

Ympäristöministeriö
Kirjaamo

Viitteenne: YM 002:01/2014, 17.11.2014

Koskee: Lausuntopyyntönne ehdotuksesta Valtioneuvoston asetukseksi
tuulivoimaloiden melutason ohjearvoista

Tuulivoimaloiden melun erityispiirteistä ja ajallisesta vaihtelusta

Tuulivoimaloiden melu poikkeaa oleellisesti monien muiden ympäristömelua aiheuttavien laitosten ja laitteiden melusta. Tuulivoimaloiden melun tuotto – äänen voimakkuus ja ominaisuudet – ja äänen etenemisvaimentuminen riippuvat sääoloista. Suurin on ympäristömelua aiheuttavista laitoksista ja laitteista on sellaisia, että niiden melun tuotto ei riipu oleellisessa määrin sääoloista; vain niiden äänen etenemisvaimentuminen riippuu.

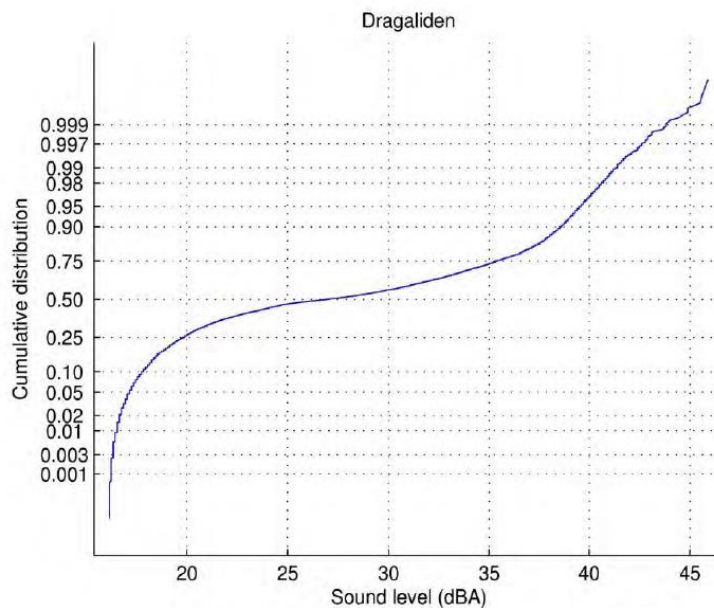
Tuulivoimalat poikkeavat muista laitoksista ja laitteista etenemisvaimentumisen osaltakin siitä syystä, että voimaloiden ääntä säteilevä äänilähdejakauma on paljon korkeammalla maan pinnasta. Siitä syystä, että etenemisvaimentumisen lisäksi tuulivoimaloiden melun tuotto riippuu sääoloista – lähinnä tuulen nopeudesta ja suunnasta sekä tuuliväänteen* voimakkuudesta ja tuulen turbulentsisuudesta – tuulivoimaloiden melu voimakkuus ja ominaisuudet vaihtelevat ajallisesti tuulivoimaloiden ympäristössä olevissa vastaanotopisteissä† paljon enemmän ja tilastollisesti toisella tavalla kuin on tyypillistä laitosten ja laitteiden‡ melulle.

* Tuuliväänteen kuvaava tuulen nopeuden ja suunnan vaihtelua/muutosta maanpinnasta mitatun korkeuden funktiona. Vaikka 10 m korkeudella maan pinnasta mitattu tuulen nopeus ja suunta on tietyn suuruinen, tuuliväänteen vaihtelee suuresti tuulivoimalan siivistön miehittämällä alueella. Tämä vaihtelu on pääsyyntä tuulivoimalan meluntuoton vaihteluun ja myös mm. amplitudimodulaation voimakkuuden vaihteluun riippumatta siitä, mikä on tuulen nopeus ja suunta 10 m korkeudella.

† Mittauspisteet (altistuvat kohteet) ovat yleensä satojen metrien, jopa 1 – 2 km, päässä voimaloista.

‡ Yleensä etäisyydet altistuvista kohteista laitoksiin ja laitteisiin ovat paljon lyhyempiä kuin on tyypillistä tuulivoimalameluja mitattaessa. Etäisyys vaikuttaa äänen etenemisvaimentumisen tilastolliseen vaihteluun.

Tuulivoimaloiden melu poikkeaa muiden laitosten ja laitteiden melusta myös siinä, että samalla kun niiden melun voimakkuus kasvaa tuulen nopeuden kasvaessa kasvaa myös taustamelun (tuulikohina, kasvillisuuden kahina^{*}) voimakkuus (ks. kuva 3). Tuulivoimalamelun erottuvuus ja tunnistettavuus riippuu tuulivoimalan melun voimakkuudesta verrattuna taustamelun voimakkuuteen ja ominaisuuksiin. Tuulivoimaloiden melualueilla asuvien ihmisten valitusten[†] perusteella ainakin suurten tuulivoimaloiden ja voimala-alueiden melu koetaan usein paljon haitallisimmaksi aikoina, joina erottuvuus ja tunnistettavuus on hyvä hiljaisen taustamelun vuoksi, kuin aikoina, joina voimalan melu on voimakasta suurten tuulen nopeuksien vuoksi (ja samalla taustamelukin voimakasta). Tästä syystä pelkkä tuulivoimalan melun voimakkuus (esim. $L_{Aeq,22-07h}$ -taso) ei ole yksikäsitteisesti hyvä ja validi haitallisuuden indikaattori.



Kuva 1: $L_{Aeq,10min}$ äänitason (tuulivoimalamelu + taustamelu) kumulatiivinen pysyvyys vuoden aikana noin 1 km etäisyydellä erään tuulivoimala-alueen (Dragaliden, Ruotsi, 12 tuulivoimalaa) lähimmästä voimalasta.[‡]

Kuvassa 1 on esimerkkinä Ruotsissa tehdyissä pitkäaikaismittauksissa (1 vuosi) todettu ympäristömelun $L_{Aeq,10min}$ -tason kumulatiivinen tilastollinen pysyvyyskäyrä noin 1 km etäisyydellä tuulivoimala-alueesta (Dragaliden, lähin voimala noin 1 km mittauspisteestä), jolla on 12 voimalaa. Vaihtelualue on 21 – 46 dB eli 24 dB. Tässä pysyvyyskäyrässä on mukana aikoja, joina tuulivoimalat seisovat siksi, että tuulen nopeus on liian pieni (napakorkeudella pienempi kuin 3 – 5 m/s) pyörittämään voimalan siivistöä. Kuvasta voidaan todeta esimerkkinä, että melun voimakkuus on ollut 35 dB tai pienempi noin 75 % ajasta ja tätä suurempi noin 25 % ajasta. 25 % vuotuisesta ajasta vastaa 2190 tuntia eli noin 90 vuorokauden aikaa. Koska tuulen nopeus ja suunta (yleensä) vaihtelevat päivän ja yön

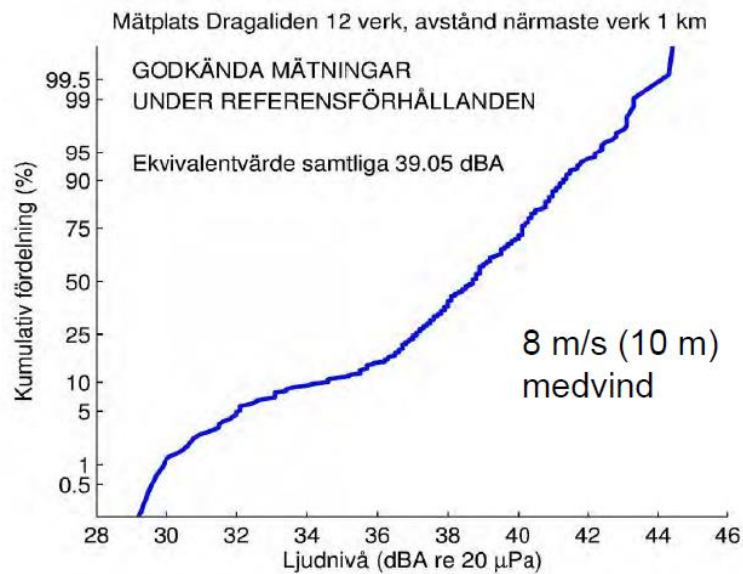
* ks. esim. Kari Pesonen, Hiljaiset alueet, Hiljaisuuteen vaikuttavat tekijät ja hiljaisuuden kriteerit, Suomen ympäristö 738/2004, s. 21 – 24.

† Olen seurannut tuulivoimalamelusta eri maissa tehtyjä, kirjallisuudessa ja netissä julkaistuja valituksia ja valitusten tutkimuksia yli 10 vuoden ajan.

‡ <http://www.austri.no/wp-content/uploads/2013/08/Langtidsm%C3%A5linger-med-m%C3%A5lresultater-fra-vindkraftverk-i-skogsterreng-C.-Larsson-komprimert1.pdf>

aikana, niin myös $L_{Aeq,10min}$ -taso vaihtelee.* Kuvassa 2 on esitetty vastaava pitkän ajan tilastollinen pysyvyys ns. referenssioloissa† eli tilanteessa, jossa ääni etenee 8 m/s myötätuulessa (mittauskorkeus 10 m maasta).

Kuvassa 2 on esitetty, miten $L_{Aeq,10min}$ -taso vaihteli edellä mainitussa mittauspisteessä 8 m/s myötätuulessa, kun tuulen nopeutta mitattiin 10 m korkeudella maasta. Vaihtelun laajuus on vuoden aikana noin 15 dB. Tämän suuruusluokan vaihtelu raportoitiin jo vuonna 2006 hollantilaisessa väitöskirjassa.‡ Kuitenkin, esimerkiksi ympäristöministeriön laskenta- ja mittausohjeessa näytetään oletettavan, että vaihtelu olisi melko pientä, koska on päädytty lyhytaikaisiin mittauksiin, joiden nähtävästi oletetaan edustavan luotettavasti sitä melutasoa, jonka perusteella asukkaat arvioivat melun ja, jota tulisi käyttää kaikkia meluvaikutuksia, mukaan luettuna unihäiriöriskit (lähinnä nukahtamisen vaikeutuminen), arvioitaessa.§



Kuva 2: $L_{Aeq,10min}$ äänitason kumulatiivinen pysyvyys ns. referenssioloissa (8 m/s myötätuuli, mitattuna 10 m korkeudelta maan pinnasta) samassa mittauspisteessä kuin kuvassa 1. Kuvan 1 pysyvyyskäyrän mukaan $L_{Aeq,10min}$ -taso ylitti 29 dB noin 50 % ajasta. $L_{Aeq,10min}$ -tason vaihtelu on noin 29 – 45 dB eli 16 dB.

* Nopeuden ja suunnan vaihtelu voi olla 1 tunnin aikana niin suurta, että etenemisvaimentuminen vaihtelee 1 km matkalla 15 – 30 dB. Lyhytaikaisen mittauksen perusteella ei pystytä arvioimaan luotettavasti $L_{Aeq,07-22h}$ - tai $L_{Aeq,22-07h}$ -tasoa. ks. esim. Kari Pesonen, Hiljaiset alueet, Hiljaisuuteen vaikuttavat tekijät ja hiljaisuuden kriteerit, Suomen ympäristö 738/2004, s. 17.

† 8 m/s myötätuuli 10 m korkeudella maasta on mainittu referenssioloksi mm. ympäristöministeriön mittausohjeessa ”Tuulivoimaloiden melutason mittaaminen altistuvassa kohteessa”. Tällaisen mittauksen tarkoitus ei ole estimoida $L_{Aeq,07-22h}$ - tai $L_{Aeq,22-07h}$ -tasoa vaan lyhytaikaista keskiäänitasoa

‡ G. P. van den Berg, The sound of high winds: the effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise, 210 s. Berg mittasi $L_{Aeq,5min}$ -tason vaihtelua.

§ Esimerkiksi mittausohje ”Tuulivoimaloiden melutason mittaaminen altistuvassa kohteessa”, luku 5.6.1, Menettely A: ”Kunkin erillisen mittauksen suositeltava mittausaika T on 1 minuutti. Erillisiä mittauksia tulee olla vähintään 10 ja kokonaismittausajan tulee olla vähintään 30 minuuttia.”

Ruotsalaisten pitkäaikaismittauksissa* todettiin, että tunnistettavissa olevaan amplitudi-modulaatiota esiintyy 20 – 30 % vuotuisesta ajasta. Amplitudimodulaatiota esiintyy yleisemmin yö-, ilta- ja aamu-aikaan kuin päiväaikaan. Amplitudimodulaation voimakkuus riippuu tuulivänteen jyrkkyydestä ja turbulentsisuuden voimakkuudesta voimalan siivistön miehittämällä alalla. Lisäksi, jos tuulivoimaloita on useita, niiden siivistön pyörimistaajuuteen lukkiutuneen melun ajallisen vaihtelun interferoituminen vaikuttaa vastaanottopisteissä todettavan amplitudimodulaation voimakkuuteen ja ominaisuuksiin.

Lausunnolle lähetetyssä valtioneuvoston asetusehdotuksessa ei ole otettu riittävästi huomioon tuulivoimaloiden melun voimakkuuden vaihtelua pitkän ajan sisällä ja erityisesti ei ole otettu huomioon voimakkuuden suurta vaihtelua ns. referenssioloissa. Tämä virhe näytetään tehdyn jo laadittaessa ympäristöministeriön ohjeita tuulivoimaloiden melun mallintamisesta laskennallisesti[†] ja tuulivoimaloiden melun mittaamisesta altistuvassa kohteessa.[‡]

Asetusehdotuksessa mainitut tuulivoimalamelun indikaattoreista $L_{Aeq,07-22h}$ ja $L_{Aeq,22-07h}$

Lausunnolle lähetetyssä valtioneuvoston asetusehdotuksessa on esitetty indikaattoreiksi $L_{Aeq,07-22h}$ - ja $L_{Aeq,22-07h}$ -tasoja. Ympäristöministeriön julkaisussa ”Tuulivoimaloiden melutason mittaaminen altistuvassa kohteessa” indikaattorina on referenssioloissa (8 m/s myötätuuli 10 m korkeudella) mitattujen lyhytaikaisten L_{Aeq} -tasojen aritmeettinen keskiarvo. Mittausohjeen mukaan mittauksia, kukin kestoltaan 1 minuutti, tulee olla vähintään 10 ja mittausten yhteiskeston tulee olla vähintään 30 minuuttia. Esitetyt kolme mittausmenetelyä poikkeavat hieman toistaan. Menettelyissä A, B ja C kolme mainituista suositelluista 1 minuutin mittauksista tulee tehdä oloissa., joissa **hetkellinen/lyhytaikainen** tuulen nopeus on 6 – 8 m/s ja kolme oloissa, joissa 8 – 10 m/s 10 m korkeudella maasta. Mittausohjeet näyttävät olevan kopioitu Ruotsin energiaviraston raportista 98:24, joka julkaistiin vuonna 1998 eli 16 vuotta sitten![§]

Mittausohjeissa ei ole kerrottu, mille ajalle keskiarvostettua edellä mainitut tuulen nopeutta (ja suuntaa) koskevat lukuarvot koskevat. Säähavaintoja mitattaessa tuulen nopeus ja suunta ilmoitetaan yleensä 2 tai 10 minuutin liukuvana keskiarvona. Nämä valinnaiset aikavakiot (liukuvan keskiarvon laskenta) on monissa etäluettavissa tuulimittareissa ”sisäänrakennettuna” lähtösignaaleita laskettaessa.** Joissakin mittareissa voidaan ilmoittaa liukuvan nopeuden keskiarvon lisäksi tietyn ajan, esimerkiksi 10 min, sisällä todettujen tuulipuuskien suurin voimakkuus (noin) 1 sekunnin aikavakiota käyttäen. Mitä lyhempi nopeuden ja suunnan keskiarvostusaika on, sitä suurempi on niiden tilastollinen vaihtelu. Sama koskee myös tuulivoimaloiden melua. Esimerkiksi L_{AF} -painotettu taso vaihtelee enemmän kuin $L_{Aeq,1min}$ -taso, joka puolestaan vaihtelee enemmän kuin $L_{Aeq,10min}$ -taso yhden päivän tai yön aikana. Mitä lyhempiä aikapainotusta tuulivoimalamelun

* Dragaliden ja Ryningsnäs.

† https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/42937/OH_2_2014.pdf?sequence=1

‡ https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/42939/OH_4_2014.pdf?sequence=1

§ http://www.elforsk.se/Rapporter/?download=report&rid=98_24

** Esim. ultraäänianemometreissä liukuva keskiarvostus tehdään laskennallisesti. Itse laitteen aikavakio on paljon lyhempi kuin esimerkiksi kuppi- ja potkurianemometreillä. On syytä huomata myös se, että pitkillä (satoja metrejä tai pitempi) etenemismatkoilla tuulen nopeus, suunta ja turbulentsisuus vaihtelevat äänen etenemistiellä. Tuulivoimalan konehuoneen katolla tai vastaanottopisteen läheisyydessä 10 m korkeudella mitattu lyhytaikainen arvo ei kuvaa kovinkaan hyvin niitä vaihtelevia tuulioloja, jotka vallitsivat mittauksen aikana äänen etenemistiellä ja vaikuttivat äänen etenemisvaimentumiseen ja tuulivoimalan melun tuottoon.

mittauksessa käytetään, sitä epävarmemmin se, tai 10 tällaisen näytteen aritmeettinen, keskiarvo estimoiki koko päivän tai yön keskiäänitasoa.

Jos tuulivoimalamelun ohjearvot halutaan antaa $L_{Aeq,07-22h}$ - ja $L_{Aeq,22-07h}$ -tasoina, mittausohjeet on syytä uusia, jotta eri mittajien ja eri aikoina ja eri paikoissa tehtyjen mittausten mittaustulokset vastaisivat paremmalla luotettavuudella edes sen päivän tai yön keskiäänitasoa, jona mittaus tehtiin. Jo tässä yhteydessä totean, että $L_{Aeq,07-22h}$ - ja $L_{Aeq,22-07h}$ -tasoina annetut ohjearvot saattavat olla riittävän valideja monien kroonisten meluvaikutusten indikaattoreina, mutta eivät akuuttien vaikutusten, kuten unihäiriöiden.

Jos tuulivoimalamelun ohjearvot halutaan antaa $L_{Aeq,07-22h}$ - ja $L_{Aeq,22-07h}$ -tasoina, niin myös tuulivoimalamelun laskentaohjeet on syytä uusia. Ohjeita tarvitaan etenkin siitä, miten arvioidaan sen päivän ja yön tuuliolot (nopeuden ja suunnan tilastollinen jakautuminen), jonka aikainen keskiäänitaso tulee arvioida. Tiedetään myös, että laskentamallit ja laskennalliset menetelmät yleensä aliarvioivat tuuliväenteen ja tuulen turbulenttisuuden tilastollisen vaikutuksen tuulivoimaloiden melun tuottoon.

Ohjearvoista ja eri maiden ohjearvojen vertailukelpoisuudesta

Lausunnonle lähetetyssä valtioneuvoston asetusehdotuksessa on perusteluosassa esitetty nähtävästi vertailukohteina ja esimerkkeinä tietoja kolmen maan tuulivoimalamelun melutason säätelystä. Esityksessä ei kerrota sitä, että eri maiden ohjearvojen lukuarvot eivät ole keskenään vertailukelpoisia. Myös ohjearvojen juridinen sitovuus ja ohjausvoima voivat olla erilaisia eri maissa. Ohjearvosuure ja melun mittaustapakin voi olla eri maissa erilainen. Kaikki edelliset tekijät pitäisi ottaa huomioon verrattaessa eri maiden meluohjearvoja. Lisäksi on syytä ottaa huomioon se, että yhdenkään näiden kolmen maan ympäristömelua koskevissa säädöksissä ei mainita viihtyisyyttä ympäristön laadun kriteerinä/mittana.

Ruotsin tuulivoimalamelun ohjearvot

Naturvårdsverketin laskenta- ja mittausohjeiden* mukaan asuntojen ulkomelun, 40 dB, ja hiljaisten alueiden ohjearvo 35 dB, tarkoittavat Naturvårdsverketin ohjeiden† mukaan keskiäänitasoa oloissa, joissa ääni etenee myötätuulessa (8 m/s, 10 m korkeudella maan pinnasta). Ympäristöylioikeuden tuomio M 12035-13‡ voidaan ymmärtää siten, että koarvot pätevät myös muissakin tuulioloissa. Vaikka hiljaisten alueiden ohjearvoa 35 dB on sovellettu yleensä vain erityisalueille, kuten luonnonsuojelualueille, niin hiljaisilla alueilla (esim. kaavoissa osoitetut hiljaiset alueet) olevat asunnot nauttivat samaa tuulivoimalamelun ”hiljaisuutta” edellyttävää ohjearvoa kuin niiden ympärillä oleva luontokin.§ Kapeakaistaisia komponentteja sisältävän tuulivoimalamelun ohjearvot ovat 5 dB alhaisempia.

Meluvaikutusten pääkriteerinä on melun kiusallisuus. Ohjearvoihin näytetään päädytyn sillä perusteella, että tuulivoimalamelun suuresti kiusalliseksi kokevien esiintyvyys on

* <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Buller/Buller-fran-vindkraft/buller-vindkraft-riktvarden/>

† <http://www.naturvardsverket.se/Nerladdningssida/?fileType=pdf&downloadUrl=/upload/stod-i-miljoarbetet/vagledning/buller/buller-vindkraft/matning-berakning-vindkraftljud-20130610.pdf>

‡ Tuomiossa M 12035-13 todetaan: ”att buller från vindkraftverken inte under någon del av dygnet får överskrida ekvivalent ljudnivå 35 dB (A) inom det området”.

§ <http://www.vindlov.se/sv/Test/Buller/>

(enintään?) 6 % ja kiusalliseksi kokevien 10 %.* Huomattakoon, että Suomen säädökset eivät tunne kiusallisuutta eikä häiritsevyyttä meluvaikutusten kriteerinä. Kiusallisuutta (eriateisen kiusallisuuden esiintyvyyttä) voidaan pitää terveyshaitan ja viihtyisyyden indikaattorina kuten melutasoakin. Tätä tarkoittaa sitä, että mitä suurempi eriateisen kiusallisuuden esiintyvyys on, sitä todennäköisempää terveyshaittojen[†] esiintyminen ja sitä todennäköisempää viihtyisyyden huonontuminen on. Ruotsissa on esitetty vaatimuksia alentaa asuntojen ulkomelun yleistä ohjearvoa $L_{Aeq} \leq 40$ dB.

Perusteluosassa viitataan Ruotsin sosiaalihuollituksen pienitaajuuden sisämelun ohjearvoon, 30 dB(A). Tällaista arvoa ei tietojen mukaan ole esitetty. Suuri osa sosiaalihuollituksen ympäristöterveyden ohjaus- ja valvontatehtävistä siirtyi 1.1.2014 Kansanterveysvirastolle (Folkhälsomyndigheten). Ruotsin kansanterveysviraston pienitaajuuden melun ohjearvot[‡] on annettu terssikaistoittain taajuuksille 31,5 – 200 Hz. Lukuarvot ovat tällä taajuusalueella 1 dB tarkkuudella samat kuin STM:n asumisterveysohjeen pienitaajuuden melun ohjearvot. STM:llä on lisäksi arvot 20 ja 25 Hz terssikaistoille.

Suurimassa osassa ympäristölupia melua koskevat määräykset on annettu ”som riktsvärde” eli ohjeellisena arvona. Vasta viime vuosina ympäristöylioikeus (miljööverdomstolen) on muuttanut joidenkin laitosten lupamääräyksiä siten, että melua koskevat arvot on määriteltävä raja-arvoiksi (gränsvärde) eli arvoiksi, joita ei saa ylittää lainkaan rikkomatta lupaehtoja. Ruotsin ympäristölupakäytäntö on perustunut itsevalvontaan eli toiminnanharjoittajan tehtävänä on ollut valvoa itse, että toiminta on lupaehtojen mukaista ja, jos ei ole, niin toiminnanharjoittaja tehtävänä on omatoimisesti korjata toiminta lupaehtojen mukaiseksi ja mm. tästä syystä on esitetty vaatimuksia lisätä ulkopuolista ja viranomaisvalvontaa.

Tanskan tuulivoimalamelun ohjearvot

Lausunnonlehteydessä asetuksen perustelulukuosiossa mainitaan, että Tanskassa melulle herkissä kohteissa tuulivoimalamelun raja-arvo on 37 dB ja rakennusten sisätiloissa 20 dB. Sisämelun 20 dB arvo koskee A-taajuuspainotettua tasoa mitattuna terssikaistoilla 10 – 160 Hz eli kyseessä on pienitaajuuden melun ohjearvo. Kumpikaan ei ole koko päivän tai yön keskiäänitaso, vaan (laskettu) L_{Aeq} -taso referenssiluissa. Ulkomelun ohje-arvo on meluherkillä alueilla 37 dB arvioituna (laskettuna kansallisen melumallin mukaan) 6 m/s myötätuulella ja 39 dB 8 m/s myötätuulella ko. alueen kohdissa, joissa taso on korkein. Tuulen nopeus mitataan 10 m korkeudella maan pinnasta. Vastaavat arvot maaseudulla ovat 42 ja 44 dB laskettuna korkeintaan 15 m etäisyydellä asuinrakennuksista. Tanskassa ei vaadita ohje/raja-arvojen toteutumisen tarkistuksia mittauksin.

Tuulivoimaloita saa sijoittaa vain alueille, jotka on osoitettu kunnan alueen yksityiskohteisissa kaavassa.

* Julkaisussa ”Ympäristömelun vaikutuksista sekä vaikutusten arvioinnista ja hallinnasta” [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/135967/YMra_4_2014.pdf?sequence=1] on esitetty sivuilla 83 – 86 tuulivoimalamelun eriateisen kiusallisuuden väestövasteita. Huomattakoon, että vasteet on esitetty $L_{DEN, vuosi}$ -tason funktiona. Tutkija oletti, että $L_{DEN, vuosi}$ -tason on noin 5 dB alhaisempi kuin L_{Aeq} -taso referenssiluissa: 8 m/s myötätuuli 10 m korkeudella maasta. Vaaka-akselin lukuarvoihin on lisättävä 5 dB, jos halutaan lukuarvon vastaavan (approksimoidun) melutasoa referenssituulessa.

† Huomattakoon, että WHO:n kanta on, että kiusallisuus (melun kokemien kiusalliseksi/häiritseväksi) on terveyshaitta samalla tavoin kuin esimerkiksi melun aiheuttamat unihäiriöt.

‡ <http://www.folkhalsomyndigheten.se/pagefiles/12932/buller-hoga-ljudnivaer-inomhus.pdf>

Saksan tuulivoimalamelun ohjearvot

Tuulivoimaloille sovellettavat Saksan ohjearvot* (samat kuin teollisuudelle) on määritelty $L_{Aeq,06-22h}$ - ja $L_{Aeq,22-06h}$ -tasoina. Mittaustuloksiin tehdään kapeakaistaisuus- ja impulssimaisuuskorjaus. Ohjeissa mainitaan myös informaatioisällön perusteella tehtävä korjaus. Tuulivoimalamelun arviointia selvittävä työryhmä on valmistelemaan ohjeita amplitudimodulaation mittaamisesta ja mittaustulosten korjauksista. Tuulivoimaloiden melu mitataan nykyään äänen edetessä 10 m/s myötätuulessa (mittauskorkeus 10 m maan pinnasta). Aikaisemmin nopeus oli 8 m/s.

Koska tuulen nopeus vaihtelee päivän ja yön aikana, referenssioloissa (10 m/s, 10 m korkeus) mitattu L_{Aeq} -taso saattaa poiketa suurestikin ko. mittauspäivän todellisesta $L_{Aeq,06-22h}$ - ja $L_{Aeq,22-06h}$ -tasosta.

Saksan meluohjearvojen soveltamistapa poikkeaa jossain määrin Suomessa sovellettavasta. Esimerkiksi teollisuusalueiden rajat esitetään kartoissa. Teollisuuslaitosten meluohjearvot pätevät näillä rajoilla.

Elinympäristön viihtyisyys tuulivoimalamelun ohjearvojen kriteerinä

Ympäristösuojelulaissa 527/2014 mainitaan 2 § toisessa kohdassa lain tarkoituksiksi turvata terveellinen ja viihtyisä sekä luonnontaloudellisesti kestävä ja monimuotoinen ympäristö, tukea kestävää kehitystä sekä torjua ilmastonmuutosta”. Viihtyisyys mainitaan myös maakäyttö- ja rakennuslaissa ympäristön laadun kriteeriksi. Laatiessani selvitystä ”Ympäristömelun vaikutuksista sekä vaikutusten arvioinnista ja hallinnasta, Ympäristöministeriön raportteja 4/2014”† tein laajan haun eri maiden ympäristösuojelusäädösten ympäristön laadun kriteereistä. Viihtyisyys (engl. amenity) mainitaan ympäristömelun laadun kriteeriksi vain hyvin harvan maan säädöksissä. Suomen lisäksi voidaan mainita Uusi Seelanti ja jotkut Australian osavaltiot.

Australiassa, Länsi-Australian ja Uuden Etelä-Walesin osavaltioissa, tuulivoimalamelun ohjearvona $L_{Aeq,10min}$ -taso‡ (kapeakaistaisuus-, pienitaajuisuus- ja amplitudimodulaatio-korjaukset mukaan lukien) on maaseudulla (so. taajamien ulkopuolella) korkeintaan 35 dB tai taustamelun 90 % pysyvyysarvo§ $L_{A,90\%} + 5$ dB** (sen mukaan, kumpi sallii suuremman arvon). Taajamissa ja teollisuusalueilla ohjearvona on 40 dB tai taustamelun 90 % pysyvyysarvo + 5 dB. Julkaisujen mukaan taajamien ulkopuolella 35 dB on käytännössä yleisempi rajoittava tekijä kuin taustamelun $L_{A,90\%,10min} + 5$ dB. Suurilta tuulivoimala-alueilta saatetaan edellyttää jopa noin 2 km suojaetäisyyttä asuntoihin.

* Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm – yleiset teollisuusmelun ohjearvot <https://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/talaerm.pdf>

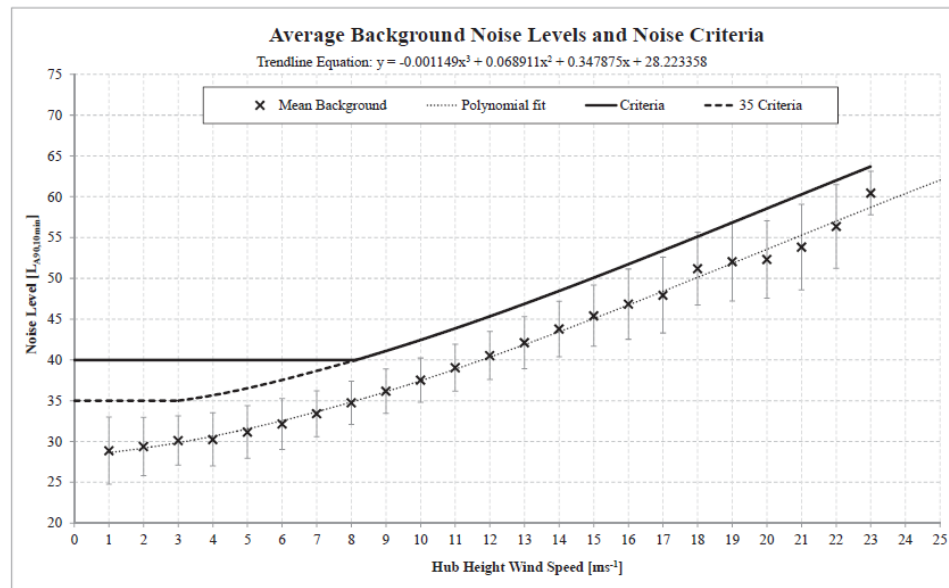
† https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/135967/YMra_4_2014.pdf?sequence=1 ks. sivu 15 alaviite, s. 29.

‡ AS4959-2010 Acoustics – Measurement, prediction and assessment of noise from wind turbine generators.

§ arvo, joka ylittyy 90 % ajasta ja alittuu 10 % ajasta. Taustamelua ja tuulivoimalamelua mitataan yleensä vähintään noin kaksi viikkoa yhtäjaksoisesti tuulennopeusalueella 0 – 20...23 m/s.

** Lähtökohtana tälle $L_{A,90\%} + 5$ B kriteerille on ollut se, että tämä arvo riittää peittämään eli maskeeraamaan tuulivoimalamelua niin paljon, että tuulivoimala melu ei erotu taustamelusta niin voimakkaana tai selvästi, että melu koettaisiin haitalliseksi. Tutkijat ovat kritisoineet 5 dB arvoa liian suureksi eli peittovaikutus ei ole tätä arvoa käytettäessä riittävän hyvä.

Vastaava ohjearvo [$\max(35 \text{ dB}^*, L_{A,90\%} + 5 \text{ dB})$] on esitetty myös Uuden Seelannin uudessa, vuonna 2011 julkaistussa tuulivoimaloiden melun standardiehdotuksessa (NZS6808:2010).^{†,‡}



Kuva 3: Periaatteellinen esimerkki australialaisesta analyysistä koskien ohjearvojen vaikutusalueita voimaloiden napakorkeudella vallitsevan tuulen nopeuden funktiona. Alin käyrä kuvaa taustamelun ($L_{A,90\%,10min}$ -taso) voimakkuutta, katkoviiva tapausta, jossa ohjearvona on $L_{Aeq,10min} \leq \max(35 \text{ dB}, \text{taustamelu} + 5 \text{ dB})$ ja ehjä viiva tapausta, jossa ohjearvona on $L_{Aeq,10min} \leq \max(40 \text{ dB}, \text{taustamelu} + 5 \text{ dB})$.[§] Taustamelukäyrän pystyviivat kuvaavat tyypillistä taustamelun voimakkuuden vaihtelua (keskiarvo \pm keskihajonta). Pystyakselilla on esitetty $L_{A,90\%,10min}$ -pystyvyytaso. Kuvasta huomataan, että $L_{Aeq,10min}$ -tason ja taustamelun tason ero kasvaa alhaisilla tuulen nopeuksilla ja, että sallittu ero on maaseudulla (so. taajamien ulkopuolella) pienempi kuin taajamissa.

Kuvassa 3 on esitetty eräs Australialainen karkea arvio ohjearvojen pätevyysalueista (milloin mikin vaihtoehto on merkittävin/rajoittavin) tuulen nopeuden funktiona. Huomataan, että yli 8 m/s tuulen nopeudella taustamelu + 5 dB rajoittaa melun voimakkuuden. 40 dB ja 35 dB rajoittaa melun hiljaisen taustamelun aikana eli oloissa, joissa voimalat vielä pyöriävät ja tuottavat melua, mutta maan pinnalla tuulen nopeus on hyvin pieni. Voimaloiden melu on kuitenkin kuulohavainnoin erotettavissa. Etäisyys ja tuulen nopeus, jolla taustamelu + 5 dB alittaa 40 dB tai 35 dB riippuu tapauksesta.

Edellä mainitussa Uuden Seelannin tuulivoimalamelun standardiehdotuksessa todetaan ohjearvon, $L_{Aeq,10min} \leq \max(35 \text{ dB}, \text{taustamelun } L_{A90\%} + 5 \text{ dB})$, perusteeksi: ”to ensure that the amenity of an area is not compromised” eli ohjearvon perusteena on se, että (säädöksissä mainittua elinympäristön) viihtyisyyttä ei vaaranneta.

* $L_{Aeq,10min}$, kapeakaistaisuus-, pienitaajuuksisuus- ja amplitudimodulaatiokorjaukset mukaan lukien.

†

[http://www.planning.nsw.gov.au/Portals/0/PolicyAndLegislation/NSW Wind Farm Guidelines Web Dec2011.pdf](http://www.planning.nsw.gov.au/Portals/0/PolicyAndLegislation/NSW_Wind_Farm_Guidelines_Web_Dec2011.pdf)

‡ <http://www.planning.nsw.gov.au/en-us/policyandlegislation/renewableenergy.aspx>

§ Arvo $L_{Aeq,10min} \leq 40 \text{ dB}$ on voimassa taajamissa ja teollisuusalueilla, arvo 35 dB taajamien ulkopuolella (rural areas).

Viihtyisyys on käsitykseni mukaan epäspesifisempi meluvaikutus kuin esimerkiksi kiusallisuus ja häiritsevyys, mutta myös herkempi.* Tämä tarkoittaa sitä, että asukkaiden arvioima elinympäristön viihtyisyys alkaa huonontua alaisemmissa melutasoissa kuin kiusallisuuden ja häiritsevyyden voimakkuus alkaa kasvaa. Valitettavasti elinympäristön viihtyisyyden tai epäviihtyisyyden mittaamiseen ei ole olemassa tiedeyhteisön yleisesti hyväksymää menetelmää, kuten on esimerkiksi kiusallisuuden mittaamiseen. Tästä syystä kirjallisuudesta ei löydy viihtyisyyden tai epäviihtyisyyden väestövasteita.

Koska Suomen lainsäädännössä (YSL ja MRL) elinympäristön laadun kriteerinä on viihtyisyys, pidän perusteltuna sitä, että tuulivoimalamelujen ohjearvoja valmisteltaessa ja perusteltaessa viihtyisyys otetaan huomioon korostetummin kuin on tehty.

Käsitykseni on, että hyvä elin- ja asuinympäristön viihtyisyys edellyttää taustamelultaan hiljaisilla alueilla (esim. tyypilliset suomalaiset alueet, joilla on vapaa-ajan asuntoja) alhaisempia tuulivoimalamelun ohjearvoja, kuin esitetyt $L_{Aeq,07-22h} \leq 45$ dB ja $L_{Aeq,22-07h} \leq 40$ dB.

Hiljaisilla alueilla olevien vapaa-ajan asuinrakennusten ulkokuoren ääneneristävyyden huomioon ottaminen tuulivoimaloiden ulkomelun ohjearvoissa

Tiedetään, että yksi yleisimmistä eri maissa tuulivoimaloiden melusta tehdyissä valituksissa mainituista vaikutuksista on melun aiheuttamat yöaikaiset unihäiriöt. Kyse on yleensä nukahtamisen vaikeutuminen nukkumaan mentäessä tai yritettäessä nukahtaa yöllä muusta syystä tapahtuneen heräämisen jälkeen. Nykyinen käsitys on, että nukahtaminen voi vaikeutua, jos/kun tuulivoimalan melu on kuulohavainnoin erotettavissa ja tunnistettavissa tuulivoimalan aiheuttamaksi. Kuulohavainnoin erotettavissa oleva amplitudimodulaatio näyttää olevan seikka, joka lisää unihäiriöriskiä (vaikeuttaa nukahtamista).

Yleinen käsitys on, että suurin osa Suomen noin 500 000 vapaa-ajan asunnosta on ihmisen toiminnan (liikenne, teollisuus) aiheuttaman taustamelun osalta hiljaisilla alueilla. Pääasiällisin taustamelun lähde on tuulikohina, kasvillisuuden kahina ja lähellä suurten vesistöjen rantoja aaltojen loiskunta. Kuten jo edellä on todettu, tunnettu asia on, että suuret (korkeat) voimalat saattavat pyöriä ja aiheuttaa etenkin yöaikana melua oloissa, joissa maan pinnalla on työntä tai lähes työntä. Taustamelu on tästä syystä hyvin hiljaista. Olen itse mitannut Puulaveden rannalla elokuussa yöaikaan alle 20 dB(A) olevia ulkomelun taustamelutasoja. Tällaisissa oloissa 20 – 30 dB(A) tasoinen tuulivoimalan ääni on kuulohavainnoin erotettavissa ja tunnistettavissa, varsinkin jos siinä on tunnistusta helpottavia piirteitä (kuten amplitudimodulaatio, kapeakaistaisuus, impulssimaisuus).

Ulkoa sisään kuuluvan tuulivoimalamelun voimakkuus, erotettavuus ja tunnistettavuus riippuvat rakennuksen ulkokuoren tuottamasta äänen vaimentumisesta. Tiedetään, että suuri osa Suomen vapaa-ajan asunnoista on tarkoitettu ja rakennettu kesäaikaiseen käyttöön, mistä syystä rakennuksen ulkokuoren lämmön- ja äänen eristävyys on paljon huonompi kuin on tyypillistä ympärivuotiseen käyttöön rakennetuissa asuinrakennuksissa.

* käsitteiden kiusallisuus (engl. annoyance) ja häiritsevyys (engl. disturbance) merkitystä ja eroa on selvitetty esimerkiksi julkaisuissa ”Ympäristömelun vaikutuksista sekä vaikutusten arvioinnista ja hallinnasta”

[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/135967/YMra_4_2014.pdf?sequence=1]

sivuilla 28 – 31 ja julkaisuissa ”Ympäristömelun haittojen arvioinnin perusteita”

[http://www.stm.fi/c/document_library/get_file?folderId=28707&name=DLE-3654.pdf]

sivuilla 53 – 77.

Tiedossani ei ole Suomessa vapaa-ajan asuntojen ulkokuoren ääneneristävyyssmittauksia. Ääneneristävyys on yleensä huono matalilla äänillä. Tuulivoimaloiden ulkoa sisään kuuluvalle melulle sovelletaan unihäiriöriskejä tutkittaessa sisämelujen $L_{Aeq,22-07h}$ -tason lisäksi STM asumisterveysohjeen pienitaajuisen melun ohjearvoja. Lainsäätö (TSL) lähtee siitä, että vaikka ohjearvoa ei ylitetäisikään, mutta on riittävää näyttöä siitä, että melu aiheuttaa terveyshaittaa kuten unihäiriöitä, terveysvalvonta voi vaatia haitan poistamista vähentämällä melua. Käytännössä tämä saataisi tarkoittaa sitä, että vaaditaan pysäyttämään tuulivoimala/voimalat yön ajaksi, ellei löydetä muuta keinoa.

Kuvassa 4 on tietoja Tanskassa ympärivuotisessa käytössä olevien pientalojen ääneneristävyydestä matalilla äänillä. Eristävyys on mitattu ulko- ja sisämelun erotuksena eri terssi-kaistoilla. Ensimmäisessä sarakkeessa on rakennusten nimet paikkakunnan mukaan.

	Frequency [Hz]	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
Location																
Værløse	Living room	* -3.7	* -1.9	0.0	14.1	14.5	7.5	0.3	2.6	3.6	15.9	18.3	14.5	17.2	14.7	14.5
Værløse	Small-sized room	* 11.1	* 4.5	12.8	4.5	11.4	10.7	12.2	6.8	9.1	15.8	17.6	10.4	14.5	8.0	15.0
Vejby	Living room		* 7.9	9.2	10.3	10.8	6.6	6.5	3.3	11.0	18.5	16.8	21.3	13.9	16.3	18.1
Vejby	Small-sized room		* 14.8	13.1	9.0	14.9	6.1	3.1	-1.2	6.8	15.9	18.1	19.6	12.6	12.5	19.0
Tulstrup	Living room	* -1.0	* 12.0	* 6.1	6.3	-0.5	-1.4	12.9	14.7	13.5	12.6	15.6	22.4	17.0	20.9	21.6
Tulstrup	Small-sized room	* 16.5	* 15.3	* 14.1	9.2	11.2	13.9	17.0	16.8	13.9	16.6	15.5	18.2	17.7	18.5	15.4
Slangerup	Living room	* 8.5	* 7.5	7.4	1.0	8.7	12.9	10.9	7.0	11.3	12.1	13.2	13.8	9.1	7.8	4.9
Slangerup	Small-sized room	9.0	* 5.3	3.4	1.6	7.8	14.3	16.0	17.5	11.0	10.1	15.4	18.5	20.1	16.4	14.7
Helsingø	Living room	* 0.3	* 1.7	0.4	4.4	10.6	4.5	11.1	13.7	8.2	13.7	11.9	12.2	13.3	12.8	12.2
Helsingø	Small-sized room	-1.7	3.3	13.7	22.7	25.3	24.0	28.2	16.1	17.1	15.3	13.9	17.3	14.1	16.9	15.5

Table 1
Measurement results for five living rooms and five small-sized rooms. Outdoor/indoor level differences in dB per one-third octave measured with the specified method.
* Indoor SNR between 1.3 dB and 6 dB, correction limited to 1.3 dB.

Kuva 4: Tanskassa v. 2008 mitattuina rakennusten ulkokuoren ääneneristävyyksiä. Kyseessä on ulko- ja sisämelun terssipainetasojen erotus.

Kuvassa 5 on näiden 10 rakennuksen/huoneen eristävyyskeskiarvot eri terssi-kaistoilla.

Tabell 4-1 Medelvärde av ljudtrycksnivåskillnaden utomhus/inomhus. Resultaten avser mätningar utförda i 10 st olika rum [45].

Frekvens [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
ΔL [dB]	16,7	15,5	19,1	13,3	12,0	15,2	16,1	18,3	15,9	16,1	16,7

Kuva 5: Tanskassa v. 2008 mitattujen 10 rakennuksen/huoneen ulkokuoren ääneneristävyyksien keskiarvo erikaistoilla.

Taulukossa 1 in esitetty kuvan 4 taulukon eri mittauskohteiden pienimmät eristävyysarvot. Negatiivinen eristävyys tarkoittaa sitä, että sisällä on ollut suurempi taso kuin ulkona.

7

Taulukko 1: Kuvan 4 taulukossa esitettyjen rakennusten/huoneiden eristävyysarvojen minimiarvot eri taajuuksikaistoilla.

Kaista/Hz	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
ΔL /dB	-3,7	-1,9	0,0	1,0	-0,5	-1,4	0,3	-1,2	3,6	10,1	11,9	10,4	9,1	7,8	4,9

Käsitykseni on, että monien Suomen vapaa-ajan asuntojen ulkokuoren ääneneristävyys (ikkunoiden ollessa kiinni) on korkeintaan samaa luokkaa kuin eristävyydeltään huonojen tanskalaistalojen. Erityisesti on syytä kiinnittää huomiota taulukossa 1 talojen huonoon eristävyyteen 125 – 200 Hz kaistoilla. Huonon eristävyyden syynä saattaa olla se, että tuulivoimalamelu herättää resonoivasti rakenteiden ja/tai huonetilojen ominaisvärähtelymuotoja. Vastaava on mahdollista myös suomalaisissa rakennuksissa.

Käsitykseni on, että STM:n pienitaajuisen melun ohjearvo tulee ylittymään monissa vapaa-ajan asunnoissa oloissa, joissa tuulivoimalan melu ei ylitä ehdotettua ulkomelun ohjearvoa $L_{Aeq,22-07h} \leq 40$ dB, mutta on lähellä tätä. Tästä syystä ja, koska käytettävissä ei ole (riittävän laajoja) mittaustuloksia suomalaisten vapaa-ajan asuntojen ulkokuoren ääneneristävyydestä, katson että yöajan ulkomelun ohjearvon tulisi olla alhaisempi, enintään 35 dB.

Edellä esittämäni kannanotto riippuu kuitenkin siitä, miten amplitudimodulaatio tullaan ottamaan huomioon ja, mikä on amplitudimodulaation vuoksi tehtävä mittaustuloksen korjaus. Amplitudimodulaation vuoksi tehtävän korjauksen suuruus liittyy oleellisesti myös siihen, millaisia korjauksia tehdään kapeakaistaisuuden ja impulssimaisuuden vuoksi (yhteisvaikutus).

Katson aiheelliseksi kertoa myös sen, että en pidän ympäristöministeriön mittausohjeessa* mainittua impulssimaisuuden määrittystapaa (NT ACOU 112-2002) validina menetelmänä tuulivoimalamelulle. Menetelmää ei ole testattu niin hiljaisilla äänillä kuin mitä esitetyt tuulivoimalamelun ohjearvot edellyttävät. Testit tyypillisillä sisä-äänitasoilla puuttuvat kokonaan. Testiääninä ei ole ollut sellaisia tuulivoimalameluja, joiden mahdollista impulssimaisuutta todennäköisesti joudutaan selvittämään esimerkiksi tutkittaessa melusta tehtyjen valitusten (kuten unihäiriöiden) aiheellisuutta.† Nordtest ACOU 112 menetelmä testattiin vain laboratoriossa. Koehenkilöiden määrä oli vain 17.

Tietojeni mukaan yksikään pohjoismaiden (eikä muunkaan maan) toimivaltainen viranomainen ei ollut vahvistanut Nordtest ACOU 112 menetelmää minkään melun impulssimaisuuden toteamiseen kansallisena virallisena menetelmänä ennen kuin ympäristöministeriö esitti tätä käytettävän tuulivoimaloiden melun impulssimaisuuden mittaamiseen. Menetelmän laatija, tanskalainen Delta, yritti saada tämän menetelmän ISO 1996-1 standardiin kansainväliseksi menetelmäksi, mutta ISO:n työryhmä ja jäsenmaat eivät tätä menetelmää hyväksyneet.

Mittausohjeessa esitetty kapeakaistaisuuden määrittäminen menetelmät ovat hyvin työläitä, ellei mittaajalla ole sellaista psykoakustista analyysiohjelmaa, joka määrittää kapeakaistaisuuden suoraan tallennetusta ääninäytteestä.

Kari Pesonen
Insinööritoimisto Kari Pesonen Oy

* https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/42939/OH_4_2014.pdf?sequence=1

† mukana oli yksi tuulivoimalamelu: pyörintänopeuden nopean jarruttamisen aikainen voimakas ”kolina”. Näyteäni (pätkä ennen kolinaa, kolina, pätkä sen jälkeen) L_{Aeq} -taso oli 60 dB.