

Tuulivoimaloiden melun mallintaminen

Modellering av buller från vindkraftverk

RAKENNETTU
YMPÄRISTÖ



Tuulivoimaloiden melun mallintaminen

Modellering av buller från vindkraftverk

Helsinki 2014

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

YMPÄRISTÖHALLINNON OHJEITA 2 | 2014

Ympäristöministeriö
Rakennetun ympäristön osasto

Taitto: Marianne Laune
Kansikuva: Feodor Gurvits / YHA-kuvapankki

Julkaisu on saatavana vain internetistä
www.ym.fi/julkaisut

Helsinki 2014

ISBN 978-952-11-4275-8 (PDF)
ISSN 1796-1653 (verkkokoj.)

ESIPUHE

Ympäristöministeriö antaa seuraavan ohjeen tuulivoimaloiden melun mallintamisesta. Ohje annetaan ympäristönsuojelulain (86/2000) 108 §:n ja 117 §:n nojalla. Ohje tulee voimaan 28.2.2014 ja on voimassa toistaiseksi.

Melu on ympäristönsuojelulain (86/2000) 3 §:ssä tarkoitettu ympäristön pilaantumista aiheuttava päästö. Lain 5 §:n mukaan toiminnan harjoittajan on oltava riittävästi selvillä toimintansa ympäristövaikutuksista, ympäristöriskeistä ja haitallisten vaikutusten vähentämismahdollisuuksista (*selvilläolovelvollisuus*). Lain 25 §:n mukaan kunnan on alueellaan huolehdittava paikallisten olojen edellyttämästä tarpeellisesta ympäristön tilan seurannasta.

Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) 5 §:n mukaan alueidenkäytön suunnittelun tavoitteena on edistää mm. turvallisen, terveellisen ja viihtyisän elin- ja toimintaympäristön luomista. Alueidenkäytössä, perustuen kaavojen sisältövaatimuksiin, on ehkäistävä melusta, tärinästä ja ilman epäpuhtauksista aiheutuvaa haittaa ja pyrittävä vähentämään jo olemassa olevia haittoja.

Tuulivoimaloiden melun mallinnusohje on tarkoitettu ohjeeksi suunnittelussa arvioitaessa tuulivoimaloiden tuottamaa melukuormitusta ympäristönsuojelulain täytäntöönpanossa ja soveltamisessa, sekä maankäyttö- ja rakennuslain mukaisissa menettelyissä.

Ylijohtaja
Helena Säteri

Ympäristöneuvos
Ari Saarinen

SISÄLLYS

Esipuhe	3
I Johdanto	7
2 Ohjeen soveltaminen ja soveltamisala	9
3 Määritelmiä	10
4 Melun mallintaminen	13
4.1 Melumallinnus ympäristövaikutusten arviointimenettelyssä ja yksityiskohtaisessa kaavoituksessa	13
4.1.1 Tuulivoimaloiden melupäästö.....	13
4.1.2 Immissiopisteiden laskentakorkeudet.....	14
4.1.3 Tuulivoimalan tuottaman äänen suuntaavuus ja geometrinen vaimennus.....	14
4.1.4 Ilmakehän absorption aiheuttama vaimennus.....	14
4.1.5 Maan- tai vedenpinnan absorption ja heijastuksen vaikutus.....	14
4.1.6 Maanpinnan muodon vaikutus.....	15
4.1.7 Sääolosuhde	15
4.1.8 Laskennan vaaka- ja pystyresoluutio	15
4.1.9 Pientaajuisen äänen etenemisvaimennus	15
4.2 Melumallinnus ympäristölupamenettelyssä	18
4.2.1 Tuulivoimaloiden melupäästö.....	18
4.2.2 Immissiopisteiden laskentakorkeus.....	19
4.2.3 Tuulivoimaloiden tuottaman äänen suuntaavuus ja geometrinen vaimennus.....	19
4.2.4 Ilmakehän absorption aiheuttama vaimennus.....	19
4.2.5 Maan- tai vedenpinnan absorption ja heijastuksen vaikutus.....	19
4.2.6 Maanpinnan muodon vaikutus.....	20
4.2.7 Sääolosuhde	20
4.2.8 Laskennan vaaka- ja pystyresoluutio	20
4.2.9 Pientaajuisen äänen etenemisvaimennus	20
5 Mallinnustietojen raportointi	23
Viitteet	27

Förord	29
I Inledning	30
2 Tillämpning av anvisningen och tillämpningsområdet	32
3 Definitioner	33
4 Modellering av buller	36
4.1 Bullermodellering i förfarande vid miljökonsekvensbedömning och i detaljerad planläggning	36
4.1.1 Bullerutsläpp från vindkraftverk.....	36
4.1.2 Immissionspunkternas beräkningshöjd	37
4.1.3 Riktningserkan hos det ljud som ett vindkraftverk alstrar och geometrisk dämpning.....	37
4.1.4 Dämpning som orsakas av atmosfärabsorption	37
4.1.5 Effekten av absorption och reflektion vid mark- eller vattenytan	37
4.1.6 Effekten av markytans form.....	38
4.1.7 Väderförhållande	38
4.1.8 Vågrät och lodrät upplösning i beräkningen.....	38
4.1.9 Dämpning av ett lågfrekvent ljud	38
4.2 Bullermodellering i miljö tillståndsförfarande	41
4.2.1 Bullerutsläpp från vindkraftverk.....	41
4.2.2 Immissionspunkternas beräkningshöjd	42
4.2.3 Riktningserkan hos det ljud som ett vindkraftverk alstrar och geometrisk dämpning.....	42
4.2.4 Dämpning som orsakas av atmosfärabsorption	42
4.2.5 Effekten av absorption och reflektion vid mark- eller vattenytan	42
4.2.6 Effekten av markytans form.....	43
4.2.7 Väderförhållande	43
4.2.8 Vågrät och lodrät upplösning i beräkningen.....	43
4.2.9 Dämpning av ett lågfrekvent ljud	43
5 Rapportering av modelleringsuppgifter	46
Hänvisningar	50
Kuvailulehti	51
Presentationsblad	52
Documentation page	53

1 Johdanto

Tässä ohjeessa esitetään menettelytavat tuulivoimaloiden tuottaman melun mallintamiseksi. Mallinnustuloksista on mahdollista arvioida tuulivoimalan tuottama melutaso yksittäisissä tarkastelupisteissä.

Tuulivoimaloiden melun mallintaminen poikkeaa muun ympäristömelun mallintamisesta [1]. Tuulivoimaloiden ääni voi sisältää pienitaajuisia komponentteja ja se voi olla impulssimaisista, kapeakaistaista tai merkityksellisesti sykkivää (amplitudimodulaatio). Tuulivoimaloiden tuottama ääni ja äänenvoimakkuus vaihtelevat merkittävästi ajallisesti sääoloista riippuen. Voimala toimii nimellistehollaan, jolloin sen melupäästö on suurin, vain osan toiminta-ajastaan. Tuulivoimalan ääni syntyy teollisen kokoluokan voimaloissa huomattavan korkealla, mikä vaikuttaa äänen vaimenemiseen sen edetessä etäälle voimalasta.

Ohjeessa annetaan tietoja mallinnusmenettelyistä, mallinnuksessa käytettävistä ohjelmista ja parametreista, sekä tulosten esittämistavasta. Mallinnukset voidaan tehdä kaikissa suunnissa tuulivoimalan (tai tuulivoimalaryhmän) ympärillä. Mallinnus suoritetaan tuulen nopeuden referenssiarvoa vastaavilla melupäästön lähtöarvoilla, mikä tarkoittaa tuulivoimalan nimellistehollaan tuottamaa enimmäismelupäästöä.

Melutaso (meluimmissio) määritetään A-painotettuna äänenpainetasona (äänitaso) ja tarvittaessa myös taajuuskaistoittain. Pienitaajuisen melun taso taajuusalueella 20 Hz–200 Hz määritetään lisäksi 1/3-oktaavikaistoittain melulle merkittävimmin altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella. Tarkastelu tehdään pisteestä pisteeseen laskennalla, eikä meluvyöhykkeitä tai melukarttoja edellytetä laadittavan. Laskennan tarkoituksena on tuottaa tieto ulkomelutasoista terssikaistoittain, joka mahdollistaa rakennuksen sisämelutason arvioinnin kun rakennuksen vaipan ilmaääneneristävyys tunnetaan riittävällä tarkkuudella.

Ohjeen menettelytavat mahdollistavat äänitekniikan suunnittelun liittämisen tuulivoimala-alueiden muuhun suunnitteluprosessiin ja hyväksymismenettelyyn. Yksittäisen tuulivoimalan tai tuulivoima-alueen tuulivoimaloiden äänitekniikan suunnittelu tapahtuu kolmessa tai neljässä tuulivoimahankkeen päävaiheessa.

Esisuunnitteluvaiheen melumallinnus on hankkeen toteuttajan valittavissa. Muiden suunnitteluvaiheiden osalta sovelletaan ohjeessa esitettyjä melumallinnusmenetelmiä. Tarkoituksenmukaisuussyistä jos esisuunnitteluvaiheessa saattaa olla tarpeen noudattaa soveltuvin osin ohjeistusta, jotta melumallinnuksen tulokset olisivat yhdenmukaiset koko prosessin ajan. Eri

mallinnusohjelmien käyttö eri menettelyissä perustuu lainsäädäntöön pohjautuvaan melun immissiosuojaan, sekä pyrkimisestä tarkoituksenmukaiseen teknistaloudelliseen mitoitukseen. *Ympäristölupamenettelyssä* tämä voi tarkoittaa immissiosuojan turvaamista esimerkiksi voimalan toimintaa rajoittamalla tietyissä sääolosuhteissa perustuen ympäristöluvan ehtoihin. Jotta tämä olisi mahdollista, edellyttää se melumallinnusmenetelmältä mahdollisuutta sääolosuhteitten riittävään huomioimiseen riittävällä aikavälillä.

Melumallinnuksen epävarmuus sisällytetään laskennan lähtöarvoina käytettyyn tuulivoimaloiden melupäästön lukuarvoon. Mallinnuksessa tuulivoimaloiden melupäästölle käytetään riittävän suurta varmuutta huomioiden melun mahdolliset erityispiirteet, jotta mallinnuksessa voidaan käyttää tähtäysarvona suunnittelu- tai tunnusarvoa ja äänen etenemisen ja ympäristöolosuhteiden mallinnukseen vakioituja sää- ja ympäristöolosuhdelukuarvoja.

Tuulivoimaloiden melun mallintaminen ja tulosten analysointi edellyttävät akustiikan erityisosaamista, jotta tulokset olisivat luotettavia, jäljitettäviä ja vertailukelpoisia.

2 Ohjeen soveltaminen ja soveltamisala

Ohjetta voidaan hyödyntää meluvaikutusten ja melulle altistumisen arvioinnissa ympäristövaikutusten arviointimenettelyssä, yksityiskohtaisessa kaavoituksessa, rakennuslupaharkinnassa ja ympäristölupamenettelyssä.

Esisuunnitteluprosessissa hankkeen käynnistäjä laatii arvion tuulivoimalan tai tuulivoimala-alueelle tulevien tuulivoimaloiden maksimikoosta ja -lukumäärästä huomioiden yksittäisen tai tuulivoima-alueelle sijoitettavien tuulivoimaloiden melupäästöjen suuruuden. Esisuunnitteluvaiheen melumallinnus on hankkeen toteuttajan valittavissa.

Ympäristövaikutusten arviointimenettelyssä (YVA-menettely) ja *yksityiskohtaisessa kaavoituksessa* tuulivoimaloiden/tuulivoimalan koolle on ohjeen mukaisessa melumallinnuksessa ilmoitettava yksityiskohtaiset ja vaihtoehtoiset tiedot, kuten tuulivoimaloiden lukumäärä ja paikat, nimellisteho, korkeus, roottorin halkaisija, melupäästötiedot, joita voidaan käyttää tuulivoimaloiden melutason arviointiin mallintamalla. Arvioinnissa voidaan tarkastella useita tuulivoimalatyypin-, lukumäärä- ja sijoitusvaihtoehtoja ja mallintaa eri vaihtoehtojen tuottamia melualueita. Melumallinnustarkastelu perustuu tuulivoimaloiden melupäästön ylärajatarkasteluun. Suunniteltujen tuulivoimaloiden melupäästölle käytetään valmistajan ilmoittamaa takuuarvoa. Melupäästön takuuarvoon sisällytetään koko laskennan epävarmuus, jolloin äänen etenemislaskennassa voidaan käyttää standardiin ISO 9613-2 [4] perustuvia vakioituja etenemiseen liittyviä sää- ja ympäristöolosuhdearvoja.

Rakennuslupaharkinnassa (myös suunnittelutarveratkaisun yhteydessä) melumallinnuksessa tarkastellaan vain toteutukseen valittua vaihtoehtoa. Uutta melumallinnusta ei tarvita, mikäli valittu ratkaisu on joku jo edellisessä vaiheessa tarkastelluista suunnitteluvaihtoehtoista ja valitut vaihtoehdon on todettu alittavan suunnittelu- tai tunnusarvon.

Ympäristölupamenettelyssä tuulivoimalan tai tuulivoima-alueen tuulivoimaloiden ympäristövaikutukset selvitetään käyttämällä tarkennettua melumallinnusta. Melumallinnusta tarkennetaan sekä tuulivoimalatyyppien melupäästön, että äänen etenemiseen liittyvien parametrien osalta. Tuulivoimaloiden melupäästön mallinnuksessa käytetään valmistajan ilmoittamaa takuuarvoa. Äänen etenemiseen liittyvät parametrit valitaan sijoituspaikalla vallitsevien todelisten olosuhteiden mukaiseksi, muilta kuin ilmakehän absorption aiheuttaman vaimennuksen osalta. Melumallinnuksessa käytetään Nord2000-mallinnusmenetelmää. Ympäristölupamenettelyn yhteydessä selvitetään miten melualueelle mahdollisesti jäävien asuinrakennusten, loma-asumiseen käytettävien rakennusten tai muiden erityistä suojaa edellyttävien alueiden melutasot alittavat melun suunnittelu- tai tunnusarvon.

3 Määritelmiä

Äänenpaine p [Pa]

Äänen liittyvä hetkellisen paineen ja staattisen ilmanpaineen ero, yleensä tehollisarvona.

A-painotettu äänenpaine p_A [Pa]

Äänenpaine määritettynä A-taajuuspainotusta käyttäen, yleensä tehollisarvona.

Äänenpainetaso L_p [dB]

Äänenpaineen tehollisarvon ja vertailuäänepaineen suhteen neliön kymmenkertainen kymmenlogaritmi.

Äänitaso L_{pA} [dB]

Hetkellisen A-painotetun äänenpaineen tehollisarvon ja vertailuäänepaineen suhteen neliön kymmenkertainen kymmenlogaritmi.

Keskiaänitaso (ekvivalentti äänitaso, ekvivalenttitaso) L_{Aeq} [dB]

A-painotetun äänenpaineen keskimääräistä tehollisarvoa määritetyllä aikavälillä (T) vastaava äänitaso ($L_{Aeq,T}$). Keskiaänitaso määritellään yhtälöllä

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{L_{pA}(t)}{10}} dt \right) = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right),$$

missä

t_1 on määrittelyn aikavälin T alkuhetki

t_2 on määrittelyn aikavälin T loppuhetki

$L_{pA}(t)$ on tarkasteltavan äänen äänitason hetkellisarvo [dB]

$p_A(t)$ on tarkasteltavan äänen A-painotetun äänenpaineen hetkellisarvo [Pa]

p_0 on vertailuäänepaine 20 μ Pa.

Melutaso (meluimmissio) L_{pA} [dB]

Melulle altistuvan kohteen äänitaso.

Immissiopiste

Laskennan kohdepiste.

Pienitaajuinen melu

Pientaajuisella melulla tarkoitetaan tässä ohjeessa taajuusalueella 20–200 hertsiä [Hz] esiintyvää melua. Alle 20 Hz taajuuksilla esiintyvää ääntä kutsutaan infraääneksi.

Suunnittelu- ja tunnusarvo

Melun suunnittelu- ja tunnusarvoilla tarkoitetaan tässä ohjeessa melun raja- tai ohjearvoja, jotka perustuvat lainsäädäntöön, ympäristölupaan tai viranomaisohjeistukseen.

Näennäinen äänitehotaso (apparent sound power level) $L_{WA,k}$ [dB]

Taustamelukorjatuista äänenpainetasoista ($L_{Aeq,c,k}$) määritetty näennäinen äänitehotaso:

$$L_{WA,k} = L_{Aeq,c,k} - 6 + 10 \lg \left[\frac{4\pi R_1^2}{S_0} \right]$$

missä

$L_{Aeq,c,k}$ on taustamelukorjattu A-painotettu äänenpainetaso

R_1 on lyhin etäisyys tuulivoimalan roottorin navasta mikrofoniin (m)

S_0 on referenssia 1 m².

Melupäästö (meluemissio)

Tuulivoimalan tai tuulivoima-alueen samanlaisten tuulivoimaloiden äänitehotaso.

Melupäästön takuuarvo

Valmistajan ilmoittama tuulivoimalan tuottaman melupäästön (äänitehotaso) takuuarvoa, jossa varmuus melupäästön mahdollisessa verifiointissa on noin 95 %. Melupäästöarvo on kaksiosainen muodostuen äänitehotasojen keskiarvosta ja varmuusarvosta.

Melun erityispiirteet

Melun erityispiirteet ovat niitä äänen aika- tai taajuuskäyttäytymiseen liittyviä piirteitä, jotka lisäävät melun häiritsevyyttä melulle altistuvalla alueella. Melun erityispiirteitä ovat mm. kapeakaistaisuus, tonaalisuus, impulssimaisuus ja merkityksellinen sykintä.

Melun kapeakaistaisuus ja tonaalisuus

Tonaalisuudella tarkoitetaan tässä yhden tai useamman ääneksen äänenpainetason ja peittoäänien tason erotusta kriittisellä kaistalla ääneksen (ääneksien) ympärillä.

Melu on kapeakaistaista, jos siinä on kuulohavainnoin erotettavissa olevia melun haitallisuutta lisääviä ääneksiä tai kapeakaistaisia/tonaalisia komponentteja melulle altistuvalla alueella. Kapeakaistaisuus todetaan viitteen [8] mukaisella menettelyllä.

Äänes

Yksittäisestä taajuudesta syntynyt ääni. Ääni, jonka äänenpaine vaihtelee sinimuotoisesti ajan funktiona.

Taajuuskaista, taajuusväli

Kahden taajuuden suhde tai erotus.

Melun impulssimaisuus

Melu on impulssimaista, jos siinä on kuulohavainnoin erotettavissa olevia melun haitallisuutta lisääviä lyhytkestoisia ääniä (transientteja) melulle altistuvalla alueella. Impulssimaisuus todetaan viitteen [9] mukaisella menettelyllä.

Melun merkityksellinen sykintä eli amplitudimodulaatio (excess amplitude modulation)

Melu on merkityksellisesti sykkivää eli amplitudimoduloitunutta, jos siinä on kuulohavainnoin erotettavissa olevia melun haitallisuutta lisääviä äänenvoimakkuuden ajallisia jaksollisia vaihteluja melulle altistuvalla alueella. Merkityksellinen sykintä todetaan viitteiden [2] ja [11] mukaisilla menettelyillä.

Sanktio

Sanktiolla tarkoitetaan toimenpidettä, missä melun impulssimaisuuden, kapeakaistaisuuden tai merkityksellisen sykkinnän (äänenvoimakkuuden ajallinen vaihtelu, amplitudimodulaatio) vuoksi mittaustulokseen lisätään säädöksessä annettu lukuarvo (esimerkiksi 5 dB) ennen sen vertaamista suunnittelu- tai tunnusarvoon.

Tuulen nopeuden referenssiarvo

Tuulen nopeus, jonka vallitessa melutaso mallinnetaan. Tuulen nopeuden referenssiarvo on 8 m/s 10 m korkeudessa. Tuulen nopeuden referenssiarvo vastaa mittauksissa sitä tuulivoimalan napakorkeudella vallitsevaa tuulen nopeutta, joka tuottaa tuulivoimalan nimellisteholla enimmäismelupäästön.

Offshore tuulivoimala

Tuulivoimala sijaitsee kokonaan veden ympäröimänä.

Onshore tuulivoimala

Sisämaassa tai rannikolla maa-alueella sijaitseva tuulivoimala.

4 Melun mallintaminen

4.1

Melumallinnus ympäristövaikutusten arviointimenettelyssä ja yksityiskohtaisessa kaavoituksessa

4.1.1

Tuulivoimaloiden melupäästö

Tuulivoimalan tai tuulivoima-alueen tuulivoimaloiden melumallinnuksen lähtöarvoina käytetään ympäristöministeriön mittausohjeen [2] mukaisesti mitattuja tai valmistajan standardin IEC TS 61400-14 [3] mukaisesti ilmoittamia tuulivoimaloiden melupäästön (äänitehotaso) takuuarvoja ("declared value" tai "warranted level").

Äänen mahdollinen kapeakaistaisuus ja pienitaajuisien komponenttien osuus äänen spektrissä selvitetään. Melun impulssimaisuuden ja merkityksellisen sykkinnän (amplitudimodulaatio) vaikutukset sisältyvät lähtökohtaisesti valmistajan ilmoittamiin melupäästön takuuarvoihin, eikä niiden tarkastelua tässä yhteydessä edellytetä. Sanktio voidaan huomioida laskennan lähtöarvoissa, mikäli tiedetään tuulivoimalan melupäästön sisältävän kapeakaistaisia/tonaalisia komponentteja ja voidaan arvioida näiden erityispiirteiden olevan kuulohavainnoin erotettavissa ja ohjeistuksen mukaisesti todennettavissa melulle altistuvalla alueella. Kapeakaistaisuus/tonaalisuus arvioidaan ympäristöministeriön tuulivoimaloiden melupäästön mittausohjeen [2] mukaan. Muussa tapauksessa sanktiota ei sovelleta melun mallinnuksessa.

Äänitehotasot (melupäästö) ilmoitetaan 1/3-oktaaveittain keskitaajuuksilla 20 Hz–10 000 Hz ja oktaaveittain keskitaajuuksilla 31,5 Hz–8000 Hz. Vanhemmille, ennen vuoden 2012 joulukuuta testatuille, tuulivoimalatyypeille voidaan hyväksyä standardin [8] vanhemman version mukaisesti 1/3-oktaavikaistoittaiseksi taajuusalueeksi 50 Hz–10 000 Hz. Pienitaajuisen melun vaikutus immissiopisteissä on tällöin tarkasteltava erikseen esimerkiksi ekstrapoloidulla pienimpien taajuuksien äänitehotasot tuulivoimalan/tuulivoimaloiden melupäästön taajuuskäyrästä. Äänitehotasojen tulee olla saatavilla 10 m:n referenssikorkeutta vastaavalla tuulen nopeudella 8 m/s.

Melupäästön takuuarvoon sisällytetään koko laskennan epävarmuus. Äänen etenemislaskennassa voidaan käyttää tällöin standardin ISO 9613-2 [4] perustuvia vakioituja sää- ja ympäristöolosuhteita, eikä mahdollisessa mallinnustulosten oikeellisuuden todentamisessa mittauksin tarvitse tehdä epävarmuusarviota.

4.1.2

Immissiopisteiden laskentakorkeudet

Immissiopisteiden (laskennan kohdepisteet) laskentakorkeudet ovat 4 metriä maanpinnasta. Immissiopisteen 4 m:n korkeudella kompensoidaan ISO 9613-2 [4] mallin tuottamia liian pieniä melutasoja (suhteessa mitattuihin vertailutuloksiin) korkean äänilähteen ja peitteisen maaston tapauksessa. Validointimittauksissa mittauskorkeutena tulee kuitenkin käyttää 1,5 ... 2 m verrattaessa mittaustuloksia mallinnustuloksiin.

4.1.3

Tuulivoimalan tuottaman äänen suuntaavuus ja geometrinen vaimennus

Kukin tuulivoimala mallinnetaan ympärisäteilevänä suuntaamattomana pistelähteenä tuulen suunnasta riippumatta. Äänensäteily mallinnetaan vapaaseen avaruuteen, jolloin geometrinen vaimennus on 6 dB etäisyyden kaksinkertaistuessa.

4.1.4

Ilmakehän absorption aiheuttama vaimennus

Ilmakehän absorption aiheuttama vaimennus mallinnetaan lämpötila-arvolla 15 °C ja ilman suhteellisen kosteuden arvolla 70 % käyttäen standardin ISO 9613-1 [5] lukuarvoja.

4.1.5

Maan- tai vedenpinnan absorption ja heijastuksen vaikutus

Maanpinnan tai vesialueen absorption ja heijastuksen vaikutus mallinnetaan tuulivoimalakohdaisesti seuraavista kahdesta vaihtoehdosta paremmin soveltuvalla tavalla käyttäen standardin ISO 9613-2 [4] yleisen menetelmän (General method of calculation) mukaisia vakioituja vaikutuskertoimen arvoja:

- Vaikutuskerroin on 0, kun tuulivoimala sijaitsee kokonaan veden ympäröimänä (offshore tuulivoimalat)
- Vaikutuskerroin on maa-alueella 0,4 ja vesialueella (meri, järvet, lammet) 0, kun tuulivoimala sijaitsee maa- tai rannikkoalueella. Jokia ja puroja ei mallinneta vesialueina.

4.1.6

Maanpinnan muodon vaikutus

Tuulivoima-alueen yksittäisen tuulivoimalan perustusten sijaitessa yli 60 metriä korkeammalla suhteessa melulle altistuvan kohteen maanpinnan korkeuteen (esimerkiksi vaaralla tai tunturin laella olevat voimalat) kyseessä olevan voimalan melupäästön takuuarvoon lisätään 2 dB.

Korjaukset melupäästön takuuarvoon tehdään tuulivoimalan ja melulle altistuvan kohteen etäisyyden (tuulivoimalan napa – immissiopiste) ollessa enintään kolme kilometriä (3 km). Takuuarvoon lisättävä lukuarvo raportoidaan. Tuulivoima-alueen ne voimalat, joiden perustusten korkeus melulle altistuvan kohteen maanpinnan korkeuteen nähden on enintään 60 m, mallinnetaan käyttäen melupäästön lähtöarvoina takuuarvoja.

Yksittäisen tuulivoimalan melupäästön takuuarvoon tehtävän korjauksen lisäksi sisällytetään melualueen tai yksittäisen immissiopisteen melutason laskentaan kaikkien tuulivoima-alueen tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvot.

4.1.7

Sääolosuhde

Mallinnuksessa käytettävä sääolosuhde perustuu Pasquill-luokkiin neutraali-stabiili [6]. Luokat riippuvat tuulen nopeudesta, tuulen nopeusprofiilista, pilvisyydestä ja auringon asennosta horisonttiin nähden. Stabiili ilmakehä on yleinen yöaikaan ja syksyllä, epästabiili ilmakehä on yleisempi päivällä ja keväällä.

Sääolosuhteiden vaikutus otetaan mallinnuksessa huomioon käyttämällä meteorologisen korjauksen arvoa 0.

4.1.8

Laskennan vaaka- ja pystyresoluutio

Laskennan vaakaresoluutiona käytetään lukuarvoa 1,0 m ja pystyresoluutiona lukuarvoa 2,5 m. Maaston topografia tulee perustua ensisijaisesti laserkeilattuun aineistoon. Mikäli maastosta ei ole saatavissa kartta-aineistoa edellä mainitulla tarkkuudella, mallinnuksessa käytetään tarkinta mahdollista maaston vaaka- ja pystyresoluutiota.

4.1.9

Pientaajuisten äänen etenemisvaimennus

Pientaajuista ääntä tarkastellaan erikseen 1/3-oktaaveittain taajuusalueella 20–200 Hz soveltaen Tanskan ympäristöministeriön julkaisemaa ohjetta [7]. Laskennan lähtökohtana on standardi ISO 9613-2 [4], jossa huomioidaan äänen geometrinen etäisyysvaimennus ja seuraavassa taulukossa esitetyt maanpinnan ja ilmakehän absorption aiheuttamat vakioidut vahvistukset ja vaimennukset.

Pienitaajuinen melu 1/3-oktaavitasoittain altistuvassa kohteessa rakennuksen ulkopuolella arvioidaan yhtälöllä

$$L_p = L_w - 20 \text{ dB} \cdot \log_{10}(d_1 / 1 \text{ m}) - 11 \text{ dB} + A_{gr} - A_{atm} \cdot d_2$$

missä

L_p on äänen 1/3-oktaavitaso altistuvassa kohteessa [dB]

L_w on tuulivoimalan 1/3-oktaavikaistan äänitehotaso [dB]

d_1 on tuulivoimalan navan etäisyys altistuvasta kohteesta [m]

A_{gr} on heijastavan pinnan tuottama korjaus [dB]

A_{atm} on ilmakehän tuottama vaimennus lämpötilassa 15 C° ja 70 % suhteellisessa kosteudessa [dB/km]

d_2 on tuulivoimalan navan etäisyys altistuvasta kohteesta [km]

Maanpinnan ja vesialueen aiheuttama vahvistus, sekä ilmakehän absorptio aiheuttama vaimennus pienitaajuiselle melulle ([7], soveltaen).

Taajuus [Hz]	Maanpinnan aiheuttama vahvistus A_{gr} [dB]	Vesialueen aiheuttama vahvistus A_{gr} [dB]	Ilmakehän aiheuttama vaimennus A_{atm} [dB/km]
20	5.6	6.0	0.0
25	5.4	6.0	0.02
31.5	5.2	5.9	0.03
40	5.0	5.9	0.05
50	4.7	5.8	0.07
63	4.3	5.7	0.11
80	3.7	5.5	0.16
100	3.0	5.2	0.25
125	1.8	4.7	0.38
160	0.0	4.0	0.57
200	0.0	3.0	0.82

Vesialueella sijaitsevilla tuulivoimaloilla (offshore) käytetään vesialueen vaimennusta, jos melutason laskentapiste (immissio) on rannan välittömässä läheisyydessä. Rannikolla sijaitsevilla tuulivoimaloilla (onshore) käytetään maanpinnan aiheuttamaa vaimennusta, jos laskentapiste on maalla vähintään 200 m etäisyydellä rannasta. Näiden väliin jäävällä alueella käytetään näistä kahdesta arvosta lineaarisesti interpoloitua arvoa. Menetelmä ei ole käytössä kaupallisissa laskentaohjelmissa ja edellyttää siten erillislaskentaa.

Melumallinnuksen laskentaparametrit ympäristövaikutusten arviointimenettelyssä ja yksityiskohtaisessa kaavoituksessa.

Suure ¹⁾	Parametrin lukuarvo ²⁾	Parametri määrittäminen
Melupäästö tuulen nopeudella 8 m/s referenssi- korkeudella 10 m	Valmistajan ilmoittama(t): 1. Melupäästön (äänitehotason) takuuarvo 2. Melupäästön tonaalisuus tai kapeakaistaisuus 3. Melutaso 1/3-oktaaveittain taajuusalueella 20–200 Hz	1. IEC 61400–11 ³⁾ [8] ja IEC TS 61400–14 [3] 2. IEC 61400–11 [8] 3. DSO 1284 [7]
Äänen suuntaavuus	Oletuksena ympärisäteilevä suuntaamaton pistelähde tuulen suunnasta riippumatta	Äänen säteily vapaaseen avaruuteen, geometrinen vaimennus 6 dB etäisyyden kaksinkertaistuksessa
Ilmakehän absorption aiheuttama vaimennus	Lämpötila: 15 °C Ilman suhteellinen kosteus: 70 %	ISO 9613-1 [5]
Maan- tai vedenpinnan absorption ja heijastuksen vaikutus	1. Vaikutuskertoimen on 0, kun tuulivoimala on veden ympäröimänä (offshore voimala) 2. Vaikutuskertoimen on maa-alueella 0,4 ja vesialueella 0, kun tuulivoimala sijaitsee maa- tai rannikkoalueella ⁴⁾	ISO 9613-2 [4] yleinen menetelmä (General method of calculation) kummassakin tapauksessa
Maanpinnan muodon vaikutus	Tuulivoimalan perustusten sijaitessa yli 60 metriä korkeammalla suhteessa melulle altistuvan kohteen maanpinnan korkeuteen voimalan melupäästön takuuarvoon lisätään 2 dB.	Mallinnus- ja mittaustulosten välinen ero.
Sääolosuhde	Neutraali–stabiili sääolosuhde, meteorologinen korjaus: 0	ISO 9613-2 [4]
Laskennan vaakaja pystyresoluutio	Vaakaresoluutio: 1,0 m Pystyresoluutio: 2,5 m	Tai tarkin käytettävissä oleva resoluutio
Pientaajuisten äänen etenemisvaimennus ⁵⁾	Geometrinen vaimennus 6 dB etäisyyden kaksinkertaistuksessa, maa- ja vesialuevaikutus DSO 1284 [7] mukaan.	DSO 1284 [7]

¹⁾ Immissiopisteen (laskennan kohdepiste) laskentakorkeus on 4 m maanpinnasta kaikissa tapauksissa. Immissiopisteen 4 m:n korkeudella kompensoidaan ISO 9613-2 [4] mallin tuottamia todellisuuteen nähden liian pieniä mallinnustasojen korkean äänilähteen ja peitteisen maaston tapauksessa. Validointimittauksissa mittauskorkeutena käytetään 1,5 ... 2 m verrattaessa mittaustuloksia mallinnustuloksiin.

²⁾ Melumallinnuksessa voi olla useita tarkasteluvaihtoehtoja.

³⁾ Vanhemmille, ennen vuoden 2012 joulukuuta testatuille tuulivoimalatyypeille voidaan hyväksyä standardin vanhemman version mukaisesti 1/3-oktaavikaistoittaiseksi taajuusalueeksi 50 Hz–10 000 Hz.

⁴⁾ Kertoimen arvo valitaan maa- tai vesialueen mukaan. Metsä- ja viljelysmaalle käytetään arvoa 0,4 ja vesialueille (lammet ja järvet) arvoa 0. Jokia ja puroja ei mallineta vesialueina.

⁵⁾ Lämpötilan ja ilman suhteellisen kosteuden arvojen poikkeaminen tanskalaisesta ohjeesta on huomioitu *Maanpinnan ja ilmakehän absorption aiheuttama vaimennus pientaajuiselle melulle* taulukon neljännen sarakkeen lukuarvoissa.

Melumallinnus ympäristölupamenettelyssä

Ympäristölupamenettelyssä melumallinnusta tarkennetaan paikallisten äänen etenemiseen liittyvien parametrien osalta. Äänen etenemiseen liittyvät parametrit valitaan sijoituspaikalla vallitsevien ympäristöolosuhteiden mukaiseksi. Laskentaan käytetään Nord2000-melumallinnusmenetelmää.

4.2.1

Tuulivoimaloiden melupäästö

Tuulivoimalan tai tuulivoima-alueen tuulivoimaloiden melumallinnuksen lähtöarvoina käytetään ensisijaisesti valmistajan standardin IEC TS 61400-14 [3] mukaisesti ilmoittamia tuulivoimaloiden melupäästön (äänitehotaso) takuuarvoja ("declared value" tai "warranted level") tai mikäli näitä ei ole käytettävissä ympäristöministeriön mittausohjeen [2] mukaisesti mitattuja melupäästön arvoja.

Äänitehotasot (melupäästö) ilmoitetaan 1/3-oktaaveittain keskitaajuuksilla 20 Hz–10 000 Hz ja oktaaveittain keskitaajuuksilla 31,5 Hz–8000 Hz. Vanhemmille, ennen vuoden 2012 joulukuuta testatuille, tuulivoimalatyypeille voidaan hyväksyä standardin [8] vanhemman version mukaisesti 1/3-oktaavikaistoittaiseksi taajuusalueeksi 50 Hz–10 000 Hz. Pienitaajuisen melun vaikutus immissiopisteissä on tällöin tarkasteltava erikseen esim. ekstrapoloimalla pienimpien taajuuksien äänitehotasot tuulivoimalan/tuulivoimaloiden melupäästön taajuuskäyrästä. Äänitehotasojen tulee olla saatavilla 10 m:n referenssikorkeutta vastaavalla tuulen nopeudella 8 m/s.

Mallinnusta tarkennetaan huomioimalla valittujen tuulivoimalatyypin melupäästön mahdolliset erityispiirteet, kuten impulssimaisuus, kapeakaistaisuus/tonaalisuus ja merkityksellinen sykintä (amplitudimodulaatio). Sanktio voidaan huomioida laskennan lähtöarvoissa, mikäli tiedetään tuulivoimalan melupäästön sisältävän jonkin edellä mainituista erityispiirteistä ja voidaan arvioida erityispiirteiden olevan kuulohavainnoin erotettavissa ja ohjeen mukaisesti todennettavissa melulle altistuvalla alueella. Melupäästön impulssimaisuus määritetään Nordtest menetelmän NT ACOU 112 [9] ja kapeakaistaisuus/tonaalisuus, sekä melupäästön merkityksellinen sykintä ympäristöministeriön melupäästön mittausohjeen [2] mukaan. Muussa tapauksessa sanktiota ei sovelleta melun mallinnuksessa.

Melupäästön takuuarvoon sisällytetään koko laskennan epävarmuus, vaikka äänen etenemislaskennassa käytetäänkin Nord2000-menetelmään [10] perustuvia sää- ja ympäristöolosuhdelukuarvoja. Mahdollisessa mittauksin suoritettavassa mallinnustulosten oikeellisuuden todentamisessa ei tehdä epävarmuusarviota.

4.2.2

Immissiopisteiden laskentakorkeus

Melumallinnuksen immissiopisteiden (laskennan kohdepisteet) laskentakorkeudet ovat 2 m maanpinnasta. Validointimittauksissa mittauskorkeutena käytetään 1,5 ... 2 m verrattaessa mittaustuloksia mallinnustuloksiin.

4.2.3

Tuulivoimaloiden tuottaman äänen suuntaavuus ja geometrinen vaimennus

Kukin tuulivoimala mallinnetaan ympärisäteilevänä suuntaamattomana pistelähteenä. Äänen säteily mallinnetaan vapaaseen avaruuteen, jolloin geometrinen vaimennus on 6 dB etäisyyden kaksinkertaistuessa. Tuulen tilastollinen suunta- ja nopeusinformaatio voidaan ottaa huomioon Nord2000-mallinnusmenetelmässä, mikäli luotettavat tiedot ovat käytettävissä.

4.2.4

Ilmakehän absorptio aiheuttama vaimennus

Ilmakehän absorptio aiheuttama vaimennus mallinnetaan lämpötila-arvolla 15 °C ja ilman suhteellisen kosteuden arvolla 70 % käyttäen standardin ISO 9613-1 [5] lukuarvoja.

4.2.5

Maan- tai vedenpinnan absorptio ja heijastuksen vaikutus

Maan- tai vedenpinnan absorptio ja heijastus mallinnetaan seuraavasta kahdesta vaihtoehdosta paremmin soveltuvalla tavalla käyttäen Nord2000-menetelmän [10] mukaisia vakioituja vaikutuskertoimen lukuarvoja (A...G):

- Vaikutuskerroin on G, kun tuulivoimala sijaitsee kokonaan veden ympäröimänä (offshore tuulivoimala)
- Vaikutuskerroin on metsä- ja viljelysmaa-alueella A ... D, akustisesti kovilla heijastavilla pinnoilla, kuten kallioilla, E ... F ja vesialueella, kuten lammilla ja järvillä, G. Jokia ja puroja ei mallinneta vesialueina.

4.2.6

Maanpinnan muodon vaikutus

Tuulivoima-alueen yksittäisen tuulivoimalan perustusten sijaitessa yli 60 metriä korkeammalla suhteessa melulle altistuvan kohteen maanpinnan korkeuteen (esimerkiksi vaaralla tai tunturin laella olevat voimalat) kyseessä olevan voimalan melupäästön takuuarvoon lisätään 2 dB.

Korjaukset melupäästön takuuarvoon tehdään tuulivoimalan ja melulle altistuvan kohteen etäisyyden (tuulivoimalan napa-immissiopiste) ollessa enintään kolme kilometriä (3 km). Takuuarvoon lisättävä lukuarvo raportoidaan. Tuulivoima-alueen ne voimalat, joiden perustusten korkeus melulle altistuvan kohteen maanpinnan korkeuteen nähden on enintään 60 m, mallinnetaan käyttäen melupäästön lähtöarvoina takuuarvoja.

Yksittäisen tuulivoimalan melupäästön takuuarvoon tehtävän korjauksen lisäksi sisällytetään melualueen tai yksittäisen immissiopisteen melutason laskentaan kaikkien tuulivoimalueen tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvot.

4.2.7

Sääolosuhde

Mallinnuksessa käytettävä sääolosuhde perustuu Pasquill-luokkiin neutraali-stabiili [6]. Luokat riippuvat tuulen nopeudesta, tuulen nopeusprofiilista, pilvisyydestä ja auringon asennosta horisonttiin nähden. Stabiili ilmakehä on yleinen yöaikaan ja syksyllä, epästabiili ilmakehä on yleisempi päivällä ja keväällä.

Sääolosuhteiden vaikutus huomioidaan käyttämällä Nord2000 mukaisessa mallissa turbulenssisuuden ja lämpötilagradientin arvoa 0 ja maanpinnan karheusermin arvoa 0,05.

4.2.8

Laskennan vaaka- ja pystyresoluutio

Laskennan vaakaresoluutiona käytetään lukuarvoa 1,0 m ja pystyresoluutiona laserkeilaukseen perustuvaa 0,5 m:n korkeusresoluutiota, mikäli laserkeilattu aineisto olemassa. Mikäli laserkeilaukseen perustuvaa aineistoa ei ole käytettävissä, käytetään laskennassa tarkinta mahdollista, kuitenkin enintään 2,5 m:n korkeusresoluutiota.

4.2.9

Pientaajuisten äänen etenemisvaimennus

Pientaajuista ääntä tarkastellaan erikseen 1/3-oktaaveittain taajuusalueella 20–200 Hz soveltaen Tanskan ympäristöministeriön julkaisemaa ohjetta [7]. Laskennan lähtökohtana on standardi ISO 9613-2 [4], jossa huomioidaan äänen geometrinen etäisyysvaimennus ja seuraavassa taulukossa esitetyt maanpinnan ja ilmakehän absorption aiheuttamat vakioidut vahvistukset ja vaimennukset.

Pienitaajuinen melu 1/3-oktaavitasoittain altistuvassa kohteessa rakennuksen ulkopuolella arvioidaan yhtälöllä

$$L_p = L_w - 20 \text{ dB} \cdot \log_{10}(d_1 / 1 \text{ m}) - 11 \text{ dB} + A_{gr} - A_{atm} \cdot d_2$$

missä

L_p on äänen 1/3-oktaavitaso altistuvassa kohteessa [dB]

L_w on tuulivoimalan 1/3-oktaavikaistan äänitehotaso [dB]

d_1 on tuulivoimalan navan etäisyys altistuvasta kohteesta [m]

A_{gr} on heijastavan pinnan tuottama korjaus [dB]

A_{atm} on ilmakehän tuottama vaimennus lämpötilassa 15 C° ja 70 % suhteellisessa kosteudessa [dB/km]

d_2 on tuulivoimalan navan etäisyys altistuvasta kohteesta [km]

Maanpinnan ja vesialueen aiheuttama vahvistus, sekä ilmakehän absorptioon aiheuttama vaimennus pienitaajuiselle melulle ([7], soveltaen).

Taajuus [Hz]	Maanpinnan aiheuttama vahvistus A_{gr} [dB]	Vesialueen aiheuttama vahvistus A_{gr} [dB]	Ilmakehän aiheuttama vaimennus A_{atm} [dB/km]
20	5.6	6.0	0.0
25	5.4	6.0	0.02
31.5	5.2	5.9	0.03
40	5.0	5.9	0.05
50	4.7	5.8	0.07
63	4.3	5.7	0.11
80	3.7	5.5	0.16
100	3.0	5.2	0.25
125	1.8	4.7	0.38
160	0.0	4.0	0.57
200	0.0	3.0	0.82

Vesialueella sijaitsevilla tuulivoimaloilla (offshore) käytetään vesialueen vaimennusta, jos melutason laskentapiste (immissio) on rannan välittömässä läheisyydessä. Rannikolla sijaitsevilla tuulivoimaloilla (onshore) käytetään maanpinnan aiheuttamaa vaimennusta, jos laskentapiste on maalla vähintään 200 m etäisyydellä rannasta. Näiden väliin jäävällä alueella käytetään näistä kahdesta arvosta lineaarisesti interpoloitua arvoa. Menetelmä ei ole käytössä kaupallisissa laskentaohjelmissa ja edellyttää siten erillislaskentaa.

Ympäristölupamenettelyn yhteydessä tehtävässä melumallinnuksessa käytettävät laskentaparametrit.

Suure ¹⁾	Parametrin lukuarvo ²⁾	Parametri määrittämysperuste
Melupäästö tuulen nopeudella 8 m/s referenssi- korkeudella 10 m	Valmistajan ilmoittama(t): 1. Melupäästön (äänitehotason) takuuarvo 2. Melupäästön tonaalisuus tai kapeakaistaisuus 3. Melupäästön impulssimaisuus 4. Melupäästön merkityksellinen sykintä (amplitudimodulaatio) 5. Melutaso 1/3-oktaaveittain taajuusalueella 20–200 Hz	1. IEC 61400–11 ³⁾ [8] ja IEC TS 61400–14 [3] 2. IEC 61400–11 [8] 3. NT ACOU 112 [9] 4. Viite [2] 5. DSO 1284 [7]
Tuulivoimaloiden äänen suuntaavuus, tuulen nopeuden ja suunnan vaikutus	Tuulen suunta ja nopeus voidaan huomioida vallitsevien tuuliolosuhteiden mukaisena	Nord2000 mukainen menettely tuulen suunnan ja nopeuden huomioimiseksi
Ilmakehän absorptio aiheuttama vaimennus	Lämpötila: 15 °C Ilman suhteellinen kosteus: 70 %	ISO 9613-1 [5]
Maan- tai vedenpinnan absorptio ja heijastuksen vaikutus	1. Vaikutuskerroin on G, kun tuulivoimala on veden ympäröimä (offshore voimala) 2. Maanpinnan vaikutuskerroin on maa-alueella A ... F ja vesialueella G ⁴⁾ .	Nord2000 kummassakin tapauksessa [10]
Maanpinnan muodon vaikutus	Tuulivoimalan perustusten sijaitessa yli 60 metriä korkeammalla suhteessa melulle altistuvan kohteen maanpinnan korkeuteen voimalan melupäästön takuuarvoon lisätään 2 dB.	Mallinnus- ja mittaustulosten välinen ero.
Sääolosuhde	Neutraali–stabiili sääolosuhde, meteorologinen korjaus: 0	Nord2000 [10]
Laskennan vaakaja pystyresoluutio	Vaakaresoluutio: 1,0 m Pystyresoluutio: 0,5 m tai tarkin mahdollinen saatavissa oleva	Käytettävä laserkeilaukseen perustuvaa 0,5 m:n korkeusresoluutiota, mikäli laserkeilattu aineisto olemassa
Pientaajuisen melun etenemisvaimennus ⁵⁾	Geometrinen vaimennus 6 dB etäisyyden kaksinkertaistuessa, maa- ja vesialuevaikutus DSO 1284 [7] mukaan.	DSO 1284 [7]

¹⁾ Immissiopisteen (laskennan kohdepiste) laskentakorkeus on 2 m maanpinnasta.

²⁾ Melumallinnuksessa tarkastellaan vain sitä vaihtoehtoa, jolle haetaan ympäristölupaa.

³⁾ Vanhemmille, ennen vuoden 2012 joulukuuta testatuille tuulivoimalatyypeille voidaan hyväksyä standardin vanhemman version mukaisesti 1/3-oktaavikaistoittaiseksi taajuusalueeksi 50 Hz–10 000 Hz.

⁴⁾ Kerroin valitaan maa- tai vesialueen mukaan. Metsä- ja viljelysmaalle käytetään arvoa A ... D, akustisesti koville heijastaville pinnoille (esim. kalliot) arvoa E ... F ja vesialueille (lammot ja järvet) arvoa G. Jokia ja puroja ei mallineta vesialueina.

⁵⁾ Lämpötilan ja ilman suhteellisen kosteuden arvojen poikkeaminen tanskalaisesta ohjeesta on huomioitu *Maanpinnan ja ilmakehän absorptio aiheuttama vaimennus pientaajuiselle melulle* taulukon neljännen sarakkeen lukuarvoissa.

5 Mallinnustietojen raportointi

Mallinnukseen liittyvät tiedot kuvataan mahdollisimman tarkasti. Kaavoitus- ja YVA-menettelyissä ohjeen mukaiset melumallinnuksen tiedot voivat olla ylärajatietoja suurinta melupäästöä edustavasta laitetypistä. Seuraavat tiedot raportoidaan.

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT		*tarkentavat tiedot voi esittää kartalla tai muissa liitteissä	
Mallinnusraportin numero/tunniste:		Raportin hyväksyntäpäivämäärä:	
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot:			
Vastuuhenkilöt			
Laatija:		Tarkastaja/hyväksyjä:	
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT			
Mallinnusohjelma ja versio:		Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2 Nord2000	
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)			
Tuulivoimalan valmistaja:		Tyyppi:	Sarjanumero/t:
Nimellisteho:	Napakorkeus:	Roottorin halkaisija:	Tornin tyyppi:
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun			
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus	Muu, mikä
Kyllä	dB	Kyllä	dB
Ei		Ei	dB

AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT							
Melupäästötiedot (takuarvo/äänitehotason keskiarvo)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20		200		2000	
63		25		250		2500	
125		31,5		315		3150	
250		40		400		4000	
500		50		500		5000	
1000		63		630		6300	
2000		80		800		8000	
4000		100		1000		10000	
8000		125		1250			
		160		1600			
Melupäästötiedot (Takuarvo/varmuusluku)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20		200		2000	
63		25		250		2500	
125		31,5		315		3150	
250		40		400		4000	
500		50		500		5000	
1000		63		630		6300	
2000		80		800		8000	
4000		100		1000		10000	
8000		125		1250			
		160		1600			
Melun erityispiirteiden mittaus ja havainnot:							
Kapeakaistaisuus / Tonaalisuus		Impulssimaisuus		Merkityksellinen sykintä (amplitu- dimodulaatio)		Muu, Mikä:	
kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä	ei

AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT					
Laskenta korkeus			Laskentaruudun koko [m·m]		
4/2 [m]	Muu, mikä ja miksi:				
Suhteellinen kosteus			Lämpötila		
70 %	Muu, mikä ja miksi:		15 C°	Muu, mikä ja miksi:	
Maastomallin lähde ja tarkkuus					
Maastomallin lähde:			Vaakaresoluutio:	Pystyresoluutio:	
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet					
ISO 9613-2/Nord2000		HUOM			
Vesialueet, (0) / (G)					
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)					
Maa-alueet, (0) / (G)					
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus					
Neutraali, (0):		Muu, mikä ja miksi:			
Sääolosuhteiden huomiointi; laskennassa käytetty tuulen tilastollinen jakauma (Nord2000)					
Tuulen suunta [%]	Tuulennopeus [m/s]		Tuulen suunta [%]	Tuulennopeus [m/s]	
Pohjoinen			Etelä		
Koillinen			Lounas		
Itä			Länsi		
Kaakko			Luode		
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen					
Vapaa avaruus		Muu, mikä, miksi:			
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)					
Asukkaat:	kpl	Vapaa-ajan rakennukset:	kpl	Hoitto- ja oppilaitokset:	kpl
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)					
Asukkaat:	kpl	Vapaa-ajan rakennukset:	kpl	Hoitto- ja oppilaitokset:	kpl
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille					
Virkistysalueet: kpl			Luonnonsuojelualueet: kpl		

Pienitaajuisten melun laskentamenetelmä:							
A-painotetut tai lineaariset melutasot altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella							
Hz	Kohde 1	Kohde 2	Kohde 3	Kohde 4	Kohde 5	Kohde 6	Kohde 7
20							
25							
31,5							
40							
50							
63							
80							
100							
125							
160							
200							

MUUT LIITTEET:

- 1) Tuulivoimalan tehokäyrä
- 2) Tuulivoima-alueen karttapohja, jossa tuulivoimaloiden ja melulle altistuvien kohteiden (rakennusten) paikat (vähintään 3 m suuntaansa tuulivoimaloista)
- 3) Alueen kaavakartta
- 4) Eri vaihtoehtojen melualueet karttapohjassa 5 dB välein (kaavoitus- ja YVA-menettelyt)
- 5) Valitun vaihtoehdon melualueet 5 dB välein karttapohjassa (rakennus- ja ympäristölupamenettelyt),
- 6) A-painotetut melutasot altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella eniten melulle altistuvissa kohteissa

MUITA SUOSITELTAVIA LISÄTIETOJA:

Arvioitu melutaso ilman tuulivoimaa/Muiden melulähteiden aiheuttama melu

Laskennassa huomioidut meluntorjuntatoimet

Tiedot melutasoista eri korkeuksilla, jos alueella sijaitsee kerrostaloja

VIITTEET

1. Ehdotus tuulivoimamelun mallinnuksen laskentalogiikkaan ja parametrien valintaan. Tutkimusraportti VTT-R-04565-13.
2. Tuulivoimaloiden melupäästön todentaminen mittaamalla. Ympäristöhallinnon ohjeita 3/2014.
3. IEC TS 61400-14. Wind turbines – Part 14: Declaration of apparent sound power level and tonality values. Technical specification, First edition, 2005-03. International Electrotechnical Commission.
4. ISO 9613-2:1996. Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation”, International Organization for Standardisation
5. ISO 9613-1:1996. Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere. International Organization for Standardisation.
6. Manning, C., The Propagation of Noise from Petroleum and Petrochemical Complexes to Neighbouring Communities. CONCAWE 4/81, 1981.
7. The Danish Ministry of the Environment. 2011. Statutory Order on Noise from Wind Turbines. Translation of Statutory Order no.1284 of 15 December 2011. 14 s.
8. IEC 61400-11. Wind turbines – Part 11: Acoustic noise measurement techniques. Edition 3.0 2012-11. International Electrotechnical Commission.
9. NT ACOU 211. Acoustics: Prominence of impulsive sounds and for adjustment of L_{Aeq} . Approved 2002-05. Nordtest.
10. DELTA, Nordic Environmental Noise Prediction Methods, Nord 2000 – Summary report, Lyngby, Denmark, 2002.
11. Karjalainen, M. Kommunikaatioakustiikka. Espoo 2009. Aalto-yliopisto, Signaalinkäsittelyn ja akustiikan laitos. 255 s.

FÖRORD

Miljöministeriet ger följande anvisning för modellering av buller från vindkraftverk. Anvisningen ges med stöd av 108 § och 117 § i miljöskyddslagen (86/2000). Anvisningen träder i kraft den 28 februari 2014 och gäller tills vidare.

Buller är enligt 3 § i miljöskyddslagen (86/2000) utsläpp som orsakar förorening av miljön. Enligt lagens 5 § ska verksamhetsutövaren tillräckligt väl känna till verksamhetens konsekvenser och risker för miljön samt möjligheterna att minska verksamhetens negativa miljöpåverkan (*skyldighet att vara konsekvensmedveten*). Enligt lagens 25 § ska kommunen inom sitt område i nödvändig omfattning följa miljöns tillstånd, på det sätt som de lokala förhållandena kräver.

Enligt 5 § i markanvändnings- och bygglagen (132/1999) är syftet med områdesplaneringen att främja bland annat skapandet av en trygg, hälsosam och trivsamt livsmiljö och omgivning. I områdesanvändningen måste man enligt kraven på planernas innehåll motverka olägenheter orsakade av buller, skakning och luftföroreningar samt sträva efter att minska de olägenheter som redan förekommer.

Anvisningen för modellering av buller från vindkraftverk är avsedd som planeringsanvisning när man bedömer den bullerbelastning som alstras av vindkraftverk i verkställandet och tillämpningen av miljöskyddslagen samt i förfaranden enligt markanvändnings- och bygglagen.

Överdirektör
Helena Säteri

Miljöråd
Ari Saarinen

1 Inledning

I denna anvisning ges förfaringssätt för modellering av det buller som alstras av vindkraftverk. Av resultaten från modelleringen är det möjligt att bedöma den bullernivå som alstras av ett vindkraftverk i individuella observationspunkter.

Modelleringen av bullret från vindkraftverk avviker från modelleringen av annat omgivningsbuller [1]. Ljudet från vindkraftverken kan innehålla lågfrekventa komponenter och det kan vara impulsartat, smalbandigt eller signifikant pulserande (amplitudmodulering). Det ljud och den ljudstyrka som vindkraftverken alstrar varierar betydligt temporalt beroende på väderförhållandena. Ett kraftverk arbetar endast under en del av drifttiden vid sin nominella effekt, då bullerutsläppet (emissionen) är som störst. Ljudet från ett vindkraftverk uppstår på en anmärkningsvärt hög nivå i kraftverk i industriell skala, vilket påverkar dämpningen av ljudet när det fortplantar sig längre ifrån kraftverket.

I anvisningen ges upplysningar om modelleringsförfaranden, om program och parametrar för modellering samt om hur resultaten ska presenteras. Modelleringar kan göras i alla riktningar kring ett vindkraftverk (eller en grupp vindkraftverk). Modelleringen utförs med utgångsvärden för bullerutsläpp som motsvarar referensvärdet för vindhastigheten, vilket betyder det maximala bullerutsläpp som kraftverket alstrar vid sin nominella effekt.

Bullernivån (bullerimmissionen) bestäms som A-vägd ljudtrycksnivå (ljudnivå) och vid behov också per frekvensband. Nivån på lågfrekvent buller inom frekvensområdet 20 Hz–200 Hz bestäms dessutom per 1/3-oktavband utanför objekt (byggnader) som mest markant är utsatta för buller. Granskningen görs genom räkning från punkt till punkt, och man behöver inte skapa bullerzoner eller bullerkartor. Syftet med räkningen är att få fram uppgifter om utomhusbullernivåerna per tersband, vilket gör det möjligt att bedöma inomhusbullernivån när man med tillräcklig noggrannhet känner till byggnadsmanteln förmåga att isolera luftljud.

Metoderna i anvisningen gör det möjligt att koppla en ljudteknisk planering till den övriga planeringsprocessen och godkännandeförfarandet i vindkraftsområden. Den ljudtekniska planeringen för enskilda vindkraftverk eller vindkraftsområden sker i tre eller fyra huvudskeden av vindkraftsprojektet.

Bullermodelleringen i förplaneringsskedet kan den projektansvariga själv välja. Beträffande de övriga planeringsskedena ska de metoder för bullermodellering som ges i anvisningen tillämpas. För ändamålsenlighetens skull kan det vara nödvändigt att redan i förplaneringen i

tillämpliga delar följa anvisningarna, för att resultaten av bullermodelleringen ska vara enhetliga under hela processen. Användningen av olika modelleringsprogram i olika förfaranden baserar sig på det författningssenliga bullerimmissionsskyddet och på strävan till ändamålsenlig teknisk-ekonomisk dimensionering. I *miljötillståndsförfarande* kan det här innebära en garanti för immissionsskyddet, exempelvis genom att driften begränsas i vissa väderförhållanden i enlighet med villkoren för miljötillståndet. En förutsättning för det här är att bullermodelleringmetoden tillåter ett tillräckligt beaktande av väderförhållandena med tillräckliga tidsintervaller.

Osäkerheten i bullermodelleringen tas med i det siffervärde för vindkraftverkens bullerutsläpp som används som utgångsvärden i beräkningen. I modelleringen används tillräckligt stor säkerhet för bullerutsläppen från vindkraftverk med beaktande av bullrets eventuella särdrag, för att man som siktvärde ska kunna använda planeringsvärdet eller det karaktäristiska värdet samt väder- och miljöförhållandevärden som standardiserats för modellering av ljudets fortplantning och miljöförhållandena.

Modellering av vindkraftverksbuller och analys av resultaten kräver specialkunnande i akustik för att resultaten ska vara tillförlitliga, spårbara och jämförbara.

2 Tillämpning av anvisningen och tillämpningsområdet

Anvisningen kan utnyttjas i bedömningen av bullereffekter och exponering för buller i miljökonsekvensbedömningar, detaljerade planläggningar, bygglovsprövningar och miljötillståndsförfaranden.

I *förplaneringsprocessen* gör den som sätter i gång projektet en bedömning av den maximala storleken hos det planerade vindkraftverket eller den maximala storleken hos och antalet planerade vindkraftverk i vindkraftsområdet med beaktande av storleken på deras bullerutsläpp. Bullermodelleringen i förplaneringsskedet kan den projektansvariga själv välja.

I förfarande vid miljökonsekvensbedömning (MKB-förfarande) och *i detaljerad planläggning* ska man i en bullermodellering enligt anvisningen ge detaljerade och alternativa uppgifter om vindkraftverkets/vindkraftverkens storlek, såsom antal och placering, nominell effekt, höjd, rotordiameter och bullerutsläpp, som kan användas för att bedöma vindkraftverkens bullernivå genom modellering. I bedömningen kan man betrakta flera alternativa vindkraftverkstyper, antal och placeringar och modellera de bullerområden som de olika alternativen ger. Bullermodelleringen baserar sig här på en undersökning av den övre gränsen för bullerutsläpp. För bullerutsläpp från de planerade vindkraftverken används det garantivärde som tillverkaren uppger. I garantivärdet för bullerutsläppet inkluderar man osäkerheten i hela beräkningen, och då kan man i beräkningen av ljudets fortplantning använda de standardiserade värden för väder- och miljöförhållanden i samband med fortplantningen som baserar sig på ISO 9613-2 [4].

I *bygglovsprövning* (också i samband med avgörande som gäller planeringsbehov) granskar man i bullermodelleringen bara det alternativ som valts ut för byggandet. Någon ny bullermodellering behövs inte ifall den valda lösningen är ett av de planeringsalternativ som undersökts redan under det föregående skedet och det utvalda alternativet har konstaterats underskrida det planerade eller det karaktäristiska värdet.

I ett miljötillståndsförfarande utreds miljökonsekvenserna av ett vindkraftverk eller av flera kraftverk inom ett vindkraftsområde genom att man använder en preciserad bullermodellering. Bullermodelleringen preciseras när det gäller både bullerutsläpp från vindkraftverkstyperna och parametrar för ljudets fortplantning. I modelleringen av bullerutsläppen från vindkraftverk används det garantivärde som tillverkaren uppger. Parametrarna för ljudets fortplantning väljs efter de rådande förhållandena på platsen, med undantag för den dämpning som orsakas av absorptionen i atmosfären. I bullermodelleringen används metoden Nord2000. I samband med miljötillståndsförfarandet utreds hur bullernivåerna i de bostadshus, byggnader för semesterboende eller andra skyddskrävande områden som eventuellt blir kvar i bullerområdet underskrider det planerade eller det karaktäristiska värdet för bullret.

3 Definitioner

Ljudtryck p [Pa]

Skillnaden mellan ett ljuds momentana tryck och det statiska lufttrycket, i allmänhet som effektivvärde.

A-vägt ljudtryck p_A [Pa]

Ljudtrycket definierat med användning av A-frekvensvägning, i allmänhet som effektivvärde.

Ljudtrycksnivå L_p [dB]

Den tiodubbla logaritmen av kvadraten på förhållandet mellan ljudtryckets effektivvärde och referensljudtrycket.

Ljudnivå L_{pA} [dB]

Den tiodubbla logaritmen av kvadraten på förhållandet mellan effektivvärdet för det momentana A-vägda ljudtrycket och referensljudtrycket .

Medelljudnivå (ekvivalentljudnivå, ekvivalentnivå) L_{Aeq} [dB]

Den ljudnivå ($L_{Aeq,T}$) som motsvarar det A-vägda ljudtryckets genomsnittliga effektivvärde under en definierad tidsperiod (T). Medelljudnivån bestäms med ekvationen

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{L_{pA}(t)}{10}} dt \right) = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right),$$

där

t_1 är startpunkten för den definierade tidsperioden T

t_2 är slutpunkten för den definierade tidsperioden T

$L_{pA}(t)$ är momentanvärdet [dB] för ljudets ljudnivå

$p_A(t)$ är momentanvärdet [Pa] för det A-vägda ljudtrycket.

p_0 är referensljudtrycket 20 μ Pa.

Bullernivå (bullerimmission) L_{pA} [dB]

Ljudnivån i det objekt som är utsatt för buller.

Immissionspunkt

Beräkningspunkten.

Lågfrekvent buller

Med lågfrekvent buller avses här buller i frekvensområdet 20–200 hertz [Hz]. Ljud med frekvenser lägre än 20 Hz kallas infraljud.

Planerat och karaktäristiskt värde

Med de planerade och karaktäristiska värdena för buller avses här de gräns- eller riktvärden för buller som baserar sig på lagstiftning, miljötillstånd eller myndighetsanvisningar.

Skenbar ljudeffektnivå (apparent sound power level) $L_{WA,k}$ [dB]

Den skenbara ljudeffektnivån som bestäms utifrån de bakgrundsbullerkorrigerade ljudtrycksnivåerna ($L_{Aeq,c,k}$)

$$L_{WA,k} = L_{Aeq,c,k} - 6 + 10 \lg \left[\frac{4\pi R_1^2}{S_0} \right]$$

där

$L_{Aeq,c,k}$ är den bakgrundsbullerkorrigerade A-vägda ljudtrycksnivån

R_1 är det kortaste avståndet från navet på vindkraftverkets rotor till mikrofonen (m)

S_0 är referensytan 1 m².

Garantivärdet för bullerutsläpp

Det garantivärde för bullerutsläppet (ljudeffektnivån) från ett vindkraftverk som tillverkaren uppger och i vilket säkerheten i en eventuell verifiering av bullerutsläppet är ca 95 procent. Bullerutsläppsvärdet är tvådelat och består av medeltalet för ljudeffektnivåerna och säkerhetsvärdet.

Bullrets särdrag

Särdragen hos buller är de egenskaper som har att göra med ljudets tids- och frekvensbeteende och som ökar bullrets störande verkan i ett område som utsätts för buller. Särdragen är bland annat smalbandighet, tonalitet, impulsart och signifikant pulserande.

Bullrets smalbandighet och tonalitet

Med tonalitet avses här att ljudtrycksnivån hos en eller flera rena toner urskiljs från nivån hos ett maskerande ljud på ett kritiskt band kring den rena tonen (tonerna).

Bullret är smalbandigt om där finns rena toner som ökar bullerolägenheten, och som man kan urskilja genom hörselintryck, eller smalbandiga/tonala komponenter i ett område som utsätts för buller. Smalbandigheten konstateras genom metoden i hänvisning [8].

Ren ton

En ton som innehåller en enkel frekvens En ton vars ljudtryck varierar sinusformat som en funktion av tiden.

Frekvensband, frekvensintervall

Förhållandet eller skillnaden mellan två frekvenser.

Bullrets impulsart

Bullret är impulsartat om där finns kortvariga (transienta) toner som ökar bullerolägenheten, och som man kan urskilja genom hörselintryck, i ett område som utsätts för buller. Impulsarten konstateras genom metoden i hänvisning [9].

Bullrets signifikanta pulserande, amplitudmodulering (excess amplitude modulation)

Bullret är signifikant pulserande, eller amplitudmodifierat, om där finns periodiska fluktuationer i ljudstyrkan som man kan urskilja genom hörselintryck och som ökar bullerolägenheten i ett område som utsätts för buller. Signifikant pulserande konstateras genom metoderna i hänvisningarna [2] och [11].

Sanktion

Med sanktion avses en åtgärd där man på grund av bullrets impulsart, smalbandighet eller signifikanta pulserande (tidsmässig fluktuation i ljudstyrkan, amplitudmodulation) i mätresultatet lägger till ett siffervärde som ges i författningen (t.ex. 5 dB) innan man jämför det med det planerade eller det karaktäristiska värdet.

Referensvärdet för vindhastigheten

Den vindhastighet vid vilken bullernivån modelleras. Referensvärdet för vindhastigheten är 8 m/s på 10 meters höjd. Referensvärdet för vindhastigheten motsvarar i mätningarna den rådande vindhastighet på vindkraftverkets navhöjd som alstrar maximalt bullerutsläpp vid kraftverkets nominella effekt.

Offshore vindkraftverk

Vindkraftverket omges helt av vatten.

Onshore vindkraftverk

Vindkraftverk som är beläget i det inre av landet eller på markområde vid kusten.

4 Modellering av buller

4.1

Bullermodellering i förfarande vid miljökonsekvensbedömning och i detaljerad planläggning

4.1.1

Bullerutsläpp från vindkraftverk

Som utgångsvärden vid modellering av buller från ett vindkraftverk eller från flera vindkraftverk i ett vindkraftsområde används de garantivärden ("declared value" eller "warranted level") som mätts enligt miljöministeriets mätanvisning [2] eller som tillverkaren uppgett i enlighet med standarden IEC TS 61400-14 [3] för bullerutsläppet (ljudeffektnivån) från vindkraftverken.

Ljudets eventuella smalbandighet och andelen lågfrekventa komponenter i ljudspektrumet klarläggs. Effekterna av bullrets impulsart och signifikanta pulserande (amplitudmodulation) ingår principiellt i de garantivärden som tillverkaren uppger, och någon undersökning av dessa förutsätts inte i det här skedet. En sanktion kan beaktas i utgångsvärdena för beräkningen ifall man vet att bullerutsläppet från vindkraftverket innehåller smalbandiga/tonala komponenter och man kan bedöma att de här särdragen kan uppfattas med hörseln och enligt anvisningarna verifieras i ett område som är utsatt för buller. Smalbandigheten/tonaliteten bedöms enligt miljöministeriets anvisning [2] för mätning av bullerutsläpp från vindkraftverk. I övriga fall tillämpas inte sanktionen i bullermodelleringen.

Ljudeffektnivåer (bullerutsläpp) anges per 1/3-oktav på mellanfrekvenserna 20 Hz–10 000 Hz och per oktav på mellanfrekvenserna 31,5 Hz–8 000 Hz. För äldre vindkraftverkstyper, som testats före december 2012, kan man godkänna 50 Hz–10 000 Hz som ett 1/3-oktavbandigt frekvensområde enligt den äldre versionen av standarden [8]. Effekten av lågfrekvent buller i immissionspunkterna måste då undersökas separat, exempelvis genom att man extrapolerar ljudeffektnivåerna vid lägre frekvenser från frekvenskurvan för vindkraftverkets/vindkraftverkens bullerutsläpp. Ljudeffektnivåerna ska finnas tillgängliga för en vindhastighet på 8 m/s som motsvarar 10 meters referenshöjd.

Hela beräkningens osäkerhet innefattas i garantivärdet för bullerutsläppet. I beräkningen av ljudets fortplantning kan man då använda de standardiserade väder- och miljöförhållandevärden som baserar sig på standarden ISO 9613-2 [4], och behöver inte göra någon osäkerhetskalkyl i en eventuell verifikation av riktigheten i modelleringsresultaten genom mätningar.

4.1.2

Immissionspunkternas beräkningshöjd

Beräkningshöjden för immissionspunkterna (målpunkterna för beräkningen) är 4 meter från markytan. Med en höjd på 4 m kompenserar man de alltför låga bullernivåer som modellen ISO 9613-2 [4] ger (i förhållande till de uppmätta jämförelseresultaten) i fall av en hög ljudkälla och täckt terräng. I valideringsmätningar ska man emellertid använda 1,5 ... 2 m som mätthöjd när man jämför mätresultaten med modelleringsresultaten.

4.1.3

Riktungsverkan hos det ljud som ett vindkraftverk alstrar och geometrisk dämpning

Varje vindkraftverk modelleras som en rundstrålande oriktad punktkälla oberoende av vindriktningen. Ljudstrålningen modelleras fritt ut i rymden och då är den geometriska dämpningen 6 dB när avståndet fördubblas.

4.1.4

Dämpning som orsakas av atmosfärabsorption

Den dämpning som orsakas av absorptionen i atmosfären modelleras med ett temperaturvärde på 15 °C och värdet på den relativa luftfuktigheten 70 %, med användning av siffervärdena i standarden ISO 9613-1 [5].

4.1.5

Effekten av absorption och reflektion vid mark- eller vattenytan

Effekten av absorptionen och reflektionen vid markytan eller i vattenområdet modelleras för varje vindkraftverk på det lämpligare av två alternativa sätt med hjälp av de standardiserade värdena för influensfaktorn enligt den allmänna beräkningsmetoden (General method of calculation) i standarden ISO 9613-2 [4].

- Influensfaktorn är 0 när vindkraftverket befinner sig helt omslutet av vatten (offshore-vindkraftverk)
- Influensfaktorn är 0,4 på land och 0 i vattenområden (hav, sjöar och träsk), när vindkraftverket befinner sig på land eller vid kusten. Älvar, åar och bäckar modelleras inte som vattenområden.

4.1.6

Effekten av markytans form

När fundamentet för ett enskilt vindkraftverk i ett vindkraftsområde befinner sig över 60 meter högre än markytan i det område som utsätts för buller (exempelvis kraftverk på bergs- eller fjälltoppar) ska man addera 2 dB till garantivärdet för kraftverkets bullerutsläpp.

Korrigeringsarna av garantivärdet för bullerutsläppet görs när avståndet mellan vindkraftverket och det bullerutsatta området (vindkraftverkets nav-immissionspunkten) är högst tre kilometer (3 km). Siffervärdet som läggs till garantivärdet ska rapporteras. De kraftverk i vindkraftverksområdet vars fundament ligger högst 60 m över markytan i det bullerutsatta området, ska modelleras med användning av garantivärdena som utgångsvärden för bullerutsläppet.

Utöver korrigeringen av garantivärdet för bullerutsläppet från ett enskilt vindkraftverk ska garantivärdena för bullerutsläppet från alla kraftverk i vindkraftverksområdet tas med i beräkningen av bullernivån i ett bullerområde eller en individuell immissionspunkt.

4.1.7

Väderförhållande

Det väderförhållande som ska användas i modelleringen baserar sig på Pasquillklasserna neutral-stabil [6]. Klasserna beror på vindhastigheten, vindens hastighetsprofil, molnigheten och solens ställning i förhållande till horisonten. En stabil atmosfär är vanlig på natten och på hösten, instabil vanligare under dagen och på våren.

Väderförhållandenas inverkan beaktas i modelleringen genom att man använder värdet 0 för den meteorologiska korrigeringen.

4.1.8

Vågrät och lodrät upplösning i beräkningen

Som vågrät upplösning (horisontell resolution) i beräkningen används siffervärdet 1,0 m och som lodrät upplösning (vertikal resolution) 2,5 m. Terrängens topografi ska i främsta hand basera sig på laserskannat material. Ifall det inte finns kartmaterial för terrängen med nämnda noggrannhet använder man en så noggrann vågrät och lodrät upplösning för terrängen som möjligt i modelleringen.

4.1.9

Dämpning av ett lågfrekvent ljud

Ett lågfrekvent ljud undersöks separat per 1/3 oktav i frekvensområdet 20–200 Hz med tillämpning av danska miljöministeriets anvisning [7]. Man utgår från standarden ISO 9613-2 [4], där man beaktar ljudets geometriska avståndsdämpning och de standardiserade förstärkningar och dämpningar som orsakas av markytan och absorption i atmosfären, angivna i följande tabell.

Lågfrekvent buller i ett objekt som utsätts per 1/3-oktavnivå utanför byggnaden uppskattas med ekvationen

$$L_p = L_w - 20 \text{ dB} \cdot \log_{10}(d_1 / 1 \text{ m}) - 11 \text{ dB} + A_{gr} - A_{atm} \cdot d_2$$

där

L_p är ljudets 1/3-oktavnivå i det utsatta objektet [dB]

L_w är ljudeffektnivån i vindkraftverkets 1/3-oktavband [dB]

d_1 är avståndet från vindkraftverkets nav till det utsatta objektet [m]

A_{gr} är en korrigering som den reflekterande ytan ger upphov till [dB]

A_{atm} är atmosfärens dämpning vid temperaturen 15 C° och 70 % relativ fuktighet [dB/km]

d_2 är avståndet från vindkraftverkets nav till det utsatta objektet [km]

Förstärkning av lågfrekvent ljud orsakad av markytan och vattenområdet, och dämpning orsakad av absorption i atmosfären ([7], med anpassning).

Frekvens [Hz]	Markytans förstärkning A_{gr} [dB]	Vattenområdets förstärkning A_{gr} [dB]	Atmosfärens dämpning A_{atm} [dB/km]
20	5.6	6.0	0.0
25	5.4	6.0	0.02
31.5	5.2	5.9	0.03
40	5.0	5.9	0.05
50	4.7	5.8	0.07
63	4.3	5.7	0.11
80	3.7	5.5	0.16
100	3.0	5.2	0.25
125	1.8	4.7	0.38
160	0.0	4.0	0.57
200	0.0	3.0	0.82

För vindkraftverk i vattenområden (offshore) används vattenområdesdämpning ifall beräkningspunkten för bullernivån (immissionen) ligger i omedelbar närhet av stranden. För vindkraftverk vid kusten (onshore) används markytedämpning ifall beräkningspunkten ligger på land minst 200 meter från stranden. I det område som ligger mellan dessa används ett värde som är lineärt interpolerat från dessa två. Metoden används inte i kommersiella beräkningsprogram och kräver därför separat beräkning.

Beräkningsparametrar för bullermodellering i förfarande vid miljökonsekvensbedömning och i detaljerad planläggning

Storhet ¹⁾	Parameterns siffervärde ²⁾	Grunden för bestämning av parametern
Bullerutsläpp vid vindhastighet 8 m/s och referenshöjd 10 m	Tillverkarens uppgift: 1. Garantivärdet för bullerutsläppet (ljudeffektnivån) 2. Bullerutsläppets tonalitet och smalbandighet 3. Bullernivå per 1/3-oktav i frekvensområdet 20–200 Hz	1. IEC 61400–11 ³⁾ [8] och IEC TS 61400–14 [3] 2. IEC 61400–11 [8] 3. DSO 1284 [7]
Ljudets riktningserkan	Antagandet är en rundstrålande oriktad punktkälla oberoende av vindriktning	Ljudet strålar fritt ut i rummet, den geometriska dämpningen är 6 dB när avståndet fördubblas.
Dämpning på grund av absorption i atmosfären	Temperatur: 15 °C Relativ luftfuktighet: 70 %	ISO 9613-1 [5]
Effekten av absorption och reflektion vid mark- eller vattenytan	1. Influensfaktorn är 0 när vindkraftverket befinner sig helt omslutet av vatten (offshore-vindkraftverk) 2. Influensfaktorn är 0,4 på land och 0 på vatten när vindkraftverket befinner sig på ett land- eller kustområde ⁴⁾	Den allmänna beräkningsmetoden (General method of calculation) i ISO 9613-2 [4] i båda fallen
Inverkan av markytans form	När vindkraftverkets fundament ligger 60 meter högre än markytan i det bullerutsatta objektet lägger man 2 dB till garantivärdet för kraftverkets bullerutsläpp.	Skillnaden mellan modellerings- och mätresultat
Väderförhållande	Neutralt–stabil väderförhållande, meteorologisk korrigering: 0	ISO 9613-2 [4]
Vågrät och lodrät upplösning i beräkningen	Vågrät upplösning: 1,0 m Lodrät upplösning: 2,5 m	Eller den noggrannaste tillgängliga upplösningen
Dämpning av ett lågfrekvent ljud ⁵⁾	Den geometriska dämpningen 6 dB när avståndet fördubblas, land- och vattenområdeseffekten enligt DSO 1284 [7]	DSO 1284 [7]

¹⁾ Immissionspunktens (beräkningspunktens) beräkningshöjd är 4 m från markytan i alla fall. Med en höjd på 4 m för immissionspunkten kompenserar man de jämfört med verkligheten alltför låga bullernivåer som modellen i ISO 9613-2 [4] ger i fall av en hög ljudkälla och täckt terräng. I valideringsmätningar ska man som mät höjd använda 1,5 ... 2 m när man jämför mätresultaten med modelleringsresultaten.

²⁾ Det kan finnas flera undersökningsalternativ i en bullermodellering.

³⁾ För äldre vindkraftverkstyper, som testats före december 2012, kan man godkänna 50 Hz–10 000 Hz som ett 1/3-oktavbandigt frekvensområde enligt den äldre versionen av standarden.

⁴⁾ Värdet på faktorn väljs efter mark- eller vattenområdet. För skogs- och odlingsmark används värdet 0,4 och för vattenområden (sjöar och träsk) värdet 0. Älvar, åar och bäckar modelleras inte som vattenområden.

⁵⁾ Avvikelsen från den danska anvisningen hos värdena för temperatur och relativ luftfuktighet har beaktats i siffervärdena i den fjärde kolumnen i tabellen *Dämpning av lågfrekvent ljud orsakad av markytan och av absorption i atmosfären*.

4.2

Bullermodellering i miljötilståndsförfarande

I ett miljötilståndsförfarande preciseras bullermodelleringen i fråga om de lokala parametrarna för ljudets fortplantning. Parametrarna för ljudets fortplantning väljs efter de miljöförhållanden som råder på platsen. För beräkningen används bullermodelleringens metod Nord2000.

4.2.1

Bullerutsläpp från vindkraftverk

Som utgångsvärden vid modellering av buller från ett vindkraftverk eller från flera vindkraftverk i ett vindkraftsområde används i första hand de garantivärden ("declared value" eller "warranted level") som tillverkaren uppgett i enlighet med standarden IEC TS 61400-14 [3] för vindkraftverkens bullerutsläpp (ljudeffektnivån) eller, ifall dessa inte finns tillgängliga, de värden som mätts enligt miljöministeriets mätanvisning [2].

Ljudeffektnivåer (bullerutsläpp) anges per 1/3-oktav på mellanfrekvenserna 20 Hz–10 000 Hz och per oktav på mellanfrekvenserna 31,5 Hz–8 000 Hz. För äldre vindkraftverkstyper, som testats före december 2012, kan man godkänna 50 Hz–10 000 Hz som ett 1/3-oktavbandigt frekvensområde enligt den äldre versionen av standarden [8]. Effekten av lågfrekvent buller i immissionspunkterna måste då undersökas separat, exempelvis genom att man extrapolerar ljudeffektnivåerna vid lägre frekvenser från frekvenskurvan för vindkraftverkets/vindkraftverkens bullerutsläpp. Ljudeffektnivåerna ska finnas tillgängliga för en vindhastighet på 8 m/s som motsvarar 10 meters referenshöjd.

Modelleringen preciseras genom att man beaktar de eventuella särdragen hos bullerutsläppet hos de valda vindkraftverkstyperna, såsom impulsart, smalbandighet/tonalitet och signifikant pulserande (amplitudmodulation). En sanktion kan beaktas i utgångsvärdena för beräkningen ifall man vet att bullerutsläppet från vindkraftverket innehåller något av de ovan nämnda särdragen och man kan bedöma att de här särdragen kan uppfattas med hörseln och enligt anvisningen verifieras i ett område som är utsatt för buller. Impulsarten hos bullerutsläppet bestäms med metoden Nordtest NT ACOU 112 [9] och smalbandigheten/tonaliteten samt det signifikanta pulserandet enligt miljöministeriets mätanvisning [2]. I övriga fall tillämpas inte sanktionen i bullermodelleringen.

I garantivärdet för bullerutsläppet inkluderar man osäkerheten i hela beräkningen, även om man i beräkningen av ljudets fortplantning använder de siffervärden för väder- och miljöförhållandena som baserar sig på metoden Nord2000. I en eventuell verifikation av riktigheten i de modelleringsresultat som görs med mätningar görs inte någon osäkerhetskalkyl.

4.2.2

Immissionspunkternas beräkningshöjd

Beräkningshöjden för immissionspunkterna (målpunkterna för beräkningen) i bullermodelleringen är 2 meter från markytan. I valideringsmätningar ska man som mätthöjd använda 1,5 ... 2 m när man jämför mätresultaten med modelleringsresultaten.

4.2.3

Riktungsverkan hos det ljud som ett vindkraftverk alstrar och geometrisk dämpning

Varje vindkraftverk modelleras som en rundstrålande oriktad punktkälla. Ljudstrålningen modelleras fritt ut i rymden och då är den geometriska dämpningen 6 dB när avståndet fördubblas. Den statistiska informationen om vindens riktning och hastighet kan beaktas i modelleringsmetoden Nord2000, ifall man har tillgång till tillförlitliga källor.

4.2.4

Dämpning som orsakas av atmosfärabsorption

Den dämpning som orsakas av absorptionen i atmosfären modelleras med ett temperaturvärde på 15 °C och värdet på den relativa luftfuktigheten 70 %, med användning av siffervärdena i standarden ISO 9613-1 [5].

4.2.5

Effekten av absorption och reflektion vid mark- eller vattenytan

Absorptionen och reflektionen vid mark- eller vattenytan modelleras på det lämpligare av två alternativa sätt med hjälp av de standardiserade värdena för influensfaktorn (A ...G) enligt metoden Nord2000 [10]:

- Influensfaktorn är G när vindkraftverket befinner sig helt omslutet av vatten (offshore-vindkraftverk).
- Influensfaktorn är A ... D i skogs- och odlingsområden, E ... F på akustiskt hårda reflekterande ytor, såsom klippor, och G i vattenområde, såsom sjöar och träsk. Älvar, åar och bäckar modelleras inte som vattenområden.

4.2.6

Effekten av markytans form

När fundamentet för ett enskilt vindkraftverk i ett vindkraftsområde befinner sig över 60 meter högre än markytan i det område som utsätts för buller (exempelvis kraftverk på bergs- eller fjälltoppar) ska man addera 2 dB till garantivärdet för kraftverkets bullerutsläpp.

Korrigeringsarna av garantivärdet för bullerutsläppet görs när avståndet mellan vindkraftverket och det bullerutsatta området (vindkraftverkets nav-immissionspunkten) är högst tre kilometer (3 km). Siffervärdet som läggs till garantivärdet ska rapporteras. De kraftverk i vindkraftverksområdet vars fundament ligger högst 60 m över markytan i det bullerutsatta området, ska modelleras med användning av garantivärdena som utgångsvärden för bullerutsläppet.

Utöver korrigeringen av garantivärdet för bullerutsläppet från ett enskilt vindkraftverk ska garantivärdena för bullerutsläppet från alla kraftverk i vindkraftverksområdet tas med i beräkningen av bullernivån i ett bullerområde eller en individuell immissionspunkt.

4.2.7

Väderförhållande

Det väderförhållande som ska användas i modelleringen baserar sig på Pasquillklasserna neutral-stabil [6]. Klasserna beror på vindhastigheten, vindens hastighetsprofil, molnigheten och solens ställning i förhållande till horisonten. En stabil atmosfär är vanlig på natten och på hösten, instabil vanligare under dagen och på våren.

Väderförhållandenas inverkan beaktas genom att man i modellen enligt Nord2000 använder värdet 0 för turbulens och temperaturgradient och värdet 0,05 för markytans grovlek.

4.2.8

Vågrät och lodrät upplösning i beräkningen

Som vågrät upplösning i beräkningen används siffervärdet 1,0 m och som lodrät upplösning en höjdupplösning på 0,5 m som baserar sig på laserskanning, ifall det finns laserskannat material. Ifall det inte finns material som baserar sig på laserskanning använder man en så noggrann höjdupplösning som möjligt, men ändå högst 2,5 meter.

4.2.9

Dämpning av ett lågfrekvent ljud

Ett lågfrekvent ljud undersöks separat per 1/3 oktav i frekvensområdet 20–200 Hz med tillämpning av danska miljöministeriets anvisning [7]. Man utgår från standarden ISO 9613-2 [4], där man beaktar ljudets geometriska avståndsdämpning och de standardiserade förstärkningar och dämpningar som orsakas av markytan och av absorption i atmosfären, angivna i följande tabell.

Lågfrekvent buller i ett objekt som utsätts per 1/3 oktavnivå utanför byggnaden uppskattas med ekvationen

$$L_p = L_w - 20 \text{ dB} \cdot \log_{10} (d_1 / 1 \text{ m}) - 11 \text{ dB} + A_{gr} - A_{atm} \cdot d_2$$

där

L_p är ljudets 1/3-oktavnivå i det utsatta objektet [dB]

L_w är ljudeffektnivån i vindkraftverkets 1/3-oktavband [dB]

d_1 är avståndet från vindkraftverkets nav till det utsatta objektet [m]

A_{gr} är en korrigering som den reflekterande ytan ger upphov till [dB]

A_{atm} är atmosfärens dämpning vid temperaturen 15 C° och 70 % relativ fuktighet [dB/km]

d_2 är avståndet från vindkraftverkets nav till det utsatta objektet [km]

Förstärkning av lågfrekvent ljud orsakad av markytan och vattenområdet, och dämpning orsakad av absorption i atmosfären ([7], med anpassning).

Frekvens [Hz]	Markytans förstärkning A_{gr} [dB]	Vattenområdets förstärkning A_{gr} [dB]	Atmosfärens dämpning A_{atm} [dB/km]
20	5.6	6.0	0.0
25	5.4	6.0	0.02
31.5	5.2	5.9	0.03
40	5.0	5.9	0.05
50	4.7	5.8	0.07
63	4.3	5.7	0.11
80	3.7	5.5	0.16
100	3.0	5.2	0.25
125	1.8	4.7	0.38
160	0.0	4.0	0.57
200	0.0	3.0	0.82

För vindkraftverk i vattenområden (offshore) används vattenområdesdämpning ifall beräkningspunkten för bullernivån (immissionen) ligger i omedelbar närhet av stranden. För vindkraftverk vid kusten (onshore) används markytadämpning ifall beräkningspunkten ligger på land minst 200 meter från stranden. I det område som ligger mellan dessa används ett värde som är lineärt interpolerat från dessa två. Metoden används inte i kommersiella beräkningsprogram och kräver därför separat beräkning.

Beräkningsparametrar som ska användas i bullermodellering vid miljötillståndsförfarande.

Storhet ¹⁾	Parameterns siffervärde ²⁾	Grunden för bestämning av parametern
Bullerutsläpp vid vindhastighet 8 m/s och referenshöjd 10 m	Tillverkarens uppgift: 1. Garantivärdet för bullerutsläppet (ljudeffektnivån) 2. Bullerutsläppets tonalitet och smalbandighet 3. Bullerutsläppets impulsart 4. Signifikant pulserande i bullerutsläppet (amplitudmodulering) 5. Bullernivå per 1/3-oktav i frekvensområdet 20–200 Hz	1. IEC 61400–113) [8] och IEC TS 61400–14 [3] 2. IEC 61400–11 [8] 3. NT ACOU 112 [9] 4. Hänvisning [2] 5. DSO 1284 [7]
Riktungsverkan hos ljudet från vindkraftverk, effekten av vindhastighet och -riktning	Vindriktningen och -hastigheten kan beaktas enligt rådande vindförhållanden	Förfarande enligt Nord2000 för att beakta vindriktningen och -hastigheten
Dämpning på grund av absorption i atmosfären	Temperatur: 15 °C Relativ luftfuktighet: 70 %	ISO 9613-1 [5]
Effekten av absorption och reflektion vid mark- eller vattenytan	1. Influensfaktorn är G när vindkraftverket är helt omslutet av vatten (offshore-vindkraftverk) 2. Markytans influensfaktor är A ... F på land och G på vatten ⁴⁾ .	Nord2000 i båda fallen [10]
Inverkan av markytans form	När vindkraftverkets fundament ligger 60 meter högre än markytan i det bullerutsatta objektet lägger man 2 dB till garantivärdet för kraftverkets bullerutsläpp.	Skillnaden mellan modellerings- och mätresultat
Väderförhållande	Neutralt–stabil väderförhållande, meteorologisk korrigering: 0	Nord2000 [10]
Vågrät och lodrät upplösning i beräkningen	Vågrät upplösning: 1,0 m Lodrät upplösning: 0,5 m eller den noggrannaste tillgängliga	En höjdupplösning på 0,5 m som baserar sig på laserskanning ska användas ifall det finns laserskannat material
Dämpning av ett lågfrekvent ljud ⁵⁾	Den geometriska dämpningen är 6 dB när avståndet fördubblas, land- och vattenområdeseffekten enligt DSO 1284 [7]	DSO 1284 [7]

¹⁾ Immissionspunktens (beräkningspunktens) beräkningshöjd är 2 m från markytan.

²⁾ I bullermodelleringen undersöker man bara det alternativ för vilket man söker miljötillstånd.

³⁾ För äldre vindkraftverkstyper, som testats före december 2012, kan man godkänna 50 Hz–10 000 Hz som ett 1/3-oktavbandigt frekvensområde enligt den äldre versionen av standarden.

⁴⁾ Värdet på faktorn väljs efter mark- eller vattenområdet. För skogs- och odlingsområden används värdet A ... D, för akustiskt hårda reflekterande ytor, såsom klippor, används värdet E ... F och för vattenområden, såsom sjöar och träsk, används värdet G. Älvar, åar och bäckar modelleras inte som vattenområden.

⁵⁾ Avvikelsen från den danska anvisningen hos värdena för temperatur och relativ luftfuktighet har beaktats i siffervärdena i den fjärde kolumnen i tabellen Dämpning av lågfrekvent ljud orsakad av markytan och av absorption i atmosfären.

5 Rapportering av modelleringsuppgifter

Uppgifterna om modelleringen ska beskrivas så noggrant som möjligt. I planläggnings- och MKB-förfaranden kan uppgifterna om bullermodelleringen enligt anvisningen vara uppgifter om övre gräns för en typ av anläggning som representerar det största bullerutsläppet. Följande uppgifter ska rapporteras.

UPPGIFTER OM RAPPORTEN OCH OM RAPPORTÖREN		*preciserande uppgifter kan ges på en karta eller i andra bilagor.	
Modelleringsrapportens nummer/identifierare:		Datum för godkännande av rapporten:	
Upphovsman/organisation, kontaktuppgifter			
Ansvariga			
Författare:		Granskad av/godkänd av:	
UPPGIFTER OM MODELLERINGSPROGRAMMET			
Modelleringsprogram och version:		Modelleringsmetod: ISO 9613-2 [5] Nord2000	
UPPGIFTER OM VINDKRAFTVERKET (VINDKRAFTVERKEN)			
Tillverkare:		Typ:	Serienummer:
Nominell effekt:	Navhöjd:	Rotordiameter:	Tornstyp:
Möjligheter att påverka vindkraftverkets bullerutsläpp under drift och åtgärdens inverkan på bullret			
Reglering av bladvinkeln		Rotationshastighet	Annat, vad
Ja	dB	Ja	dB
Nej		Nej	dB

AKUSTISKA UPPGIFTER/UTGÅNGSUPPGIFTER FÖR BERÄKNINGEN							
Uppgifter om bullerutsläpp (garantivärde/genomsnittlig ljudeffektnivå)							
Per oktav [Hz]		Per 1/3 oktav [Hz]					
31,5		20		200		2000	
63		25		250		2500	
125		31,5		315		3150	
250		40		400		4000	
500		50		500		5000	
1000		63		630		6300	
2000		80		800		8000	
4000		100		1000		10000	
8000		125		1250			
		160		1600			
Uppgifter om bullerutsläpp (garantivärde/säkerhetstal)							
Per oktav [Hz]		Per 1/3 oktav [Hz]					
31,5		20		200		2000	
63		25		250		2500	
125		31,5		315		3150	
250		40		400		4000	
500		50		500		5000	
1000		63		630		6300	
2000		80		800		8000	
4000		100		1000		10000	
8000		125		1250			
		160		1600			
Mätning och observation av särdrag i buller:							
Smalbandighet/ Tonalitet		Impulsart		Signifikant pulserande (amplitudmodulering)		Annat, vad:	
ja	nej	ja	nej	ja	nej	ja	nej

AKUSTISKA UPPGIFTER/UTGÅNGSUPPGIFTER FÖR BERÄKNINGEN					
Beräkningshöjd			Beräkningsrutans storlek [m·m]		
4/2 [m]	Annan, vad och varför:				
Relativ fuktighet		Temperatur			
70 %	Annan, vad och varför:		15 C°	Annan, vad och varför:	
Terrängmodellens källa och noggrannhet					
Terrängmodellens källa:		Vågrät upplösning:		Lodrät upplösning:	
Beaktande av absorption och reflektion vid mark- och vattenytan, använda faktorer					
ISO 9613-2/Nord2000		OBS			
Vattenområden, (0)/(G)					
Landområden, (0,4)/(A–D/E–F)					
Landområden, (0)/(G)					
Atmosfärens stabilitet i beräkningen/meteorologisk korrigering					
Neutral, (0):		Annan, vad och varför:			
Beaktande av väderförhållandena; den statistiska vindfördelning som använts i beräkningen (Nord2000)					
Vindriktning [%]		Vindhastighet [m/s]	Vindriktning [%]		Vindhastighet [m/s]
Nordlig			Sydlig		
Nordostlig			Sydvästlig		
Ostlig			Västlig		
Sydostlig			Nordvästlig		
Kraftverksljudets riktungsverkan och dämpning					
Fri rymd		Annan, vad och varför:			
Invånare och objekt som utsätts för buller, antal (utan bullerbekämpning/kraftverksstyrning)					
Invånare:	antal	Fritidsbyggnader	antal	Vård- och läroinrättningar:	antal
Invånare och objekt som utsätts för buller, antal (med beaktande av bullerbekämpning/kraftverksstyrning)					
Invånare:	antal	Fritidsbyggnader	antal	Vård- och läroinrättningar:	antal
Bullerspridning i rekreations- eller naturskyddsområden					
Rekreationsområden: antal			Naturskyddsområden: antal		

Metod för beräkning av lågfrekvent buller:							
A-vägda eller lineära bullernivåer utanför de utsatta objekten (byggnaderna)							
Hz	Objekt 1	Objekt 2	Objekt 3	Objekt 4	Objekt 5	Objekt 6	Objekt 7
20							
25							
31,5							
40							
50							
63							
80							
100							
125							
160							
200							

ÖVRIGA BILAGOR:

- 1) Effektkurva för ett vindkraftverk
- 2) Kartunderlag för ett vindkraftsområde, där platserna för vindkraftverken och de bullerutsatta objekten (byggnaderna) (minst 3 m från vindkraftverken)
- 3) Plankarta över området
- 4) Bullerområden enligt de olika alternativen på kartunderlaget med 5 dB intervaller (planläggnings- och MKB-förfaranden)
- 5) Bullerområden enligt det valda alternativet på kartunderlaget med 5 dB intervaller (byggnads- och miljöutställningsförfaranden)
- 6) A-vägda bullernivåer utanför de bullerutsatta objekten (byggnaderna) i objekt som är mest utsatta för buller

ÖVRIGA YTTERLIGARE UPPGIFTER SOM REKOMMENDERAS:

Uppskattad bullernivå utan vindkraft/Buller orsakat av övriga bullerkällor
 Bullerbekämpningsåtgärder som beaktats i beräkningen
 Uppgifter om bullernivåer på olika höjd, ifall det finns flervåningshus i området

HÄNVISNINGAR

1. Ehdotus tuulivoimamelun mallinnuksen laskentalogiikkaan ja parametrien valintaan. (Förslag till beräkningslogik och val av parametrar för modellering av vindkraftsbuller). Forskningsrapport VTT-R-04565-13.
2. Verifiering av bullerutsläpp från vindkraftverk genom mätning. Miljöförvaltningens anvisningar 3/2014.
3. IEC TS 61400-14. Wind turbines – Part 14: Declaration of apparent sound power level and tonality values. Technical specification, First edition, 2005-03. International Electrotechnical Commission.
4. ISO 9613-2:1996. Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation", International Organization for Standardisation
5. ISO 9613-1:1996. Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere. International Organization for Standardisation.
6. Manning, C., The Propagation of Noise from Petroleum and Petrochemical Complexes to Neighbouring Communities. CONCAWE 4/81, 1981.
7. The Danish Ministry of the Environment. 2011. Statutory Order on Noise from Wind Turbines. Translation of Statutory Order no.1284 of 15 December 2011. 14 s.
8. IEC 61400-11. Wind turbines – Part 11: Acoustic noise measurement techniques. Edition 3.0 2012-11. International Electrotechnical Commission.
9. NT ACOU 211. Acoustics: Prominence of impulsive sounds and for adjustment of L_{Aeq} . Approved 2002-05. Nordtest.
10. DELTA, Nordic Environmental Noise Prediction Methods, Nord 2000 – Summary report, Lyngby, Denmark, 2002.
11. Karjalainen, M. Kommunikaatioakustiikka. Esbo 2009. Aalto-universitetet, Institutionen för signalbehandling och akustik. 255 s.

KUVAILULEHTI

Julkaisija	Ympäristöministeriö Rakennetun ympäristön osasto	Julkaisu-aika	Helmikuu 2014	
Tekijä(t)	Ympäristöministeriö			
Julkaisun nimi	Tuulivoimaloiden melun mallintaminen Modellering av buller från vindkraftverk			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Ympäristöhallinnon ohjeita 2 2014			
Julkaisun teema	Rakennettu ympäristö			
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut				
Tiivistelmä	<p>Tuulivoimaloiden melu poikkeaa muusta ympäristömelusta. Voimaloiden ääni voi sisältää erityispiirteitä, mitkä lisäävät melun häiritsevyyttä. Voimat toimivat vain osan ajastaan nimellistehollaan, jolloin niiden melupäästö on suurin. Tuulivoimalan ääni syntyy korkealla, mikä vaikuttaa äänen vaimenemiseen sen edetessä etäälle voimalasta. Ääni ja äänenvoimakkuus vaihtelevat merkittävästi sääoloista riippuen melulle altistuvassa kohteessa.</p> <p>Ohjeessa esitetään menettelytavat tuulivoimaloiden tuottaman melun mallintamiseksi. Mallinnustuloksista on mahdollista arvioida tuulivoimalan tuottama melutaso tarkastelupisteissä.</p> <p>Ohjeessa annetaan tietoja mallinnumenettelyistä, mallinnuksessa käytettävistä ohjelmista ja parametreista, sekä tulosten esittämistavasta. Mallinnukset voidaan tehdä kaikissa suunnissa tuulivoimalan (tai tuulivoimalar ryhmän) ympärillä. Mallinnus suoritetaan tuulen nopeuden referenssiarvoa vastaavilla melupäästön lähtöarvoilla, mikä tarkoittaa tuulivoimalan nimellistehollaan tuottamaa enimmäismelupäästöä.</p> <p>Ohjeen menettelytavat mahdollistavat äänitekniikan suunnittelun liittämisen tuulivoima-alueiden muuhun suunnitteluprosessiin ja hyväksymismenettelyyn.</p>			
Asiasanat	Melu, tuulivoimat, ympäristömelu, mallintaminen, tuulivoimarakentaminen			
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Ympäristöministeriö			
	978-952-11-4275-8 ISBN (PDF)	1796-1653 ISSN (verkkoj.)		
	Sivuja 53	Kieli Suomi/Ruotsi	Luottamuksellisuus julkinen	
Julkaisun myynti/ jakaja	Julkaisu on saatavana vain internetistä: www.ym.fi/julkaisut			
Julkaisun kustantaja	Ympäristöministeriö			
Painopaikka ja -aika	Helsinki 2014			

PRESENTATIONSBLAD

<i>Utgivare</i>	Miljöministeriet Avdelningen för den byggda miljön	<i>Datum</i> Februari 2014
<i>Författare</i>	Miljöministeriet	
<i>Publikationens titel</i>	Tuulivoimaloiden melun mallintaminen Modellering av buller från vindkraftverk	
<i>Publikationsserie och nummer</i>	Miljöförvaltningens anvisningar 2 2014	
<i>Publikationens tema</i>	Byggd miljö	
<i>Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt</i>		
<i>Sammandrag</i>	<p>Bullret från vindkraftverk avviker från annat omgivningsbuller. Ljudet från vindkraftverken kan innehålla särdrag som ökar bullrets störande verkan. Ett kraftverk arbetar endast under en del av drifttiden vid sin nominella effekt, då bullerutsläppet (emissionen) är som störst. Ljudet från ett vindkraftverk uppstår på hög höjd, vilket påverkar hur ljudet dämpas när det fortplantar sig längre bort från kraftverket. Det ljud och den ljudstyrka som vindkraftverken alstrar varierar betydligt temporalt beroende på väderförhållandena.</p> <p>Anvisningen ger förfarings sätt för modellering av det buller som alstras av vindkraftverk. Av resultaten från modelleringen är det möjligt att bedöma den bullernivå som alstras av ett vindkraftverk vid olika observationspunkter.</p> <p>I anvisningen ges upplysningar om modelleringsförfaranden, om program och parametrar för modellering samt om hur resultaten ska presenteras. Modelleringar kan göras i alla riktningar kring ett vindkraftverk (eller en grupp vindkraftverk). Modelleringen utförs med utgångsvärden för bullerutsläpp som motsvarar referensvärdet för vindhastigheten, vilket betyder det maximala bullerutsläpp som kraftverket alstrar vid sin nominella effekt.</p> <p>Metoderna i anvisningen gör det möjligt att koppla ljudteknisk planering till den övriga planeringsprocessen och godkännandeförfarandet för vindkraftsområden.</p>	
<i>Nyckelord</i>	Buller, vindkraftverk, omgivningsbuller, modellering, vindkraftsutbyggnad	
<i>Finansiär/ uppdragsgivare</i>	Miljöministeriet	
	978-952-11-4275-8 ISBN (PDF)	1796-1653 ISSN (online)
	<i>Sidantal</i> 53	<i>Språk</i> Finska/ Svenska
		<i>Offentlighet</i> Offentlig
<i>Beställningar/ distribution</i>	Publikationen finns tillgänglig endast på internet: www.ym.fi/julkaisut	
<i>Förläggare</i>	Miljöministeriet	
<i>Tryckeri/tryckningsort och -år</i>	Helsingfors 2014	

DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Ministry of the Environment Department of the Built Environment	<i>Date</i> February 2014
<i>Author(s)</i>	Ministry of the Environment	
<i>Title of publication</i>	Tuulivoimaloiden melun mallintaminen (Modelling of wind turbine noise)	
<i>Publication series and number</i>	Environmental Administration Guidelines 2 2014	
<i>Theme of publication</i>	Built environment	
<i>Parts of publication/ other project publications</i>		
<i>Abstract</i>	<p>Noise from wind turbines differs from other environmental noise. The sound from wind turbines may include special characteristics that make the noise more annoying. Wind turbines are operated for only a part of their operational life at the rated power where noise emissions are at the maximum. The noise from wind turbines is produced high up, which will have an effect on the sound attenuation when the sound propagation occurs farther away from the wind turbines. Sound and sound levels fluctuate substantially in areas exposed to noise, depending on weather conditions.</p> <p>The guidelines provide procedures for modelling noise emitted from wind turbines. The modelling results make it possible to assess wind turbine noise levels at observation points.</p> <p>Additionally, the guidelines include information about modelling procedures, modelling programs and parameters, and how the results will be presented. Modelling can be done for each direction around a wind turbine (or a group of wind turbines). Modelling is done by using initial values for noise emissions at a wind-speed reference value, which correspond to the maximum noise emissions of the wind turbine.</p> <p>The procedures in the guidelines make it possible to link acoustic planning to other planning processes and approval procedures for wind turbine farms.</p>	
<i>Keywords</i>	Noise, wind turbines, environmental noise, modelling, construction of wind turbines	
<i>Financier/ commissionere</i>	Ministry of the Environment	
	978-952-11-4275-8 ISBN (PDF)	1796-1653 ISSN (online)
	<i>No. of pages</i> 53	<i>Language</i> Finnish/Swedish
		<i>Restrictions</i> For public use
<i>For sale at/ distributor</i>	The publication is available only on the internet: www.ym.fi/julkaisut	
<i>Financier of publication</i>	Ministry of the Environment	
<i>Printing place and year</i>	Helsinki 2014	

Ohjeessa esitetään menettelytavat tuulivoimaloiden tuottaman melun mallintamiseksi. Mallinnustuloksista on mahdollista arvioida tuulivoimalan tuottama melutaso tarkastelupisteissä. Ohjeessa annetaan tietoja mallinnusmenetelyistä, mallinnuksessa käytettävistä ohjelmista ja parametreista, sekä tulosten esittämistavasta.

Ohjeen menettelytavat mahdollistavat äänitekni- sen suunnittelun liittämisen tuulivoima-alueiden muuhun suunnitteluprosessiin ja hyväksymismenettelyyn. Yksittäisen tuulivoimalan tai tuulivoima-alueen tuulivoimaloiden äänitekni- nen suunnittelu tapahtuu kolmessa tai neljässä tuulivoimahankkeen päävaiheessa.

Mallinnusohjetta voidaan hyödyntää alueidenkäytön ja rakentamisen suunnit- telussa tai ympäristövaikutusten arviointimenettelyssä melun vaikutusten ja melulle mahdollisesti altistuvien arvioinnissa.



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

ISBN 978-952-11-4275-8 (PDF)
ISSN 1796-1653 (verkkokj.)