

LISA 1

Tuuleparkide mõju võrdlev analüüs



Rahastanud Euroopa Liit
NextGenerationEU



Eesti
tuleviku heaks

Nimetus	Tuuleparkide mõju võrdlev analüüs
Versioon	Esitamiseks
Aeg	14.02.2025
Tellija Kontaktisik	Kliimaministeerium Lilli Tamm
Koostajad	<p>Estonian, Latvian & Lithuanian Environment OÜ Registrikood 10705517 Aadress: Tõnismägi 3A-15, 10119 Tallinn Telefon: +372 611 7690 E-post: elle@environment.ee</p> <p>Estonian, Latvian & Lithuanian Environment SIA Registrikood 40003374818 Aadress: Vīlandes iela 3-6, Centra rajons, Rīga, LV-1010, Lāti Telefon: +371 6724 2411 E-post: elle@environment.lv</p>
Autorid	T. Pallo, MSc, KMH juhtekspert; S. Lind, MSc O. Beikulis, MSc A. Brokane, MSc K. Siliņa, Msc T. Kaljurand, MSc K. Kipper-Klaas, MSc
Viide	Kliimaministeerium, 2025. Tuuleparkide mõju võrdlev analüüs

Sisukord

Mõisted	4
Sissejuhatus	5
1 Välisõhus leviv müra	6
1.1 Üldist	6
1.2 Müraallikad ja müra levikut mõjutavad tegurid	6
1.3 Meetodid ja normtasemed	7
1.3.1 Eesti	7
1.3.2 Normtasemed	9
1.3.3 Hindamismeetodid	11
1.4 Meretuuleparkide erisused	14
1.5 Asukoha ja planeerimisega seotud kaalutlused	14
1.6 Leevendusmeetmed ja seire	15
1.7 Olulisemad analüüsitud võrdlusriikide õigusaktid ja juhendid	18
2 Madalsageduslik heli	19
2.1 Üldist	19
2.2 Mõju ja riskid	22
2.2.1 Maismaatuulepargid	22
2.2.2 Meretuulepargid	25
2.3 Meetodid ja normtasemed	26
2.3.1 Eesti	26
2.3.2 Võrdlusriigid	27
2.4 Asukoha ja planeerimisega seotud kaalutlused	31
2.5 Leevendusmeetmed ja seire	31
2.6 Olulisemad õigusaktid ja juhendid	32
2.7 Kokkuvõte	32
3 Vibratsioon	34
3.1 Üldist	34
3.2 Mõju ja riskid	34
3.2.1 Maismaatuulepargid	34
3.2.2 Meretuulepargid	35
3.3 Meetodid ja normtasemed	36
3.3.1 Eesti	36
3.3.2 Võrdlusriigid	37
3.4 Asukoha ja planeerimisega seotud kaalutlused	39

3.5	Leevendusmeetmed ja seire	39
3.6	Olulisemad õigusaktid ja juhendid.....	40
3.7	Kokkuvõte	40
4	Varjutamine	41
4.1	Üldist	41
4.2	Mõju ja riskid	42
4.2.1	Maismaatuulepargid	42
4.2.2	Meretuulepargid	43
4.3	Meetodid ja normtasemed	43
4.3.1	Eesti.....	43
4.3.2	Võrdlusriigid	44
4.4	Asukoha ja planeerimisega seotud kaalutlused	46
4.5	Leevendusmeetmed ja seire	47
4.6	Olulisemad õigusaktid ja juhendid.....	47
4.7	Kokkuvõte	48
	Kasutatud kirjandus	49

Mõisted

Helirõhutase (müratase) – helirõhu ja kuuldeläve helirõhu suhte kahekümnekordne kümnendlogaritm, mida mõõdetakse detsibellides (dB)

Infraheli – helilained sagedusel alla 20 Hz

Madalsageduslik heli – helilaineid sagedusvahemikus 20-200 Hz (vahel on ülem- või alampiir väiksem/suurem)

Müra – ebameeldiv, häiriv või muul viisil inimese tervist ja heaolu kahjustav heli

Päeva-õhtu-öömüraindikaator, L_{den} – Euroopa Liidu ühtne müraindikaator; aasta kõikide päeva-, õhtu- ja ööaja helirõhutasemete arvsuuruste alusel kindlaks määratud pikaajaline keskmine helirõhutase, mis on müra üldise häirivuse indikaator (L_{den} väärtuse arvutamisel rakendatakse õhtusele ajale +5 dB ja öisele ajale +10 dB parandustegurit)

Päevamüraindikaator, L_d – Eesti siseriiklik müraindikaator; aasta kõikide päevaaegade alusel kindlaksmääratud A-korrigeeritud pikaajaline keskmine helirõhutase, mis iseloomustab müra häirivat mõju päeval kohaliku aja järgi kell 7.00-23.00 (L_d väärtuse arvutamisel rakendatakse õhtusele ajale +5 dB parandustegurit)

Öömüraindikaator, L_{night} – Euroopa Liidu ühtne müraindikaator; aasta kõikide ööaegade alusel kindlaks määratud pikaajaline keskmine helirõhutase, mis on unerahu rikkuva müra indikaator ja iseloomustab unerahu häirimist öösel kell 23.00–7.00

Öömüraindikaator, L_n – Eesti siseriiklik müraindikaator; aasta kõikide ööaegade alusel kindlaksmääratud A-korrigeeritud pikaajaline keskmine helirõhutase, mis on unerahu rikkuva müra indikaator ja iseloomustab unerahu rikkumist öösel kohaliku aja järgi kell 23.00-7.00.

Tuulepark – mitmest tuulikust ja neid omavahel ning liitumispunktiga ühendavatest seadmetest, ehitistest ning rajatistest koosnev elektrijaam

Tuulik (elektrituulik) – tuuleturbiinist, ajamist, generaatorist, juhtimissüsteemist ja tornist koosnev süsteem, mis muundab tuule kineetilise energia elektrienergiaks

Varjutamine – pulseeriva valguse ja varju efekt, mida põhjustab läbi pöörlevate tuulikulabade paistev päike

Vibratsioon – tahke keha mehaaniline võnkumine

Vibrokiirendus – vektoriaalne suurus, mis iseloomustab vibratsiooni kiiruse muutumist ajas, väljendatakse parameetri ruutkeskmise väärtusega, m/s^2

Vibrokiirus (vibratsiooni kiirus) – vektoriaalne suurus, mis iseloomustab objekti asukoha muutumise kiirust aja jooksul, väljendatakse mm/s

Sissejuhatus

Analüüsi eesmärgiks on anda ülevaade välisriikide (Taani, Soome, Saksamaa, Läti ja Leedu) mere- ja maismaatuuleparkide rajamise ja kasutamise keskkonnamõju hindamist puudutavatest regulatsioonidest, normidest, juhenditest ja praktikatest, keskendudes mõjudele nagu välisõhus leviv müra, madalsageduslik müra (sh infraheli), vibratsioon ja varjutamine (edaspidi teemavaldkonnad). Asjakohaste teemavaldkondade lõikes käsitletakse ka Euroopa Rekonstruktsiooni- ja Arengupanga (EBDR) ja Maailma Terviseorganisatsiooni (WHO) piirväärtusi ja suuniseid.

Analüüs jaguneb vastavalt teemavaldkondadele neljaks põhiosaks: 1) Välisõhus leviv müra; 2) Madalsageduslik müra, sh infraheli; 3) Vibratsioon; 4) Varjutamine. Kõikide teemavaldkondade lõikes antakse üldine ülevaade valdkonnast, kirjeldatakse võimalikke mõjusid ja riske (v.a. välisõhus leviv müra) ning tuuakse välja võrdlusriikide praktika iseloomustus (sh normtasemed, hindamismetoodika ja planeerimisega seotud kaalutlused). Samuti kirjeldatakse võimalikke mõjude leevendamisevõimalusi.

Käesolev ülevaade põhineb eelkõige asjakohaste dokumentide (õigusaktid, juhenddokumendid, teadusartiklid, mõjuhindamiste aruanded) analüüsil. Täpsemalt on analüüsitud dokumendid välja toodud kasutatud kirjanduse loetelus. Teemavaldkondade ülevaadete ja mõjude kirjeldamisel tugineti tunnustatud teaduskirjandusele, mis leiti kasutades EBSCOhost ja Google Scholar teadusandmebaase. Täpsemalt kasutati eelnevalt märksõnaotsingut, mida kitsendati avaldamise aastat ja teisi formaalseid tunnuseid (sh eelretsenseeringu olemasolu) puudutavate parameetritega, et leida kõige värskemad ja asjakohasemad teadusülevaated. Võrdlusriikide praktika osas tugineti asjakohastele õigusaktidele ja riiklikele juhenditele või suunistele, mis on avalikult kättesaadavad vastava asutuse või organisatsiooni koduleheküljel. Samuti konsulteeriti analüüsi hõlmatud riikide ametiasutuste ja spetsialistidega (mõjuhindajad, tuuleparkide arendajad).

Käesolev analüüs on dokumendi „Tuuleparkide keskkonnamõju hindamise juhendi eelnõu“ lisa. Täpsemalt on analüüsi tulemused sisendiks juhendile, mille eesmärgiks on anda suuniseid mõjuhindajatele mere- ja maismaatuuleparkide keskkonnamõju hindamise läbiviimiseks eelnimetatud teemade lõikes. Kuigi käesolevas analüüsis on käsitletud ka mõjusid elusloodusele, siis keskendub juhend vaid inimesele avalduva mõju hindamisele.

1 Välisõhus leviv müra

1.1 Üldist

Heli on õhus või muus keskkonnas esinev rõhu muutumine, mis kulgeb lainelise liikumisena. Välisõhus leviv müra on inimtegevusest põhjustatud ning välisõhus leviv soovimatu või kahjulik heli, mille tekitavad paiksed või liikuvad allikad. Välisõhus leviva müra põhjendamatu tekitamine on keelatud.¹

Müra on võimalik määratleda nii indiviidi kui keskkonna seisukohalt ebameeldivaks ja häirivaks heliks, mis koormab või kahjustab organismi kas füüsiliselt või psüühiliselt. Müra mõjub inimese tervisele ja heaolule mitmel moel halvasti. Müra võib häirida või raskendada töötamist, puhkamist, magamist, infovahetust ja õppimist. Müra võib kahjustada püsivalt kõrva ja põhjustada kuulmisvõime eriasemelist nõrgenemist. Lisaks sellele võib müraga kaasneda ka muid füüsilisi ja psühholoogilisi mõjusid. Müra võib põhjustada stressi või erinevaid funktsionaalseid häireid. Mürale reageerimine sõltub lisaks müra füüsikalistele omadustele muuhulgas ka sellest, millisena inimene müra tajub.² Müra kahjulikkus oleneb müratasemest (intensiivsusest, amplituudist), sagedusest, iseloomust, muutlikkusest, toimeajast, inimese individuaalsetest omadustest. Samuti peetakse häirivaks muutuva intensiivsuse ja helisagedusega müra.

Lisaks objektiivselt ja numbriliselt väljendatavale mõõdetavale müratasemele tuleb arvestada ka müra häirivusega. Müra normtasemed on kehtestatud põhimõttel, et nendest allapoole jääv müra ei tooks kaasa otsest negatiivset mõju inimese tervisele ja heaolule. Elanikud võivad aga häirivalt tajuda ka sellist mürataset, mis jääb allapoole tegevust reguleerivaid piirnorme. Müra ja selle häirivuse tajumine on seejuures individuaalne. Seejuures mõjutab müra häirivust nii müra iseloom (nt heli korduvus või madalasagedusliku heli esinemine), vastuvõtja enda omadused (tervislik seisund, negatiivne meelestatus müraallika suhtes vms) ning muud objektiivsed või subjektiivsed asjaolud. Häiringu tekkimise võimaliku lävendina on erinevate uuringute koondamise põhjal välja toodud müratase 35 dB välisõhus.³

1.2 Müraallikad ja müra levikut mõjutavad tegurid

Tuulikute müraallikateks on tuuliku labade liikumine läbi õhu, labade möödumine mastist ja tuuliku turbiinis olevad mehhanismid (käigukast, generaator jm). Vastavalt saab tuulikute tekitatud müra jagada aerodünaamiliseks müraks ning mehaaniliseks müraks. Tekitatavast mürast olulisema osa moodustab labade tekitatav aerodünaamiline müra, mis sõltub labade pöörlemiskiirusest. Tuulikute tekitataval müral on madalsageduslik komponent (ptk 2).

Erinevad tuulikute tüübid tekitavad erineva tasemega müra. Tuulikute tekitatav müraemissioon sõltub täpselt tuuliku mudelist. Alati ei pea paika seaduspära, et suurema tuuliku müraemissioon on kõrgem. Lisaks tuleb arvesse võtta, et tehnoloogia areneb ning uuemad, kuid suuremad tuulikud võivad tekitada vähem müra kui vanemad, aga väiksemad tuulikud. Tuulikute tekitatava müra iseloom (intensiivsus, sagedus ja kõikumine) sõltub ka tuulepargis olevate tuulikute arvust,

¹ Atmosfääriõhu kaitse seadus, RT I, 05.07.2016, 1

² Lahti, T., 2010. Keskkonnamüra hindamine ja müra leviku tõkestamine

³ Schmidt J.H., Klokner M., 2014. Health Effects Related to Wind Turbine Noise Exposure: A Systematic Review. PLoS ONE 9(12): e114183. doi:10.1371/journal.pone.0114183

nende omavahelisest kaugusest ning valitsevatest ilmastikutingimustest. Tugevama tuulega pöörlevad labad kiiremini, mistõttu on ka tekkiv müratase kõrgem. Teatud tuulekiirusest alates (8 m/s) on tuule tekitatav müra valjem kui tuuliku tekitatav müra.^{4, 5, 6, 7}

Tuulikute müra hajumine keskkonnas sõltub tuuliku kõrgusest (kõrgema tuuliku puhul hajub müra kiiremini, s.t tuulikule lähemal, võrreldes madalama tuulikuga), ümbritsevast maastikust, taimestikust, ning ilmastikutingimustest (nt tuule kiirus ja suund, õhutemperatuur erinevatel kõrgustel). Madalsageduslik müra levib keskkonnas üldiselt kaugemale ja see sumbub atmosfääris allikast kaugemal.⁸

Müra mõõtmisel tuleb arvestada ka taustmüraga, selle mõju tajub ka vastuvõtja (inimene). Müra arvutuslikul hindamisel (modelleerimisel) saab taustmüra arvutustest välja jätta. Juhul, kui piirkonnas leidub ka teisi tuulikuid, tuleb modelleerida nende koosmõju vastuvõtjale.

Kuna uute tuuleparkide planeerimisel saab perspektiivset müraolukorda hinnata ainult arvutuslikul teel, ei võeta keskkonnamõtjude hindamisel looduslikku taustmüra üldiselt arvesse. **Soomes** läbiviidud keskkonnamõtjude hindamiste (KMH) mürauringutes on leitud, et looduslik taustmüra tase võib tugevama tuulega ulatuda 40-50 dB-ni, samas kui KMH objektiks oleva tuulepargi tekitatav müratase lähimate müratundlike hoonete juures võib jääda alla 40 dB.^{9, 10} **Taanis** mõõdetakse looduslikku taustmüra mittetöötavate tuulikutega tuulekiirusel 6–8 m/s. Ranniku- ja maapiirkondades, kus enamik tuuleparke asuvad, on taustmüra tase üldiselt madalam, kuid see tõuseb tugevneva tuulega. **Eesti** maismaatuuleparkide korral ei ole taustmüra taset reeglina hinnatud. Üldise suunisena arvestatakse, et alates tuule kiirusest 8 m/s ületab taustmüra tuulikute müra.¹¹

Müra mõõtmiste puhul, nt juba rajatud tuulepargi järeelseirel, tuleb arvesse võtta, et tugevama tuulega kasvab tuule tekitatud loodusliku taustmüra tase. Seda on oluline arvestada mõõdetud müra tasemetega (nt piirkonna müratundlike hoonete juures) võrdlemisel tuulepargi arvutuslike müratasemetega. Arvestada tuleb ka seda, et taustmüra enda mõõtmine tuleks teostada seisatud tuulikuga.^{12, 13}

1.3 Meetodid ja normtasemed

1.3.1 Eesti

Välisõhus levivat müra reguleerib atmosfääriõhu kaitse seadus (AÕKS)¹⁴ ja müra normtasemeid sama seaduse § 56 lg 4 alusel kehtestatud määrus 16.12.2016 nr 71 „Välisõhus leviva müra

⁴ Ympäristöministeriö, 2016. *Tuulivoimarakentamisen suunnittelu: Päivitys 2016*. Ympäristöhallinnon ohjeita 5 | 2016. Helsinki: Ympäristöministeriö

⁵ 2023-2024 Soome tuuleparkide KMH aruanded (Uusimo; Volkkilankangas; Lehmikorpi; Vöyri; Seinäjoki)

⁶ SIA ELLE. 2024. *Lode wind farm EIA report*

⁷ Miljøstyrelsen, 2021. *Støj fra vindmøller, Miljøstyrelsens fra vejledning*

⁸ Ympäristöministeriö, 2016. *Tuulivoimarakentamisen suunnittelu: Päivitys 2016*. Ympäristöhallinnon ohjeita 5 | 2016. Helsinki: Ympäristöministeriö

⁹ 2023-2024 Soome tuuleparkide KMH aruanded (Uusimo; Volkkilankangas; Lehmikorpi; Vöyri; Seinäjoki)

¹⁰ Miljøstyrelsen, 2021. *Støj fra vindmøller, Miljøstyrelsens fra vejledning*

¹¹ 2016-2024. Eesti tuuleparkide KSH aruanded (Põlendmaa, Lääneranna valla, Tootsi suursoo, Saarde valla, Loode-Eesti rannikumere, Saare Wind Energy)

¹² 2023-2024 Soome tuuleparkide KMH aruanded (Uusimo; Volkkilankangas; Lehmikorpi; Vöyri; Seinäjoki)

¹³ Miljøstyrelsen, 2021. *Støj fra vindmøller, Miljøstyrelsens fra vejledning*

¹⁴ <https://www.riigiteataja.ee/akt/111062024002?leiaKehtiv>

normtasemed ja mürataseme mõõtmise, määramise ja hindamise meetodid¹⁵. Tuulikute tekitatava müra vastavust normtasemetele saab hinnata modelleerimise või mõõtmise teel.

Elektrituulikute tingitud mürale rakenduvad eelnimetatud määruse alusel tööstusmüra normtasemed¹⁶. Tööstusmürana käsitletakse müra, mida põhjustavad paiksed müraallikad. Müratundlikud alad on vastavalt maakasutuse juhtotstarbele (määratakse üldplaneeringuga) jagatud kategooriateks ja neile on vastavalt kehtestatud siht- ja piirväärtused (päevased ja öised). Päevamüraindikaator L_d on päevaaegade alusel kindlaksmääratud A-korrigeeritud pikaajaline keskmine helirõhutase, mis iseloomustab müra häirivat mõju päeval kohaliku aja järgi kell 7.00-23.00. Öömüraindikaator L_n on ööaegade alusel kindlaksmääratud A-korrigeeritud pikaajaline keskmine helirõhutase, mis on unerahu rikkuva müra indikaator ja iseloomustab unerahu rikkumist öösel kohaliku aja järgi kell 23.00-7.00. Müra hindamisel ja välisõhus leviva müra normeerimisel, kasutatakse A-sageduskorreksiooni, kuna see sobib inimkõrvale mõju hindamiseks kõige rohkem. See on tehniline reduktsioon kõrva kuulmistundlikkusele erinevatel sagedustel suhteliselt vaiksete, umbes 35–45 dB helide puhul. See tugevusala sobib eriti hästi just keskkonna müra jaoks, kui asume öise välismüra ja sisemüra häirivuse piiri lähedal¹⁷.

AÕKS kohaselt on müra piirväärtus suurim lubatud müratase, mille ületamine põhjustab olulist keskkonnahäiringut ja mille ületamisel tuleb rakendada müra vähendamise abinõusid, ning müra sihtväärtus on suurim lubatud müratase uute üldplaneeringutega aladel. Uus planeeritav ala AÕKS tähenduses on väljaspool tiheasustusala või kompaktse hoonestusega piirkonda kavandatav seni hoonestamata uus müratundlik ala. Müratundlik ala on üldplaneeringu juhtotstarbega määratud ala, millele on kehtestatud müra normtasemed.

Kuigi siseriiklikult kehtestatud (ehk õigusaktiga määratud) standardid välisõhus leviva müra arvutamise osas puuduvad, siis üldlevinud praktika kohaselt kasutatakse müratasemete arvutamisel rahvusvahelist standardit ISO 9613-2: "*Acoustics – Abatement of sound propagation outdoors, Part 2: General method of calculation*". Antud standard on ka müradirektiivi¹⁸ soovituslik standard tööstusmüra modelleerimiseks riikides, kus pole kohalikke meetodit kehtestatud. Antud standard on müra leviku hindamisel kasutatav ka teiste riikide praktikas. 2024. aastal lisandus antud standardile ka lisa D, mis täpsemalt käsitleb tuulikute müra modelleerimist.

Planeeringute korral, mille elluviimisega võib kaasneda müra normtaseme ületamine, kuid mille puhul ei viida läbi KSH-d, tuleb koostada müra leviku hindamine vastavalt keskkonnaministri 03.10.2016 määrusele nr 32 „Välisõhus leviva müra piiramise eesmärgil planeeringu koostamise kohta esitatavad nõuded“.

Välisõhus levivat müra puudutavatest suunisdokumentidest on keskkonnamõju hindamistes eelkõige kasutusel Kliimaministeeriumi poolt 2021. aastal (täiendatud 2024. a kevadel) koostatud juhend „Välisõhus leviva müraga arvestamine tuulikute planeerimisel“¹⁹.

Kuna Eestis ei ole kehtestatud täpsustatud nõudeid tuulikute müra leviku modelleerimise sisendparameetrite osas, siis üldlevinult on senine praktika olnud müra leviku modelleerimine

¹⁵ <https://www.riigiteataja.ee/akt/121122016027?leiaKehtiv>

¹⁶ Elektrituulikud kuuluvad masinadirektiivi 2006/42/EÜ reguleerimisalasse.

¹⁷ T.Lahti, 2010. Keskkonnamüra hindamine ja müra leviku tõkestamine.

¹⁸ Euroopa Liidu Müradirektiiv (Directive 2002/49/EC of European Parliament and of Council of the June 2002 relating to the assesment and management of environmental noise)

¹⁹ Kliimaministeerium, 2024. Välisõhus leviva müraga arvestamine tuulikute planeerimisel

ebasoodsates tingimustes (müra levikut soodustav tuul on samaaegselt kõikides suundades (ilmakaartes)) ja maksimaalses töörežiimis. Müra leviku modelleerimisel arvestatakse üldjuhul ka heli neelduvust või peegelduvust maapinnal (erinevatelt pindadelt müra peegeldub/neeldub erinevalt), kuid ei arvestata otseselt müra levikut takistavate objektidega nagu kõrgemad puud ja metsaalad. Lisaks, kuna enamasti ei ole mõjuhindajale teada tuuliku täpne mudel ja seega ka erinevad müra teket mõjutavad parameetrid, kasutatakse modelleerimise sisendandmetena erinevaid tuulikute analooge. Modelleerimise tulemusel esitatakse halvima olukorra (maksimaalse töörežiimi) hajumiskaardid kõigi tuulikute koosmõjuna.

Eesti mõjuhindamiste käigus läbi viidud modelleerimiste erinevus seisneb eelkõige aluseks võetud tuulikute parameetrites (torni kõrgus, rootori diameeter). Üldjuhul on mürakaartide koostamisel aluseks võetud tuulikute parameetrid, mis kirjeldavad võimalikku maksimaalset mõju (müraemissioon enamasti $L_{wA}=108$ dB(A) vastavalt modelleeritud tuuliku mudelile), mis tähendab, et mürakaardid kirjeldavad reaalselt püstitavate tuulikutega (müraemissioon enamasti $L_{wA}=105-107$ dB(A)) võrreldes mõnevõrra mürarikkamat olukorda. Kui modelleerimisel pole täpseid kavandatavate tuulikute andmeid teada, kasutatakse mõne analoogse tuuliku maksimaalset müraemissiooni, millele lisatakse määramatuse parandus (nt +2 dB). Samas esineb ka mõjuhinnanguid, kus müra leviku kaardid on koostatud kahe erineva tuuliku näitel (tüüpiline kaasaegne "suur tuulik" ja planeeringulahendusega lubatud maksimaalsete parameetrite ja maksimaalse mõjuga hüpoteetiline tuulik). Töötamisaegsetest teguritest on välja toodud labade liikumise kiirus ja töötavate tuulikute arv. Samas ei ole meetodika kirjelduses alati selgelt välja toodud, kuidas neid parameetreid on välisõhus leviva müra modelleerimisel arvesse võetud.²⁰

Analüüsitud Eesti mõjuhinnangutes on käsitletud tuuleparkide koosmõju peamiselt seotuna teiste tuuleparkidega ehk seoses teiste piirkonda kavandatavate tuuleparkide arendustega²¹

1.3.2 Normtasemed

Maailma Terviseorganisatsioon (WHO) suuniste²² kohaselt on soovitatav tagada, et tuulikute poolt tekitatud pikaajaline keskmine helirõhutase ei ületaks 45 dB (L_{den}), kuna see võib mõjutada negatiivselt inimeste tervist (nt põhjustada unehäireid, stressi või ärritust). Tuulikute keskmise öise müra taseme (L_{night}) kohta ei ole soovitusi antud, sest puuduvad piisavad tõendid selle mõju iseloomu ja ulatuse kohta.

Arvesse tuleb võtta, et päeva-õhtu-öömüraindikaator L_{den} ei ole otseselt võrreldav Eestis siseriiklikult kasutatavate müraindikaatoritega ehk päevase aja müraindikaatoriga (L_d) ja öise aja müraindikaatoriga (L_n) ning läbi nende seatud siseriiklike müra normtasemetega. Samuti ei ole indikaator L_{den} otse võrreldav mõõtmistulemustega. L_{den} väärtuste puhul rakendatakse öhtusel ajal +5 dB ja öisel +10 dB parandustegurit.

Indikaator L_{night} on samas sisuliselt võrreldav siseriikliku indikaatoriga L_n , kuna mõlemad hõlmavad öist ajavahemikku ning on ilma parandustegurita. Eestis rakendatavad tööstusmüra

²⁰ 2016-2024. Eesti tuuleparkide KSH aruanded (Põlendmaa, Lääneranna valla, Tootsi suursoo, Saarde valla, Loode-Eesti rannikumere, Saare Wind Energy)

²¹ 2016-2024. Eesti tuuleparkide KSH aruanded (Põlendmaa, Lääneranna valla, Tootsi suursoo, Saarde valla, Loode-Eesti rannikumere, Saare Wind Energy)

²² World Health Organization (WHO), 2018. *Environmental noise guidelines for the European region*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.

õised normtasemed (piirväärtus 45 dB ja sihtväärtus 40 dB) on seega tuulikute mürataseme hindamisel võrreldavad teiste riikide praktikaga.

Eestis ja võrdlusriikides kehtivatest müra normtasemetest on antud ülevaade alljärgnevas tabelis (Tabel 1 **Error! Reference source not found.**).

Tabel 1. Ülevaade mürale kehtestatud normtasemetest. Taani ja Soome normtasemed on kehtivad konkreetselt tuulikute poolt tekitatavale mürale, teiste riikide väärtused on üldisele või tööstusmürale.

Riik (sise- või väliruumis kehtivad normid)	Maakasutus	Tuule kiirus	Normtase
Eesti ²³ (väli)	haridusasutuste, tervishoiu- ja sotsiaaltoetuste, tervishoiu- ja sotsiaaltoetuste ning elamumaa-alad, maatulundusmaa õuealad, rohealad	-	Piirväärtus: Päev (7-23): 60 dB(A) Öö (23-7): 45 dB(A) Sihtväärtus: Päev (7-23): 50 dB(A) Öö (23-7): 40 dB(A)
Taani ²⁴ (väli)	müraatundlikud alad (planeeringuga määratletud elamu- ja suvilapiirkonnad)	6 m/s	37 dB(A)
		8 m/s	39 dB(A)
	hajaasustatud alad (alad, mis ei ole elamu- ja suvilapiirkonnad)	6 m/s	42 dB(A)
		8 m/s	44 dB(A)
Soome ²⁵ (väli)	kõik (v.a rahvuspargid)	-	Päev (k 7-22): 45 dB (A) Öö (k 22-7): 40 dB (A)
	rahvuspargid	-	Päev (k 7-22): 40 dB (A) Öö (k 22-7): 40 dB (A)
Saksamaa ²⁶ (väli)	elamualad	-	Päev (k 7-22): 50/55 dB(A)* Öö (k 22-7): 35/40 dB(A)*
	hajaasustatud alad	-	Päev (k 7-22): 60 dB(A) Öö (k 22-7): 45 dB(A)
Läti ²⁷ (väli)	piirkonnad, kus paiknevad elamud, lasteasutused ja terviseasutused	-	Päev (k 7-19): 55 dB(A) Õhtu (k 19-22): 50 dB(A) Öö (k 22-7): 45 dB(A)
	piirkonnad, kus paiknevad korterelamud	-	Päev (k 7-19): 60 dB(A) Õhtu: 55 dB(A) Öö (k 22-7): 50 dB(A)
	piirkonnad, kus paiknevad avalikud hooned, kultuuri- ja õppeasutused (lisaks elamud)	-	Päev (k 7-19): 60 dB(A) Õhtu (k 19-22): 55 dB(A) Öö (k 22-7): 55 dB(A)
	piirkonnad, kus paiknevad ärihooned (lisaks elamud)	-	Päev (k 7-19): 65 dB(A) Õhtu (k 19-22): 60 dB(A) Öö (k 22-7): 55 dB(A)
	vaiksed alad linnalises keskkonnas	-	Päev (k 7-19): 50 dB(A) Õhtu (k 19-22): 45 dB(A) Öö (k 22-7): 40 dB(A)
	eluhoonete magamistubades, terviseasutuste palatites	-	Päev (k 7-19): 45 dB(A) Õhtu (k 19-22): 40 dB(A)

²³ Keskkonnaministri 16.12.2016 määrus nr 71 „Välisõhus leviva müra normtasemed ja mürataseme mõõtmise, määramise ja hindamise meetodid“

²⁴ BEK no 995 of 26/08/2024 Bekendtgørelse om støj fra vindmøller

²⁵ Ympäristöministeriö, 2015. Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista 1107/2015. Helsinki: Ympäristöministeriö

²⁶ Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm

²⁷ Ministru kabineta noteikumi Nr.16. *Trokšņa novērtēšanas un pārvaldības kārtība*

Riik (sise- või väliruumis kehtivad normid)	Maakasutus	Tuule kiirus	Normtase
Leedu ²⁸ (sise ja väli)			Öö (k 22-7): 35 dB(A)
	elamu- ja avalike asutuste piirkonnas	-	Päev (k 7-19): 55 dB(A) Õhtu (k 19-22): 50 dB(A) Öö (k 22-7): 45 dB(A)
	haridusasutustes	-	45 dB(A)

* Madalam piirväärtus kehtib piirkondades, kus on ainult elamud ja kõrgem piirkondade piirkondades, kus võib esineda ka teisi funktsioone (nt äri).

Tabelis 2 on võrdlusriikide lõikes kokkuvõtlikult välja toodud informatsioon kehtestatud õigusaktide ja normtasemete ning koostatud juhendmaterjalide kohta.

Tabel 2. Kokkuvõte võrdlusriikides kehtivatest välisõhus leviva müraga seotud õigusaktidest ja piirväärtustest ning koostatud juhendmaterjalidest (punane - puudub, roheline - olemas)

	Eesti	Taani	Soome	Saksamaa	Läti	Leedu
Reguleeritud tuulikutele suunatud õigusaktidega						
Reguleeritud üldkohalduva õigusaktiga						
Olemas kohustuslikud piirväärtused						
Olemas soovituslikud piirväärtused						
Olemas juhend						

1.3.3 Hindamismeetodid

Järgnevad peatükid käsitlevad peamiselt maismaatuuleparkide müra hindamist, kuid üldjuhul kehtivad need põhimõtted ka meretuuleparkide puhul. Erisuste korral on need eraldi välja toodud.

Tuulikute tekitatava müra hindamiseks kasutatakse müra mõõtmisi ja müra arvutuslikku hindamist (modelleerimine). Kavandatavate tuulikute rajamiseks saab kasutada arvutuslikku hindamist, mõõtmistega saab teostada olemasolevate tuulikute müratasemete määramist (sh varasemalt teostatud arvutuslike tulemuste järelkontrolliks).

Nii Eestis kui võrdlusriikides (**Leedu, Soome, Saksamaa, Taani**) arvatatakse (modelleeritakse) tööstusmüra hajumist rahvusvahelise standardi ISO/DIN 9613-2 arvutusmeetodi kohaselt. Võrdlusriikide senine praktika modelleerimisel ja kasutatavad ISO 9613-2 standardi peamised parameetrid on toodud tabelis (Tabel 3).

²⁸ HN 33:2011 "Triukšmo ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose bei jų aplinkoje"

Tabel 3. Võrdlusriikides tuulikute müra modelleerimisel rakendatavad ISO 9613-2 standardi parameetrid

Parameeter	Eesti ²⁹	Taani	Soome	Saksamaa	Leedu
Tuule kiirus	6-10 m/s 10 m kõrgusel	6 m/s ja 8 m/s 10 m kõrgusel	Tuulekiirus 10 m kõrgusel, tuule kiirus vastavalt kõrgeimale müratasemele vastuvõtja juures. Võimalik rakendada ka fikseeritud kiirust 8 m/s 10 m kõrgusel.	Vaikeväärtus ehk tuulekiirus tuuliku turbiini kõrgusel, võimalik arvestada ka tuulekiirust 10 m kõrgusel	Vaikeväärtus ehk tuulekiirus tuuliku turbiini kõrgusel, võimalik arvestada ka tuulekiirust 10 m kõrgusel
Tuule suuna korrektsioon	Vastuvõtjad allatuult $C_{met}=0$ dB	<i>Pole täpsustatud</i>	Vastuvõtjad allatuult $C_{met}=0$ dB	2 dB	Vastuvõtjad allatuult $C_{met}=0$ dB
Maapinna neelduvuse korrektsioon	1-0,4 ³⁰ – maismaa, akustiliselt neelduvad pinnad; 0 – veekogud, rannikuala, akustiliselt peegeldavad pinnad ³¹	Erinev korrektsioon maismaa- ja meretuule-parkidel korral (tulemuseliidetakse 1,5-3 dB)	Kõvad (peegeldavad) pinnad 0, muu maakasutus 0,4	Maastikul sumbumine – 3 dB;	Kõvad (peegeldavad) pinnad 0, muu maakasutus 0,45
Arvutuskõrgus	1,5-2 m ³²	1,5 m	4 m	5 m	4 m
Tonaalsuse korrektsioon	+5 dB	+0-6 dB vastuvõtja juures	+5 dB vastuvõtja juures	+3dB või 6 dB	+5 dB vastuvõtja juures
Atmosfäärise hajuvuse korrektsioonid	Vaikeväärtused 10°C, 70% õhuniiskust	Vaikeväärtused 10°C, 70% õhuniiskust	Vaikeväärtused 10°C, 70% õhuniiskust	Vaikeväärtused 10°C, 70% õhuniiskust	Vaikeväärtused 10°C, 70% õhuniiskust

Lätis kasutatakse tööstusmüra modelleerimisel CNOSSOS-EU müra modelleerimise meetodit, mida Eestis peab kasutama strateegiliste mürakaartide koostamisel. **Soomes** kasutatakse lisaks Nord2000 meetodit tuuleparkide keskkonnalubade väljastamise protsessis detailsemate müraarvutuste koostamisel.³³

Eestis tuleb **tööstusmüra mõõta** asjakohase EVS-EN ISO standardi kohaselt³⁴. Peamist teostatakse antud mõõtmised vastavalt ISO 1996-2 keskkonnamüra määramise standardite

²⁹ Kliimaministerium, 2024. Välisõhus leviva müraga arvestamine tuulikute planeerimisel

³⁰ See parameeter on aja jooksul varieerunud, kuna juhendid on muutunud.

³¹ Vastavalt ISO 9613-2 lisa D, kuna tavapärase neelduvuse korrektsiooni $G=0-1$ ja neelduva pinnase puhul $G=1$ kasutamine tuulikute puhul alahindas müra hajumist, tuleb tuulikute puhul kasutada neelduva pinnase puhul võõrtust $G=0,5$

³² See parameeter on viimaste aastate praktikas kõikunud, kuna juhendid on varieerunud.

³³ Ympäristöministeriö, 2014. *Tuulivoimaloiden melun mallintaminen*. Ympäristöhallinnon ohjeita 2 | 2014. Helsinki: Ympäristöministeriö

³⁴ RT I, 21.12.2016, 27; Välisõhus leviva müra normtasemed ja mürataseme mõõtmise, määramise ja hindamise meetodid § 10

nõuetele. Sama standardi alusel tehakse seda **Lätis. Taanis** lähtutakse tuulikute keskkonnamüra mõõtmisel Taani Keskkonna- ja soolise võrdõiguslikkuse ministeeriumi määruses nr 955³⁵ toodud nõuetest. **Soomes** tuleb tuulikute tekitavat müra keskkonnas mõõta vastavalt Soome keskkonnaministeeriumi juhendi nõuetele³⁶. **Saksamaal** tuleb lähtuda tuulikute tekitava keskkonnamüra mõõtmisel vastavalt TA Lärm määruses ja selle lisades toodud juhendite nõuetest.³⁷

Soomes, Taanis, Saksamaal³⁸ ja **Leedus** lähtutakse tuulikute müraemissiooni määramisel rahvusvahelisest standardist IEC/ DIN 61400-11 „Tuuleturbiinid. Osa 11. Akustilise mõõtmise meetodid“. **Eesti** ega **Läti** õigusaktides pole eraldi välja toodud, millise standardi kohaselt tuleks määrata tuulikute müraemissiooni (helivõimsustaset), kuid praktikas on ka Eestis kasutatavatel tuulikutel määratud müraemissioon sama standardi alusel.

Taanis tuleb juhul, kui tuulepark koosneb kolmest või enamast sama tüüpi tuulikust, juhuvalikuga mõõta vähemalt kolme tuuliku müra.³⁹ Tuulikute koosmõju hindamisel konkreetsete elamute juures ei pea Taanis arvesse võtma kõiki tuulikuid. Kui uute kavandatavate tuulikute müratase elamute juures on vähemalt 15 dB madalam kui olemasolevate tuulikute müra, võib need koosmõju arvutusest välja jätta. Samamoodi, kui olemasolevate tuulikute müra on vähemalt 15 dB madalam kui uute tuulikute müra, võib neid arvutuses mitte arvestada. Sellistel juhtudel ei oma 15 dB võrra madalama müratasemega tuulikud koosmõju hindamisel kogumüra tasemele olulist mõju.⁴⁰ **Leedu** KMH õigusaktide kohaselt on vajalik hinnata võimalikke negatiivseid koosmõjusid ka teiste olemasolevate või planeeritavate tuuleparkidega. **Läti** nõuete kohaselt on tuulikud tööstusmüra allikad ja koosmõju on vajalik hinnata ainult teiste tööstusmüra allikatega. **Soome** KMH-des on hinnatud planeeritavale tuulepargile lähimate teiste tuuleparkide müra. Analüüsitud KMH-des koosmõju teistest müraallikatest pole hinnatud, kuna lähipiirkondades teisi olulisi tööstusmüra allikaid ei asunud.⁴¹

Analüüsitud **Soome** mürahinnangutes on kõige levinum müra modelleerimisel kasutatav tuuliku tüüp Vestas V172 7,2 MW tuulik (helivõimsustase $L_W=108,9$ dB(A)). Helivõimsustase sisaldab ka +2 dB mõõtemääramatust, mida Soomes vastavalt Soome Keskkonnaministeeriumi juhisele⁴² juurde arvestatakse. Antud parandustegurit rakendatakse Soomes juhul, kui tuuliku helivõimsustase pole määratud vastavalt IEC/DIN 61400-14 standardile. Võttes aluseks tuuliku helivõimsustaseme mõõtmistulemuse vastavalt IEC/DIN 61400-11 standardile ja antud mõõtmiste usaldusnivoo (95%), arvestatakse mõõtetulemusele juurde vastav +2 dB mõõtemääramatust. Tuulikute kõrgustena arvestatakse planeeritavaid kõrguseid.⁴³

Taani andmete kohaselt kasvab tuuliku müratase kuni 7 m/s tuulekiiruseni, millest suuremate tuulekiiruste korral püsib tuuliku müratase stabiilsena.⁴⁴ **Soomes** arvestatakse riikliku juhendi

³⁵ BEK no 995 of 26/08/2024 *Bekendtgørelse om støj fra vindmøller*

³⁶ Ympäristöministeriö, 2014. *Tuulivoimaloiden melutason mittaaminen altistuvassa kohteessa.*

Ympäristöhallinnon ohjeita 4 | 2014. Helsinki: Ympäristöministeriö

³⁷ *Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm*

³⁸ Agatz, M., 2023. *Windenergie-Handbuch*. 19th ed. Kiel: Verlag Versorgungswirtschaft.

³⁹ BEK no 995 of 26/08/2024 *Bekendtgørelse om støj fra vindmøller*

⁴⁰ Nytteland, 2023. *Miljøkonsekvensrapport. Vindmøller ved Kratlund*

⁴¹ 2023-2024 Soome tuuleparkide KMH aruanded (Uusimo; Volkkilankangas; Lehmikorpi; Vöyri; Seinäjoki)

⁴² Ympäristöministeriö, 2016. *Yhteenvedo tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä.*

⁴³ 2023-2024 Soome tuuleparkide KMH aruanded (Uusimo; Volkkilankangas; Lehmikorpi; Vöyri; Seinäjoki)

⁴⁴ Nytteland, 2023. *Miljøkonsekvensrapport. Vindmøller ved Kratlund*

kohaselt⁴⁵ tuulikute müra modelleerimisel ISO 9613-2 arvutusmeetodis tuulekiirusena 8 m/s 10 m kõrgusel, õhutemperatuurina 10°C, õhurõhuna 101,325 kPa ja suhtelise õhuniiskusena 70%. Müra modelleeritakse 4 m kõrgusel. Maismaale arvestatakse neelduvuskoefitsiendina 0,4 ja veekogudele 0.⁴⁶

1.4 Meretuuleparkide erisused

Maismaa- ja meretuuleparkide müratasemete hindamisel on võrdlusriikides teatavad erinevused. **Taanis** kasutatakse modelleerimisel standardseid meteoroloogilisi tingimusi, milleks on 70% suhteline õhuniiskus ja 10°C õhutemperatuur. Lisaks rakendatakse maismaatuuleparkide müra modelleerimisel maastikukorreksiooni +1,5 dB, et võtta arvesse reljeefi ja pindade (nt rohi, betoon, vesi) erinevusest tulenevaid mõjusid. Meretuuleparkide puhul kasutatakse müratasemete arvutamisel +3 dB maastikukorreksiooni. Antud korrektsioonid liidetakse helirõhutaseme arvutamisel⁴⁷. Kui müratundlik hoone asub rohkem kui 200 m sisemaal, kohaldatakse +1,5 dB maastikukorrelatsiooni, olenemata sellest, kui kaugel tuulikud rannikust on. Müratundlike hoonete puhul, mis asuvad 0-200 meetri kaugusel rannikust, kasutatakse lineaarset interpoleerimist avamere- ja maismaakorrektsiooni kasutamise (1,5-3 dB) vahel. Näiteks 100 meetri kaugusel rannikust asuvale hoonele liidetakse +2,25 dB maastikukorreksiooni. 2019. aasta määrusega⁴⁸ võeti meretuuleparkide müra modelleerimisel kasutusele uus meetod, mis arvestab müra hajumisega veepinna kohal, rakendades mitmekordse helipeegelduse jaoks müra sagedust arvestavat korrektsioon, mis sõltub tuuliku kõrgusest. Antud korrektsiooni arvestatakse ainult tuuliku ja ranniku vahelisele alale. Tavaliselt mõjutab tuuliku kõrgus müra hajumist maismaal kaugemal kui 5-7 km, nt 10 km kaugusel meres asuva 100 m kõrge tuuliku puhul on antud korrektsioon 2 dB. Taanis hinnatakse meretuuleparkide puhul ka veealust müra. Veealuse müra mõju hinnatakse veeloomastikule. Arvesse võetakse nii ehitus- kui käitamisaegset müra. Veealuse müra hindamisel tuleb lähtuda standardi ISO 18406 nõuetest. **Soomes** hinnatakse maismaatuuleparkide müra ISO 9613-2 või Nord2000 meetodiga, meretuuleparkide müra arvutatakse vastavalt ISO 9613-2 meetodile, kuid lisaks tuleb arvesse võtta müra peegeldumist veepinnal.⁴⁹ **Teiste võrdlusriikide** puhul pole täpsemaid erisusi maismaa- ja meretuuleparkide müra hindamisel välja toodud. Müra hinnatakse samade meetodite kohaselt nagu maismaa tuuleparkide müra, kuid arvesse tuleb võtta meretuuleparkide asukohast tulenevaid erisusi (peegeldusi veepinnalt jne).

1.5 Asukoha ja planeerimisega seotud kaalutlused

Eestis hinnatakse elamu- ja tööstuspiirkondadesse tuuleparkide rajamise võimalikkust planeerimismenetluse, sh keskkonnamõju strateegilise hindamise (KSH) ja loamenetluse käigus (KMH). Täpset minimaalset kaugust ja täpselt tuuleparkidest lähtuvat müra hindamise protseduuri pole õigusaktidega määratletud. Hea tava kohaselt arvestatakse tuuleparkide

⁴⁵ Ympäristöministeriö, 2014. *Tuulivoimaloiden melun mallintaminen*. Ympäristöhallinnon ohjeita 2 | 2014. Helsinki: Ympäristöministeriö

⁴⁶ 2023-2024 Soome tuuleparkide KMH aruanded (Uusimo; Volkilankangas; Lehmikorpi; Vöyri; Seinäjoki)

⁴⁷ BEK nr. 135 of 07/02/2019. Bekendtgørelse om støj fra vindmøller

⁴⁸ BEK nr 923 af 06/09/2019 Bekendtgørelse om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller

⁴⁹ Ympäristöministeriö, 2014. *Tuulivoimaloiden melun mallintaminen*. Ympäristöhallinnon ohjeita 2 | 2014. Helsinki: Ympäristöministeriö

planeerimisel lähimast müratundlikust objektist vähemalt 0,7-1 km distantsiga. Hetkel võib täpsete nõuete määramine toimuda eriplaneeringute või üldplaneeringutega.⁵⁰

Saksamaal, Lätis ja Leedus on õigusaktidega seatud tuulikute minimaalse lubatud kauguse piirangud müratundlikest aladest (elamualad, looduskaitsealad). Sealjuures on vaid Lätis kehtiv piirang seotud tuuliku võimsusega.

Saksamaa puhul erinevad kaugused liidumaade lõikes, sõltudes näiteks sellest, milline on konkreetse liidumaa rahvastikutihedus või kui soosiv on liidumaa tuuleenergeetika arenduste suhtes⁵¹. Mecklenburg-Vorpommern liidumaal on tuulikute minimaalne lubatud kaugus elamualadest 1000 m ning minimaalne kaugus üksikutest majapidamistest 800 m⁵². Tihedamalt asustatud Bremeni liidumaal on tuulikute minimaalne kaugus elamualadest 620 m ja peamiselt elamualadest 420 m, teistest aladest (külad, üksikud majapidamised) on lubatud minimaalne kaugus 250 m⁵³. Bayeri liidumaa⁵⁴ on minimaalse kauguse seadnud sõltuvusse rajatava tuuliku kõrgusest ehk kehtestanud piirangu, mille kohaselt peab tuulik paiknema elamupiirkondadest minimaalselt kümnekordse turbiini kogukõrguse kaugusel.

Lätis⁵⁵ ei tohi tuulepargid võimsusega üle 2 MW paikneda elamutele ja avalikele hoonetele lähemal kui 800 m. Sama kehtib ka kahe tuulepargi vahelise kauguse kohta. Tuulepargid võimsusega 20 kW kuni 2 MW ei tohi teisele tuulepargile, elamule või avalikule hoonele, paikneda lähemal kui 500 m.

Leedu taastuvenergeetika seaduse⁵⁶ kohaselt peavad tuulikud paiknema kinnistul nii, et nende minimaalne kaugus kinnistu piirist, millele neid rajatakse, on suurem kui rajatise suurim dimensioon (pikkus, laius või kõrgus). Üle 30 kW võimsusega tuulikute korral peavad elamud ja teatud ühiskondlikud hooned (nt koolid, haiglad, kirikud) jääma vähemalt neljakordse turbiini kogukõrguse kaugusele.

Teistes riikides puuduvad minimaalse kauguse nõuded müratundlikest aladest, välja arvatud Taani, kus tuulikud tohivad elamualadest paikneda minimaalselt neljakordse turbiini kogukõrguse kaugusel, kuid antud piirang on seotud ennekõike visuaalsete häiringute leevendamiseks (ptk 4.4).

1.6 Leevendusmeetmed ja seire

Esmane meede müra mõjude vähendamiseks on tuulikute tekitatava müraga arvestamine tuuleparkide kavandamisel, ehk teostatakse asjakohane mürahindamine ja leitakse optimaalse suuruse ning parameetritega kavandatav tuulepark.

⁵⁰ 2016-2024. Eesti tuuleparkide KSH aruanded (Põlendmaa, Lääneranna valla, Tootsi suursoo, Saarde valla, Loode-Eesti rannikumere, Saare Wind Energy)

⁵¹ Fachagentur windenergie an land, 2024. *Überblick – Abstandsvorgaben und -empfehlungen zur Ausweisung von Windenergiegebieten in den Ländern*

⁵² Ministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Tourismus und Arbeit Mecklenburg-Vorpommern, 2023. *Erllass zur Festlegung landesweit einheitlicher, verbindlicher Kriterien für Windenergiegebiete an Land*

⁵³ Die Senatorin für Umwelt, Bau und Verkehr Bremen, 2014. *Begründung Flächennutzungsplan Bremen*

⁵⁴ Bundesinnenministerium Bayern, 2014. *Ersthinweise bzw. häufige Fragen zur bayerischen 10 H-Regelung.*

⁵⁵ *Ministru kabineta noteikumi Nr.240 „Vispārīgā teritorijas plānošanas, izmantošanas un apbūves noteikumi“*

⁵⁶ Lietuvos Respublikos Seimas, 2024. *Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymas*

Kuna müranormide ületamine on keelatud, on **Eesti** maismaatuuleparkide keskkonnamõju hinnangutes meetmetena käsitletud nn üldlevinud regulatiivseid nõudeid, millest kinni pidamise kohustus on juba õigusaktidega reguleeritud (nt peab kinni pidama seaduses ette nähtud normtasemetest või tuulikute paigaldamisel (sh omavaheliste vahekauguse valikul) ja hooldamisel tuleb jälgida tootjapoolseid soovitusi/nõudeid, et tagada dokumentatsioonis esitatud müraemissioonid) või väga üldisi meetmeid, mis ei sea kindlaid suuniseid/piiranguid (nt tuulikute valikul eelistada madalama müratasemega mudelid, mis kasutavad tehnilisi müra vähendamise meetmeid (labade hammastatud servad vms)).

Meretuuleparkide keskkonnamõju hinnangutes seatud leevendusmeetmete puhul on rõhk eelkõige ehitustegevuse käigus tekkival müral (Loode-Eesti) ja käitamisaegseid leevendusmeetmeid üldjuhul seatud ei ole. Sarnaselt maismaatuuleparkidega on ka meretuuleparkide keskkonnameetmetena välja toodud nn regulatiivseid meetmeid. Lisaks on käsitletud ka tuulikute asukoha valikuga seotud meetmeid - nt on Eesti mereala planeeringus välistatud tuulikute rajamine rannikute lähemale kui 6 meremiili. Ühes mõjuhinnangus (Saare Wind Energy) on välja toodud ka soovituslikud leevendusmeetmed – kui selgub tuulikute lõplik arv, paigutus ja tuuliku mudel, on soovitatav teostada täiendav müra modelleerimine, mis arvestaks väljavalitud tuulikute andmeid.⁵⁷

Võrdlusriikides on tuulikute töötamisaegse müra vähendamise üks võimalik meede nende töörežiimi muutmine (võimsuse vähendamine või ka tuuliku peatamine teatud perioodiks) määratundlikematel perioodidel (nt öösel, teatava tuuletugevuse korral jne). Antud töörežiimi muutmised saab tuulikutel seada ka automaatseks ja erinevaid keskkonna- või ajalisi tingimusi arvestavaks. Järgnevates alajaotustes on käsitletud peamiselt meetmeid, mida võrdlusriikides rakendatakse maismaatuuleparkides. Taanis on juhendites välja toodud ka täpsemad meetmed meretuuleparkide mõjude leevendamiseks.

Taanis kasutatakse meretuuleparkide ehitusaegse müra leevendamiseks meetodit, kus vaiade rammimisel merepõhja tekitatakse vaia ümber merepõhja viidud voolikuga õhumullidest veealune sein (müratõke). Vajadusel paigaldatakse neid õhumullidest seinu järjest mitu rida. Lisaks on võimalik vette paigaldada ka tahkeid müratõkkeseinu ning rajada vaiade rammimise alasse metallist kihtidega seinad, kus seejärel vaia ja seina vaheline ala kuivendatakse, mistõttu müra hajumisel peab müra levima erinevas keskkonnas (õhk-metall-vesi). Lisaks on võimalik müratõkkena paigaldada merepõhja vaiade ümber ka õhuga täidetud pallid. Mittetehnilise meetmena tuleb ehitustöödel arvesse võtta, et mereelustik saaks piirkonnast piisava ajavaruga kaugemale eemalduda.⁵⁸ Maismaatuuleparkide puhul tuleb ehitustegevus planeerida päevasele ajale. Müra piirväärtuste tagamiseks tuleb arvestada 600 m kaugusega lähimatest hoonetest. Võimaliku meetmena on ka arvestatud koosmõjus olevate eratuulikute ära ostmist ja eemaldamist ning samuti kõrge mürataseme piirkonnas olevate eluhoonete ostmist.⁵⁹

Soomes on ehitusaegseteks müraleevendusmeetmeteks näiteks vaiksemate seadmete kasutamine, väljakaevatud pinnase kasutamine müratõkkena, mürarikkamate tegevuste planeerimine päevasele ajale ning ehitustegevuse planeerimine loomade ja lindude pesitsusvälisele ajale. Tuuleparkide kasutusaegsete meetmetena saab kasutada tuulikutel

⁵⁷ 2016-2024. Eesti tuuleparkide KSH aruanded (Põlendmaa, Lääneranna valla, Tootsi suursoo, Saarde valla, Loode-Eesti rannikumere, Saare Wind Energy)

⁵⁸ Miljø- og Ligestillingsministeriet, 2024. *Landanlæg til Hesselø Havvindmøllepark Miljøkonsekvensrapport*

⁵⁹ Nytteland, 2023. *Miljøkonsekvensrapport. Vindmøller ved Kratlund*

vähem müra tekitavaid labasid, tuulikute võimsuse (labade pöörlemise) vähendamist müratundlikematel perioodidel, tuuliku mehhanismide ümber parema heliisolatsiooni kasutamist ning tuulikute müra arvestavat paigutamist.⁶⁰

Saksamaal rakendatakse tuulikutel leevendusmeetmena erinevaid töörežiime, et müratundlikel perioodidel mürataset vähendada. Tegemist on tuulikutele seatavate automaatsete režiimidega, mis jälgivad etteantavaid parameetreid (nt kindlad tuulekiirused või -suunad jne) ja siis vastavalt vähendavad tuuliku võimsust ning seeläbi ka tekitatavat müraemissiooni.⁶¹ Lisaks on Saksamaal väljatöötamisel meretuuleparkide ehitusaegse müra vähendamiseks uus tehnoloogia, mis vähendaks merepõhja vaiade paigaldamisel mürataset kuni 99% ja tooks protsessi mürataseme samale helirõhutasemele veealuse loodusliku taustmüraga. Varasema vaiade rammimise asemel vähendatakse tugeva veesurve abil liivase põhjasette takistust, mis läbi on vaiade merepõhja paigaldamine palju kiirem ja lihtsam.⁶²

Taanis tuulikuid enamasti müra tõttu ei peatata, vaid nende võimsust vähendatakse, kui müratase teatava tuulekiiruse (6–8 m/s) tõttu kõrgemaks võib tõusta. Tuulikuid peatatakse üldiselt väga tugevate tuulekiiruste (20–25 m/s) korral ja seda turvalisuse kaalutlustel.

Läti ja Leedu andmete kohaselt on nende tuulikud seadistatud automaatselt tööle rakenduma ja peatuma. Enamasti rakenduvad tuulikud tööle alates tuulekiirusest 3 m/s ja peatuvad liiga tugevate tuulte korral (20–26 m/s), vältimaks tuuliku kahjustumist. Müraleevendusmeetmena saab tuulikud peatada ka liigse müra tõttu. Sarnaseid võimalikke leevendusmeetmeid on välja toodud ka **Soome** praktikas ning neid rakendatakse ka Eesti tuulikutel.

Analüüsitud **Eesti** mõjuhindangutest vaid ühes (Saare Wind Energy) meretuulepargi hinnangus on seatud tingimused ka **müra seireks** ning on täpsustatud selle asukoht ja viis. Täpsemalt on Saare Wind Energy hinnangus välja toodud, et „*allveemüra uuringus seatud eelduste kontrollimiseks on vaja edaspidi ehitamisel ja opereerimisel täiendavalt mõõta heli levikukadu. Heli allvees võib olla kas impulsiivne või pidev lairibaline ja see tuleks asetada tulevase vaia paigaldamise kohta. Heli edastamise mõõtmised tuleks teha detsidekaadide kaupa, pöörates erilist tähelepanu madalatele sagedustele 100-300 Hz, kus on märkimisväärne helikiirus nii ehitus- kui ka kasutusel. Parem aeg mõõtmisteks on kevad, sest sel perioodil on heli levikadu kõige väiksem, mis annab konservatiivsema helilevi hinnangu. Ehitusperioodil on oluline mõõta vaiade paigaldamisel tekkivat allikataset. Mõõtmised tuleks teostada vastavalt standardile ISO 18406 ja eelistatavalt samades mõõtmispunktides kui ehituseelses etapis. Tuleb jälgida, et hüdrofonide dünaamiline mõõteulatus oleks piisav, et võimaldada kõrgeima eeldatava helirõhu registreerimist ilma moonutusteta. Tuleks jälgida vähemalt nelja vaia paigaldamist kogu nende paigaldusperioodi jooksul*“.⁶³

Võrdlusriikide KMH aruannetes pole seirenõudeid üldiselt seatud, kui KMH käigus teostatud müra arvutuslik hindamine ei näita müraga probleeme.⁶⁴ Soome KMH aruannetes⁶⁵ on välja

⁶⁰ 2023-2024 Soome tuuleparkide KMH aruanded (Uusimo; Volkilankangas; Lehmikorpi; Vöyri; Seinäjoki)

⁶¹ Tarricone, K., 2023. *UVP-Bericht zum geplanten Vorhaben Errichtung und Betrieb von 7 WEA und Rückbau von 3 WEA im WP Biere*

⁶² <https://orsted.com/en/media/news/2024/07/orsted-successfully-pilots-new-technology-that-fur-13959650> (vaadatud 05.12.2024)

⁶³ Roheplaan OÜ, 2024. *Saare Wind Energy meretuulepargi keskkonnamõju hindamine*

⁶⁴ Ramboll, 2022. *Beregning af luftbåren støj for Energix Bornholm: 15 MW og 27 MW havvindmøller. Energinet*

⁶⁵ 2023-2024 Soome tuuleparkide KMH aruanded (Uusimo; Volkilankangas; Lehmikorpi; Vöyri; Seinäjoki)

toodud, et seiret peaks teostama, kui tuulepargi käitamise käigus selgub müraga seotud negatiivne mõju. Käitamisaegse negatiivse mõju hindamisel on muuhulgas abiks kohalike elanike tagasiside ja küsitlused.

Taani määruse⁶⁶ kohaselt võib kohalik omavalitsus tellida tuulepargi omanikult müra mõõtmise, kui:

- mõnda tuulikut on muudetud või tuuleparki on lisatud tuulikuid juurde;
- see on vajalik vastavalt järelevalve nõuetele, mitte sagedamini kui kord aastas;
- vastavalt vajadusele, kui piirkonna elanikelt on laekunud põhjendatud kaebused.

1.7 Olulisemad analüüsitud võrdlusriikide õigusaktid ja juhendid

Taani õigusakt ja juhendmaterjal:

Taani Keskkonna- ja soolise võrdõiguslikkuse ministeeriumi 26.08.2024 määrus nr 995 „Teatis tuulikute müra kohta“.

- [BEK no 995 of 26/08/2024 Bekendtgørelse om støj fra vindmøller](#)

Taani Keskkonnakaitseameti juhenddokument „Tuulikute müra“.

- [Miljøstyrelsen, 2021. Støj fra vindmøller, Miljøstyrelsens fra vejledning](#)

Saksamaa riikliku emissioonikontrolli töörühma poolt välja antud välisõhus leviva müra hindamise juhendmaterjal:

- [LAI, 2016. Hinweise zum Schallimmissionsschutz bei Windkraftanlagen \(WKA\)](#)

Soome Keskkonnaministeeriumi tuulikute müra modelleerimise juhend

- [Ympäristöministeriö, 2014. Tuulivoimaloiden melun mallintaminen](#)

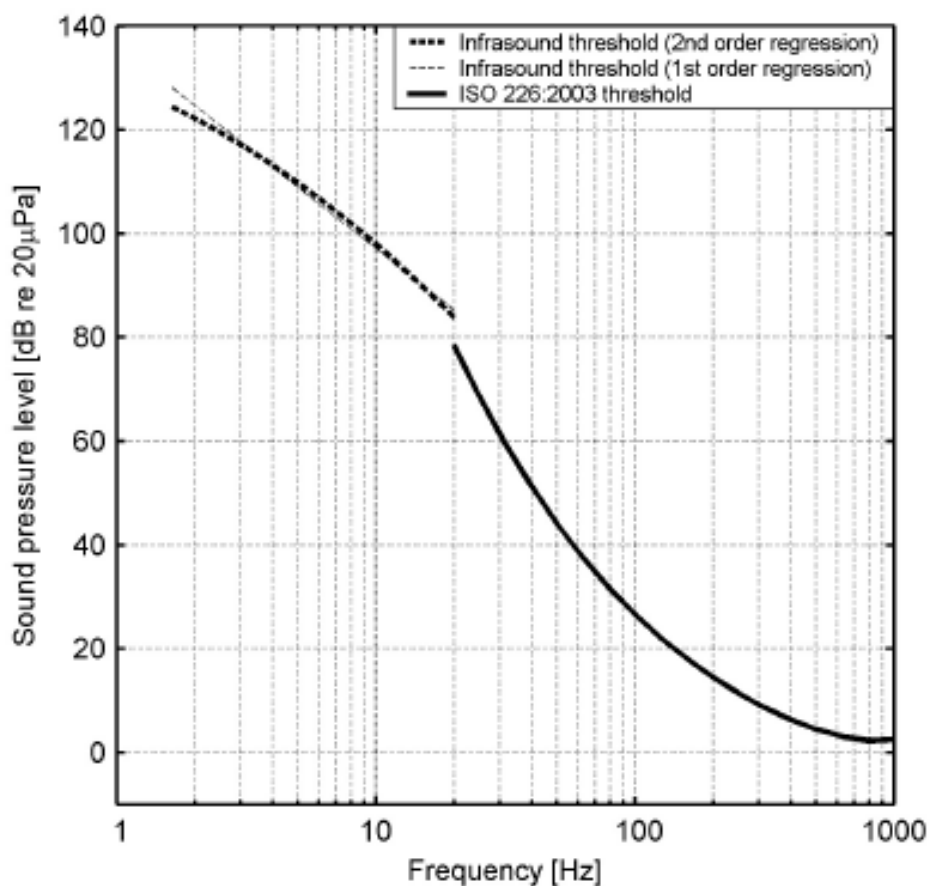
⁶⁶ BEK nr 923 af 06/09/2019 *Bekendtgørelse om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller*

2 Madalsageduslik heli

2.1 Üldist

Tuulikud tekitavad heli laias sagedusvahemikus, sealhulgas madalsageduslikku ja infraheli. **Madalsagedusliku** heli all peetakse üldjuhul silmas helilaineid sagedusvahemikus 20-200 Hz (vahel on ülem- või alampiir väiksem/suurem). **Infraheli** hõlmab enamasti sagedusi alla 20 Hz.

Inimese kuuldelävi algab kesksagedustel (500–4000 Hz) helirõhu tugevusest 0–20 dB, madalsageduslikus spektrivahemikus (0–200 Hz) peab tajulävi ületamiseks helirõhk olema oluliselt tugevam – ca 80 dB 20 Hz piirkonnas ning 100 dB 5 Hz piirkonnas (Joonis 1)⁶⁷.



Joonis 1. Inimese kuulmislävi erinevates sagedusvahemikes

Inimesed tajuvad madalsageduslikku heli, sh infraheli, peamiselt kuulmisorgani (kõrvade) kaudu. Kui heli sagedus langeb alla 100 Hz, muutub heli tajumise iseloom – helid kaotavad ühtlase tonaalse kvaliteedi ja neid kogetakse hoopis rõhu või üksikute impulssidena⁶⁸. Sagedusel alla 20 Hz võib inimene tajuda heli pigem värina kui pideva helina ja alla 10 Hz tajuvad inimesed heli

⁶⁷ Møller, H. and Pedersen, C.S., 2004. *Hearing at low and infrasonic frequencies*. *Noise & Health*, 6(23), pp.37-57

⁶⁸ Møller, H. and Pedersen, C.S., 2011. *Low-frequency noise from large wind turbines*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(6), pp.3727–3744

pigem vibratsiooni või survena kõrvades⁶⁹. Sõltuvalt sellest, kui tundlik inimene on, võivad lisaks kuulmisorganile ka teised organid tajuda madala sagedusega heli, nt võib nahk tajuda survet ja vibratsiooni. Äärmuslikes olukordades on võimalik tajuda survet ka nt keskkõrvas või põskkoopas⁷⁰. Vaatamata sellele, et teatud olukordades võivad lisaks kuulmisorganile kaasatud olla ka teised tajumehhanismid, on kõrv siiski esmane organ madala sagedusega heli tajumisel. Teadusuuringud on näidanud, et madala sagedusega heli tajumise lävendid on sarnased sõltumata sellest, kas heli tajutakse kuulmise kaudu või mõne muu mehhanismi abil⁷¹.

Lisaks tuulikutele tekitavad madalsageduslikku, sh infraheli, ka looduslikud ja muud inimtekkelised allikad. Madalsagedusliku heli looduslikeks allikateks on näiteks tuul, äike, vulkaanipursked kui ka lained. Inimtekkeliste allikatena on võimalik välja tuua rongi- ja autoliiklust, plahvatusi ja masinate (nt kompressorite, mootorite) tööd.

Tuulikute puhul tuleneb madalsageduslik müra, sh infraheli, peamiselt aerodünaamilistest protsessidest, täpsemalt⁷²:

- Labade perioodilisel möödumisel tornist. Kuna tuule kiirus väheneb tuuliku torni lähedal, siis muutub ka labadele avalduv surve, mis paneb labad külgsuunas liikuma ja tekitab korduva sagedusega heli (sagedus < 30 Hz).
- Labade liikumisel läbi muutuvate õhuvoolude ja turbulentsi. Täpsemalt n-õ löikab laba turbulentsid pööriseid, mis esinevad sissevoolava õhu (tuule) sees (sagedus max 10 Hz).

Mehhaanilise müra tase on viimastel aastakümnetel oluliselt vähenenud ja seetõttu ei peeta seda oluliseks madalsagedusliku müra allikaks⁷³.

Tuulikute poolt tekitatavat madalsageduslikku ja infraheli on selle levikukeskkonnast tulenevate mõjutuste ja tehniliste piirangute tõttu keeruline mõõta. Täpsemalt iseloomustab sellist heli pikk lainepikkus ja tasapinnaline levik, mis keskkonnaelementidest (nt maastik, atmosfääritingimused, inimtekkelised struktuurid) mõjutatuna muudab heli levikumustri keerukaks ja mõõtmise komplitseerituks⁷⁴.

Baden-Württembergi liidumaa keskkonnainstituudi (LUBW) poolt viidi aastatel 2013–2015 läbi uuringud⁷⁵, mille käigus mõõdeti tuulikute madalsagedusliku heli, sh infraheli, tasemeid erinevatel kaugustel tuulikute ees. Tulemused näitasid, et madalsagedusliku heli, sh infraheli, tase kuue erineva võimsuse (1,8–3,05 MW), rootori läbimõõdu (70–112 m) ja torni kõrgusega (86–140,6 m) tuuliku läheduses on alla inimese tajuläve. Täpsemalt jäid madalsagedusliku heli tasemed

⁶⁹ Møller, H. and Pedersen, C.S., 2004. *Hearing at low and infrasonic frequencies*. *Noise & Health*, 6(23), pp.37-57

⁷⁰ Merchel, S. and Altinsoy, M.E., 2020. *Psychophysical comparison of the auditory and tactile perception: a survey*. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 14(3), pp.271–283.

⁷¹ Møller, H. and Pedersen, C.S., 2004. *Hearing at low and infrasonic frequencies*. *Noise & Health*, 6(23), pp.37-57

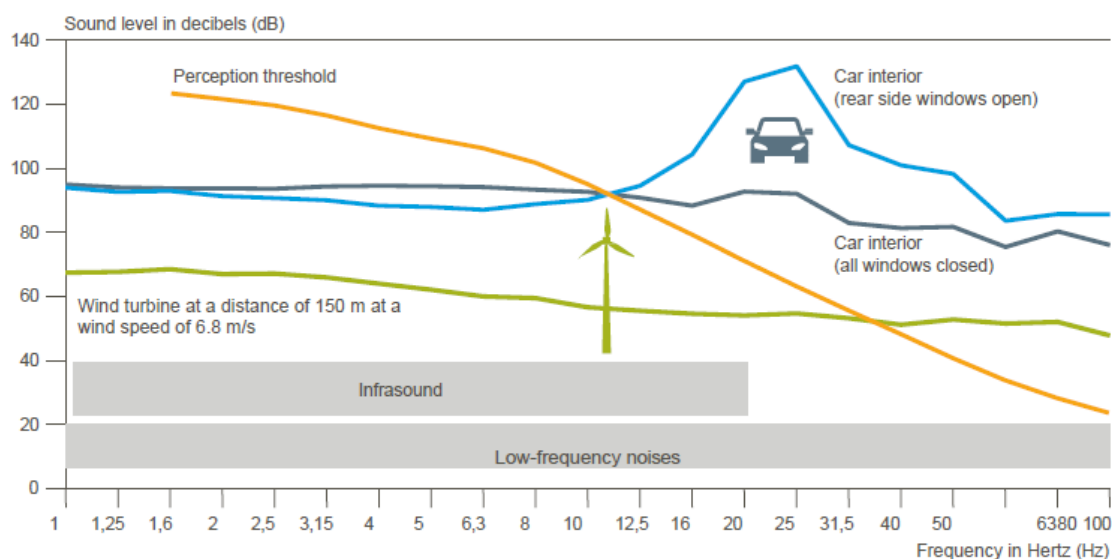
⁷² van Kamp, I. and van den Berg, F., 2017. *Health effects related to wind turbine sound, including low-frequency sound and infrasound*. *Acoustics Australia*, 46(1), pp.31–57

⁷³ Flemmer, C. and Flemmer, R., 2023. *Wind turbine infrasound: Phenomenology and effect on people*. *Sustainable Cities and Society*, 89, p.104308

⁷⁴ Hansen, C., Zajamšek, B. and Hansen, K., 2016. *Infrasound and low-frequency noise from wind turbines*. In Zhou, Y., Lucey, A.D., Liu, Y. and Huang, L. (eds.) *Fluid-Structure-Sound Interactions and Control*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp.3–16.

⁷⁵ LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2016. *Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen*

150–300 m kaugusel tuulikute 1/3 oktaavrea sagedusvahemikus 25–80 Hz vahemikku 45–55 dB. See tähendab, et allapoole inimese tajuläve. Infraheli tase 150 m kaugusel tuulikust jääb mõõtmistulemuste kohaselt 1/3 oktaavrea sagedusel ≤ 20 Hz vahemikku 50–75 dB ja väheneb kiiresti kauguse kasvades. 700 m kaugusel ei erinenud infraheli tase märkimisväärselt töötava ja mittetöötava tuuliku korral, mis näitab, et antud kaugusel tekitab infraheli peamiselt tuul, mitte tuulikud. Infraheli osas on samadele tulemustele jõudnud ka Turnbull kaasautoritega⁷⁶, kes toestas mõõtmised, et võrrelda looduslike allikate ja tuulepargi (29 tuulikut, nimivõimsusega 2,1 MW) poolt tekitatava infraheli taset erinevatel kaugustel (85 m, 185 m ja 360 m) tuulepargist. Mõõtmiste tulemused näitasid, et tuulepargi poolt tekitatav infraheli on veidi kõrgem kui looduslikest allikatest tulenev infraheli, kuid infraheli üldine tase jäi kõikidel kaugustel märgatavalt alla poole inimese tajuläve (85 dB(G)).



Joonis 2. Inimese infraheli tajulävi erinevates olukordades (helesinine - olukord autos sees, kuid tagumised aknad on avatud, tumesinine - olukord 130 km/h sõitvas autos, kui kõik aknad on suletud; roheline – 2 MW tuuliku mõju 150 m kaugusel, kui tuule kiirus on 6,8 m/s, oranž – inimese infraheli tajulävi).⁷⁷

Levinud on arusaam, et võimsamad tuulikud tekitavad rohkem madalsageduslikku heli, sh infraheli. Teadlaste poolt läbi viidud uuringute tulemusena ei ole antud küsimuses jõutud üksmeelele ehk leidub uuringuid, mille tulemuste kohaselt madalsagedusliku müra osakaal tuuliku võimsusega suureneb (eelkõige tulenevalt asjaolust, et suurema rootori läbimõõduga tuulikud on töötamise ajal mõjutatud tugevamatest aerodünaamilistest jõududest) ja uuringuid, mille tulemusena jääb madalsagedusliku müra osakaal üldjoontes samaks (eelkõige tulenevalt asjaolust, et tuulikute konstruktsioonilised arengud tagavad, et madalsagedusliku müra osakaal ei suurene proportsionaalselt tuuliku võimsuse kasvuga). Näiteks viis Wang kaasautoritega⁷⁸ läbi uuringu, milles võrdles 1,5 MW ja 4,5 MW tuuliku poolt tekitatavat madalsageduslikku müra erinevatel tuule kiirustel. Uuringute tulemusena leidsid nad, et suuremad tuulikud tekitavad

⁷⁶ Turnbull C, Turner J, & Walsh D. 2012. *Measurement of infrasound from wind farms and other sources*, Acoustics Australia, Australian Acoustical Society, Vol 40, No1, pp 45-50.

⁷⁷ LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg), 2020. *Windenergie und Infraschall – Tieffrequente Geräusche durch Windenergieanlagen*. 7th ed. Karlsruhe: LUBW

⁷⁸ Wang, W., Yan, Y., Zhao, Y., and Xue, Y., 2024. *Studies on the experimental measurement of the low-frequency aerodynamic noise of large wind turbines*. *Energies*, 17(7), p.1609.

suuremate rootorilabade tõttu rohkem aerodünaamilist madalsageduslikku müra, eelkõige sagedusvahemikus 80–300 Hz. Søndergaard⁷⁹ võrdles 213 erineva võimsusega tuulikute ja nende poolt tekitatava madalsagedusliku müra mõõtmistulemusi. Analüüsi tulemused näitasid, et tuuliku võimsuse kasvuga suureneb madalsagedusliku müra osakaal kiiremini kui üldine müra tase, kuid madalsagedusliku müra suurenemine ei ole märkimisväärne – nt võimsuse kahekordistumisel suureneb madalsageduslik müra tase ca 0,43 dB võrra. Saadud tulemused viitavad sellele, et tuulikute konstruktsioonilised arengud (nt täiustatud aerodünaamika) on taganud, et uuemate ja võimsamate tuulikute puhul ei ole madalsagedusliku müra tase proportsionaalselt suurenenud.

2.2 Mõju ja riskid

2.2.1 Maismaatuulepargid

2.2.1.1 *Madalsageduslik müra*

Teadusuuringutes ei ole tuvastatud otsest seost tuulikute poolt tekitatava madalsagedusliku heli ja terviseprobleemide vahel ehk puuduvad tõendatud põhjuslikud seosed. Näiteks jõudsid van Kamp ja van den Berg^{80,81} 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 tulenevat ärritust, kuid seda ei põhjusta niivõrd heli madalsageduslik või infraheli komponent.

Stressi puudutavas osas on Michaud⁸² kaasautoritega läbi viinud uuringu, kus analüüsiti füsioloogilisi reaktsioone kokkupuutel madalsagedusliku müraga. Leiti, et madalsageduslik müra võib tekitada subjektiivset ärritust, kuid see ei tõstnud füsioloogilisi stressimarkereid (nt kortisooli taset). Südame-veresoonkonna haiguste seost madalsagedusliku heli ja infraheliga on uurinud Poulsen kaasautoritega⁸³. Täpsemalt viidi läbi statistiline uuring, kus vaadeldi korrelatsiooni elukoha (tuulikute läheduses) ja kõrgvererõhutõve ravimite väljakirjutamise vahel. Uuringus leiti, et puudub seos müraga kokkupuute ja südame-veresoonkonna haiguste esinemise vahel.

2.2.1.2 *Infraheli*

Konkreetselt infraheli käsitlevates uuringutes on jõutud üldjoontes samadele tulemustele kui madalsagedusliku heli puhul. Näiteks Saksamaa Keskkonnaagentuuri (UBA) poolt läbi viidud laboratoorsete uuringute⁸⁴, mis keskendusid infrahelist põhjustatud füüsilise ja psühholoogilise

⁷⁹ Søndergaard, B., 2014. *Noise and low frequency noise from wind turbines. Proceedings of Inter-Noise 2014*, Melbourne, Australia, 16-19 November

⁸⁰ van Kamp, I. and van den Berg, F., 2017. Health effects related to wind turbine sound, including low-frequency sound and infrasound. *Acoustics Australia*, 46(1), pp.31–57

⁸¹ van Kamp, I. and van den Berg, G.P., 2021. Health effects related to wind turbine sound: an update. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), p.9133.

⁸² Michaud, D.S., Feder, K., Keith, S.E., Voicescu, S.A., Marro, L., Than, J., Guay, M., Denning, A., Lavigne, E., Bower, T., and Villeneuve, P.J., 2016. *Self-reported and measured stress related responses associated with exposure to wind turbine noise. The Journal of the Acoustical Society of America*, 139(3), pp.1467–1479

⁸³ Poulsen, A.H., Raaschou-Nielsen, O., Peña, A., Hahmann, A.N., Nordsborg, R.B., Ketzler, M., Brandt, J., and Sørensen, M., 2018. Long-term exposure to wind turbine noise and redemption of antihypertensive medication: A nationwide cohort study. *Environment International*, 121, pp.207–215

⁸⁴ Umweltbundesamt, 2020. *Lärmwirkungen von Infraschallimmissionen*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

stressi uurimisele, tulemusena ei täheldatud infrahelist tingitud ägedaid füüsilisi reaktsioone isegi kõrgetel helirõhutasemetel vahemikus 85–105 dB. Samas peetakse eelnimetatud uuringu kohaselt häirivaks tajumisläve läheduses ja kõrgemal asuvat infraheli häirivaks ja ebameeldivaks.

Infraheli mõju inimese tervisele on uuritud ka Soomes. Maijala ja kaasautorite⁸⁵ uuringus analüüsiti, 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.

2.2.1.3 Mõju elusloodusele

Tuulikute poolt elusloodusele avalduva mõju hindamiseks on koostatud mitmeid riiklikke analüüse ja juhendeid, mistõttu on alljärgnevalt antud valdkonda käsitletud vaid üldisel tasandil. Täpsemad suunised tuuleenergeetika arenduste planeerimiseks ja linnustikule avalduva mõju hindamiseks annab Üle-Eestiline maismaalinnustiku analüüs⁸⁶ ja Keskkonnaameti soovitusel maismaa tuuleparkide planeerimise kohta (seisuga 10.11.2021)⁸⁷. Lisaks on koostatud ülevaade tuulikute mõju leevendus- ja korvamismeetmetest loomastikule⁸⁸.

Tuuleparkidega seotud mõju elusloodusele on eelkõige uuritud lindude ja nahkhiirte suremuse (enamasti füüsilisel kokkupuutel tuulikutega) kontekstis. Kuna tuulegeneraatorite tööga kaasneb ka mitmeid häiringuid (sh müra, vibratsioon, varjutamine), mis võivad elusloodust mõjutada, on keeruline kindlaks teha, milline häiring või nende kombinatsioon põhjustab täheldatud muutusi loomade käitumises või elupaikade kasutamises⁸⁹. Seetõttu on alljärgnevalt käsitletud tuulikute poolt tekitatavate häiringute üldist mõju elusloodusele, kuid asjakohastest peatükkidest ja tuginedes teaduskirjandusele, on vastava teguri peatükis kirjeldatud võimalikke mõjusid ka täpsemalt.

Tuulikute poolt põhjustatud häiringu mõju ulatus ja olulisus **linnustikule** on erinev, sõltudes liigist ja liigirühmast ja võimalikust harjumisest tuulikutega. Häiringu ulatus võib sõltuvalt liigist ulatuda 200 meetrist kuni 800 meetrini⁹⁰ või kaugemalegi. Tundlikumateks liigirühmadeks peetakse luikesid, hanesid, kurgid, kahlajaid ja mõningaid liike värvulistest⁹¹. Uuemad uuringud on

⁸⁵ 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., and Sainio, M., 2020. *Infrasound Does Not Explain Symptoms Related to Wind Turbines*. Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 2020:34.

⁸⁶ Eesti Ornitoloogiaühing & Kotkaklubi, 2022. Üle-eestiline maismaalinnustiku analüüs

⁸⁷ Keskkonnaamet, 2021. Maismaa tuuleparkide mõjust elustikule ja Keskkonnaameti soovitusel nende planeerimise kohta kohaliku omavalitsuse üldplaneeringutes (seisuga 10.11.2021)

⁸⁸ Mägi, M. & Saag, P., 2024. Tuugenite mõju loomastikule: leevendus- ja korvamismeetmed. Keskkonnaamet (viimati muudetud 10.06.2024).

⁸⁹ Taubmann, J., Kämmerle J.-L., Andrén, H., Braunisch, V., Storch, I., Fiedler, W., Suchant, R., Coppes, J., 2021, *Wind energy facilities affect resource selection of capercaillie Tetrao urogallus*

⁹⁰ European Commission (EC), 2020. *Commission Notice – Guidance Document on Wind Energy Developments and EU Nature Legislation*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

⁹¹ Hötter, H., 2017. Birds: displacement. In: M.R. Perrow (ed.) *Wildlife and Wind Farms, Conflicts and Solutions. Volume 1: Onshore: Potential Effects*. Exeter: Pelagic Publishing.

näidanud, et ka metsakanalased väldivad tuuleparkide alasid⁹². Häiringu tõttu võivad linnud vältida tuulepargi alasid või kasutada seda harvemini, mille tulemusena väheneb populatsiooni elupaiga pindala.

Konkreetselt müra, sh madalsagedusliku ja infraheli, mõjusid linnustikule on uuritud vähe. Välja on võimalik tuua López-Peinado ja kaasautorite⁹³ uuring, kus leiti, et just müra peletab kodukakud (*Strix aluco*) tuulikute eemale, sest kakud juhivad saagiotsinguil oluliselt kuulmisest. Madalsagedusliku müra osas leidis Zwart kaasautoritega⁹⁴, et müra summutab punarinna (*Erithacus rubecula*) hüüdu, mida isane esitab võõrale territooriumile tungides kutsungina. Kuna müra tõttu ei ole signaal kuuldav, võib see kahandada pesitsusedu, sest linnud peavad pidevalt valvel olema, et vajadusel sissetungijat tõrjuda.

Teadusuuringud näitavad, et **imetajatest** on tuuleparkidest olulisemalt mõjutatud pigem suurkiskjad ja sõralised, kes vajavad eelkõige suuri, väikese inimõjuga elupaiku. Näiteks Rootsisis läbi viidud uuringust⁹⁵ selgus, et tuuleparkide tõttu muutus põhjapõtrade (*Rangifer tarandus*) käitumine – ehitusetapil vältisid loomad tuulepargi lähedust ja tuulepargi kasutusetapis vähenes tuulepargi lähedale jäävate alade kasutus ning põhjapõdrad liikusid pargi läheduses kiiremini. Samas on võimalik välja tuua, et ka inimõjule mitte nii tundlikud metskitsed ja halljänased võivad hakata tuuleparkide alasid vältima⁹⁶. Nahkhiirte osas on jõutud tulemustele, et tuulepargid võivad põhjustada suremust (eelkõige kokkupõrgete, kuid ka barotrauma tõttu), kuid ka elupaikade kadu või elupaikade kvaliteedilangust⁹⁷. Eelnevalt kirjeldatud muutuste põhjusena ei saa otseselt välja tuua müra, pigem on tegemist erinevate tegurite (sh müra, tuulikute labade liikumine ja varjutamine) koosõjuga.

Müra mõju osas imetajatele on võimalik välja tuua Ameerika Ühendriikide California osariigis läbi viidud uuringut⁹⁸, kus leiti, et muutused keskkonnas (eelkõige linnustikus ja mürafoonis) muutsid suslikute (*Spermophilus beecheyi*) käitumist valsamaks ja ettevaatlikumaks. Tuulikute tekitatud madalsagedusliku ja infraheli mõju imetajatele ei ole analüüsi koostajale teadolevalt teistest teguritest eraldiseisvalt uuritud.

2.2.1.4 Kriitika

Tuulikute tööga kaasneva infraheli ja selle võimaliku negatiivse tervisemõju osas viidatakse sageli uuringutele, mis ei ole läbi viidud üldtunnustatud teadustöö aluspõhimõtetele tuginedes. Alljärgnevalt vaadeldakse enim viidatud uuringuid, hinnatakse nende meetodika ja tulemuste asjakohasust.

⁹² Coppes, J., Braunisch, V., Bollmann, K., Storch, I., Mollet, P., Grünschachner-Berger, V., Taubmann, J., Suchant, R. and Nopp-Mayr, U., 2020. The impact of wind energy facilities on grouse: a systematic review. *Journal of Ornithology*, 161, pp.1–15.

⁹³ López-Peinado, A., Lis, Á., Perona, A.M. and López-López, P., 2020. Habitat preferences of the Tawny Owl (*Strix aluco*) in a special conservancy area of Eastern Spain. *Journal of Raptor Research*, 54(4), pp.402–413.

⁹⁴ Zwart, M.C., Dunn, J.C., McGowan, P.J.K. and Whittingham, M.J., 2016. Wind farm noise suppresses territorial defense behavior in a songbird. *Behavioral Ecology*, 27(1), pp.101–108.

⁹⁵ Skarin, A., Nellemann, C., Rönnegård, L., et al., 2015. Wind farm construction impacts reindeer migration and movement corridors. *Landscape Ecology*, 30(10), pp.1527–1540.

⁹⁶ Lopucki, R. and Klich, D., 2017. Do terrestrial animals avoid areas close to turbines in functioning wind farms in agricultural landscapes? *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(343).

⁹⁷ EUROBATS, 2014. *Guidelines for the Consideration of Bats in Wind Farm Projects (Revision 2014)*. Bonn: UNEP/EUROBATS.

⁹⁸ Rabin, L.A., Coss, R.G. and Owings, D.H., 2006. The effects of wind turbines on antipredator behavior in California ground squirrels (*Spermophilus beecheyi*). *Biological Conservation*, 131(3), pp.410–420.

Tuulikute tööst tuleneva infraheli negatiivsetele tervisemõjudele viidates tuginetakse sageli Pierponti uurimusele „*Wind Turbine Syndrome: A Report on a Natural Experiment*“⁹⁹. Uuringus jõuab autor järeldusele, et infraheli perioodilisus mõjutab alateadvust ja inimesed kogevad 12 peamist sümptomit: unehäired, peavalu, tinnitus, rõhk kõrvades, peeringlus, asendivertiigo iiveldus, nägemishäired, südamepekslemine, ärrituvus, keskendumis- ja mäluprobleemid ning paanikahood – koos tundega, et siseorganid pulseerivad või värisevad. Neid haigussümptomeid on hakatud kutsuma tuuliku sündroomiks (*wind turbine syndrome*). Antud uuring põhineb 23 telefonikõnel, millega ei kaasnenud meditsiinilist läbivaatust või akustilisi mõõtmisi. Seetõttu on tegemist vaid juhtumikirjeldusega, mille põhjal ei ole võimalik luua põhjuslikke seoseid tuulikute tööga kaasneva infraheli ja inimeste poolt kirjeldatud sümptomite vahel. Eelnevast tulenevalt ei ole antud uuringut avaldanud ükski teaduskirjastus ja seda ei ole tunnustanud valdkondlikud eksperdid.

Teine sageli viidatav uuring põhineb Saksamaa Geoteaduste ja Loodusvarade Riikliku Instituudi (BGR) poolt läbi viidud tuulikute poolt põhjustatud infraheli mõõtmistulemustel¹⁰⁰. Täpsemalt mõõdeti 2004. aasta uuringu käigus Hannoveris paikneva tuuliku poolt tekitatavat infraheli, kasutades selleks ülimalt tundlikke mõõteseadmeid, mis suudavad tuvastada kõige väiksemagi õhurõhu muutuse. Uurimuse üks järeldustest oli, et infraheli laineid on võimalik tuvastada enam kui 10 kilomeetri kaugusel tuulikute. Lisaks sellele, et esialgses uuringus oli oluline arvutusviga, mille tõttu olid tulemused ülehinnatud, on BGR eraldi rõhutanud, et uuringu tulemuste alusel ei ole võimalik teha järeldusi infraheli mõjude osas inimestele¹⁰¹.

2.2.2 Meretuulepargid

Meretuuleparkide tööga kaasneva madalsagedusliku heli, sh infraheli, mõju inimese tervisele ei ole analüüsi koostajale teadaolevalt laialdaselt uuritud. Eelkõige tuleneb see asjaolust, et üldjuhul paiknevad meretuulepargid inimestest ja hoonestusest sellisel kaugusel, kus tuulikute poolt tekitatavat müra üldiselt ei peeta oluliseks mõjuks. Kaugusest ja keskkonnatingimustest tulenevalt ei ole võimalik ka maismaatuuleparkidega seotud uuringuid antud valdkonnas üle kanda meretuuleparkidele. Eelnevat toetavad ka analüüsitud võrdlusriikide mõju hindamised ja nende alusuuringud (vt kasutatud kirjandus).

Samuti ei ole põhjalikult uuritud meretuuleparkide rajamise või töötamisega kaasneva madalsagedusliku ja infraheli mõju elusloodusele. Anholt meretuulepargi keskkonnamõju hinnangu käigus läbi viidud mereimetajate uuringu¹⁰² kohaselt on madalsageduslikust müra tingitud häiringud mereimetajatele võimalikud eelkõige tuulikute rajamise etapis, nt vaiade rammimisel. Uuringus tuuakse välja, et ehitustööde käigus tekkiv madalsageduslik heli võib kaasa tuua olukorra, kus mereimetajad väldivad ehitustööde piirkonda (ca 20 km raadiuses), kuid nad naasevad piirkonda ehitustööde lõppedes. Samuti võib mereimetajatel ehitustööde käigus, täpsemalt kui nad paiknevad ehitustööde vahetus läheduses (nt hüljeste puhul ca 250 m raadiuses), esineda ajutine kuulmiskadu. Eelneva vältimiseks on oluline ehitustööde käigus rakendada leevendusmeetmeid, mis kattuvad suures osas vibratsiooni leevendusmeetmetega (ptk 3.5). Võimalik on ka olukord, kus ehitustööde käigus tekkiv madalsageduslik heli maskeerib

⁹⁹ Pierpont, N., 2009. *Wind Turbine Syndrome: A Report on a Natural Experiment*. Santa Fe, NM: K-Selected Books

¹⁰⁰ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), 2021. *Der Infraschall von Windenergieanlagen*. Hannover: BGR

¹⁰¹ Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), 2021. Erklärung zum Infraschall von Windenergieanlagen. Hanover, 27 April.

¹⁰² Ramboll, 2009. Anholt Offshore Wind Farm. Marine mammals

hüljeste jaoks olulisi signaale (kuni 20 km raadiuses), kuid selle mõju on uuringus hinnatud väikeseks.

2.3 Meetodid ja normtasemed

2.3.1 Eesti

Eestis on **madalsageduslikule** mürale kehtivad normtasemed kehtestatud sotsiaalministri 04.03.2002. a määruse nr 42 „Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid“ alusel. Täpsemalt on määruse lisas välja toodud soovituslikud helirõhutasemed madalsagedusliku müra häirivuse hindamiseks elamute elu- ja magamisruumides ning nendega võrdsustatud ruumides öisel ajal. Seega ei kehti normid välisterritooriumil, vaid hoonetes. Eestis puuduvad siseriiklikud suunised, sh juhendid, kuidas arvutada tuulikute madalsagedusliku müra levikut ja vastavust ruumides kehtivatele soovituslikele väärtustele.

Analüüsitud keskkonnamõju strateegilistes hindamistes on madalsagedusliku müra mõju modelleerinud vaid ühes¹⁰³ maismaatuuleparkide keskkonnamõju hindamises neljast. Eelnevalt on kasutatud Soomes rakendatavat hindamisjuhust¹⁰⁴ ja WindPRO programmi mooduli „Decibel“ seadistust „Finnish Low Frequency Sound“. Kuna madalsagedusliku müra normväärtus kehtib hoonetes sees, siis on selle leidmisel arvestatud ka hoonete heliisolatsiooni. Meretuuleparkide puhul on madalsageduslikku heli arvutuslikult hinnatud kahes keskkonnamõju hindamises^{105,106}, kasutatud on samuti Soome madalsagedusliku müra arvutamise meetodikat.

Üldiselt on madalsageduslikku müra mõjuhinnangutes käsitletud vaid inimese tervise kontekstis. Hinnangutes on välja toodud peamiselt kaks järeldust: a) tuulikute tööst tingitud madalsageduslikku müra ei saa seostada tervisemuredega; b) selleks, et tekiks tervisemõjusid, peab esinema kõrge (intensiivne) helirõhk, mida kaasaegsete tuulikute töötamisega ei kaasne. Üheski analüüsitud mõjude hinnangus ei ole madalsagedusliku müra mõju käsitletud olulisena, mistõttu ei ole ühelgi juhul määratud ka leevendusmeetmeid.

Infraheli piirväärtused elamutes ning ühiskasutusega hoonetes on kehtestatud sotsiaalministri 06.05.2002 määrusega nr 75 „Ultra- ja infraheli helirõhutasemete piirväärtused ning ultra- ja infraheli helirõhutasemete mõõtmine“. Väliskeskkonnas levivale infrahelile normtasemeid kehtestatud ei ole. Sarnaselt madalsageduslikule mürale, puuduvad Eestis ka suunised, sh juhendid, kuidas arvutada tuulikute infraheli levikut ja hinnata selle vastavust ruumides kehtivatele piirväärtustele.

Analüüsitud mõju hindamistes on tuulikute poolt tekitatavat infraheli enamasti käsitletud, kuid peamiselt tuginedes teaduskirjandusele ehk jõutud on järeldusele, et kuna tuulikud ei tekita tajuläve ületavat infraheli, ei kujuta see ohtu inimeste tervisele.

¹⁰³ LEMMA OÜ, 2023. Pärnu linna ja Tori valla ehk nn Põlendmaa tuulepargi eriplaneeringu asukoha eelvaliku keskkonnamõju strateegilise hindamise esimese etapi aruanne

¹⁰⁴ Ympäristöministeriö, 2014. *Tuulivoimaloiden melun mallintaminen*. Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2014. Helsinki: Ympäristöministeriö

¹⁰⁵ Skepast&Puhkim OÜ, 2023. Loode-Eesti rannikumere tuulepargi keskkonnamõju hindamise aruanne.

¹⁰⁶ Roheplaan OÜ, 2024. Saare Wind Energy meretuulepargi keskkonnamõju hindamise aruanne.

2.3.2 Võrdlusriigid

Analüüsitud riikidest on vaid Taani seadnud õiguslikult siduvad normtasemed tuulikute lähtuvale madalsageduslikule mürale. Teistes riikides kehtivad normtasemed ei ole seotud konkreetselt tuulikutega, vaid need kehtivad üldiselt nt tööstusmürale (Saksamaa) või igasugusele mürale, mis sisaldab madalsageduslikku komponenti (Soome). Kõikides riikides kehtivad normtasemed siseruumides levivale madalsageduslikule mürale. Küll aga esineb riike, kus normtasemed erinevad päeva ja öö lõikes (nt on Soomes kehtivad päevased normtasemed 5 dB kõrgemad kui öised).

Taanis reguleerib madalsagedusliku müra normtasemeid ja hindamist Keskkonna- ja soolise võrdõiguslikkuse ministeeriumi 26.08.2024 määrus nr 995¹⁰⁷, mida toetab Taani Keskkonnakaitseameti juhenddokument¹⁰⁸. Vastavalt eelnimetatud määrusele ei tohi tuulikute arvutuslik madalsageduslik müra siseruumides (L_{PALF}) ületada 20 dB tuule kiirusel 6 ja 8 m/s.

Vastavalt Taani Keskkonnakaitseameti juhendile on madalsagedusliku müra hindamine süsteemne protsess, mis hõlmab tuulikute helivõimsustaseme määramist, välitingimustes esinevate helirõhutasemete arvutamist, maastikust ja keskkonnast tulenevate korrektsioonide rakendamist (sealhulgas spetsiaalsed tingimused avamereturbiinide puhul), hoonete heliisolatsiooni arvestamist ja siseruumide helirõhutasemete arvutamist. Seejärel võrreldakse saadud tulemusi kehtivate piirväärtustega.

Täpsemalt alustatakse hindamist tuulikute helivõimsustasemete määramisega 1/3 oktaavrea sagedusvahemikus 10 Hz kuni 160 Hz. Need väärtused on enamasti välja toodud turbiini tootja tehnilistes dokumentides ja on saadud standardiseeritud katsete alusel.

Välisõhu helirõhutaseme leidmisel võetakse tavaliselt aluseks lähedalasuvate elamute või tundlike hoonete (nt koolide ja haiglate) kõige enim mõjutatud fassaad. Arvutused teostatakse 1,5 m kõrguselt maapinnast, sest sellel kõrgusel paiknevad tüüpiliselt aknad. Sisendina võetakse arvesse tuuliku ja hoone vahelist kaugust ning rootori kõrgust. Lisaks kasutatakse madalsagedusliku müra arvutamisel samu korrektsioone (sõltuvad tuuliku asukohast), mis müra arvutamisel (ptk 1.3.3).

Kuna madalsagedusliku müra piirväärtused kehtivad siseruumides, on vajalik arvutusi korrigeerida nii, et need võtaks arvesse tüüpiliste Taani hoonete heliisolatsiooni omadusi. Heliisolatsiooni korrektsioonid ehk heliisolatsiooni väärtused vastavalt hoone kasutusotstarbele (nt suvila, elamu) põhinevad aastatel 1996, 2006 ja 2016 teostatud mõõtmistel. 2016. aastal tehtud mõõtmistel selgus, et suvilate heliisolatsioon on teiste elamutüüpidega võrreldes madalam (ca 5 dB võrra) ning seetõttu kohaldatakse suvilate puhul (asuvad kindlaks määratud n-ö suvilapiirkondades) spetsiaalset korrektsiooni. Väljaspool neid piirkondi kasutatakse samu heliisolatsiooniväärtusi nagu muude elamute puhul.

Siseruumide helirõhutaseme arvutamiseks iga 1/3 oktaavrea sagedusvahemikus 10 Hz kuni 160 Hz, lahutatakse hoone heliisolatsiooniväärtus välis helirõhutasemest. Pärast siseruumides esinevate helirõhutasemete kõigis sagedusvahemikes arvutamist liidetakse need logaritmiliselt, et saada siseruumide madalsagedusliku müra korrigeeritud tase. Inimese kuulmistundlikkuse arvesse võtmiseks kasutatakse A-korrigeeritud helirõhutaset (dB(A)), mis rõhutab sagedusi, mis on inimkõrvale paremini tajutavad. Sealjuures on eelkirjeldatud meetodikat kasutades eeldatav

¹⁰⁷ BEK no 995 of 26/08/2024 Bekendtgørelse om støj fra vindmøller

¹⁰⁸ Miljøstyrelsen, 2021. Støj fra vindmøller, Miljøstyrelsens fra vejledning.

mõõtemääramatus ± 2 dB ja see võtab arvesse varieeruvust nii mõõtmistes, arvutustes kui ka keskkonnategurites.

Madalsagedusliku müra mõõtmine toimub Taanis vastavalt 1997. a juhendmaterjalile¹⁰⁹.

Infraheli osas on Taani Keskkonnaagentuuri ametlik seisukoht¹¹⁰, et kuna tuulikute poolt põhjustatav infraheli jääb madalamale kui inimese kuulmislävi, ei oma see mõju inimeste tervisele ja ei ole seetõttu tuulikute kontekstis oluline probleem ning ei vaja reguleerimist.

Saksamaal puuduvad nii riiklikul kui ka liidumaa tasandil regulatsioonid tuulikute **madalsagedusliku müra** kohta, antud valdkonda reguleeritakse keskkonnamüra osana riikliku saastekontrolli seaduse¹¹¹ ja selle alusel kehtestatud müra eest kaitsmise juhendi¹¹² kaudu. Täpsemalt on eelnimetatud seaduse eesmärgiks kaitsta keskkonda ja inimesi kahjulike mõjude, sealhulgas müra eest, ning juhendi eesmärgiks on anda suunised tööstusrajatiste müra hindamiseks ja kontrollimiseks. Juhend soovib madalsagedusliku müra hindamisel juhendada Saksa standardist DIN 45680¹¹³, mille kohaselt mõõdetakse ja hinnatakse madalsageduslikku müra sagedusvahemikus 8 kuni 100 Hz, mis tähendab, et see sisaldab ka **infraheli** komponenti.

Saksa standardi kohaselt on esimeseks sammuks hinnata, kas C-korrigeeritud ekvivalentse helitaseme (L_{Ceq}) ja A-korrigeeritud ekvivalentse helitaseme (L_{Aeq}) erinevus ületab 20 dB. Antud taotlustaseme ületamine näitab märkimisväärset madalsageduslikku komponenti, mis võib avaldada kahjulikku mõju inimese heaolule, ja vajalik on läbi viia detailne analüüs.

Detailne analüüs algab tuuliku helivõimsustaseme määramisega 1/3 oktaavriba sagedusvahemikes. Need väärtused võivad tugineda tuuliku tehnilisele andmestikule või olla saadud standardiseeritud katsete käigus. Tuuliku helivõimsustasemetele tuginedes modelleeritakse välisõhu helirõhutasemed vaatluse all olevate hoonete juures. Sealjuures võetakse arvesse tegureid nagu tuuliku kaugus hoonest, maapinna reljeef ja omadused ning meteoroloogilised tingimused. Järgmisena arvutatakse madalsageduslik müratase siseruumides, võttes arvesse hoone heliisolatsiooni. Lõpuks võrreldakse arvutatud siseruumide müratasest DIN 45680 häirivustasemetega (Tabel 4).

Madalsagedusliku müra mõõtmisel lähtutakse samuti eelnimetatud standardi DIN 45680¹¹⁴ nõuetest.

Soomes on madalsagedusliku müra piirväärtused välja toodud Sotsiaal- ja tervishoiuministeriumi 2015. aasta määruses nr 545¹¹⁵, millega on kehtestatud madalsagedusliku müra ühe tunni keskmised normtasemed magamisruumides. Lubatud normtasemed on toodud sagedusvahemikus 20 - 200 Hz. Täpsed piirväärtused on välja toodud Tabel 4.

¹⁰⁹ Miljøstyrelsen, 1997. Lavfrekvent støj, infralyd og vibrationer i eksternt miljø

¹¹⁰ Miljøstyrelsen, n.d. *Støj fra vindmøller*. [online] Available at: <https://mst.dk/erhverv/rent-miljoe-og-sikker-forsyning/stoej/vindmoeller> [Vaadatud 11 Detsember 2024]

¹¹¹ Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG

¹¹² DIN 45680:1997 Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft

¹¹³ DIN 45680:1997 Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft

¹¹⁴ DIN 45680:1997 Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft

¹¹⁵ Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö, 2015. *Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015*.

Madalsagedusliku müra hindamise soovituslik metoodika on välja toodud müra hindamise juhendmaterjalis¹¹⁶, tegemist on Taani metoodika kohandusega Soome oludele. Heli leviku arvutamisel kasutatakse ISO 9613-2¹¹⁷ standardil põhinevaid ilmastiku- ja keskkonnatingimuste väärtusi. Juhendi alusel leitakse madalsagedusliku müra tasemed välisruumis. Madalsagedusliku müra tasemete leidmiseks kasutatakse Soome mõju hindamistes heliisolatsiooni parameetreid, mis põhinevad Turu Ülikooli poolt läbi viidud uuringutel¹¹⁸. Tegemist on konservatiivse hinnanguga, sest 90% juhtudest on hoonete heliisolatsioon üksikelanutes parem.

Madalsagedusliku müra mõõtemetoodika on kindlaks määratud Soome keskkonnaministeeriumi juhendmaterjalis¹¹⁹.

Tuulikute poolt põhjustatav **infraheli** ei ole Soomes eraldi reguleeritud.

Lätis ei ole madalsageduslik müra reguleeritud. Tuuleparkide keskkonnamõju hindamistes kasutatakse enamasti Taanis välja töötatud metoodikat ja piirväärtusi. Tuulikute poolt tekitatav infraheli ei ole eraldi reguleeritud.

Leedu määruses HN 30:2009 „Infraheli ja madalsageduslik heli: piirväärtused elamutes ja avalikes hoonetes“¹²⁰ kohaselt esineb madalsageduslik heli 1/3 oktaavrea sagedusvahemikus 16 Hz kuni 200 Hz ja infraheli sama oktaavrea sagedusvahemikus kuni 16 Hz. Määruses HN 30:2009 on sätestatud konkreetsed helirõhu piirväärtused madalsageduslikule helile ja infrahelile (Tabel 4). Piirväärtusi kohaldatakse eluruumides, eriruumides (nt sõjaväelaste majutusasutustes ja vanglates) ja avalikes ruumides. Eelkirjeldatud metoodikat kasutatakse mõju hindamisel rahvatervisele, ehituslubade menetlustes, tehnosüsteemide vastavuse hindamisel ja müra seirel.

Leedus puuduvad üldtunnustatud meetodid madalsagedusliku heli ja infraheli leviku prognoosimiseks. Neid hinnatakse ainult kohapealsete mõõtmiste kaudu, kasutades selleks standardeid Leedus kasutatakse madalsagedusliku müra mõõtmise läbiviimiseks standardi ISO 1996-2:2017¹²¹ nõudeid.

Tabelis 4 on välja toodud võrdlusriikides kehtivad madalsagedusliku müra häirivustasemed ja piirväärtused. Eestis kehtivad häirivustasemed on kõige sarnasemad Soomes kehtivatele piirväärtustega. Erinevus on vaid reguleeritavas vahemikus – kui Eestis hõlmab vahemik ka infraheli komponenti, siis Soomes reguleeritakse madalsageduslikku müra vaid madalsagedusliku ja infraheli üldtunnustatud piirini (20 Hz). Üldvõrdluses sarnanevad kõikide riikide 1/3 oktaavrea kesksageduse madalamad sagedused (kuni 50 Hz), kuid kõrgematel

¹¹⁶ Ympäristöministeriö, 2014. *Tuulivoimaloiden melun mallintaminen*. Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2014. Helsinki: Ympäristöministeriö

¹¹⁷ International Organization for Standardization (ISO), 1996. *ISO 9613-2: Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation*.

¹¹⁸ Keränen, J., Hakala, J., and Hongisto, V., 2019. *The sound insulation of façades at frequencies 5–5000 Hz. Building and Environment*, 156, pp.12–20.

¹¹⁹ Ympäristöministeriö, 2014. *Tuulivoimaloiden melutason mittaaminen altistuvassa kohteessa*. Ympäristöhallinnon ohjeita 4 | 2014. Helsinki: Ympäristöministeriö

¹²⁰ Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija, 2003. *Infragarsas ir žemo dažnio garsai: ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose*

¹²¹ International Organization for Standardization (ISO), 2017. *ISO 1996-2:2017: Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 2: Determination of environmental noise levels*. Geneva: ISO.

sagedustel esineb olulisi erinevusi. See tähendab, et vahemikus, mis on peamiste diskussioonide ja vastuseisude keskpunktiks, võrdlusriikidega osas olulisi erinevusi ei esine. Võrdlusriikidest kehtivad vaid Eestis ja Saksamaal soovituslikud häirivustasemed – Eestis on need kehtestatud määrusega, Saksamaal soovitusliku standardiga. Kõikides riikides kehtivad normtasemed hoonetes sees, kuid reguleeritavate ruumide või hoonete osas esineb erinevusi. Eestis reguleeritakse madalsagedusliku müra tasemeid nii elu- kui ka magamistubades, siis Soomes ainult magamistubades. Leedus ja Taanis reguleeritakse madalsagedusliku müra tasemeid kogu hoones, kas elu-, eri- ja avalikes hoonetes Leedu puhul või müratundlikel aladel või hajaasustatud piirkonnas paikivate elamualade siseruumides.

Tabel 4 Ülevaade madalsagedusliku müra normtasemetest võrdlusriikides

Riik	Eesti	Soome	Saksamaa	Leedu	Taani
Reguleeritav ruum/hoone	elamute elu- ja magamisruumides	magamistoad	täpsustamata	elu-, eri- ja avalikud hooned	müratundlikel aladel ja hajasustatud piirkonnas paiknevate elamualade hoonete siseruumides
Reguleeritav aeg	öösel (23.00-07.00)	öösel (22.00-7.00); päeval (07.00-22.00) +5 dB	täpsustamata	ööpäevaringselt	ööpäevaringselt
Häirivustase/piirväärtus	soovituslik häirivustase	piirväärtus	soovituslik häirivustase	piirväärtus	piirväärtus
Hz* indikaator	$L_{p,eq}$ (dB)	$L^{eq,1h}$ (dB)	L_{nt} (dB)	$L_{1/3f,eq}$ (dB)	L_{pALF} (dB)
8			103	103	
10	95		95	95	
12,5	87		87	87	
16	79		79	79	
20	71	74	71	71	
25	63	64	63	63	
31,5	55,5	56	55,5	56	
40	49	49	48	48	
50	43	44	40,5	41	
63	41,5	42	33,5	34	
80	40	40	28	28	
100	38	38	23,5	24	
125	36	36		21	
160	34	34		17	
200	32	32		14	

* 1/3 oktaavrea kesksagedus

Tabel 5 on võrdlusriikide lõikes kokkuvõtlikult välja toodud informatsioon kehtestatud õigusaktide ja piirväärtuste ning koostatud juhendmaterjalide kohta.

Tabel 5. Kokkuvõte Eestis ja võrdlusriikides kehtivatest madalsagedusliku heliga seotud õigusaktidest ja piirväärtustest ning koostatud juhendmaterjalidest (punane - puudub, roheline - olemas)

	Eesti	Taani	Soome	Saksamaa	Läti	Leedu
Reguleeritud tuulikutele suunatud õigusaktidega						
Reguleeritud üldkohalduva õigusaktiga						
Olemas kohustuslikud piirväärtused						
Olemas soovituslikud piirväärtused						
Olemas juhend						

2.4 Asukoha ja planeerimisega seotud kaalutlused

Konkreetselt madalsageduslikku heli ja infraheli silmas pidades ei ole üheski võrdlusriigis määratud tuulikute minimaalseid lubatud või soovituslikke kauguseid tundlikest objektidest ja aladest. Tagatud peab olema, et tuulikute rajamisel ja käitamisel ei ületataks eluruumidele seatud piirväärtusi.

Läti juhises ja läbi viidud simulatsioonide tulemusena on soovitatud madalsagedusliku müra mõju hinnata (teostada modelleerimine) kuni 2 km kaugusel paiknevatele hoonetele. Kumulatiivse mõju hindamisel ehk olukorras, kus on teada, et piirkonda on planeeritud või rajatud teisi tuulikuid, kuni 4 km kaugusel paiknevatele hoonetele.

2.5 Leevendusmeetmed ja seire

Analüüsi hõlmatud riikide keskkonnamõju hindamistes ei ole välja toodud konkreetselt madalsagedusliku heliga seotud leevendusmeetmeid. Fookuses on piirväärtused ja nendest kinni pidamine.

Kuna madalsagedusliku müra piirnormid kehtivad siseruumides ja sõltuvad otseselt hoone heliisolatsioonist, siis on üheks võimalikuks leevendusmeetmeks elamu heliisolatsiooni parandamine.¹²²

Olukordades, kus mürataseme alandamine tehnoloogiliste või operatiivsete leevendusmeetmete abil ei ole võimalik, võib vastav ametiasutus nõuda ka turbiinide teiselaldamist või likvideerimist.¹²³

Analüüsitud mõju hindamistes (vt kasutatud kirjandus) ei ole detailselt kirjeldatud leevendusmeetmete tõhususe kontrolli protseduuri, kuid üldjoontes on võimalik välja tuua, et

¹²² Miljøstyrelsen, 2021. *Støj fra vindmøller, Miljøstyrelsens fra vejledning.*

¹²³ Miljøstyrelsen, 2021. *Støj fra vindmøller, Miljøstyrelsens fra vejledning.*

meetmete tõhusus tagatakse kas perioodilise või kaebusepõhise müra seirega (nt Taani¹²⁴) või täpsustatakse seirekohustusi tuulikute käitamiseks vajalike keskkonnalubade protseduuri käigus (nt Saksamaa¹²⁵ ja Soome¹²⁶).

2.6 Olulisemad õigusaktid ja juhendid

Taani Keskkonna- ja soolise võrdõiguslikkuse ministeeriumi 26.08.2024 määrus nr 995 „Teatis tuulikute müra kohta“.

- [BEK no 995 of 26/08/2024 Bekendtgørelse om støj fra vindmøller](#)

Taani Keskkonnakaitseameti juhenddokument „Tuulikute müra“ (ptk 4.1.2).

- [Miljøstyrelsen, 2021. Støj fra vindmøller, Miljøstyrelsens fra vejledning](#)

Soome Keskkonnaministeeriumi tuulikute müra modelleerimise juhend (ptk 4.1.9)

- [Ympäristöministeriö, 2014. Tuulivoimaloiden melun mallintaminen](#)

2.7 Kokkuvõte

Olemasolevatele teadusuuringutele tuginedes on võimalik järeldada, et tuulikute poolt tekitatav madalsageduslik müra ei oma inimese tervise kontekstis olulist mõju ehk ei too kaasa negatiivseid tervisemõjusid. Küll aga võib tuulikute poolt tekitatav madalsageduslik müra olla teatud tingimustel häiriv. Analüüsitud riikidest on vaid Taani seadnud eraldi normtasemed tuulikute tööst lähtuvale madalsageduslikule mürale. Vastavalt Taani Keskkonnakaitseameti poolsele informatsioonile¹²⁷ on normtasemed kindlaks määratud, et tulla vastu erinevate osapoolte (elanikud, arendajad) soovidele reguleerida antud valdkonda täpsemalt.

Kuigi Taani on esimese riigina seadnud kindlaks konkreetselt tuulikute poolt tekitatava madalsagedusliku müra normtasemed, ei ole nende meetodika ja normtasemed otseselt võrreldavad Eestis kehtivate häirivustasemetega, sest Taani meetodika kohaselt on normtasemed seotud kindla tuule kiirusega. Seetõttu on Eesti mõju hindamise praktikas seni kasutatud madalsagedusliku müra hindamiseks Taani meetodika Soome kohandust. Antud meetodika võimaldab tulemusi võrrelda Eestis kehtivate häirivustasemetega (sotsiaalministri 04.03.2002 määrus nr 42).

Nii nagu ka teistes võrdlusriikides kehtivad ka Eestis madalsagedusliku müra häirivustasemed vaid siseruumides levivale madalsageduslikule mürale. Riikide vaheline erinevus seisneb vaid selles, et Eestis on madalsagedusliku müra tasemed reguleeritud vaid öisel aja, teistes riikides on normtasemed kindlaks määratud ka päevasel ajal levivale mürale. Üldvõrdluses sarnanevad kõikide riikide 1/3 oktaavra kesksageduse madalamad sagedused (kuni 50 Hz), kuid kõrgematel sagedustel esineb erinevusi. See tähendab, et vahemikus, mis on peamiste diskussioonide ja vastuseisude keskpunktiks, võrdlusriikidega osas olulisi erinevusi ei esine.

Siseruumides leviva madalsagedusliku müra hindamise oluliseks komponendiks on ka hoonete heliisolatsioon, sest see mõjutab otseselt madalsagedusliku müra tasemeid hoones sees. Võrdlusriikidest on Taanis ja Soomes tüüpiliste hoonete heliisolatsiooni väärtuste kindlaks

¹²⁴ Miljøstyrelsen, 2021. *Støj fra vindmøller, Miljøstyrelsens fra vejledning*

¹²⁵ Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG

¹²⁶ Ympäristöministeriö 1107/2015 „*Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista*“

¹²⁷ Miljøstyrelsen, n.d. *Støj fra vindmøller*. [online] Available at: <https://mst.dk/erhverv/rent-miljoe-og-sikker-forsyning/stoej/vindmoeller> [Vaadatud 11 Detsember 2024]

määramiseks läbi viidud eraldi uuringud, mille eesmärgiks oli tagada, et heliisolatsiooni väärtused kirjeldavad kõige täpsemalt kohalikke olusid. Nende uuringute tulemusi kasutatakse, kas kohustuslikult (Taani) või soovituslikult (Soome) madalsagedusliku müra tasemete kindlaksmääramisel muuhulgas läbi viidavates mõju hindamistes. Eestis ei ole seni sellesisulisi uuringuid läbi viidud. Kuigi teatud määral võivad Eestis ja Soomes kasutatavad ehitusmaterjalid erineda, võib üldjoontes Soome uuringu tulemusi üle kanda ka Eesti konteksti ehk kasutada neid madalsagedusliku müra arvutuslike hindamiste läbiviimiseks. Soovitav on ka Eestis läbi viia sarnane uurimus, et määrata kindlaks kohalikke olusid kõige paremini kirjeldavad heliisolatsiooniväärtused. Kokkuvõtlikult on kehtivas õigusruumis ja olemasolevatele häirivustasemetele vastavuse hindamiseks soovituslik kasutada Soome madalsagedusliku müra hindamise metoodikat ja heliisolatsiooni väärtusi.

Infraheli mõjusid käsitlevates uuringutes on jõutud üldjoontes samadele tulemustele kui madalsagedusliku heli puhul. Üheski võrdlusriigis ei ole otseselt kindlaks seatud tuulikute poolt põhjustatava infraheli normtasemeid. Sarnaselt Eestiga on Taanis, Soomes ja Leedus õigusaktidega kindlaks määratud üldine infrahelitase, mis võib hoonetes esineda. Lisaks sisaldab üldjuhul (Eesti, Saksamaa ja Taani puhul) madalsagedusliku müra normtasemete regulatsioon ka infraheli komponenti (kuni 8/10 Hz). Tulenevalt asjaolust, et teaduskirjanduse ja võrdlusriikide ametiasustuste poolt läbi viidud uuringute tulemusena ei põhjusta tuulikud infraheli sagedusel, mis ületaks inimeste tajuläve ning kindlaks on tehtud, et sellisel tasemel esinev infraheli ei oma olulist mõju inimese tervisele, ei ole võrdlusriikides kindlaks määratud ka tuulikute lähtuva infraheli arvutuslikku hindamismetoodikat ning mõjuhindamistes tuginetakse üldjuhul eksperthinnangule.

3 Vibratsioon

3.1 Üldist

Sarnaselt teiste mehaaniliste seadmetega tekitavad ka tuulikute töötamise ajal vibratsiooni. Tuulikute tuleneb vibratsioon eelkõige pöörlevate osade tasakaalustamatusest ja hõõrdumisest (mehaaniline vibratsioon). Tuulikute peamised vibratsiooniallikad on generaator, käigukast ja laagrisüsteemid, mis omakorda võivad põhjustada vibratsiooni tuuliku gondlis ja tornis ning kanduda vundamendi kaudu maapinda, mis võib omakorda mõjutada otseselt ka tuulikute läheduses esinevat vibratsioonitaset.

Viimastel aastakümnetel on tuuliku mehaanilistest osadest põhjustatud vibratsiooni leevendamine olnud tuulikute inseneride üheks olulisemaks uurimisvaldkonnaks. Selliste uuringute algatajateks on enamasti tuulikute käitajad, kes soovivad leida viise, kuidas vältida vibratsioonist põhjustatud seadmete kahjustusi ja seega ka vähendada tuulikute käitamiskulusid.

Lisaks mehaanilisele vibratsioonile, mis levib eelkõige maapinna kaudu, tekitavad tuulikud töötades ka aerodünaamilist ehk kaudset vibratsiooni, mis levib eelkõige õhu kaudu. Kaudset vibratsiooni põhjustab infraheli, mida tekitavad erinevatest aerodünaamilistest jõududest mõjutatud pöörlevad tuuliku labad. Täpsemalt kui labad läbivad torni taga (allatuule pool) asuvat turbulentsed õhulainet või torni eest (vastutuule pool) tekkivat rõhugradienti¹²⁸ (vt ka ptk 2.1).

3.2 Mõju ja riskid

3.2.1 Maismaatuulepargid

Aastatel 2013–2015 Saksamaal läbi viidud uuringu¹²⁹ üheks eesmärgiks oli analüüsida tuulikute lähtuva ja maapinna kaudu leviva vibratsiooni mõju ümbritsevale keskkonnale. Täpsemalt mõõdeti nimivõimsusel töötava ja väljalülitatud 140,6 meetri kõrguse tuuliku *Mechanical vibration and* vibratsioonitaset tuuliku jalamil ja 32 m, 64 m ning 285 m kaugusel jalamist. Mõõtmistulemuste kohaselt ületas töötava tuuliku vibrokiirendus jalamil 1 m/s^2 , kuid vibratsioonitase vähenes kiiresti jalamist kaugenedes. 285 m kaugusel oli vibrokiirendus vaid veidi suurem kui $0,01 \text{ m/s}^2$. Antud tase oli ebaoluliselt kõrgem vibratsioonitasemest, mis esines mittetöötava tuuliku korral samal kaugusel. Sarnased tulemused saadi ka Kanadas läbi viidud uuringus¹³⁰, kus analüüsiti vibratsioonitaseme muutumist tuulepargist (88 tuulikut võimsusega 2,3 MW) kaugenemisel. Tulemused näitasid, et vibratsioonitase on kõrgem tuulikute jalamil ja selle vahetus läheduses, kuid juba vähem kui 300 m kaugusel tuulikute ei ole vibratsioonitase kõrgem kui $0,01 \text{ m/s}^2$.

Üldjuhul paiknevad hooned tuulikute kaugemal kui 300 m ja arvestades, et alates nimetatud kaugusest jäävad vibratsiooni tasemed alla inimese tajuläve ($0,015$ kuni $0,02 \text{ m/s}^2$), ei peeta teaduskirjandusele tuginedes tuulikute tööga kaasnevat vibratsiooni oluliseks häiringuks. Samuti ei peeta selliseid vibratsioonitasemeid ohtlikuks ehituskonstruksioonidele¹³¹. Samas on oluline

¹²⁸ Jakobsen, J., 2005. Infrasound Emission from Wind Turbines

¹²⁹ LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2016.

Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen

¹³⁰ Bassett, K. P., Carrievau, R., Ting, D. S.-K., 2010. Vibration Analysis of 2.3 MW Wind Turbine Operation Using the Discrete Wavelet Transform

¹³¹ DIN 4150-1:2001-06 (2001). Erschütterungen im Bauwesen

välja tuua, et tuulikute tööst lähtuva vibratsiooni levik ja tase nt hoonetes on seotud nii tuuliku võimsuse kui ka pinnase omadustega.

Erinevalt maapinna kaudu levivast vibratsioonist on õhu kaudu leviva vibratsiooni ulatus suurem ehk see levib kaugemale. Eelnev tuleneb infraheli füüsikalistest omadustest – võrreldes kõrgema sagedusega helidega on infraheli lainepikkus pikem ja levik tasapinnaline, mis võimaldab helil levida pikki vahemaid minimaalse energiakaoga ehk sumbumata¹³². Hooneteni jõudes võib tuulikute lähtuv infraheli koostoimel hoonete osadega (nt aknad, seinad, põrandad) põhjustada resonantsi ehk panna need vibreerima. Eelkõige on antud nähtus seotud asjaoluga, et hoonete osadel on oma loomulik sagedus ning kui tuulikute poolt tekitatava infraheli sagedus on lähedal hoonete osade sagedusele, võivad need koostoimel saavutada resonantssageduse. Mõju esineb eelkõige kergkonstruktsiooniga (nt puitkarkassiga) hoonete puhul. Tekkivat vibratsiooni võib inimene ka kuulda kui nõrka klõbinat, isegi siis kui seda põhjustav heli ise jääb inimese kuulmislävest madalamale.¹³³

Flemmer ja Flemmer¹³⁴ on tuulikute poolt tekitatava infraheli kirjandusülevaates jõudnud järeldusele, et kuigi infraheli jääb allapoole kuulmisläve, võib infraheli poolt põhjustatav vibratsioon olla inimeste poolt tuntav ja see võib tundlike inimesi ärritada ja kaasa tuua stressi. Samas rõhutavad nad, et vajalikud on lisauuringud, mis määraksid kindlaks, millised tuulikute poolt põhjustatava infraheli sagedused on elanike jaoks kõige häirivamad ja kas neid sagedusi on võimalik kõrvaldada tuuliku labade tõhustatud disaini abil.

Tuulikute tööst põhjustatud vibratsiooni mõju elusloodusele ei ole põhjalikult uuritud (vt ka ptk 2.2.1.3). Seda eelkõige seetõttu, et keeruline on eristada, milline konkreetne häiring või nende kombinatsioon elusloodusele mõju avaldab. Linnustiku osas on Drewitt ja Langston¹³⁵ leidnud, et tuulikute tööga kaasnevad häiringud, sh vibratsioon, võivad põhjustada lindude ümberpaiknemist, kuid selle ulatus varieerub sõltuvalt linnuliigist ja asukohaga seotud teguritest. Väikeimetajate ja roomajate osas on uuringute tulemused vastuolulised, kuid uuema teaduskirjanduse põhjal on võimalik välja tuua, et puuduvad tõendid, et tuulepargid avaldaksid negatiivset või positiivset mõju näriliste ja karihiirlaste arvukusele, liigilisele koosseisule ja mitmekesisusele¹³⁶. Roomajate osas on Keehn kaasautoritega¹³⁷ leidnud, et tuulepargid ei mõjuta oluliselt sisalike demograafiat, uuritud populatsiooni mõjutas tugevamalt muud antropogeensed häiringud.

3.2.2 Meretuulepargid

Meretuuleparkide puhul esineb vibratsioon eelkõige ehitusperioodil, kui rajatakse tuulikute vundamenti. Tulenevalt meretuuleparkide kaugusest maismaast, sh hoonetest ja inimestest, mõjutab ehitusaegne vibratsioon eelkõige mereelustikku. Kuigi veealune vibratsioon ei mahu

¹³² Hansen, C., Zajamšek, B. and Hansen, K., 2016. *Infrasound and low-frequency noise from wind turbines*. In Zhou, Y., Lucey, A.D., Liu, Y. and Huang, L. (eds.) *Fluid-Structure-Sound Interactions and Control*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp.3–16.

¹³³ Flemmer, C. and Flemmer, R. (2023) 'Wind turbine infrasound: Phenomenology and effect on people', *Sustainable Cities and Society*, 89, p. 104308.

¹³⁴ Flemmer, C. and Flemmer, R., 2023. Wind turbine infrasound: Phenomenology and effect on people. *Sustainable Cities and Society*, 89, p.104308

¹³⁵ Drewitt, A.L. & Langston, R.H.W., 2006. Assessing the impacts of wind farms on birds

¹³⁶ Łopucki, R. and Mróz, I. (2016) 'An assessment of non-volant terrestrial vertebrates response to wind farms—a study of small mammals', *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(2), p. 122

¹³⁷ Keehn, J., Shoemaker, K., and Feldman, C. (2019) 'Population-level effects of wind farms on a desert lizard', *The Journal of Wildlife Management*, 83(1), pp. 145–157.

otseselt antud töö raamidesse, on alljärgnevalt antud ülevaade selle võimalikest mõjudest üldisel tasemel.

Taani Rødsand 2 meretuulepargi keskkonnamõju hinnangu¹³⁸ kohaselt avaldab ehitusaegne müra ja vibratsioon kaladele mõju sõltuvalt nende kuulmisvõimest¹³⁹. Arenenuma kuulmisega liigid, nagu tursk (*Gadus morhua*) ja harilik heeringas (*Clupea harengus*), väldivad mürarikkaid piirkondi, liikudes kuni ca 5,5 kilomeetri kaugusele ehituspiirkonnast. Samas kui vähem tundliku kuulmisega kalad, nagu lestalised (*Pleuronectiformes*), väldivad ehituspiirkonda umbes ca 1,6 kilomeetri ulatuses. Arvatakse, et kuigi kalad põgenevad ajutiselt sellistest kõrge müratasemega piirkondadest, pöörduvad nad tõenäoliselt tagasi, kui ehitustööd on lõppenud ning müra- ja vibratsioonitase alanenud. Ehitustööde ajal esinevat mürataset on võimalik leevendusmeetmete abil vähendada (ptk 3.5). Käitamisaegset müra ja vibratsiooni tajuvad hea kuulmisega kalaliigid ca 5 km kauguselt tuulikust ja halva kuulmisega liigid ca 0,5 km kaugusel. Kalaliigid väldivad tuulikute umbes 5–10 m raadiust piirkonda, kus esineb osakeste liikumist. Antud mõju on hinnatud väheoluliseks.

Anholt meretuulepargi keskkonnamõju hindamise käigus läbi viidud mereimetajate uuringu¹⁴⁰ kohaselt on müra ja vibratsiooni mõju mereimetajatele sarnane mõjuga kaladele – tuulikute ehitusaegne müra ja vibratsioon mõjutab mereimetajate käitumist 20 km raadiuses ja viib tõenäoliselt lühiajalise ümberpaiknemisele. Kuna tuulikute käitamise ajal on müra ja vibratsioon minimaalne, ei mõjuta see oluliselt mereimetajate käitumist. Lisaks kujunevad tuulikute vundamentidele uued elupaigad, mis meelitavad kalu ja seega potentsiaalselt ka mereimetajaid.

3.3 Meetodid ja normtasemed

3.3.1 Eesti

Eestis reguleerib vibratsiooni sotsiaalministri 17.05.2002 määrus nr 78 „Vibratsiooni piirväärtused elamutes ja ühiskasutusega hoonetes ning vibratsiooni mõõtmise meetodid”. Määrusega on kehtestatud inimeste tervisekahjustuste ja ebameeldivate aistingute vältimiseks üldvibratsiooni piirväärtused elamutes ja ühiskasutusega hoonetes. Seadmeid, masinaid ja muid vibratsiooniallikaid tuleb määruse kohaselt paigaldada, hooldada või kasutada sellisel viisil, et nende poolt tekitatud vibratsioon elamutes ja ühiskasutusega hoonetes ei ületa käesoleva määrusega sätestatud piirväärtusi.

Analüüsi koostamiseks läbi töötatud Eesti keskkonnamõju strateegiliste hindamiste tulemusena on võimalik öelda, et maismaatuuleparkide^{141, 142, 143} puhul on üldlevinud praktikaks vibratsiooni ja selle mõju hinnata ekspert hinnanguna, mis tähendab, et arvutuslikke hindamisi üldjuhul läbi ei viida ning enamjaolt tuginetakse teadusuuringute tulemustele. Meretuuleparkide¹⁴⁴ puhul on

¹³⁸ E.ON Sverige AB, 2007. Rødsand 2 Havmøllepark VVM

¹³⁹ Wahlberg, M. and Westerberg, H., 2005. Hearing in fish and their reactions to sounds from offshore wind farms. *Marine Ecology Progress Series*, 288, pp.295–309

¹⁴⁰ Ramboll, 2009. Anholt Offshore Wind Farm. Marine mammals

¹⁴¹ Hendrikson ja Ko OÜ, 2023. Lääneranna valla tuuleparkide eriplaneeringu asukoha eelvalik ja keskkonnamõjude strateegilise hindamise I etapi aruanne

¹⁴² OÜ Hendrikson & Ko, 2016. Tootsi Suursoo ala ja tuulepargi teemaplaneering. Olemasoleva olukorra analüüs ja planeeringu protsess. Planeerimisdokumendi keskkonnamõju strateegilise hindamise aruanne

¹⁴³ LEMMA OÜ, 2023. Pärnu linna ja Tori valla ehk nn Põlendmaa tuulepargi eriplaneeringu asukoha eelvaliku keskkonnamõju strateegilise hindamise esimese etapi aruanne

¹⁴⁴ Skepast&Puhkim OÜ, 2023. Loode-Eesti rannikumere tuulepargi keskkonnamõju hindamise aruanne.

vibratsiooni on hinnatud ka arvutuslikult, tuginedes standardile ISO 2631-1:1997¹⁴⁵ ja eelnimetatud sotsiaalministri 17.05.2002 määrusele nr 78.

3.3.2 Võrdlusriigid

Kuna tuulikute tööga kaasnevat vibratsiooni ei peeta inimeste tervise, hoonete konstruktsioonide ja eluslooduse vaates oluliseks häiringuks, ei ole võrdlusriikides kehtestatud otseselt tuulikute tööst põhjustatud vibratsiooni normtasemeid või selle hindamise juhendeid.

Eelnevat toetavad ka võrdlusriikide keskkonnamõju hindamised, kus nii maismaatuuleparkide kui ka meretuuleparkide puhul on hinnang vibratsiooni olulisusele antud tuginedes teadusuuringute tulemustele – eksperthinnanguna. Näiteks on Taani Kratlundi¹⁴⁶ maismaatuuleparki keskkonnamõju hindamises välja toodud, et tuulikute ja hoonete vahelisest kaugusest (min 600 m) tulenevalt ei ole ette näha maapinna kaudu levivast vibratsioonist lähtuvat olulist mõju. Leedu Pasvaliose¹⁴⁷ maismaatuulepargi mõjuhindamistes on teadusuuringutele tuginedes järeldatud, et tuulikud ei tekita vibratsiooni tasemel, mis võiks kujutada ohtu inimeste tervisele või hoonetele. Soome Uusimo¹⁴⁸ tuulepargi keskkonnamõju hinnangu kohaselt piisab hoonetes esineda võiva ja maapinna kaudu leviva vibratsioonihäiringu vältimiseks kui tuulikud rajatakse hoonetest minimaalselt 1 km kaugusele. Antud vahemaa tagab, et kehtestatud vibratsiooni normtasemeid hoonetes ei ületata ehk maapinna kaudu leviv vibratsioon ei ole inimeste poolt tajutav. Ühegi maismaatuulepargi puhul ei ole hinnatud vibratsiooni mõju elusloodusele. Meretuuleparkide, nt Anholti¹⁴⁹, Rødsand 2¹⁵⁰ ja Thor¹⁵¹, keskkonnamõju hindamistes on teadusuuringutele ja olemasolevate tuuleparkide seire tulemustele tuginedes jõutud järeldusele, et nii ehitus- kui ka käitamisetapis esinev vibratsioonihäiring on vee-elustikule ebaolulise mõjuga. Lähtuvalt meretuuleparkide kaugusest maismaast (eelnimetatud Taani näidete puhul on kolmest tuulepargist maismaale lähim Rødsand 2, mis asub 13 km kaugusel), ei ole tuulikute tööga kaasneva vibratsiooni mõju inimestele hinnatud. Õhu kaudu levivat vibratsiooni ei ole üheski analüüsitud maismaa- või meretuulepargi keskkonnamõju hinnangus käsitletud.

Alljärgnevalt on välja toodud ülevaade võrdlusriikide piirväärtustest ja vibratsiooni hindamise/mõõtmise meetoditest.

¹⁴⁵ International Organization for Standardization (ISO), 1997. *ISO 2631-1:1997: Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements*. Geneva: ISO.

¹⁴⁶ Nytteland, 2023. *Miljøkonsekvensrapport. Vindmøller ved Kratlund*

¹⁴⁷ UAB Ekostruktūra, 2023. Vėjo elektrinių parko Pasvalio raj., Pasvalio apylinkių sen. (Gaidynės k., Kiemelių k., Ragujų k., Stačiūnų k.) ir Krinčino sen. (Peteliškių k., Ličiūnų k., Kalniškio k.) statyba ir eksploatavimas

¹⁴⁸ FCG Finnish Consulting Group Oy, 2024. *Uusimon tuulivoimahanke. Ympäristövaikutusten arviointiselostus*

¹⁴⁹ Miljø- og Ligestillingsministeriet, 2010. *Environmental impact assessment for the Anholt Offshore Wind Farm*. Copenhagen: Miljø- og Ligestillingsministeriet. Miljø- og Ligestillingsministeriet, 2010. *Environmental impact assessment for the Anholt Offshore Wind Farm*. Copenhagen: Miljø- og Ligestillingsministeriet.

¹⁵⁰ E.ON Sverige AB, 2007. Rødsand 2 Havmøllepark VVM

¹⁵¹ Ramboll, 2021. Miljøvurdering af Planen for Thor Havvindmøllepark delrapport 2. Miljø på havet

Taanis on vibratsiooni soovituslikud piirväärtused ja mõõtmisviisid välja toodud Keskkonnakaitseagentuuri 1997. a juhendmaterjalis¹⁵². Juhendi kohaselt sõltuvad piirväärtused hoone funktsioonist. Soovituslikud piirväärtused on järgmised:

- 75 dB elamutes (ööpäevaringselt), lasteasutustes ja muudes sarnastes asutustes ning segahoonestusega aladel öhtusel ja öisel ajal (k 18.00-7.00);
- 80 dB elamutes segahoonestusega aladel, kontorites, klassiruumides jms päevasel ajal (k 7.00-18.00);
- 85 dB kommertshoonetes.

Saksamaal kasutatakse riiklikult siseruumides kehtivate vibratsioonitasemete reguleerimisel standardit DIN 4150¹⁵³, kus käsitletakse nii vibratsiooni parameetrite prognoosimist, mõju hoonetes viibivatele inimestele, mõju konstruktsioonidele kui ka mõõtmisnõudeid. Samuti on standardis välja toodud soovituslikud piirväärtused (vibrokiirus):

- 6 mm/s (päeval) ja 0,6 mm/s (öösel) – ainult ärihoonestus;
- 6 mm/s (päeval) ja 0,4 mm/s (öösel) – peamiselt ärihoonestus;
- 5 mm/s (päeval) ja 0,3 mm/s (öösel) – segahoonestus;
- 3 mm/s (päeval) ja 0,2 mm/s (öösel) – eluhoonestus;
- 3 mm/s (päeval) ja 0,15 mm/s (öösel) – tundlik hoonestus.

Konkreetselt tuulikute poolt tekitatavat vibratsiooni reguleeritakse Saksamaal ka läbi 2009. aastal heaks kiidetud tuulikute mehhaaniliste osade vibratsioonipiirangute¹⁵⁴. Neid suuniseid ja soovituslikke piirväärtusi võetakse arvesse tuulikute osade väljatöötamisel ja tuulikute käitamisel.

Soomes puuduvad antud kontekstis olulised vibratsiooni puudutavad regulatsioonid ja juhendmaterjalid.

Lätis ei ole alates 2010. aastast õigusaktidega reguleeritud tuulikute poolt tekitatava vibratsiooni piirväärtused. Varem olid vibratsiooni piirväärtused kehtestatud määruses nr 341 (jõustus 2003. aastal), millega kehtestati lubatud vibratsioonitasemed elamutes ja avalikes hoonetes. Antud määruses olid rangemad piirnormid kehtestatud meditsiini- ja rehabilitatsiooniasutustele, kus öine vibrokiirenduse piirnorm oli 0,028 m/s². Elamupiirkondades olid piirnormid 0,04 m/s² öösel ja 0,07 m/s² päeval.

Leedus reguleerib vibratsiooni piirväärtusi elu-, eri- ja üldkasutatavates ruumides standard HN 50:2016 „Kogu inimkeha mõjutav vibratsioon: suurimad lubatud väärtused ja mõõtmisnõuded elu-, eri- ja üldkasutatavatele ruumides“¹⁵⁵. Standardis välja toodud piirnormid varieeruvad vastavalt sagedusele (vahemikus 1 Hz - 80 Hz). Kõrgemad tasemed on lubatud päevasel ajal ja

¹⁵² Miljøstyrelsen, 1997. Lavfrekvent støj, infralyd og vibrationer i eksternt miljø

¹⁵³ DIN 4150-1:2001-06 (2001). Erschütterungen im Bauwesen

¹⁵⁴ VDI 3834 Messung und Beurteilung der mechanischen Schwingungen von Windenergieanlagen und deren Komponenten

¹⁵⁵ Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija, 2003. Visą žmogaus kūną veikianti vibracija: didžiausi leidžiami dydžiai ir matavimo reikalavimai gyvenamosios, specialiosios ir visuomeninės patalpos

ajutistele tegevustele, näiteks ehitustööde ja hädaolukordade puhul. Vibratsioonitasemete mõõtmine toimub vastavalt standardile ISO 2631¹⁵⁶.

Tabelis 5 on võrdlusriikide lõikes kokkuvõtlikult välja toodud informatsioon kehtestatud õigusaktide ja piirväärtuste ning koostatud juhendmaterjalide kohta.

Tabel 6. Kokkuvõte Eestis ja võrdlusriikides kehtivatest vibratsiooniga seotud õigusaktidest ja piirväärtustest ning koostatud juhendmaterjalidest (punane - puudub, roheline - olemas)

	Eesti	Taani	Soome	Saksamaa	Läti	Leedu
Reguleeritud tuulikutele suunatud õigusaktidega						
Reguleeritud üldkohalduva õigusaktiga						
Olemas kohustuslikud piirväärtused						
Olemas soovituslikud piirväärtused						
Olemas juhend						

3.4 Asukoha ja planeerimisega seotud kaalutlused

Võimalikest vibratsioonihäiringutest lähtuvalt ei ole üheski võrdlusriigis õigusaktidega kindlaks määratud tuulikute miinimumkauguseid vibratsioonitundlikest aladest. Uute hoonete rajamise korral tuulikute lähedusse peavad siseruumides esinevad vibratsioonitasemed vastama seaduses esitatavatele piirväärtustele.

3.5 Leevendusmeetmed ja seire

Kuna maismaatuulikute poolt tekitatud vibratsiooni, nii ehitus- kui ka käitamisperioodil, peetakse üldiselt väheoluliseks^{157, 158}, siis ei käsitleta üldjuhul antud teemat keskkonnamõju hindamistes. Vaatamata sellele ja pidades silmas eelkõige tuulikute eluea pikendamist, rakendavad arendajad ettevaatusabinõusid, mida on võimalik vajadusel ka keskkonnamõju hindamistes leevendusmeetmetena kasutada¹⁵⁹:

- Tuulikute vundament peab arvestama tuuliku ja asukoha ehitusgeoloogilisi tingimusi ehk valima peab vundamendi konstruktsiooni tüübi, mis takistab vibratsiooni leviku vundamendist pinnasesse.

¹⁵⁶ International Organization for Standardization (ISO), 1997. *ISO 2631-1:1997: Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements*. Geneva: ISO.

¹⁵⁷ Nytteland, 2023. Miljøkonsekvensrapport. Vindmøller ved Kratlund

¹⁵⁸ UAB Ekostruktūra, 2023. Vėjo elektrinių parko Pasvalio raj., Pasvalio apylinkių sen. (Gaidynės k., Kiemelių k., Ragujų k., Stačiūnų k.) ir Krinčino sen. (Peteliškių k., Ličiūnų k., Kalniškio k.) statyba ir eksploatavimas

¹⁵⁹ Malliotakis, G., Alevras, P. and Baniotopoulos, C., 2021. Recent advances in vibration control methods for wind turbine towers. *Energies*, 14(22), p.7536.

- Tuulikutele on võimalik paigaldada vibratsiooniandurid, mis jälgivad vibratsioonitasemeid ja kui meteoroloogilised tingimused või muud tegurid põhjustavad liigset vibratsiooni, lülituvad turbiinid automaatselt välja.
- Tuulikute vibratsiooni on võimalik vähendada spetsiaalsete isoleerivate tihendite ja pöörlevate osade tasakaalustamise abil.

Infrahelist põhjustatud vibratsiooni leevendusmeetmetena on teaduskirjanduses välja pakutud järgnevat¹⁶⁰:

- Mõõtmeseadmete paigutamine hoonetesse, kus on teavitatud vibratsioonihäiringutest. Vibratsioonihäiringute tuvastamise korral on võimalik hoone konstruktsiooni tugevdada, et vähendada vibratsiooni ülekandumist ühelt hoone elemendilt teisele (nt põrandalt voodile).
- Uute hoonete ehitamisel on soovitatav kasutada raskeid ja jäiku materjale (nt kivi ja betoon), et vähendada infraheli resoneerumist.

3.6 Olulisemad õigusaktid ja juhendid

Saksamaa standard, mis käsitleb nii hindamis- ja mõõtmismetoodikat kui ka mõju inimestele ja hoonetele:

Standard DIN 4150 „Vibratsioon ehituses“

- [DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“](#)

3.7 Kokkuvõte

Sarnaselt Eestiga on võrdlusriikidest Taanis, Saksamaal ja Leedus kehtestatud normtasemed silmas pidades kõiki võimalikke vibratsiooni allikaid, Soomes ja Lätis puuduvad ka üldregulatsioonid. Kuna tuulikute tööga kaasnevat vibratsiooni ei peeta inimeste tervise, hoonete konstruktsioonide ja eluslooduse vaates oluliseks häiringuks, ei ole võrdlusriikides kehtestatud otseselt tuulikute tööst põhjustatud vibratsiooni normtasemeid või selle hindamise juhendeid.

Võrdlusriikide keskkonnamõju hindamistes on levinud praktikaks tugineda vibratsiooni osas asjakohastele teadusuuringutele, mis käsitlevad tuulikute tööga kaasneva ja maapinna kaudu leviva vibratsiooni iseloomu, sh selle leviku ulatust. Näiteks Saksamaal¹⁶¹ ja Kanadas¹⁶² läbi viidud uuringute tulemusena on leitud, et juba vähem kui 300 m kaugusel maismaatuulikutest jäävad vibratsioonitasemed alla inimese tajuläve.

¹⁶⁰ Flemmer, C. and Flemmer, R., 2023. Wind turbine infrasound: Phenomenology and effect on people. *Sustainable Cities and Society*, 89, p.104308.

¹⁶¹ LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2016. Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen

¹⁶² Bassett, K. P., Carrievau, R., Ting, D. S.-K., 2010. Vibration Analysis of 2.3 MW Wind Turbine Operation Using the Discrete Wavelet Transform

4 Varjutamine

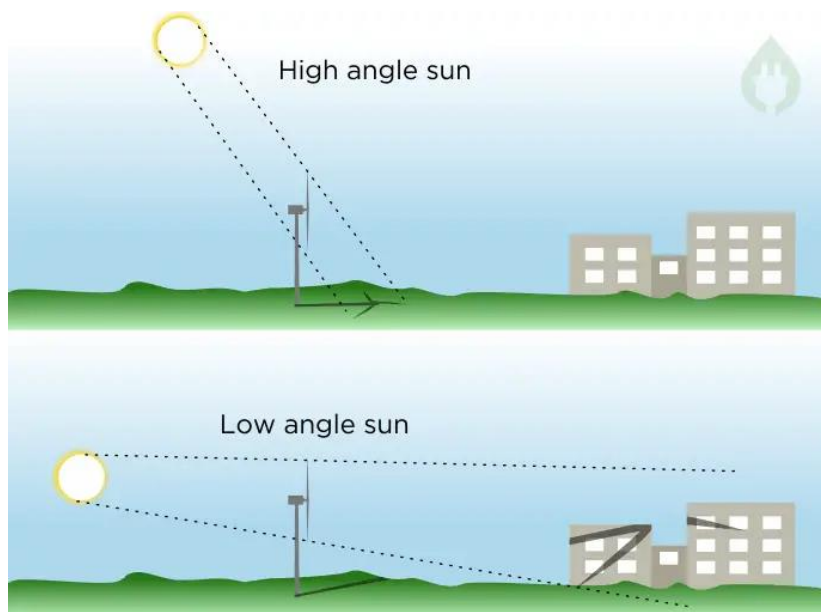
4.1 Üldist

Varjutamine on pulseeriva valguse ja varju efekt, mida põhjustab läbi pöörlevate tuulikulabade paistev päike. Täpsemalt blokeerivad pöörlevad labad päikesevalgust, heites objektidele (maapind, hooned) liikuvaid varje. Need liikuvad varjud võivad põhjustada visuaalset häiringut tuuliku lähedal asuvates hoonetes viibivatel inimestel, aga ka nt maanteel sõitvatel autojuhtidel.

Liikuvate varjude intensiivsus väheneb tuuliku kaugenedes, mis tähendab, et tavaliselt on see kõige tajutavam tuuliku lähedal. Varjude esinemise ala on suurim, kui päike on horisondile lähedal ehk hommikuti ja õhtuti on varjutus ulatuslikum (Joonis 3). Eelnevalt tulenevalt on varjud ulatuslikumad talveperioodil, kuid nende kestus on suurem suveperioodil¹⁶³. Eesti laiuskraadist tulenevalt ei tekita tuulikud varjusid tuulikust lõunas, kõige kaugemale ulatuvad varjud esinevad lääne- ja idakaares.

Liikuvaid varje ei teki, kui turbiin on pilvede/udu tõttu varjutatud või kui turbiin ei tööta. Samuti vähendavad liikuvate varjude mõju takistused (nt pinnavormid, puud, hooned), mis paiknevad tuuliku ja mõjutatava objekti (nt hoone) vahel.

Tuulikute ja päikese koosmõjul võivad tekkida ka perioodilised peegeldused¹⁶⁴ (*disco-effect*), mis tekivad, kui päikesevalgus rootori labadelt peegeldub ja tekitab teatud asukohas ebameeldivat sähvimist. Perioodilised peegeldused sõltuvad rootori pinna läikeastmest ja valitud värvi peegeldusvõimest.



Joonis 3. Varjude ulatus sõltuvalt päikese paiknemisest (ülal - kõrgelt paistev päike, all - madalalt paistev päike)¹⁶⁵

¹⁶³ Haac, R., Darlow, R., Kaliski, K., Rand, J., Hoen, B. 2022. *In the shadow of wind energy: Predicting community exposure and annoyance to wind turbine shadow flicker in the United States*

¹⁶⁴ LAI, 2020. *Hinweise zur Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windkraftanlagen*

¹⁶⁵ Gill, J. M. 2021. *Wind Turbine Shadow Flicker: What Causes This Phenomenon*

4.2 Mõju ja riskid

4.2.1 Maismaatuulepargid

Tuulikute poolt tekitatav varjutamine võib avaldada inimestele mõju läbi visuaalse häiringu. Inimesed puutuvad igapäevaselt kokku ümbritsevas keskkonnas oleva valguse muutustega (nt öö ja päeva vaheldumine), seetõttu ollakse suutelised sellega kiiresti kohanema. Hämaras keskkonnas pupillid laienevad, mis võimaldab rohkem valgust silmadesse ning valgemas keskkonnas pupillid ahenevad. Varjutuse käigus muutub valgus kiiresti ja silmadel ei ole piisavalt aega kohanemiseks ning kontrast varju ja valguse vahel on piisavalt suur, et see muutuks häirivaks. Üksikjuhtumi (nt õhusõidukite põhjustatud) vari tõmbab küll tähelepanu, kuid ei ole piisav, et põhjustada vastuvõtja häirimist. Tuulikute puhul tuleb aga arvestada labade arvu ja pöörete arvuga minutis, seega on häiring märkimisväärselt suurem.

Teaduskirjanduse kohaselt on varjutamisest enim mõjutatud fotosensitiivse epilepsiaga inimesed. Uuringud^{166,167,168}, mis analüüsisid seost fotosensitiivse epilepsia ja tuulikute poolt tekitatud varjutamise vahel, näitasid, et varjutamine sagedusega > 3 Hz, kujutab endast potentsiaalset riski krampide esilekutsumiseks 1,7 inimesel 100 000 fotosensitiivse elaniku kohta. See tähendab, et kolme labaga turbiinid peaksid töötama kiirusel 60 pööret minutis. Kaasaegsed turbiinid pöörlevad tunduvalt madalamal kiirusel – näiteks Enercon E-92-2 MW 5–16,5 pööret minutis ja Vestas V136-4.2 MW 5–10,8 pööret minutis. See tähendab, et tänapäevase tuulikute madalamad pöörlemiskiirused muudavad krampide esinemise tõenäosuse fotosensitiivse epilepsiaga ebatõenäoliseks. Isikud võivad siiski kogeda ebamugavustunnet, peavalu või visuaalset pinget. Enamiku inimeste jaoks ei kujuta need sümptomid endast märkimisväärset ohtu tervisele. Sealjuures on aga oluline arvestada ka võimaliku kumulatiivse mõjuga ehk olukorraga, kus mitu tuulikut tekitavad ühele elamule samal ajal varjutuse, mille tulemusena on võimalik, et sagedus 3 Hz ületatakse. Selliste olukordade vältimiseks on tuuleparkide puhul tähelepanu pöörata tuulikute paigutusele ja vältida kattuvaid varjutamise alasid¹⁶⁹.

Pohl ja kaasautorite¹⁷⁰ poolt läbi viidud uuringus, kus simuleeriti tuulikute poolt põhjustatavat varjutust spetsiaalse valgusseade abil, leiti, et varjutamine ei mõjuta oluliselt töövõimet, heaolu, kognitiivseid protsesse ega stressi. Samas tõdeti, et teatud tingimustes (nt vanemate inimeste puhul) võib pikemaajaline kokkupuude potentsiaalselt põhjustada häiringuid vaimse ja füüsilise stressi tõttu. Antud uuringu tulemusi on muuhulgas kasutatud ka Saksamaal kehtiva varjutuse mõju hindamist käsitleva juhendi n-ö alusuuringuna.

Sarnaselt teiste valdkondadega, ei ole ka varjutuse mõju elusloodusele käesoleva analüüsi koostajatele teadaolevalt ulatuslikult uuritud (vt ka ptk 2.2.1.3). Lindude osas on uuritud tuulikute, sh varjutamise, mõju metsise (*Tetrao urogallus*) elupaigakasutusele¹⁷¹. Kuigi varjutus

¹⁶⁶ Knopper L. D., Ollson C. A., 2011. *Health effects and wind turbines: a review of the literature*

¹⁶⁷ Harding G, Harding P, Wilkins A., 2008. *Wind turbines, flicker, and photosensitive epilepsy: characterizing the flashing that may precipitate seizures and optimizing guidelines to prevent them*

¹⁶⁸ Smedley A. R. D., Webb A. R., Wilkins A. J., 2010. *Potential of wind turbines to elicit seizures under various meteorological conditions*

¹⁶⁹ Harding, G. F. A., Harding, P. F., & Wilkins, A. J., 2008. *Wind turbines, flicker, and photosensitive epilepsy: Characterizing the flashing that may precipitate seizures and optimizing guidelines to prevent them*

¹⁷⁰ Pohl, J., Faul, F., Mausfeld, R., 1999. *Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen*

¹⁷¹

on üks mitmest metsise elupaigakasutust mõjutavast tegurist, on võimalik välja tuua, et kui tuulikud varjutavad metsise elupaiku rohkem kui 8 tundi aastas suveperioodil ja rohkem 14 tundi aastas pulmamängude perioodil, väheneb metsise elupaigakasutus. Mõju esineb eelkõige 865 m kaugusel tuulikuteest. Varjutuse mõjude raportis¹⁷² on välja toodud, et tuulikute poolt põhjustatav varjutamine, võib häirida karjatatavaid loomi. Mitmes riigis on läbi viidud uuringud ning need kinnitavad, et põllumajandusloomad ja hobused kohanevad uues keskkonnas lühikese aklimatiseerumisperioodi jooksul. Täpsemalt on nt hobuste puhul välja toodud, et nendega ei tohiks ratsutada keskkonnas, kus nad ei ole veel kohanenud ehk tuulikute rajamise järgselt on soovitatav piirkonnas, kus ratsutatakse hobustega, lasta enne harjuda tuulikute tööga kaasnevate varjudega.

4.2.2 Meretuulepargid

Inimese tervise kontekstis on varjutamine vähem oluline meretuuleparkide puhul, sest meretuulepargid paiknevad enamasti eemal rannikust (nt Eestis tohivad paikneda min 6 km kaugusel) ja seega ka hoonetest, mistõttu ei ulatu tekkivad varjud rannikuni. Võimalik häiring võib esineda laevadele või õhusõidukitele kui päike tuulikulabadelt peegeldub ja tekitab ebameeldivat sähvimist, kuid eelnevat on võimalik meetmete abil leevendada (ptk 4.5).

Varjutamise mõju vee-eluviisiga loomadele ei ole analüüsi koostajale teadaolevalt süsteemselt uuritud, mistõttu esineb vaid üksikuid uuringuid. Näiteks on Dodd kaasautoritega Šotimaal läbi viinud uuringu¹⁷³, et kindlaks teha, kas varjutamisel võib olla mõju kaladele (konkreetsemalt lõhele, *Salmo salar*). Uuringu tulemused (sh olemasolev teaduskirjandus) ei kinnita varjutuse mõju lõhele või mõnele muule kalaliigile. Peetakse tõenäoliseks, et lõhe harjub tuulikute labade visuaalse liikumisega. Samas on ebaselge (olemasolevate uuringute põhjal), kas eelmainitud harjumus tuleb uutes olukordades kasuks – kas kalad reageerivad erinevalt õhusõidukile või kiskjale, kelle liikumismustrid sarnanevad tuulikute labade liikumisega. Sarnastele järeldustele on jõutud ka Soome ülevaates¹⁷⁴, kus tuuakse välja, et varjutamine võib häirida kalu (nt Atlandi heeringat ja lesta) ja tuua kaasa nende ümberpaiknemise veesambas, mis mõjutab omakorda kalade elupaigavalikut ja toitumiskäitumist. Samas tõenäoliselt kalad harjuvad regulaarse varjutamisega ning ei tõlgenda seda hiljem röövloomade ohuna.

4.3 Meetodid ja normtasemed

4.3.1 Eesti

Hetkel puuduvad **Eestis** õigusaktid, mis reguleeriksid antud valdkonda, sh puuduvad ka siseriiklikud juhendid. Eestis läbiviidavates keskkonnamõju strateegilistes hindamistes on heaks tavaks järgida teistes Euroopa riikides kehtivaid piirväärtusi ja juhendmaterjale. Eelkõige kasutatakse Saksamaa ja Taani meetodikat ning varjutamise kestuse hindamisel võrreldakse tulemusi üldjuhul mõlema riigi piirväärtustega (vastavalt 30 ja 10 h aastas).

¹⁷² Brinckerhoff P., 2010. *Update of UK Shadow Flicker Evidence Base. Final Report.* <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a79770bed915d0422068aa3/1416-update-uk-shadow-flicker-evidence-base.pdf>

¹⁷³ Dodd J. A., & Briers, R. A., 2021. *The impact of shadow flicker or pulsating shadow effect, caused by wind turbine blades, on Atlantic salmon (Salmo salar)*

¹⁷⁴ Vehanen, T., Hario, M., Kunasranta, M. and Auvinen, H. 2010. *Merituulivoiman vaikutukset rannikon kaloihin, lintuihin ja nisäkkäisiin*

4.3.2 Võrdlusriigid

Rahvusvaheline Finantskorporatsioon (EBRD) toob välja¹⁷⁵, et tuulikuid tuleb kavandada ja paigutada nii, et need ei avaldaks mõju kohalikele elanikele, koolidele, haiglatele ja äridele. Üldiselt tuleb tagada, et tuulikud paikneksid minimaalselt 700 m kaugusel elamupiirkondadest. Minimaalse kauguse tagamine on oluline, et vältida muuhulgas varjutamise mõju.

Üheski võrdlusriigis ei ole tuuleparkidega kaasneva varjutamise normtasemed ega meetodika kindlaks määratud õigusaktides – antud valdkonda reguleeritakse juhendmaterjalide kaudu.

Taanis on varjutamise hindamise taotlustasemed ja meetodika välja toodud elamumajanduse ja planeerimise agentuuri poolt koostatud tuuleparkide planeerimist puudutavas juhendis¹⁷⁶,

Saksamaal on riiklik emissioonikontrolli töörühm (LAI) välja andnud varjutamise meetodikat ja normtasemeid käsitleva juhendi¹⁷⁷.

Vastavalt **Taanis** kehtivatele suunistele on tuulikute kavandamisel soovitatav tagada, et elamutes, sh nende vahetus läheduses paiknevas väliruumis (nt terrassid, aed) ei esineks varjutust summaarselt rohkem kui 10 tundi aastas. Tegemist on reaaltingimustest lähtuva varjutamise ajaga (*real case*), mis saadakse, lähtudes varjutuse hindamisel piirkonna reaalsetest meteoroloogilistest tingimustest (päikesepaiste kestus, tuule suund).

Suuniste kohaselt tuleb juba tuuleparkide kavandamisetapis hinnata varjutuse mõju piirkonnas paiknevatele hoonetele ja selle vahetule väliruumile. Hindamisse tuleb kaasata kõik tuulikud, mis võivad panustada mõju tekkimisse. Täpsemalt määratakse võimalikult mõjutatavad hooned kindlaks esialgse varjutuskaardi abil, kus kujutatakse nn 0-tunnise varjutamise piiri ehk ala, kus varjutus ei esine. Kõik hooned, mis asuvad selle joone piires või mis paiknevad joonest vähem kui 15 m kaugusel, võetakse edasises analüüsis arvesse. Olemasolevatest tuulikutest võetakse koosmõju hindamiseks arvesse neid, mis asuvad kavandatavate tuulikute kuni 28-kordse kogukõrguse kaugusel.

Edasise hindamisprotsessi saab jagada kaheks:

1. Varjutamise prognoos - esialgses arvutuses hinnatakse varjutamise kestust 15 m x 15 m suurusel elamute lähedal asuval õuealal, mille keskpunkt ei paikne rohkem kui 15 m kaugusel eluruumist. Arvutused tehakse maapinnast 1 m kõrguselt ja mõju simuleeritakse nii nagu oleks hoone aknad alati suunatud tuuliku poole („klaasmaja“).
2. Varjutamise üksikasjalik arvutus – kui esialgne hinnang näitab, et 15 m x 15 m suurusel alal esineb aastas rohkem kui 10 tundi varjutust, viiakse iga elamu ja selle õueala kohta läbi üksikasjalikum analüüs. See detailsem hinnang hõlmab tegureid nagu akende mõõtmed ja elupinna suurus jne.

Arvutuste läbiviimiseks on soovitatav kasutada programmi WindPRO Shadow või samaväärset teist tarkvara. Võimalikult täpsete tulemuste saamiseks kasutatakse varjutamise hindamisel mitmeid eeldusi (välja toodud juhise¹⁷⁸ lisa 1). Lisaks modelleerimistulemustele peab olema

¹⁷⁵ European Bank of Reconstruction and Development. *Environmental and social eligibility criteria for onshore wind power sub-projects/sub-investments*

¹⁷⁶ Bolig- og Planstyrelsen, 2022. *Vejledning om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller*

¹⁷⁷ LAI, 2020. *Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windkraftanlagen*

¹⁷⁸ Bolig- og Planstyrelsen, 2022. *Vejledning om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller*

dokumenteeritud info päikesetõusu, päikeseloojangu, varjutuse alguse ja lõpu ning kestuse kohta iga mõjutatud elamu suhtes.

Saksamaa suuniste kohaselt ei tohi tuulikute tulenevat varjutust esineda elamutes ega nende vahetus läheduses aastas summaarselt kauem kui 30 tundi ja päevas rohkem kui 30 min. Tegemist on halvima võimaliku olukorraga (*worst case*) ehk olukorraga, kus eeldatakse, et päike paistab pilvitus taevas päikesetõusust loojanguni ning rootori pind on risti päikesekiirtega ja tuulik töötab terve päeva vältel. Reaalse varjutamise piirmääraks on seatud 8 tundi aastas. Viimast kasutatakse eelkõige leevendusmeetmete rakendamise korral ehk olukorras, kus seadistatakse turbiinide automaatset varjutamise jälgimise süsteemi.

Saksamaa suuniste kohaselt hinnatakse varjutuse mõju nii sise- kui ka välisruumides (mõjupunktid). Siseruumide hulka kuuluvad eluruumid, magamistoad, klassiruumid ja tööruumid. Väliruumi all peetakse silmas ruumi, mis paikneb vahetult hoone juures, nt terrassid ja rõdud (vajavad kaitset vahemikus 6.00–22.00).

Varjutamise hindamisel võetakse arvesse kõiki piirkonnas paiknevaid tuulikuid, mis võivad mõju esile kutsuda. Uuritav piirkond leitakse selle alusel, kui kaugel tuulikust on rootori labaga kaetud vähemalt 20% päikesepinnast. Sealjuures tuleb arvesse võtta ka maastikulisi erinevusi tuuliku ja mõjupunkti vahel (nt olukorda, kus tuulik paikneb mäe otsas).

Saksamaa suunistes on välja toodud, et täpsete arvutuste tegemiseks on soovitatav kasutada üldlevinud mudeleid^{179,180,181}, milles välja toodud põhimõtetega tuleb arvestada ka tarkvara abil modelleerimisel.

Suunistes määratletakse mitmed eeldused, mida kasutatakse tulemuste võrreldavaks muutmiseks. Näiteks eeldatakse, et päike paistab terve päeva selges taevas ja tuule suund on päikesega ühel joonel ning eeldatakse, et turbiinid töötavad terve päeva (halvima olukorra eeldused). Prognoosides kasutatavad geomeetrilised parameetrid peavad olema ± 3 kuni ± 10 meetri täpsusega ning varjutuse ajastus peab olema välja toodud päevas 1 minuti täpsusega ning kasutada tuleb, kas Kesk-Euroopa (CET) või Kesk-Euroopa suvist (CEST) aega.

Võimalikud varjutuse ajad kõigis asjakohastes mõjupunktides tuleb mõju prognoosis välja tuua päevapõhiselt koos algus- ja lõpuaegade ning varjutuse kestusega. Mitme tuuliku puhul tuleb varjutus esitada päevapõhiselt, nii iga üksiku tuuliku kaupa kui ka kõikide tuulikute koondmõjuna. Iga mõjupunkti kohta tuleb välja tuua ka varjutuse aastane kogukestus.

Varjutuse mõju prognoos sisaldab ka väljavõtteid topograafilistest kaartidest, millel on näidatud turbiinide asukohad ja mõjupunktid koos nende UTM koordinaatide ja kõrgustega. See võimaldab kaardil esitada ka varjutuse isojooni (kõverad, mis näitavad sama aastast varjutuse kestust, näiteks 30-tunni joon), mis lähtuvad turbiinidest.

Soomes on seni varjutamise hindamine toimunud teiste riikide (Rootsi, Saksamaa ja Taani) praktikaid järgides, nii nagu soovitatud tuuleenergia planeerimise juhenddokumendis¹⁸². Analüüsi käigus läbi töötatud Soome keskkonnamõju hindamistes on varjutamist hinnatud

¹⁷⁹ Bohne, K. & Michelbrand, D. 2000. *Der Schattenwurf von Windkraftanlagen*

¹⁸⁰ DIN 5034-2: *Tageslicht in Innenräumen – Grundlagen*

¹⁸¹ VDI 3789 Blatt 2 -10 /94: *Umweltmeteorologie - Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Oberflächen, Berechnung der kurz- und langwelligen Strahlung*

¹⁸² Ympäristöministeriö, 2016. *Tuulivoimarakentamisen suunnittelu: Päivitys 2016*

reaaltingimustest lähtuvas olukorras. Piirväärtusena on kasutatud 8 h^{183, 184}, (vastavalt Saksamaal kasutatavale piirväärtusele) varjutamist aastas või on võrreldud mitme erineva piirväärtusega¹⁸⁵ (8 h ja 10 h). Kõikides läbitöötatud keskkonnamõju hindamistes on soovitatud varjutamist leevendada alates 8 h.

Lätis kasutatakse Saksamaa suunistes välja toodud piirväärtusi ja meetodikat. Sealjuures arvestades, et uuemad tuulikud (kogukõrgusega kuni 250 m) põhjustavad varjutamist 1,5–2 km kaugusele, on keskkonnamõju hindamiste heaks tavaks hinnata varjutamist elamutele ja avalikele hoonetele, mis paiknevad kuni 3 km kaugusel lähimatest tuulikutest.

Leedus viiakse varjutamise hindamisi samuti läbi Saksamaa meetodika kohaselt.

Tabel 7 on võrdlusriikide lõikes kokkuvõtlikult välja toodud informatsioon kehtestatud õigusaktide ja piirväärtuste ning koostatud juhendmaterjalide kohta.

Tabel 7. Kokkuvõte Eestis ja võrdlusriikides kehtivatest varjutusega seotud õigusaktidest ja piirväärtustest ning koostatud juhendmaterjalidest (punane - puudub, roheline - olemas)

	Eesti	Taani	Soome	Saksamaa	Läti	Leedu
Reguleeritud tuulikutele suunatud õigusaktidega						
Reguleeritud üldkohalduva õigusaktiga						
Olemas juhend						
Olemas kohustuslikud piirväärtused						
Olemas soovituslikud piirväärtused						

4.4 Asukoha ja planeerimisega seotud kaalutlused

Taani tuulikute planeerimise ja ehitamise regulatsiooni¹⁸⁶ kohaselt ei anta luba tuulikute ehitamiseks, mis asuvad elamutele lähemal kui neljakordne turbiini kogukõrgus. Selle regulatsiooni eesmärgiks on vältida hoonetele olulisi visuaalseid häiringuid, eelkõige liigset varjutamist. Täpsema asukoha valikul tuginetakse juhendmaterjalides välja toodud reaalse summaarse varjutuse piirväärtustele. Lisaks on juhendmaterjalides välja toodud, et tuulikute puhul, mis asuvad 1,7-kordse turbiini kogukõrguse kaugusel peamistest maanteedest või raudteedest, on vajalik läbi viia täiendav analüüs, et välistada varjutamise mõju liiklusohutusele.

¹⁸³ FCG Finnish Consulting Group Oy, 2023. *Lasorin tuulivoimahanke. Ympäristövaikutusten arviointiselostus*

¹⁸⁴ FCG Finnish Consulting Group Oy, 2024. *Uusimon tuulivoimahanke. Ympäristövaikutusten arviointiselostus*

¹⁸⁵ Sweco Finland Oy, 2024. *Seinäjoen Ooperin tuulivoimapaisto*

¹⁸⁶ BEK nr 923 af 06/09/2019 *Bekendtgørelse om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller*

Saksamaal ei ole tundlike alade miinimumkaugused tuulikute rangelt määratletud eeskirjadega, vaid need sõltuvad varjutamise piirmääradest. See tähendab, et asukoha valiku aluseks on modelleerimise tulemused ja nende vastavus kehtivatele piirväärtustele.

4.5 Leevendusmeetmed ja seire

Saksamaa juhendis on välja toodud, et kui modelleerimise tulemusena selgub, et maksimaalne varjutusaeg ületatakse, võib tuuliku töö piiramiseks kasutada tehnilisi meetmeid, näiteks automaatseid väljalülitussüsteeme koos kiirgus- või valgusanduritega. Need süsteemid aitavad täita varjutuse piirväärtusi ja tagavad, et reaalne varjutus ei ületaks 8 tundi aastas. Tuuliku töö automaatne peatamine on peamiseks leevendusmeetmeks ka teiste riikide keskkonnamõju hindamistes ^{187, 188, 189}.

Piirväärtustest kinni pidamise kontroll on **Saksamaal** reguleeritud järgmiselt:

- Enne tuulikute käitamist tuleb nii tuulikud kui ka potentsiaalselt varjutuse poolt mõjutatavad punktid (hooned, terrassid jne) geodeetiliselt kaardistada. Saadud andmetele tuginedes koostatakse tuulikute väljalülitamise kava, kus kirjeldatakse muuhulgas kasutatavat väljalülitamise tehnoloogiat, väljalülitamise aegu ja kestust. Kava esitatakse järelevalveasutusele heakskiitmiseks.
- Kuus kuud pärast tuulikute kasutuselevõttu peab tuulikute omanik esitama järelevalveasutusele nõuetele vastavuse kontrolliks kokkuvõtte tuulikute väljalülitamise aegade ja kestuse kohta.
- Edaspidi on tuuliku omanik kohustatud säilitama andmeid päikesepaiste kestuse ja väljalülitusaegade kohta vähemalt viimase aasta kohta ja need andmed peavad olema järelevalveasutusele kontrollimiseks kättesaadavad.

Asjakohaseks järelevalveasutuseks on enamasti vastava liidumaa keskkonnaagentuur.

Samuti on ka Taani juhendi alusel tuuliku omanik kohustatud säilitama andmeid päikesepaiste kestuse ja tuulikute väljalülitamise aegade kohta, kuid täpsustatud ei ole, kui pika perioodi andmed peavad olema tagantjärele kättesaadavad.

Eelnevast tulenevalt toimub leevendusmeetmete tõhususe kontroll vaid Saksamaal kindla protseduuri kaudu, teistes riikides hinnatakse meetmete rakendamist ja nende tõhusust kaebuste põhisel.

4.6 Olulisemad õigusaktid ja juhendid

Üheski võrdlusriigis ei ole tuuleparkidega kaasneva varjutamise normtasemed ja meetodika kindlaks määratud õigusaktides – antud valdkonda reguleeritakse juhendmaterjalide kaudu.

Taani juhendmaterjal tuulikute kavandamise ja lubade kohta.

- [Bolig- og Planstyrelsen, 2022. Vejledning om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller](#)

¹⁸⁷ Nytteland, 2023. *Miljøkonsekvensrapport. Vindmøller ved Kratlund*

¹⁸⁸ Kathrin Tarricone, 2023. *UVP-Bericht zum geplanten Vorhaben Errichtung und Betrieb von 7 WEA und Rückbau von 3 WEA im WP Biere*

¹⁸⁹ UAB Ekostruktūra, 2023. *Vėjo elektrinių parko Pasvalio raj., Pasvalio apylinkių sen. (Gaidynės k., Kiemelių k., Ragujų k., Stačiūnų k.) ir Krinčino sen. (Peteliškių k., Ličiūnų k., Kalniškio k.) statyba ir eksploatavimas*

Saksamaa emissioonikontrolli tööühma juhendmaterjal varjutamise hindamiseks.

- [LAI, 2020. Hinweise zur Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windkraftanlagen](#)

4.7 Kokkuvõte

Üheski võrdlusriigis ei ole tuuleparkidega kaasneva varjutamise normtasemed ega meetodika kindlaks määratud õigusaktides – antud valdkonda reguleeritakse juhendmaterjalide kaudu. Riiklikud juhendmaterjalid on võrdlusriikidest välja töötanud vaid Saksamaa ja Taani. Suurim erinevus eelnimetatud suuniste vahel on see, et Taani meetodika kohaselt leitakse reaalingimustest lähtuv olukord ja Saksamaa meetodika kohaselt esmalt halvim võimalik olukord ning kui sellele seotud normtasemed on ületatud, leitakse täpsemate leevendusmeetmete leidmiseks ka reaalingimustest lähtuv olukord.

Kuna Saksamaa meetodika sisaldab endast mõlema olukorra arvutuspõhimõtteid ja arvestades, et reaalingimustest lähtuva olukorra leidmiseks kasutatakse aasta keskmisi väärtusi, mis tegelike tingimustega võrreldes võivad anda moonutatud (üle- või alahinnatud) hinnangu, on ettevaatusprintsipiist lähtuvalt otstarbekas Eestis kasutusele võtta Saksamaa juhised koos normtasemetega.

Kasutatud kirjandus

Mõju hindamised ja nende uuringute aruanded

Eesti

- LEMMA OÜ, 2024. *Pärnu linna ja Tori valla ehk nn Põlendmaa tuulepargi eriplaneeringu detailse lahenduse asjakohaste mõjude, sh keskkonnamõju strateegilise hindamise aruanne* (versioon 19.08.2024)
- OÜ Hendrikson & Ko, 2016. *Tootsi Suursoo ala ja tuulepargi teemaplaneering. Olemasoleva olukorra analüüs ja planeeringu protsess. Planeerimisdokumendi keskkonnamõju strateegilise hindamise aruanne*
- OÜ Hendrikson & Ko, 2020. *Saarde valla tuulikuparkide P14, P15, P16 detailplaneeringute keskkonnamõju strateegiline hindamine*
- OÜ Hendrikson & Ko, 2023. *Lääneranna valla tuuleparkide eriplaneeringu asukoha eelvalik ja keskkonnamõjude strateegilise hindamise I etapi aruanne*
- OÜ Hendrikson & Ko, 2022. *Eesti mereala planeeringu mõjuhindamise aruanne*
- Roheplaan OÜ, 2024. *Saare Wind Energy meretuulepargi keskkonnamõju hindamine*
- Skepast&Puhkim OÜ, 2023. *Loode-Eesti rannikumere tuulepargi keskkonnamõju hindamise aruanne*

Taani

- E.ON Sverige AB, 2007. *Rødsand 2 Havmøllepark VVM*
- itap GmbH, 2024. *Jammerland Bay Near Shore Wind Farm. Modeling of underwater noise emissions during construction pile-driving work*
- Miljø- og Ligestillingsministeriet, 2010. *Environmental impact assessment for the Anholt Offshore Wind Farm*
- Miljø- og Ligestillingsministeriet, 2024. *Landanlæg til Hesselø Havvindmøllepark Miljøkonsekvensrapport*
- Nytteland, 2023. *Miljøkonsekvensrapport. Vindmøller ved Kratlund*
- Ramboll, 2009. *Anholt Offshore Wind Farm. Marine mammals*
- Ramboll, 2021. *Miljøvurdering af Planen for Thor Havvindmøllepark delrapport 2. Miljø på havet*

Saksamaa

- ENERCON GmbH, 2020. *Schallimmissionsprognose für die geplanten Windenergieanlagen am Standort Siedenbrünzow, Landkreis Mecklenburgische Seenplatte, Mecklenburg-Vorpommer*
- Innogy Kaskasi GmbH, 2020. *Offshore-Windpark "KASKASI II": Allgemein verständliche, nicht-technische Zusammenfassung des UVP-Berichts*
- Tarricone, K., 2023. *UVP-Bericht zum geplanten Vorhaben Errichtung und Betrieb von 7 WEA und Rückbau von 3 WEA im WP Biere*
- Windpark Behrenhoff GmbH & Co. KG, 2023. *Zusammenfassende Darstellung der Umweltauswirkungen für den Bau und Betrieb von 8 Windenergieanlagen in Behrenhoff*

Soome

- FCG Finnish Consulting Group Oy, 2023. *Lasorin tuulivoimahanke. Ympäristövaikutusten arviointiselostus*
- FCG Finnish Consulting Group Oy, 2024. *Uusimon tuulivoimahanke. Ympäristövaikutusten arviointiselostus*
- FCG Finnish Consulting Group Oy, 2024. *Volkkilankankaan tuulivoimahanke, Kivijärvi. Ympäristövaikutusten arviointiselostus*
- Ramboll Finland Oy, 2023. *Kivie tuulivoimahanke – ympäristövaikutuste arvioitiohjelma*
- Sweco Finland Oy, 2024. *Keuruun Lehmikorven tuulivoimahanke*
- Sweco Finland Oy, 2024. *Seinäjoen Ooperin tuulivoimapuisto*

Läti

- ELLE SIA, 2024. *“PurpleGreen Solwin” vēja elektrostaciju un tīklu būvniecība Jēkabpils novada Vīpes un Mežāres pagastā*
- ELLE SIA, 2024. *Lode wind farm construction in the parishes of Lode and Ipiķi in Valmiera municipality. Environmental impact assessment report version for public consultation*

Leedu

- UAB Ekostruktūra, 2023. *Vėjo elektrinių parko Pasvalio raj., Pasvalio apylinkių sen. (Gaidynės k., Kiemelių k., Ragujų k., Stačiūnų k.) ir Krinčino sen. (Peteliškių k., Ličiūnų k., Kalniškio k.) statyba ir eksploatavimas*
- UAB Ekostruktūra, 2024. *Pasvalio rajono savivaldybės dalies teritorijos (Jukiškių, Kapčiūnų, Katkūnų, Nakiškių, Nakiškėlių, Norgėlių, Pamažupių, Senkonių, Stasiukų, Valdeikių ir Vildūnų kaimų pagal parengtą schemą) atsinaujinančių išteklių energetikos – vėjo energetikos inžinerinės infrastruktūros plėtros specialusis planas*
- UAB Nomine Consult, 2023. *IKI 51 vėjo elektrinių parkas Panevėžio r. sav., Krekenavos sen. Poveikio aplinkai vertinimo ataskaita*

Teaduskirjandus

- Bassett, K. P., Carrievreau, R., Ting, D. S.-K., 2010. *Vibration Analysis of 2.3 MW Wind Turbine Operation Using the Discrete Wavelet Transform*, Wind Engineering 34(4): 375-388.
- Baxter-Gilbert, J. H., Riley, J. L., Neufeld, C. J., Litzgus, J. D., & Lesbarrères, D., 2015. *Mitigating Reptile Road Mortality: Fence Failures Compromise Eco-Passage Effectiveness*, PLoS One. 2015 Mar 25;10(3):e0120537
- Blickley, J. I. & Patricelli, G., 2010. *Impacts of Anthropogenic Noise on Wildlife*, Journal of International Wildlife Law and Policy 13(4), pp.274-292
- Coppes, J., Braunisch, V., Bollmann, K., Storch, I., Mollet, P., Grünschachner-Berger, V., Taubmann, J., Suchant, R. and Nopp-Mayr, U., 2020. *The impact of wind energy facilities on grouse: a systematic review*. Journal of Ornithology, 161, pp.1–15.
- Drewitt, A.L. & Langston, R.H.W., 2006. *Assessing the impacts of wind farms on birds*. Ibis 148(148):29-42
- Flemmer, C. and Flemmer, R., 2023. *Wind turbine infrasound: Phenomenology and effect on people*. Sustainable Cities and Society, 89, p.104308
- Haac, R., Darlow, R., Kaliski, K., Rand, J., Hoen, B. 2022. *In the shadow of wind energy: Predicting community exposure and annoyance to wind turbine shadow flicker in the United States*. Energy Research & Social Science 87(4):102471

- Hansen, C., Zajamšek, B. and Hansen, K., 2016. *Infrasound and low-frequency noise from wind turbines*. In Zhou, Y., Lucey, A.D., Liu, Y. and Huang, L. (eds.) *Fluid-Structure-Sound Interactions and Control*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp.3–16.
- Harding, G. F. A., Harding, P. F., & Wilkins, A. J., 2008. *Wind turbines, flicker, and photosensitive epilepsy: Characterizing the flashing that may precipitate seizures and optimizing guidelines to prevent them*. *Epilepsia*, 49(6), pp. 1095-1098
- Hötcker, H., 2017. Birds: displacement. In: M.R. Perrow (ed.) *Wildlife and Wind Farms, Conflicts and Solutions. Volume 1: Onshore: Potential Effects*. Exeter: Pelagic Publishing.
- Jakobsen, J., 2005. *Infrasound Emission from Wind Turbines*. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration & Active Control*, 24(3)
- Keehn, J., Shoemaker, K., and Feldman, C. (2019) 'Population-level effects of wind farms on a desert lizard', *The Journal of Wildlife Management*, 83(1), pp. 145–157.
- Keränen, J., Hakala, J., and Hongisto, V., 2019. *The sound insulation of façades at frequencies 5–5000 Hz*. *Building and Environment*, 156, pp.12–20.
- Knopper, L.D., Ollson, C.A. Health effects and wind turbines: A review of the literature. *Environ Health* 10, 78 (2011). <https://doi.org/10.1186/1476-069X-10-78>
- López-Peinado, A., Lis, Á., Perona, A.M. and López-López, P., 2020. *Habitat preferences of the Tawny Owl (Strix aluco) in a special conservancy area of Eastern Spain*. *Journal of Raptor Research*, 54(4), pp.402–413.
- Lopucki, R. and Klich, D., 2017. *Do terrestrial animals avoid areas close to turbines in functioning wind farms in agricultural landscapes?* *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(343).
- Łopucki, R. and Mróz, I. (2016) 'An assessment of non-volant terrestrial vertebrates response to wind farms—a study of small mammals', *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(2), p. 122
- Malliotakis, G., Alevras, P. and Baniotopoulos, C., 2021. *Recent advances in vibration control methods for wind turbine towers*. *Energies*, 14(22), p.7536.
- Merchel, S. and Altinsoy, M.E., 2020. *Psychophysical comparison of the auditory and tactile perception: a survey*. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 14(3), pp.271–283.
- Michaud, D.S., Feder, K., Keith, S.E., Voicescu, S.A., Marro, L., Than, J., Guay, M., Denning, A., Lavigne, E., Bower, T., and Villeneuve, P.J., 2016. *Self-reported and measured stress related responses associated with exposure to wind turbine noise*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 139(3), pp.1467–1479
- Møller, H. and Pedersen, C.S., 2004. *Hearing at low and infrasonic frequencies*. *Noise & Health*, 6(23), pp.37-57
- Møller, H. and Pedersen, C.S., 2011. *Low-frequency noise from large wind turbines*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(6), pp.3727–3744
- Poulsen, A.H., Raaschou-Nielsen, O., Peña, A., Hahmann, A.N., Nordsborg, R.B., Ketznel, M., Brandt, J., and Sørensen, M., 2018. *Long-term exposure to wind turbine noise and redemption of antihypertensive medication: A nationwide cohort study*. *Environment International*, 121, pp.207–215
- Rabin, L.A., Coss, R.G. and Owings, D.H., 2006. *The effects of wind turbines on antipredator behavior in California ground squirrels (Spermophilus beecheyi)*. *Biological Conservation*, 131(3), pp.410–420.
- Skarin, A., Nellemann, C., Rönnegård, L., et al., 2015. *Wind farm construction impacts reindeer migration and movement corridors*. *Landscape Ecology*, 30(10), pp.1527–1540.

- Smedley A. R. D., Webb A. R., Wilkins A. J., 2010. *Potential of wind turbines to elicit seizures under various meteorological conditions*
- Søndergaard, B., 2014. *Noise and low frequency noise from wind turbines. Proceedings of Inter-Noise 2014*, Melbourne, Australia, 16-19 November
- Zwart, M.C., Dunn, J.C., McGowan, P.J.K. and Whittingham, M.J., 2016. *Wind farm noise suppresses territorial defense behavior in a songbird. Behavioral Ecology*, 27(1), pp.101–108.
- Taubmann, J., Kämmerle J.-L., Andrén, H., Braunisch, V., Storch, I., Fiedler, W., Suchant, R., Coppes, J., 2021, *Wind energy facilities affect resource selection of capercaillie Tetrao urogallus*
- Turnbull C, Turner J, & Walsh D. 2012. *Measurement of infrasound from wind farms and other sources*, Acoustics Australia, Australian Acoustical Society, Vol 40, No1, pp 45-50.
- Wahlberg, M. and Westerberg, H., 2005. Hearing in fish and their reactions to sounds from offshore wind farms. *Marine Ecology Progress Series*, 288, pp.295–309
- van Kamp, I. and van den Berg, F., 2017. *Health effects related to wind turbine sound, including low-frequency sound and infrasound. Acoustics Australia*, 46(1), pp.31–57
- van Kamp, I. and van den Berg, G.P., 2021. Health effects related to wind turbine sound: an update. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), p.9133.
- Wang, W., Yan, Y., Zhao, Y., and Xue, Y., 2024. *Studies on the experimental measurement of the low-frequency aerodynamic noise of large wind turbines. Energies*, 17(7), p.1609.
- Vehanen, T., Hario, M., Kunnasranta, M. and Auvinen, H. 2010. *Merituulivoiman vaikutukset rannikon kaloihin, lintuihin ja nisäkkäisiin*

Juhend/käsiraamat/uuring

- Agatz, M., 2023. *Windenergie-Handbuch*. 19th ed. Kiel: Verlag Versorgungswirtschaft.
- Bohne, K. & Michelbrand, D. 2000. *Der Schattenwurf von Windkraftanlagen*
- Bolig- og Planstyrelsen, 2022. *Vejledning om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller*.
- Brinckerhoff P., 2010. *Update of UK Shadow Flicker Evidence Base. Final Report*. <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a79770bed915d0422068aa3/1416-update-uk-shadow-flicker-evidence-base.pdf>
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), 2021. *Der Infraschall von Windenergieanlagen*. Hannover: BGR
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), 2021. Erklärung zum Infraschall von Windenergieanlagen. Hanover, 27 April.
- Bundesinnenministerium Bayern, 2014. *Erstthinweise bzw. häufige Fragen zur bayerischen 10 H-Regelung*.
- Die Senatorin für Umwelt, Bau und Verkehr Bremen, 2014. *Begründung Flächennutzungsplan Bremen*
- Dodd J. A., & Briers, R. A., 2021. *The impact of shadow flicker or pulsating shadow effect, caused by wind turbine blades, on Atlantic salmon (Salmo salar)*. Scotland's Centre of Expertise for Waters (CREW)
- EUROBATS, 2014. *Guidelines for the Consideration of Bats in Wind Farm Projects (Revision 2014)*. Bonn: UNEP/EUROBATS.
- European Bank for Reconstruction and Development (EBRD), 2023. *Guidance note – Performance Requirement 4: Health, Safety, and Security*. London: EBRD

- European Bank of Reconstruction and Development. *Environmental and social eligibility criteria for onshore wind power sub-projects/sub-investments*
- Fachagentur windenergie an land, 2024. *Überblick – Abstandsvorgaben und -empfehlungen zur Ausweisung von Windenergiegebieten in den Ländern*
- Gill, J. M. 2021. *Wind Turbine Shadow Flicker: What Causes This Phenomenon*
- International Finance Corporation, 2015. *Environmental, Health and Safety Guidelines for Wind Energy*
- International Organization for Standardization (ISO), 1996. *ISO 9613-2: Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation.*
- International Organization for Standardization (ISO), 1997. *ISO 2631-1:1997: Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements.* Geneva: ISO.
- itap GmbH, 2024. *Jammerland Bay Near Shore Wind Farm. Modeling of underwater noise emissions during construction pile-driving work*
- LAI, 2020. *Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windkraftanlagen*
- LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg), 2020. *Windenergie und Infraschall – Tieffrequente Geräusche durch Windenergieanlagen.* 7th ed. Karlsruhe: LUBW.
- LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg), 2016. *Tieffrequente Geräusche inkl. Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen*
- Maijala, P., Turunen, A., Kurki, I., Vainio, L., Pakarinen, S., Kaukinen, C., Lukander, K., Tiittanen, P., Yli-Tuomi, T., Taimisto, P., Lanki, T., Tiippa, K., Virkkala, J., Stickler, E., and Sainio, M., 2020. *Infrasound Does Not Explain Symptoms Related to Wind Turbines.* Publications of the Government’s analysis, assessment and research activities 2020:34.
- Myck, T. and Wothge, J., 2021. *Infraschall von Windenergieanlagen. UMID: Umwelt und Mensch – Informationsdienst, (1), pp.95–104.*
- Ørsted successfully pilots new technology that further optimises offshore wind monopile installation. <https://orsted.com/en/media/news/2024/07/orsted-successfully-pilots-new-technology-that-fur-13959650>
- Pierpont, N., 2009. *Wind Turbine Syndrome: A Report on a Natural Experiment.* Santa Fe, NM: K-Selected Books
- Pohl, J., Faul, F., Mausfeld, R., 1999. *Belästigung durch periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen*
- Ramboll, 2009. *Anholt Offshore Wind Farm. Marine mammals*
- Ramboll, 2022. *Beregning af luftbåren støj for Energiø Bornholm: 15 MW og 27 MW havvindmøller. Energinet*
- Taubmann, J., Coppes, J. and Andrén, H., 2021. *Capercaillie and Wind Energy: An international research project.* Report 6977, Swedish Environmental Protection Agency.
- Tuulivoima-kansalaisyhdistys ry/ AFRY, 2022. *Tuulivoimatuotannon aiheuttama maatärinä*
- UAB Ekostruktūra, 2023. *Vėjo elektrinių parko Pasvalio raj., Pasvalio apylinkių sen. (Gaidynės k., Kiemelių k., Ragujų k., Stačiūnų k.) ir Krinčino sen. (Peteliškių k., Ličiūnų k., Kalniškio k.) statyba ir eksploatavimas*
- Umweltbundesamt, 2020. *Lärwirkungen von Infraschallimmissionen.* Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

- VDI 3789 Blatt 2 -10 /94: *Umweltmeteorologie - Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Oberflächen, Berechnung der kurz- und langwelligen Strahlung*
- VDI 3834 Messung und Beurteilung der mechanischen Schwingungen von Windenergieanlagen und deren Komponenten
- World Health Organization (WHO), 2018. *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe

Õigusaktid

- BEK no 995 of 26/08/2024 *Bekendtgørelse om støj fra vindmøller*
- BEK nr 923 af 06/09/2019 *Bekendtgørelse om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller*
- BEK nr. 135 of 07/02/2019. *Bekendtgørelse om støj fra vindmøller*
- Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG
- DIN 4150-1:2001-06 (2001). *Erschütterungen im Bauwesen*
- DIN 45680:1997 *Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschemissionen in der Nachbarschaft*
- DIN 5034-2: *Tageslicht in Innenräumen – Grundlagen*
- European Commission (EC), 2020. *Commission Notice – Guidance Document on Wind Energy Developments and EU Nature Legislation*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- HN 33:2011 "*Triukšmo ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose bei jų aplinkoje*"
- Keskkonnaministri 16.12.2016 määrus nr 71 „*Välisõhus leviva müra normtasemed ja mürataseme mõõtmise, määramise ja hindamise meetodid*“
- Kliimaministerium, 2014. *Välisõhus leviva müraga arvestamine tuulikute planeerimisel*
- Lietuvos Respublikos Seimas, 2024. *Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymas*
- Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija, 2003. *Infragarsas ir žemo dažnio garsai: ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose*
- Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija, 2003. *Visą žmogaus kūną veikianti vibracija: didžiausi leidžiami dydžiai ir matavimo reikalavimai gyvenamosiose, specialiosiose ir visuomeninėse patalpose*
- Ministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Tourismus und Arbeit Mecklenburg-Vorpommern, 2023. *Erlass zur Festlegung landesweit einheitlicher, verbindlicher Kriterien für Windenergiegebiete an Land*
- Ministru kabineta noteikumi Nr.16. *Trokšņa novērtēšanas un pārvaldības kārtīb*
- Ministru kabineta noteikumi Nr.240 „*Vispārīgie teritorijas plānošanas, izmantošanas un apbūves noteikumi*“
- RT I, 21.12.2016, 27; *Välisõhus leviva müra normtasemed ja mürataseme mõõtmise, määramise ja hindamise meetodid § 10*
- Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö, 2015. *Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015*.
- Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm
- Ympäristöministeriö 1107/2015 „*Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjeistoista*“
- Ympäristöministeriö, 2014. *Tuulivoimaloiden melun mallintaminen*. Ympäristöhallinnon ohjeita 2 | 2014. Helsinki: Ympäristöministeriö

- Ympäristöministeriö, 2016. *Tuulivoimarakentamisen suunnittelu: Päivitys 2016*. Ympäristöhallinnon ohjeita 5 | 2016. Helsinki: Ympäristöministeriö