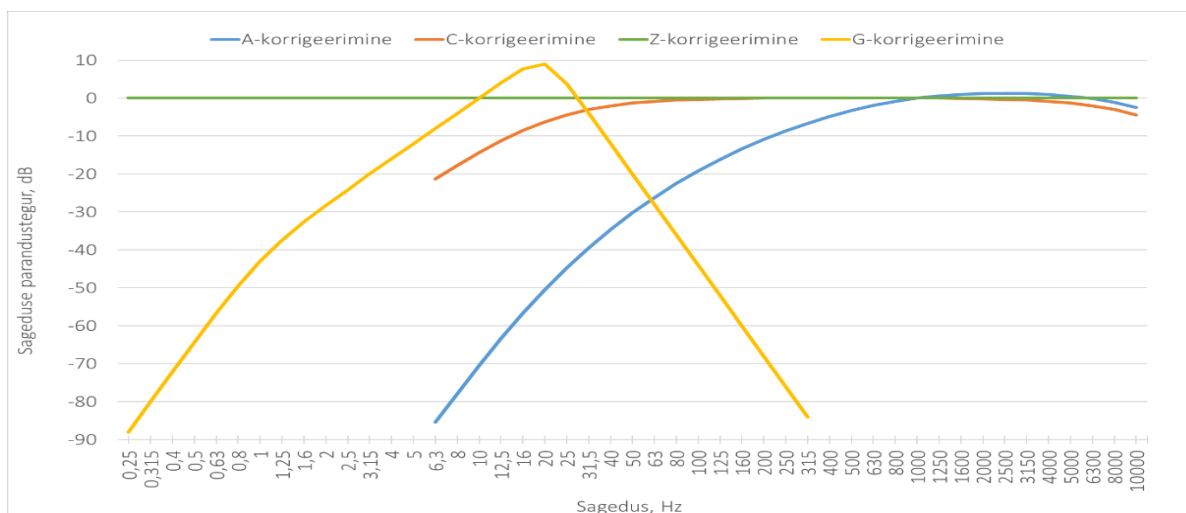
7. Müra mõisted ja parameetrid

Müra korrigeerimine (kaalumine).

Müra sageduse parandustegurid A, C, Z ja G on sageduskoefitsiendid, mida kasutatakse müra mõõtmisseadmetes selleks, et kohandada mõõdetud helirõhutaset, et see vastaks paremini inimese helitajule.

Sageduse korrigeerimise (sageduse kaalumise) kõverad on näidatud alloleval diagrammil.

Joonis 2. Sageduse korrigeerimise kõverad



A-korrigeerimiskõver katab kuuldava müra sagedusvahemikku 20 Hz kuni 20 000 Hz ja selle kuju on ligilähedane inimkõrva sagedustundlikkusele. A-kaalukõver nõrgendab madalat ja kõrget helirõhutaset, andes rohkem kaalu sagedustele vahemikus 500 Hz kuni 10 kHz, kus inimese kuulmine on kõige tundlikum. See on "standardne", kõige sagedamini kasutatav kuuldava müra sageduste kaalumine, mis peegeldab inimese reaktsiooni mürale. A-korrigeerimine kasutatakse müra mõõtmiseks nii välisõhus kui ka siseruumides. A-korrigeerimise abil tehtud mõõtmised kuvatakse dBA või dB(A), mis näitab, et mõõtmistulemused on A-kaalutud, või L_{Aeq} , L_{AFmax} , L_{AE} jne.

C-korrigeerimiskõver mõõdab helirõhu taset kõigil sagedustel peaaegu ilma sumbumiseta. Tavaliselt kasutatakse kõrge mürataseme mõõtmiseks töökeskkonnas, lennujaamamüra või meelelahutusürituste puhul, samuti tehnokommunikatsioonide ja tööstusmüra madalsagedusliku müra hindamiseks eluruumides. C-kaalukõver korreleerub paremini inimese reaktsiooniga kõrgele müratasemele ja seega ka mürast põhjustatud kuulmislangusega. Selles uuringu raames C-korrigeerimine kasutati madalsagedusliku müra hindamiseks elamute ruumides. C-kaalumist väljendatakse dBC, dB(C) või L_C , L_{CE} , L_{Ceq} jne kujul.

Z-korrigeerimine tähendab "null sageduslikku kaalumist", mis tähendab, et kogu helispektri ulatuses pole kaalumist. Käesolevas töös kasutatakse Z-korrektsooni mõõtmistulemuste hindamiseks võrreldes soovitatud madalsagedusmüra helirõhutasemega vastavalt sotsiaalministri määruse nr 42 nõuetele.

G-korrigeerimiskõver on määratletud standardis ISO 7196:2002 ja seda kasutatakse heli kvantifitseerimiseks, mille energiast on oluline osa infraheli vahemikus. Kõver kaalub müratasemeid vahemikus 0,25 Hz kuni 315 Hz, et kajastada inimese taju infrahelist. G-kaalumine aitab kvantifitseerida sellistest allikatest nagu tuuleturbiinid, sõidukid või tööstusseadmed tekitatud infraheli mõju inimtervisele.

G-kaalutud helirõhutasemed, tähistatud L_{pG} või dB(G).

8. Müra arvutustulemused

Sopi-Tootsi tuulepargi tegevusega mitteseotud mürasündmused (liikluse müra, kohalike elanike tegevuste ja looduslike allikate põhjustatud müra) on võimalusel mõõtmisandmetest välja jäetud ning ei ole võetud arvesse müra hinnatud tasemete arvutamisel. Müraallikate tuvastamisel lähtuti müraspektri olemusest, võttes arvesse selle muutumise dünaamikat vastavalt tuule kiiruse ja tuulikute tööandmetele ning mõõtepunktides tehtud helisalvestuse alusel.

Sopi-Tootsi tuulepargi müra mõõtmisandmete põhjal arvutati välja 1-tunnised müra A, C- ja G-korrigeeritud tasemed ning nende summaarsed väärtused päevase (kl 7:00–19:00), öhtuse (kl 19:00–23:00) ja öise (kl 23:00–7:00) hindamisperioodide jaoks, iseloomustades müratasemeid välisõhus ja eluruumides erinevates müra sagedusvahemikes. Arvutustulemused on toodud mõõtmiste aruande 6/4-6-2/2431 (30.05.2025) tabelites 1 - 29.

Tabelites on esitatud ka Enefit Green AS poolt edastatud andmed: tuule kiirus tuulegeneraatori kõrgusel, tuuliku tiiviku pöörlemiskiirus ja elektrienergia tootluse andmed.

Joonistel 2 - 30 toodud diagrammid näitavad tuulikupargi tööst tulenevate müra helispektrite keskmisi tasemeid, mis on registreeritud mõõtmispunktides öösel ja päeval. Lähtudes mõõtmistest 1/3-oktaavribades sagedusvahemikus 0,8-10000 Hz määrati müra tonaalsus

standardi EVS-ISO 1996-2:2017 lisa K alusel. Mõõdetud müra ei ole sageduskarakteristikute alusel tonaalne.¹

Tuulikute müra ei liigitata impulssheli allikate hulka. Impulssheli allikate määratlus on toodud Standardi EVS-ISO 1996-1-2017 punktis 3.5. Vastavalt sellele määratlusele ei kuulu tuulikute müra impulssheli allikate juurde. Ka müra mõõtmiste tulemusena tuvastati, et tuulepargi müra ei ole oma omadustelt impulssmüra.

Madalsagedusliku müra võimaliku negatiivse mõju hindamiseks on diagrammidel esitatud müraspektri mõõtmiste tulemused võrdluses kuulmisläve kõveraga vastavalt standardi ISO 226:2023 „Acoustics—Normal equal-loudness-level contours“ nõuetele. Eluruumides mõõdetud müraspektrite tasemed on esitatud võrdluses sotsiaalministri määruse nr 42 lisas 1 soovitatud madalsagedusliku helirõhutaseme kõveraga.

Müra hinnatud² tasemete arvutustulemusi mõõtmispunktides arvestades müra iseloomu ja mõjuaja parandusi.

Müra hinnatud tasemed ($L_{A,r,ti}$) arvutatakse järgneva valemi järgi: $L_{A,r,ti} = L_{Aeq,ti} + K_{1i} + K_{2i}$ (dB), kus

$L_{Aeq,ti}$ – etteantud ajavahemikus mõõdetud müra A-korrigeeritud ekvivalenttase, dBA;

K_{1i} – parandus müra tonaalsusele ja K_{2i} – parandus impulssmürale.

Lähtudes mõõtmistest 1/3-oktaavribades sagedusvahemikus 0,8-10000 Hz määrati müra tonaalsus⁴ standardi EVS-ISO 1996-2:2017 lisa K alusel. Mõõdetud müra ei ole sageduskarakteristikute alusel tonaalne müra ega impulssmüra, seega parandus müra tonaalsusele $K_{1i} = 0$ dBA ning parandus impulssmürale $K_{2i} = 0$ dBA.

Päevane ajavahemik sisaldab ka öhtust ajavahemikku (kl 19:00–23:00), millele lisandub +5 dB. Müra hinnatud tase kogu päeva vältel (kl 7-23) leitakse: $L_d = 10 \cdot \lg((12 \cdot 10^{0,1L_{r,T1}} + 4 \cdot 10^{0,1(L_{r,T2} + 5)})/16)$, kus

$L_{r,T1}$ ja $L_{r,T2}$ – vastavad hinnatud müratasemed päeval ja öhtusel ajavahemikutel.

8.1. Mõõtemääramatus

Müra mõõtmiste laiendmääramatuse väärtused on arvutatud juhindudes standardi EVS-ISO 1996-2:2017 metoodikast (punkt 10.5 Determination of standard uncertainty). Mõõtmiste liitmõõtemääramatuse komponentideks on mõõteriista tehnilistest parameetritest ja mõõtemetoodikast tulenev hinnanguline hälve (B-tüüpi mõõtemääramatus). Etteantud tingimustes on tööstusmüra mõõtevõime 1,8 dB. Mõõtmistulemuste laiendmääramatus U tõenäosustasemel 95% ($k \approx 2$) on hinnanguliselt $\pm 3,6$ dB.

¹ Tonaalne heli on heli, mille sagedusspektris esineb selgesti eristatav toon. Heli on tonaalne, kui mingis 1/3 oktaavribas mõõdetud helirõhutaseme ületab temale eelnevas ja järgnevas 1/3 oktaavribas mõõdetud taseme 5 dB või enam.

² Müra hinnatud tase tähendab, et mõõdetud või arvutatud müra ekvivalentsele tasemele ($L_{pA,eq}$) lisatakse vajadusel parandus, olenevalt müra häälestusest. Kui hinnatav müra on impulssmüra või tonaalne müra, siis mõõtevõime arvutustulemustele lisatakse vastav parandus enne selle võrdlemist normtasemetega. Korraga rakendatakse ainult üht parandustegurit

9. Uuringu tulemused

9.1. Välisõhus leviv müra

Sopi-Tootsi tuulepargi müra hinnatud tasemete arvutus põhineb tuulikute lähtuva müra mõõtmiste andmetel. Müramõõtmiste tulemusena tuvastati, et tuulepargi müra ei ole oma omadustelt impulssmüra ning selle spekter ei sisalda tonaalseid ega reglementeeritud madalsageduslikke komponente.

Sopi-Tootsi tuulepargis ja sellega piirnevatel elamualadel tehtud mõõtmistulemuste põhjal arvutatud hinnatud müratasemed on toodud tabelis 4.

Tabel 4. Välisõhus leviva müra mõõtmise tulemused

Mõõtmis-punkt	Kaugus tuulepargist (m)	Hindamis-periood	Mõõdetud müra A-korrigeeritud tasemed	
			Ekvivalentsed tasemed, LpA,eq,T (dB)	Maksimaalsed tasemed, LpA,max (dB)
MP1-1 (REF) Reilika tuuliku juures	245-250	Päev kl 7-23	47,1	52,4-53,7
		Öö kl 23-7	45,4	48,9-50,6
MP1-2 Reilika tuuliku juures	245-250	Päev kl 7-23	47,8	51,5-53,5
		Öö kl 23-7	46,3	49,8-50,8
MP2-1 Kaikleme kinnistul	1400	Päev kl 7-23	36,9	43,2-43,4
		Öö kl 23-7	34,9	41,1-41,9
MP3-1 Rehemetsa kinnistul	1680	Päev kl 7-23	36,1	41,0-41,6
		Öö kl 23-7	33,8	39,1-40,7
MP4 (REF) Reelika tuuliku juures	245-250	Päev kl 7-23	48,8	53,8-54,2
		Öö kl 23-7	52,0	52,0-59,9
MP5 Tuulepargi kinnistu piiril	2220	Päev kl 7-23	37,7	47,3-49,0
		Öö kl 23-7	37,6	39,7-44,7
MP6-1 Kesk tn 11, Tootsi alev	2470	Päev kl 7-23	36,8	44,7-49,5
		Öö kl 23-7	36,8	37,4-41,9
MP7-1 Uus tn 4, Tootsi alev	2560	Päev kl 7-23	36,5	47,5-49,5
		Öö kl 23-7	36,2	39,1-41,7

MP8 (REF) Gunnari tuuliku juures	245-250	Päev kl 7-23	52,8	53,9-57,6
		Öö kl 23-7	50,1	55,0-55,5
MP9 Põldoja kinnistul	2120	Päev kl 7-23	44,7*	50,2-53,1
		Öö kl 23-7	38,9	48,9-51,0

* Põldoja kinnistul ajavahemikus 28.05.2025 kell 18:00 kuni 30.05.2025 kell 01:00 mõõdetud müratasemed oli mingil määral mõjutatud vihasajust. Mürataseme tõus 30.05.2025 kl 4:30-lt 5:15-le oli tingitud looduslikust tegurist - metslindude laulust.

Välisõhus leviva tööstusmüra normtasemed on toodud tabelis 5.

Tabel 5. Välisõhus leviva tööstusmüra normtasemed

Müra kategooria	Müra piirväärtus LpA,eq,T [dBA]		Müra sihtväärtus LpA,eq,T [dBA]	
	Päev*	Öö*	Päev*	Öö*
II kategooria – haridusasutuste, tervishoiu- ja sotsiaaltootmis- ja elamumaa-alad, maatulundusmaa õuealad, rohealad	60	45	50	40

* päeva- ja ööaeg on vastavalt 7.00–23.00 ja 23.00–7.00

Mõõtmistest selgus, et tuulikupargi lähedastel elamumaa-aladel oli tagatud elamumaa päevastest ja öistest tööstusmüra piirväärtustest kinnipidamine. Veelgi enam, mõõtmistulemused kinnitasid, et tulemused jäid ka alla rangematele müra sihtväärtustele. Ühel elamualal olid mõõtmistulemused mõjutatud vihasajust ja metslindude laulust, kuid isegi ka siis olid tulemused nii alla piirväärtustele kui ka sihtväärtustele.

Kliimaministeeriumi tellimisel ja Euroopa Liidu rahastuse toel on valminud juhend „Tuuleparkide keskkonnamõju hindamise juhend. Müra, vibratsioon, varjutamine“, mis aitab ühtlustada tuuleparkide keskkonnamõjude hindamise läbiviimist. Juhend keskendub neljale olulisele mõjule – müra levik välisõhus, madalsageduslik heli, sh infraheli, vibratsioon ja varjutamine. Juhend pakub toetavaid suuniseid nii keskkonnamõju hindamise ekspertidele, kohalikele omavalitsustele kui ka planeerijatele, et tagada ühetaolisem lähenemine tuuleparkide mõju hindamisel ja kehtivate regulatsioonide rakendamisel.

Vastavalt juhendile võrdlusriikide praktika ning Eesti hea tava ja praktika kohaselt on soovituslik uute tuulikute planeerimisel lähtuda II kategooria aladel päevasel (Ld) ajal müra normtasemest 45 dB ja öisel (Ln) ajal tööstusmüra kõige rangemast näitajast ehk öisest sihtväärtusest (40 dB). Mõõdetud tulemused näitasid, et elamualadel välisõhu tööstusmüra tasemed ei ületanud ka juhendis välja toodud väärtusi.

Vastavalt määrusele 71 maksimaalne müratase ei tohi ületada tööstusmüra korral vastava mürakategooriaga alal müra liigile kehtestatud normtasest rohkem kui 10 dBA. Kuna tegemist on olemasoleva tuulepargiga, siis maksimaalse mürataseme hindamisel võeti aluseks müra piirväärtused. Mõõtmistulemused näitasid, et uuritud elamumaa kinnistutel maksimaalne müratase ei olnud ületatud.

Müra mõõtmised Oja kinnistul mõõtmispunktis MP10-2 ei õnnestunud tehnilistel põhjustel, mis on seotud veaga mõõdetud andmete salvestamisel välisele mäluseadmele. Küll aga tehti mõõtmised selle kõrval olevas punktis (MP9 Põldoja kinnistu), mis asub tuulepargile lähemal ja võimaldab seega ka paremini hinnata pargi mõju. Mõõtmised punktis MP9 Põldoja kinnistul

näitasid, et tulemused olid allpool piirväärtusi ja sihtväärtusi ning ka eelpool viidatud juhendis toodud soovituslikke tasemeid.

9.2. Siseruumides leviv müra

Käesoleva töö raames tehti ka müra mõõtmisi siseruumides. Siseruumides leviva müra mõõtmistulemused on koondatud tabelisse 6.

Tabel 6. Siseruumides leviva müra mõõtmistulemused

Mõõtmiskoht	A-korrigeeritud müra hinnatud tase päeval (dB)	A-korrigeeritud müra hinnatud tase öösel (dB)	C-korrigeeritud müra hinnatud tase päeval (dB)	C-korrigeeritud müra hinnatud tase öösel (dB)
MP2-2 Kaiklemini kinnistu elamu eluruum	19,6	17,7	44,9	42,9
MP3-2 Rehemetsa kinnistu elamu eluruum	30,0*	18,2	48,3*	42,1
MP6-2 Kesk tn 11 elamu eluruum	15,0	15,3	45,4	45,2
MP7-2 Uus tn 4 elamu eluruum	20,4*	17,1	40,2*	38,4
MP10 Oja kinnistu elamu eluruum	36,0*	16,1	54,3*	49,1

**Olmemürast mõjutatud mõõtetulemused, eriti päeval ajal (mõõtmiste käigus tuvastati olmemüra allikad nagu kodumasinade toiteplokkide töö, televiisorite ja raadiote töö, külmikute ja soojuspumpade müra, samuti elanike vahelisest suhtlusest tulenev müra).*

Müra normtasemed eluruumides on reguleeritud sotsiaalministri 04.03.2002 määrusega nr 42 „Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid“. Müra normtasemed on esitatud tabelis 7.

Tabel 7. Eluruumides tööstusettevõtete ja tehnoeadmete müra normtasemed

Hoone ja ruum	Müra normtase	
Elamu elu- ja magamisruumid	Päev	Öö
	30 LpA,eq,T (dB)	25 LpA,eq,T (dB)
	50 LpC,eq,T (dB)	

Antud uuringu raames kasutati C-korrigeerimist tööstusmüra madalsagedusliku müra hindamiseks eluruumides. Madalsagedusliku müra häirivustase on madalsagedusliku müra helirõhutase 1/3 oktaavribade kesksagedustel, mille ületamine võib põhjustada häirivust.

Soovituslikud helirõhutasemed madalsagedusliku müra häirivuse hindamiseks elamute elu- ja magamisruumides ning nendega võrdsustatud ruumides öisel ajal on toodud alljärgnevas tabelis 8.

Tabel 8. Madalsagedusliku müra hindamine

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

Kaiklemi ja Kesk tn 11 kinnistute eluruumides ei olnud mõõtmiste ajal mõõtmistulemused mõjutatud olmemürast, sest inimesed seal ei ela ja neis on kõige objektiivsemad mõõtmistulemused. Nendes jäi nii A-korrigeeritud kui C-korrigeeritud ekvivalentne müratase määruses nr 42 esitatud normtasemetest madalamaks. Rehemetsa, Uus tn 4 ja Oja kinnistute eluruumides olid mõõtmistulemused olmemürast mõjutatud ning ei saa tulemusi päevasel ajal objektiivselt hinnata. Öisel ajal, kui inimtegevuse mõju langes alla, jäi nendel kinnistutel nii A-korrigeeritud kui C-korrigeeritud ekvivalentne müratase määruses nr 42 esitatud normtasemetest madalamaks

Siseruumide maksimaalset mürataset ei ole hinnatud, sest inimeste olmetegevusest põhjustatud müra mõjutas mõõtmistulemusi, v.a mõõtmiskohad Kesk tn 11, kus inimesi ajutiselt ei ela, ja Kaiklemi kinnistu eluruumis, milledes maksimaalne müra tase on normist palju väiksem.

Läbiviidud mõõtmiste alusel üheski eluruumis sageduskõverale vastavaid normtasemeid ei ületatud. Uuringu kohaselt sageduskõverate väärtused näitavad, et kõikides mõõtmiskohtades ehk Kaiklemi, Rehemetsa, Tuulepargi, Kesk tn 11, Uus tn 4 ja Oja kinnistute eluruumides mõõdetud madalsageduslik müra on alla soovituslike helirõhutaseid.

9.3. Infraheli

Infraheli mõõdeti nii tuulikute juures, kinnistutel kui elamute sees, et võrrelda infraheli levikut. Mõõtmistulemused on esitatud tabelis 9.

Tabel 9. Infraheli mõõtmistulemused

Mõõtmiskoht	Kaugus tuulepargist	Infraheli tase välisterritooriumil (dBG)		Infraheli tase hoone sees (dBG)		Norm (dBG)
		Päeval	Öösel	Päeval	Öösel	
Kaiklemi kinnistu	1400	69,7	67,3	58,3	56,4	85
Rehemetsa kinnistu	1680	68,0	65,6	59,9	56,8	85
Kesk tn 11, Tootsi alev	2470	71,0	66,9	59,5	59,1	85
Uus tn 4, Tootsi alev	2560	68,2	66,4	50,3	48,1	85

Inimeste tervisekahjustuste ja ebameeldivate aistingute vältimiseks on infraheli helirõhutasemete piirväärtused reguleeritud elamutes ning ühiskasutusega hoonetes sotsiaalministri 06.05.2002 määruse nr 75 „Ultra- ja infraheli helirõhutasemete piirväärtused ning ultra- ja infraheli helirõhutasemete mõõtmise nõudeid“.

Püsiva tasemega infraheli G-korrigeeritud helirõhutaseme L_{pG} või muutuva tasemega infraheli G-korrigeeritud ekvivalentse helirõhutaseme $L_{pG,eq,T}$ piirväärtus on 85 dB.

Mõõtmistulemused näitasid, et infraheli tase ei ületanud lubatud piirväärtust ei tuulikute lähedal, elamualadel ega elamutes sees. Tulemused olid vahemikus L_{pG} 48,1-59,9 dB. Kuigi infraheli norm on ette nähtud ruumides, saab siiski seda rakendada ka välisõhus. Infraheli tasemed juba tuulikute lähedal olid normist väiksemad, hoonetes sees on mõõtmistulemused veidi väiksemad kui väljas, seega võib järeldada, et kui infraheli tase väljas vastab normile, siis hoonetes sees on ka norm tagatud.

10. Tuulepargi prognoositud ja mõõdetud müratasemete võrdlus

Tuulepargi prognoositud müratasemeid analüüsiti töös „Pärnu maakonnas Põhja-Pärnumaa vallas Tootsi-Sopi tuulepargi müra ja varjutuse hinnang“ (LEMMA OÜ, Tallinn 2024, töö versioon: 08.10.2024).

Tuuleturbiinide müra hinnati nende kavandamisel arvutuslikult. Selleks kasutati spetsiaaltarkvara WindPRO 4.0. Arvutamisel kasutati rahvusvahelist standardit EVS-ISO 9613-2:2006. : “Acoustics – Abatement of sound propagation outdoors, Part 2: General method of calculation“ mis on Euroopa Liidu soovituslik tööstusmüra arvutusmeetod liikmesriikidele, kellel ei eksisteeri siseriiklikke arvutusmeetodeid (Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2002/49/EÜ, 25. juuni 2002, mis on seotud keskkonnamüra hindamise ja kontrollimisega). Nimetatud standard on tuulikuparkide müra leviku hindamisel laialt kasutatav ka muu maailma praktikas.

Eestis ei ole kehtestatud täpsustatud nõudeid tuulikute müra leviku modelleerimise sisendparameetrite osas. Antud juhul anti müra levik ebasoodsates tingimustes - müralevi maksimaalselt soodustav pärituul igas suunas. Tuuliku tootjate tehniliste andmete alusel suureneb tuuliku helivõimsus tavaliselt kuni tuulekiiruseni 7–8 m/s . Lisaks üle 8 m/s tuule korral hakkab looduslik tuulemuha varjestama tuulikute müra. WindPRO arvutusprogramm võimaldab müra levikut hinnata erinevatel tuulekiirustel, antud töös kasutati modelleerimisel tuulekiirust 8 m/s.

Müra modelleerimine teostati 4 m kõrgusel maapinnast³.

Arvutusvõrgu täpsuseks määrati 10 m. Meteoroloogilise koefitsiendi väärtuseks määrati 0 (kõik retseptorid allatuult).

Müralevi modelleerimisel arvestati heli neelduvust või peegelduvust maapinnal.

³ Mürakaardi arvutuskõrgus 2 m tuleneb keskkonnaministri 20.10.2016 määrusest nr 39 „Välisõhu mürakaardi, strateegilise mürakaardi ja müra vähendamise tegevuskava sisu kohta esitatavad tehnilised nõuded ja koostamise kord“. Tuuleparkide puhul soovib Kliimaministeerium kasutada arvutuskõrgusena 4 m maapinnast. https://kliimaministeerium.ee/sites/default/files/documents/2024-07/muraga%20arvestamine%20tuulikute%20planeerimisel_1.pdf

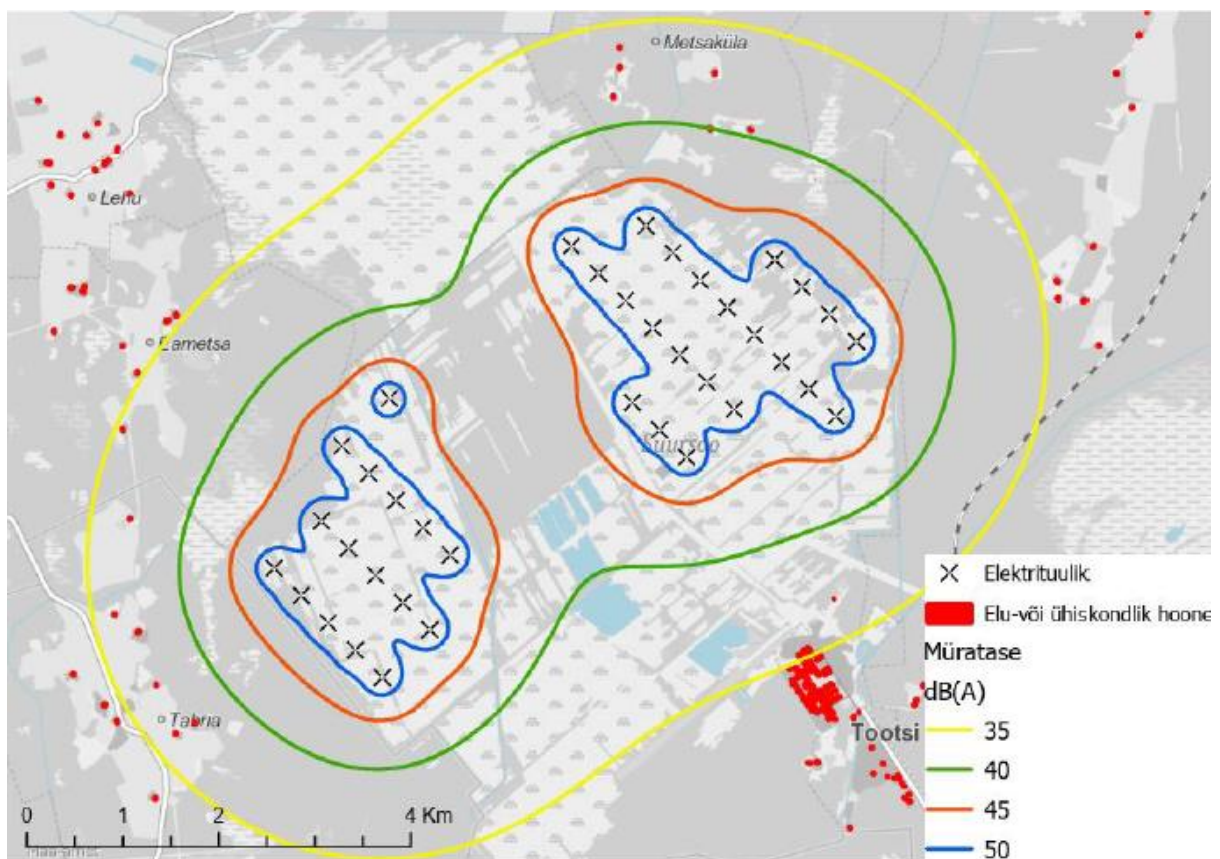
Maapinna reljeef kanti mudelisse Maa-ameti kõrgusandmete alusel (5 m võrguga maapinna kõrgusmodel). Atmosfääri tingimustena kasutati WindPRO standardseadistust (temperatuur 10 0C ja 70% õhuniiskus).

Modelleerimisel ei 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.

Müra leviku kohta vormistati mürakaardid, kus esitati A-korrigeeritud ekvivalentse helirõhutaseme $L_{pA,eq}$ arvsuurused detsibellides 5 dB müravahemikes. Lisaks müra leviku kaartidele arvutati välja müratase müratundlikel aladel, milleks määrati võimalikud mõjualasse jäävad elamualad. Elamualad kanti programmi põhikaardilt ning müratundlikuks objektiks määrati põhikaardi elamualade õueala ulatus.

Modelleeritud müra kaart on esitatud joonisel 3.

Joonis 3. Mürakaart 4 m kõrgusel 105,5 dB ja 106,4 dB helivõimsustasemega tuulikute puhul.



Tabelis 10 on toodud Sopi-Tootsi tuulepargi territooriumi ja ümberkaudsete elamumaade ja maatulundusmaa õuealadele müra modelleeritud tasemete ja mõõtmistulemuste võrdlus.

Tabel 10. Modelleeritud müratase Sopi-Tootsi tuulepargi lähiala elamute õuealadel ja mõõdetud müratasemete võrdlus

Tähis		Modelleeritud tuulikute tekitatav müratase (dBA)	Mõõdetud tulemus (dBA)	
			Päev	Öö
Tootsi alev	Kesk tn 11	34,9	36,8	36,8
Metsaküla	Kaiklemi kinnistu	39,9	36,9	34,9
	Rehemetsa kinnistu	37,4	36,1	33,8
Viluvõre küla	Põldoja kinnistu	34,7	44,7*	38,9

* Põldoja kinnistul ajavahemikus 28.05.2025 kell 18:00 kuni 30.05.2025 kell 01:00 mõõdetud müratasemed oli mingil määral mõjutatud vihmajärgest. Mürataseme tõus 30.05.2025 kl 4:30-15:15-le oli tingitud looduslikust tegurist - metslindude laulust.

Modelleeritud ja mõõdetud müratasemete võrdlus näitab, et mõõdetud müratasemed on vastavuses modelleeritud müratasemetega. Ühes mõõtmiskohas olid päevased müra mõõtmistulemused mõjutatud vihmajärgest ja metslindude laulust, mistõttu ei saa neid tulemusi objektiivselt hindamisel kasutada.

Kokkuvõttes võib järeldada, et tuulepargi planeerimise aluseks võetud müra modelleerimine on korrelatsioonis tegeliku olukorraga.