



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Regler og metoder for støj fra vindmøller i andre lande

Miljøprojekt nr. 1894

November 2016

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Jens Elgaard Laursen DELTA

Lars Sommer Søndergaard, DELTA

Torben Holm Pedersen, DELTA

ISBN: 978-87-93529-33-5

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	4
Sammenfatning	5
Summary	7
1. Formål	8
2. Baggrund	9
2.1 Generelt om målemetoder og støjgrænser.....	9
2.2 Strukturering og afgrænsning	11
2.3 Indhentning af informationer	11
3. Målemetoder og støjgrænser i 10 lande	12
3.1 Danmark.....	12
3.2 Norge	13
3.3 Sverige	14
3.4 Tyskland	15
3.5 Holland.....	16
3.6 Storbritannien.....	16
3.7 Frankrig.....	18
3.8 Sydafrika.....	19
3.9 Australien, New South Wales	21
3.10 Canada, Ontario	22
4. Sammenligninger	24
4.1 Målinger kontra støjberegninger	24
4.2 Støjgrænser	25
5. Konklusion	26
6. Referencer	28
Annex A - Oversigtsskemaer	30

Forord

Antallet af undersøgelser af støjen fra vindmøller og lovgivningen omkring vindmøllernes påvirkning af boliger har været stærkt stigende i de senere år. Der er mange bud på egnede målemetoder, støjindikatorer og til fastsættelse af støjgrænser. DELTA har i november – december 2015 undersøgt, hvilke målemetoder og regler der p.t. gælder for 10 udvalgte lande (inklusive Danmark), heraf 7 i Europa samt 1 delstat (Ontario) i Canada og 2 delstater i Australien: New South Wales og Sydaustralien.

Sammenfatning

Denne rapport omhandler en undersøgelse af målemetoder og støjregler for vindmøller i 10 lande/delstater. Undersøgelsen er udført som et litteraturstudium, og informationssøgningen er afsluttet i december 2015. For de undersøgte lande tegner der sig to overordnede metoder til dokumentation af støjen fra de opstillede vindmøller:

- 1) Beregning af støjbelastningen ved boliger baseret på vindmøllens kildestyrke og lydudbredelse:
 - Alle 10 undersøgte lande benytter denne metode benyttes i planlægningsfasen med primært leverandørangivne kildestyrker.
 - 5 af de undersøgte 10 lande benytter denne metode med aktuelt målte kildestyrker ved efterfølgende dokumentation af støjniveauet fra de opstillede vindmøller.
- 2) En langtidsmåling af møllernes bidrag til den samlede støj direkte ved boliger:
 - 5 af de undersøgte 10 lande benytter denne metode ved efterfølgende dokumentation af støjniveauet fra de opstillede vindmøller.

De to metoder benyttes sammen med for skellige typer af støjgrænser. Til begge metoder knyttes der forudbestemte¹ støjgrænser udendørs ved boliger, men de lande, der benytter Metode 2 til at dokumentere støjen fra de opstillede vindmøller (bortset fra Ontario), har derudover også relative støjgrænser, der afhænger af den målte baggrundsstøj ved boliger. Der stilles her krav til, hvor meget vindmøllerne må forøge støjen ved en bolig. Metode 2 er mest udbredt i Frankrig og de engelsktalende lande.

Metode 1 ser ud til at være bedst valideret pga. de internationale standarder og metoder, der benyttes for kildestyrkemålingen og beregning af lydudbredelsen. I planlægningsfasen (dvs. før vindmøllerne er opstillet) anvendes typisk leverandørangivne kildestyrker (normalt) bestemt på baggrund af akkrediterede prøvningsrapporter. Hvis støjen fra de opstillede vindmøller ønskes kontrolleret, måles den aktuelle kildestyrke på de opstillede vindmøller (dog ikke nødvendigvis på alle opstillede vindmøller). Kildestyrkemålinger kan sædvanligvis udføres på en til to dage alt efter ønsket vindhastighedsområde og antal vindmøller, og da målingerne foregår tæt på vindmøllen, forstyrres de normalt ikke af baggrundsstøj. Støjen ved boligerne beregnes under hensyn til de meteorologiske forhold, der er specificeret i den pågældende metode (fx medvind eller årsmiddelvind). Nogle lande beregner årsmiddelværdien L_{den} , mens andre lande – herunder Danmark – antager en worst case situation, hvor det antages, at vinden altid blæser, og at der altid er medvind til boligerne hele vejen rundt om møllerne. Der kan foretages supplerende målinger af tonehørbarheden tæt ved boligen, fordi baggrundsstøjen her kan maskere tonerne i mere eller mindre grad.

¹ Støjgrænserne er faste i den forstand, at de altid gælder uafhængigt af baggrundsstøjen, men grænserne afhænger typisk af vindhastighed og områdetype.

Metode 2 kræver langvarige målinger af støjen ved boligerne. Regelmæssige standsninger af vindmøllerne anbefales for at bestemme baggrundsstøjen. Baggrundsstøjen bestemmes dog ofte allerede i planlægningsfasen. Det efterfølgende analysearbejde af måledata kan være omfattende, og det kan vise sig svært at adskille vindmøllens støjbidrag fra baggrundsstøjen, både fordi forskellen mellem vindmøllestøj og baggrundsstøj kan være meget lille, og fordi målingerne som oftest er uovervågede.

Ved Metode 2 kan målingerne af den samlede støj ved boligerne relateres direkte til støjbilledet, som det opleves af boligens beboere. De statiske parametre (L_{10} , L_{50} og L_{90}), der benyttes til at beskrive støjen, kan være svære at forholde sig til for lægmand.

De årlige variationer af de meteorologiske forhold og områdets baggrundsstøj skal dog også undersøges for at dokumentere, at den valgte måleperiode er repræsentativ for støjgenen ved boligerne. Det kan med Metode 2 være vanskeligt at bestemme vindhastigheden på en repræsentativ måde, både før og efter vindmøllerne er blevet opstillet.

Det kan konkluderes, at i alle de undersøgte lande er den primære metode i planlægningsfasen at beregne støjbelastningen ved naboboligerne ud fra møllernes kildestyrke (typisk angivet af leverandøren) kombineret med en beregning af lydudbredelsen fra vindmølle til bolig. Hvis støjen fra vindmøllerne ønskes dokumenteret efter opstilling, foretages dette i halvdelen af de undersøgte lande på samme måde som i planlægningsfasen, dog nu med en målt kildestyrke på de opstillede vindmøller (ikke nødvendigvis alle vindmøller). For øvrige lande foretages kontrollen ved naboerne ved en måling af totalstøjen, hvoraf vindmøllestøjen forsøges bestemt.

I konklusionen og i Annex A er der angivet overbliksskemaer over de forskellige landes regler og metoder. Mange af støjreglerne er forholdsvis nye eller under udarbejdelse/revision.

Summary

This report includes a study of measurement methods and noise regulations for wind turbines in 10 countries. The study was conducted as a literature study, and the information search was completed in December 2015. The countries studied show in general two different approaches to document noise from wind turbines:

- 1) Calculation of noise propagation to dwellings, based on wind turbine sound power level:
 - This is used for planning purposes in all 10 countries studied, primarily with sound power input data from the wind turbine manufacturer typically on the basis of certified measurements.
 - This is used for subsequent compliance assessment with in situ measurements of sound power level data in 5 of the 10 countries studied.
- 2) A long-term measurement of the total noise at the dwellings:
 - This is used for the subsequent compliance assessment in five of 5 10 countries studied.

The two methods give rise to different types of noise limits. For both methods there are given fixed noise limits for the outdoor noise at residences. The countries using Method 2 (except Ontario, Canada) have in addition relative noise limits depending upon the background noise in the residential area. These relative noise limits are based upon allowed exceedance of the prevailing background noise in the residence area. Method 2 is most common in France and English-speaking countries.

Method 1 seems to be the best validated due to use of thoroughly tested international standards and methods. Sound power measurements can be performed within a day or two (depending on number of wind turbines, and desired wind speed range), and since they are performed close to the wind turbine, these measurements are usually undisturbed by background noise. The noise at the residences can relative easily be calculated assuming downwind to the dwellings. The calculated wind turbine noise contribution at the dwellings is not influenced by background noise at the residence area. Supplementary measurements close to the residence can be used to assess tonal audibility.

Method 2 requires extensive measurements and usually it requires regular stop and start of the wind turbines for measuring the ambient noise at the dwellings. The subsequent analysis of measurement data can be complex and it may prove difficult to separate wind turbine noise contribution from the background noise. For Method 2 the measurements near the neighbor are directly related to the ambient noise as experienced by the residents, although the statistical parameters (L_{10} , L_{50} and L_{90}), which are used for describing the noise, can be difficult to understand for layman. The annual variations of the meteorological conditions and the ambient noise are normally examined in order to document that the measurement campaign is representative of noise annoyance at the neighbor.

Annex A shows two overview tables of the various countries' methods and practices. Many of the noise regulations and guidelines are relatively new or under preparation / revision, and the reader is advised to ensure that the rules are still valid before using these.

1. Formål

Miljøstyrelsen har ønsket at få en større viden om de målemetoder og regler, der benyttes uden for Danmark til bestemmelse af støjbelastningen fra vindmøller hos naboerne.

DELTA har i november – december 2015 undersøgt, hvilke regler der p.t. gælder for 10 lande og delstater (inklusive Danmark), heraf 7 i Europa samt Canada og Australien. Undersøgelsen er udført som et litteraturstudium, hvor fokus har været på at identificere de forskellige støjindikatorer, støjgrænser samt måle- og beregningsmetoder, som landene anvender. Til sidst er der foretaget en kvalitativ vurdering af de forskellige metoders præcision og anvendelighed.

2. Baggrund

2.1 Generelt om målemetoder og støjgrænser

Interessen for støjen fra vindmøller og lovgivningen omkring vindmøllernes påvirkning af naboer har været stigende i takt med udbredelsen af vindmøller til energiproduktion. Der er flere bud på egnede målemetoder, støjindikatorer og regler til fastsættelse af støjgrænser. En del lande tager udgangspunkt i det lovgrundlag og de metoder, som de allerede benytter for industristøj til trods for, at støjen fra vindmøller har en anden karakter og en anderledes lydudbredelse end almindelig industristøj. Til forskel fra de fleste almindelige industristøjklender kommer vindmøllens støj fra en stor højde. Vindmøllerne placeres desuden ofte højt – for at udnytte vindenergien bedst muligt – i områder med lav befolkningstæthed, som fx i det åbne land. Vindmøller er dermed meget synlige og er ofte hørbare, fordi baggrundsstøjen i det åbne land kan være meget lavere end i tæt bebyggede områder. Meteorologi og landskabsformer varierer også i de forskellige lande og giver grundlag for specielle akustiske forhold.

Angående **støjgrænser** kan de undersøgte lande deles i to grupper:

- 1) Den største gruppe, til hvilken Norden hører, har faste støjgrænser, der er forudbestemt. (Danmark, Norge, Sverige, Tyskland, Holland og Ontario). Danmark har fx siden 2006 haft støjgrænser, der er relateret til vindhastighederne 6 og 8 m/s, og i det åbne land er bestemt til hhv. 42 og 44 dB og i områder til støjfølsom arealanvendelse er bestemt til hhv. 37 og 39 dB.
- 2) Den anden gruppe har typisk to sæt støjgrænser: faste samt relative til baggrundsstøjen, (Storbritannien, Frankrig, Sydafrika og New South Wales). Den relative støjgrænse gælder vindmøllens bidrag til forøgelsen af den samlede støj, totalstøjen, i forhold til baggrundsstøjen der måles ved relevante naboer over typisk to uger.

For alle de undersøgte lande foregår beregning af støjbelastningen i planlægningsfasen på baggrund af en opgivet kildestyrke for vindmøllerne. Kildestyrken opgives typisk af producenterne på baggrund af en måling iht. standarden IEC 61400-11 [12], som beskriver en metode, hvor støjen måles tæt på vindmøllen i medvindretningen. Støjen måles med en mikrofon på en reflekterende plade på jorden i en afstand svarende til vindmøllens totalhøjde. Hermed kan vindmøllens lydeffekt (kildestyrke) bestemmes ved forskellige vindhastigheder – i det væsentlige uden forstyrrelse fra baggrundsstøjen. Herefter benyttes viden om lydudbredelse udtrykt i matematiske formler (eventuelt indbygget i et beregningsprogram) til at bestemme støjbidraget ved den nærmeste bolig. Nogle lande beregner en årsmiddelværdi, L_{den} , mens andre lande (som fx Danmark) beregner for en worst case situation, hvor der antages at være medvind fra vindmøllen til alle omkringliggende boliger.

Efter at vindmøllerne er stillet op, kan der være et ønske om at kontrollere, om støjgrænserne er overholdt. Måden at **efterkontrollere** støjen ved boligerne efter opførelse af vindmøllen, deler grundlæggende landene i to grupper:

- Den første gruppe (som Gruppe 1 ovenfor, men uden Ontario), gentager i praksis beregningen af støjbelastningen ved naboerne, men som kildestyrke benyttes denne gang en aktuell måling på de opstillede vindmøller (dog ikke nødvendigvis en måling på hver af de opstillede vindmøller).
- Den anden gruppe af lande beregner ikke støjuddbredelsen, men forsøger i stedet at måle støjen direkte ved den nærmeste bolig. Målingerne foregår normalt over flere uger, og vindmøllerne standses med jævne mellemrum, for at baggrundsstøjen kan måles. I måleperioden vil vinden variere naturligt, dvs. sædvanligvis vil både ingen vind og meget høje vindhastigheder forekomme, og vinden vil komme fra andre retninger end medvindsretningen fra vindmøllen.

En måling foretaget i naboafstand indeholder både støj fra vindmøllerne og baggrundsstøj, og den samlede støj benævnes normalt "totalstøjen". Ved jævnlige tænde og slukke for vindmøllerne kan baggrundsstøjen bestemmes. Hvis forskellen mellem totalstøj og baggrundsstøj er tilstrækkelig stor, kan støjbidraget fra vindmøllerne bestemmes. Samme princip anvendes ved kildestyrkemålinger – men da disse foretages tæt på støjilden (vindmøllen), er forskellen mellem tændt og slukket vindmølle typisk stor, og kildestyrken fra vindmøllen kan derfor bestemmes med stor sikkerhed.

Der benyttes forskellige mål for angivelsen af støjens niveau (støjindikatorer). Den helt overvejende indikator i lovgivning om vindmøllestøj er den A-vægtede energimiddelværdi af lydtrykniveauet, L_{Aeq} , men også indikatoren L_{den} benyttes i nogle lande. L_{den} (day-evening-night) er en vægtet værdi af støjen i dag-, aften- og natperioden, idet der gives 5 dB tillæg til støjen i aftenperioden og 10 dB til støjen i natperioden, før de tre perioder summeres. L_{den} indeholder således en korrektion for den øgede genevirkning af støjen, når den opleves om aftenen og om natten. Nogle lande fastsætter i stedet separate grænser for natperioden, idet støjgrænsen her skærpes i forhold til de grænser, som gælder om dagen. Storbritannien har i modsætning hertil en højere støjgrænse for vindmøllestøjen om natten end om dagen ud fra en antagelse om, at beboerne om natten befinder sig indendørs, og at bygningen yder en tilstrækkelig beskyttelse mod støjen udefra.

Et par lande (Tyskland og Danmark) anvender indikatoren L_r , som er en L_{Aeq} -værdi med et tillæg, hvis der forekommer tydeligt hørbar tone i støjen. Halvdelen af landene benytter statistiske parametre som L_{A10} , L_{A50} og L_{A90} som støjindikatorer. De statistiske støjindikatorer benyttes især ved langtidsmålinger, som foretages ved boliger langt fra vindmøllen, hvor baggrundsstøjen bidrager væsentligt til det målte støjniveau. L_{A90} angiver parameteren L_{A90} det lydtrykniveau, som overskrides i 90 % af måletiden. L_{A90} kan bruges som et mål for baggrundsstøjen i området, når vindmøllerne er standset, men L_{A90} anvendes også som et udtryk for totalstøjen i området, når vindmøllerne er i drift. I begge tilfælde vil kortvarige hændelser med kraftige niveauer (fx en flypassage), som hverken er en del af støjen fra vindmøllerne eller af den relativt konstante baggrundsstøj, herved sorteres fra målingerne.

De støjgrænser, som landene fastsætter, gælder næsten udelukkende for støjen udendørs ved de nærmeste boliger – oftest for hele døgnet. Frekvensmæssigt gælder støjgrænserne normalt for hele det hørbare frekvensområde, hvor støjen frekvensvægtes svarende til hørelsens følsomhed (A-vægtning). Som det eneste land har Danmark fastsat grænseværdier for den lavfrekvente del af støjen indendørs ($L_{pA,LF}$). New South Wales i Australien har dog kommet med forslag til grænseværdier og målemetode for lavfrekvent støj.

2.2 Strukturering og afgrænsning

I denne rapport er undersøgt de regler og metoder, der er gældende i 10 lande, deriblandt Danmark. Udvælgelsen er begrænset til de lande, som har tradition for at lovgive specifikt om vindmøller, lande som har mange vindmøller og/eller lande, som ligger tæt på Danmark, og som vi ofte sammenligner os med.

I Afsnit 3 gennemgås hvert af de 10 landes målemetoder og støjregler, og i Bilag A findes oversigts-skemaer med en sammenstilling af de vigtigste beskrivende parametre, fx støjindikatorer, grænseværdier, målestandarder m.m.

2.3 Indhentning af informationer

Denne rapport er baseret på en litteratursøgning foretaget i november – december 2015. Flere af de undersøgte landes retningslinjer er forholdsvis nye eller under revision. Da der til stadighed pågår undersøgelser, implementeringer og validering af metoderne, opfordres læseren til at sikre sig, at de nævnte standarder og metoder stadig er de nyeste, hvis de skal benyttes. Kildehenvisningerne findes på side 28.

For overskuelighedens skyld henviser vi i denne rapport til de oprindelige betegnelser for internationale standarder, fx ”ISO 1996-2” og fx ikke ”DS/EN ISO 1996-2”. Læseren henvises igen til de enkelte landes gældende vejledninger, hvori der ofte henvises til lokale versioner af de internationale standarder.

3. Målemetoder og støjgrænser i 10 lande

3.1 Danmark

I Danmark udkom i 2015 en opdatering af vindmøllebekendtgørelsen ”Bekendtgørelse om støj fra vindmøller” nr. 1736 af 21. december 2015 [1] (BEK 1736). Bekendtgørelsen er i det store hele identisk med ”Bekendtgørelse om støj fra vindmøller” nr. 1284 af 15. december 2011 (BEK 1284) [2]. Den eneste ændring er, at støjgrænserne i den nyeste bekendtgørelse ikke nødvendigvis gælder for flytninges midlertidige opholdssteder. I 2012 blev der i forbindelse med udgivelse af BEK 1284 udgivet en vejledning ”Støj fra vindmøller”, Miljøstyrelsens vejledning nr.1/2012. Den nyeste vindmøllebekendtgørelse, BEK 1736, er den fjerde af sin art, og det gælder, at vindmøllens anmeldelsestidspunkt eller idriftsættelsestidspunkt er afgørende for, hvilken af de 4 bekendtgørelser, der er gældende for den pågældende mølle. Danmark benytter støjindikatoren L_r (støjbelastning) til vurdering af støj fra vindmøller. Støjbelastningen indeholder et 5 dB tillæg, hvis der er tydeligt hørbare toner i støjen. Metoden i bekendtgørelsen baseres – som i de fleste europæiske lande – på vindmøllens kildestyrke og en efterfølgende beregning af støjudbredelsen til de nærmeste boliger på basis af kildestyrken. Den danske metode adskiller sig fra andre lande ved også at beregne udbredelsen af den lavfrekvente del af støjen. Til dette formål er der i bekendtgørelsen angivet frekvensafhængige korrektionsværdier for terrænabsorptionen i frekvensområdet 10-160 Hz, både for havvindmøller og for landplacerede vindmøller.

Målemetoder

Vindmøllebekendtgørelsen [1] beskriver hele metoden til måling af kildestyrke og beregning af støjbidraget udendørs og indendørs hos nærmeste nabo. Metoden til måling af vindmøllens kildestyrke ligner anvisningerne i standarden IEC 61400-11, der også kan anvendes i forbindelse med dokumentation af vindmøllestøjen. Kildestyrken måles dog i vindmøllebekendtgørelsen alene ved vindhastigheder i navhøjde, der svarer til intervaller ved 6 og 8 m/s i 10 m højde, hvorimod IEC 61400-11 kræver dokumentation for kildestyrken i intervallet ca. 6-10 m/s i spring af 1 m/s (6 m/s, 7 m/s, 8 m/s, 9 m/s og 10 m/s). Støjen ved den nærmeste bolig beregnes som en medvindsmode med sfærisk lydudbredelse, der tager hensyn til luftabsorption, terrænrefleksioner (land/vand) og luftabsorption. Beregningsmetoden benytter en forenklet version af Nord2000 [5], som for vindmøller giver samme resultater som den fulde Nord2000-beregningsmetode inden for snævre tolerancer. Ved beregning af udbredelsen af den lavfrekvente del af støjen angives der desuden terrænabsorptionsværdier pr. 1/3-oktav i henhold til Nord2000 således at støjen kan beregnes i det lavfrekvente område 10-160 Hz. Det indendørs støjniveau kan beregnes ud fra en angivet generel lydisolations (niveaudifferens) for husfacader.

Der gives 5 dB tillæg til støjen ved nærmeste bolig, hvis der er tydeligt hørbare toner i støjen ved boligen. Tonernes tydelighed beregnes ved hjælp af Miljøstyrelsens vejledning 5/1984, idet analysen – til forskel herfra – foretages på det A-vægtede spektrum i ét-minutintervaller. Toneanalysemetoden ligger tæt op af ISO 1996-2, Annex C [14], men adskiller sig bl.a. derfra ved, at der i Danmark ikke bruges et gradueret tillæg for toners tydelighed.

Støjgrænser

Vindmøllebekendtgørelsen [1] indeholder grænseværdier for vindmøllestøj udendørs for 2 vindhastigheder i navhøjde, der svarer til 6 og 8 m/s i 10 m højde. Støjgrænserne er angivet for beboelse i det åbne land: 42 og 44 dB(A) ved henh. 6 og 8 m/s, samt i områder med støjfølsom arealanvendelse: 37 og 39 dB(A) ved henh. 6 og 8 m/s. Der stilles også krav til den lavfrekvente A-vægtede støj indendørs $L_{pA,LF} = 20$ dB(A) i det lavfrekvente frekvensområde 10-160 Hz. Dette gælder både for boliger i det åbne land og i områder med støjfølsom arealanvendelse. I Danmark kræves en mindsteafstand mellem vindmøller og boliger på mindst 4 gange vindmøllens totalhøjde, dvs. højden fra terræn til vingespids [4].

Sammenfattende bemærkninger

Den danske metode er enkel at bruge, og støjregler og grænseværdier er samlet ét sted. Metoden til måling af vindmøllens kildestyrke ligner den internationalt godkendte målestandard IEC 61400-11 [12]. Metoden til beregning af støjudbredelsen minder om standarden ISO 9613-2 [21] – dog uden skærmdæmpning – og kan udføres i et regneark. Beregningen af støjudbredelsen er – i modsætning til de fleste andre lande – mere præcis, fordi terrænkorrektionerne i bekendtgørelsen er fundet ved hjælp af Nord2000 [5]. Nord2000-metodens håndtering af lydudbredelse fra højtliggende støjkilder er verificeret ved målinger på vindmøller i både Danmark og Norge [6]. I beregningen af lydudbredelsen antages det som worst case, at det altid blæser, og at der altid er medvind fra møller til naboer. Danmark er – så vidt vides – det eneste land, hvor der også er fastsat grænseværdier for vindmøllestøjen indendørs.

3.2 Norge

Miljødirektoratet i Norge reviderede i 2012 deres retningslinjer for støjensyn i arealplanlægning, givet i vejledningen T-1442/2012 [7]. For vindmøllestøj er der i forhold til den tidligere version T-2115/2005 ikke længere separate grænseværdier for områder i vindskygge. Norge benytter støjindikatoren L_{den} til at beskrive årsmiddelværdien for støjen fra vindmøller. Støjen beregnes ved boligerne på basis af kildestyrkemålinger foretaget tæt på vindmøllen.

Målemetoder

Vindmøllens kildestyrke måles vha. standarden IEC 61400-11 [12] og IEC 61400-14 [13]. Kildestyrken bruges som input i beregning af støjudbredelsen til nærmeste bolig, som udføres efter retningslinjerne i vejledning T-1442/2012. Som supplement til denne metode kan der benyttes Nord2000-metoden, fx hvis der er en stærk, fremherskende vind. Støjen kan desuden måles direkte ved beboelser nær ved vindmøllen. Men det anføres i T-1442/2012, at der er stor usikkerhed forbundet med denne type måling, og at de udførte målinger ikke kan benyttes til kontrol af, om støjvilkårene er opfyldt. Mht. udførelse af immissionsmålinger henvises der til den svenske Elforsk rapport 98:24 [9]. Toner anses ikke for at være et problem for nyere vindmøller, og det anses derfor ikke for nødvendigt at vurdere toner forud for etablering af nye vindmøller. Tonerne kan dog efterfølgende vurderes iht. standarden ISO 1996-2 Annex C [14]. Toner fra ældre vindmøller skal vurderes i henhold til M290 [8], hvori der også henvises til toneanalysemetoden ISO 1996-2 Annex C [14]. Hvis tonerne er tydeligt hørbare, skærpes støjgrænsen med 5 dB.

Støjgrænser

I Norge anvender kommunerne til planlægningsformål en zoneopdeling til at synliggøre støjen i kommunen. Røde zoner illustrerer fx tætte byområder eller områder med industri, og støjgrænsen er her sat til $L_{den} = 55$ dB. Gule zoner er fx boligområder og støjgrænsen er her 45 dB. Grønne zoner angiver stilleområder, hvorom der dog ikke angives nogen støjgrænse. Beregningshøjden for støjzoner er 4 m. For vindmøller gælder normalt støjgrænsen $L_{den} = 45$ dB, som refererer til vindhastigheden 8 m/s refereret til 10 m højde. Støjgrænsen gælder på udendørs opholdsarealer og udenfor vinduer til rum med støjfølsom anvendelse. Norge har ikke angivet nogen minimumsafstand fra vindmøller til boliger.

Sammenfattende bemærkninger

Kildestyrkemålingen af selve vindmøllen er præcis, fordi den baserer sig på en standardiseret IEC-målemetode. Metoden til at beregne lydudbredelsen til de nærmeste boliger, som er angivet i 2012-vejledningen [7], er ret simpel med sfærisk lydudbredelse, som tager hensyn til terrænrugheden og skelner mellem lydudbredelse over land og over vand.

I vejledningen anbefales det at beregne støjen ved boliger frem for at måle den. Det påpeges, at målinger foretaget tæt ved boliger skal bruges med stor forsigtighed. Støjindikatoren L_{den} er en beregnet vægtes årsmiddelværdi som ikke umiddelbart kan kontrolleres ved immissionsmålinger ved naboer. Der benyttes ikke – som i Danmark – en medvindsmode (worst case).

3.3 Sverige

De svenske grænseværdier er angivet på Naturstyrelsens hjemmeside (www.Naturvardsverket.se), hvor forskellige områdetyper er beskrevet. Der benyttes støjindikatoren L_{Aeq} . Grænseværdierne gælder for den samlede støj fra både planlagte og eksisterende vindmøller. I 2013 udsendte Naturstyrelsen i Sverige en kort vejledning om målinger og beregninger af støj fra vindmøller ”*Mätning och beräkning av ljud från vindkraft vägledning*” [10]. Hvis effekten af forskellige meteorologiske forhold ønskes belyst, kan der foretages langtidsmålinger ved de nærmeste boliger. Langtidsmålinger er normalt ikke overvågede, og det anføres i vejledningen, at det i efterbehandlingen af måledata kan være svært at adskille vindmøllestøjen fra uvedkommende støj.

Målemetoder

Vindmøllestøjens udbredelse beregnes på basis af vindmøllens støjdeklareringsmålinger, som skal udføres efter deklareringsmetoden IEC 61400-14 [13]. Kildestyrken skal angives i henhold til IEC 61400-11 [12] i referencehøjden 10 m, vindhastigheden 8 m/s og terrænrugheden 0,05 m. I vejledningen fra 2013 [10] anbefales det til planlægningsformål, at beregningen af støjudbredelsen til de nærmeste boliger udføres med en simpel halvsfærisk lydudbredelsesmodel, som er implementeret i et Excel-ark ”*Ljud-fran-vindkraftverk-ver-3-0.xls*”. Modellen er baseret på metoden beskrevet i Naturstyrelsens rapport 5241 fra 2010 [11], som er under revision. Ved kontrol af støj fra en eksisterende vindmølle, kan kildestyrken måles som beskrevet ovenfor. Det anføres i [11], at det er svært at udføre immissionsmålinger ved boliger. Vindstøjen gør det svært med sikkerhed at bestemme støjbidraget fra vindmøllen (eller vindmøllerne). Støjbidraget fra vindmøllen kan findes ved langtidsmålinger ved forskellige vindhastigheder og -retninger, og der korrigeres for baggrundsstøjen ved boligen målt ved de samme vindhastigheder og -retninger, når vindmøllen er slukket. Hvis totalstøjen ved boligen kun overstiger baggrundsstøjen med 3 dB, anbefales det at beregne støjen eller at finde alternative målepositioner i samme afstand. Alternative og mere detaljerede støjudbredelsesberegninger anbefales udført med Nord2000-metoden, som påpeges at give en god nøjagtighed for beregning af lydudbredelse over land. Mht. analyse af toner i støjen henvises på hjemmesiden til standarden IEC 61400-14 [13], men der menes nok IEC 61400-11 [12], som beskriver selve toneanalysen. Der henvises også til toneanalysemetoden i standarden ISO 1996-2:2007 bilag C [14].

Støjgrænser

På Naturstyrelsens hjemmeside er der angivet støjgrænser for støj fra vindmøller. Grænserne gælder udendørs i hele det almindelige frekvensområde, idet der ikke er særskilte grænser for den lavfrekvente del af støjen. I boligområder er støjgrænsen 40 dB(A), og i støjfølsomme områder, friluftsområder og boligområder med vindskygge er støjgrænsen 35 dB(A). Hvis der er toner i støjen, skærpes de ovennævnte grænser med 5 dB. Sverige har ikke angivet nogen minimumsafstand fra vindmøller til boliger.

Sammenfattende bemærkninger

I Sverige er støjgrænserne forholdsvis simple at administrere, idet der kun er to grænseværdier, som desuden er gældende hele døgnet. Målemetoderne er enkle at bruge. Kildestyrkemålingen af selve vindmøllen er præcis, fordi den baserer sig på en IEC-deklareringsmetode. Metoden til beregning af lydudbredelsen er meget enkel, men kan også være behæftet med en stor usikkerhed, fordi den ikke tager højde for terrændæmpning. Der gives dog mulighed for at beregne støjbidraget ved de nærmeste boliger mere detaljeret ved hjælp af Nord2000-metoden [5], som bedre tager højde for terrændæmpning. Støjen kan godt måles direkte ved naboen, men det anføres, at baggrundsstøjen (bl.a. vinden) gør målingerne og analyserne vanskelige.

3.4 Tyskland

Der er i Tyskland ikke opstillet særskilte regler og grænseværdier for støj fra vindmøller, idet vindmøllestøj her reguleres som industristøj. Vurderingsmetoden er beskrevet i vejledningen TA Lärm 1998 [18]. Tyskland benytter indikatoren L_r (tysk: *Beurteilungspegel*, engelsk: *Rating level*) til at beskrive støjen. L_r er en langtidsmiddelværdi, der indeholder korrektioner for midlertid (dag: 16 timer, nat: 1 time), toner / impulser (+3 dB eller +6 dB) og meteorologiske forhold. L_r minder i store træk om den danske parameter for industristøj (støjbelastning L_r). Det er dog specielt, at der i Tyskland kan gives 6 dB tillæg for støj, som foregår i perioder på døgnet, hvor der er en øget støjfølsomhed fx kl. 06-07 og kl. 20-22 på hverdage.

Målemetoder

Kildestyrkemålinger på vindmøller foretages i henhold til målestandarden IEC 61400-11, og støjudbredelsen fra vindmøller til boliger beregnes med standarden ISO 9613-2. I den tyske standard DIN 45681 [19] findes en metode til bestemmelse af tonetillæggets størrelse, hvilket indgår som et korrektionsled i L_r . Lavfrekvent støj kan – som for andre typer støj – måles/vurderes efter standarden DIN 45680/1997 (under revision).

Støjgrænser

Støjgrænserne er som for industristøj opdelt på områdetype og -anvendelse angivet i TA Lärm 1998 [18]. For områder med en overvejende andel af boligbebyggelse gælder støjgrænsen 55 dB(A) i dagperioden kl. 06-22 og 40 dB(A) i natperioden kl. 22-06. I boligområder er støjgrænsen henholdsvis 50 dB(A) og 35 dB(A) i dag- og natperioden. For hospitaler og kurområder gives der lavere grænser, mens der for landsbyer, byområder, centerområder og industriområder gives højere grænser. Der skal beregnes en usikkerhed for resultatet af støjberegningen. Støjgrænsen anses for overholdt, når L_r + usikkerheden ligger under støjgrænsen. Dette er mere restriktivt end i Danmark, hvor der kun gribes ind, hvis støjbelastningen minus ubestemtheden ligger over støjgrænsen. I planlægningssituationer skal støjgrænsen i Danmark dog overholdes skarpt. Kommunerne angiver en mindsteafstand fra vindmøller til boliger. Kravet til mindsteafstanden er ca. 500-1.000 m afhængigt af den aktuelle kommune.

Sammenfattende bemærkninger

Tyskland har faste støjgrænser, som følger lovgivningen for industristøj. Både almindelig støj og lavfrekvent støj skal vurderes. Metoden til beregning af støjbidraget er – lige som for mange andre lande – en IEC-deklarationsmåling (kildestyrke), som danner grundlag for en lydudbredelsesberegning med standarden ISO 9613-2, som minder meget om den nordiske beregningsmodel for industristøj. Kildestyrkemålingen er forholdsvis nem at udføre og giver en god præcision, med en lav usikkerhed.

3.5 Holland

Holland introducerede i 2011 en ny metode til måling og beregning af vindmøllestøj ved boliger. Med denne metode beregnes lydudbredelsen til de nærmeste boliger på basis af kildestyrkemåling tæt på vindmøllen, som mange andre lande også gør. Holland bruger – lige som Norge – støjindikatoren L_{den} (day-evening-night), der beregnes som en årsmiddelværdi. Holland har – udover støjgrænsen for L_{den} – en separat støjgrænse for støjniveauet om natten, L_n (night).

Målemetoder

Kildestyrkemålinger på vindmøller foretages i henhold til den førnævnte hollandske vejledning fra 2001: ”*Bijlage 4 van Activiteitenregeling – Meet – en Rekenvoorschrift windturbines*” [22]. Kildestyrkemålingen, der er beskrevet heri, er baseret på den meget anvendte standard IEC 61400-11 (2002), men adskiller sig herfra, ved at kildestyrken relateres direkte til vindhastigheden i vindmøllens navhøjde i stedet for – som normalt – en vindhastighed i navhøjde, der omregnes til 10 m højde. I den nyeste version af IEC 61400-11 (2012) [30] refereres også primært til navhøjden, dog beregnes kildestyrken både med reference til navhøjde og til 10 m højde. Der beregnes en emissionsfaktor (L_E), som er en logaritmisk vægtning af kildestyrkerne for alle relevante heltalsvindhastigheder og for alle oktavbånd. I vægtningen tages højde for den fremherskende lokale vindretning, og det er muligt at indsætte direktiviteten for støjstrålingen fra vindmøllen, hvis sådanne data haves. Støjudbredelsen beregnes efter anvisninger i vejledning [22] til de nærmeste boliger, idet denne metode hovedsageligt følger retningslinjerne i standarden ISO 9613.

Støjgrænser

Der gælder i Holland faste støjgrænser som årsmiddelværdier for hele døgnet $L_{den} = 47$ dB(A) og for natten $L_{night} = 41$ dB(A) i alle områdetyper. Grænserne gælder for alle relevante vindhastigheder og refererer til vindhastigheden i navhøjde uafhængigt af baggrundsstøjen. Der gives ikke tillæg for toner. Der tages ikke hensyn til usikkerheden på måledata eller målemetoden. Holland angiver ikke nogen minimumsafstand fra vindmøller til boliger.

Sammenfattende bemærkninger

De hollandske regler og metoder er forholdsvis enkle. Målingerne udføres efter gængse metoder, dvs. kildestyrke-støjdeklareringsmålinger, og støjbidraget beregnes med forholdsvis simple lydudbredelsesberegninger. Støjgrænserne angives for L_{den} og L_n , hvilket gælder for alle områdetyper. Støjindikatoren L_{den} indeholder i sig selv en genkorrektion, som afspejler den øgede støjfølsomhed om aftenen og om natten i boligområder. Holland adskiller sig fra andre lande ved, at kildestyrken relateres direkte til vindhastigheden i vindmøllens navhøjde i stedet for – som normalt – en vindhastighed i navhøjde, der omregnes til 10 m højde.

L_{den} er en årsmiddelværdi, og man bruger ikke – som i Danmark – en medvindsmode (worst case), idet man tager højde for lokale vindforhold og evt. vindmøllens retningsvirkning.

3.6 Storbritannien

I Storbritannien reguleres vindmøllestøj med ETSU-R-97 fra 1996 [15]. Der er i 2013 og 2014 udarbejdet en god praksisguide for brug af ETSU-R-97, der består af et hoveddokument og 6 supplerende guider [16]. I Storbritannien tager støjgrænserne udgangspunkt i baggrundsstøjniveauet ved naboen, som måles over lang tid (uger). Den statistiske indikator L_{A90} anvendes som et mål for niveauet af baggrundsstøjen for på en nem måde at se bort fra kortvarige støjende begivenheder.

I planlægningssituationer er det tilstrækkeligt at dokumentere via beregninger, at støjniveauet fra vindmøllerne (både eksisterende og kommende) aldrig vil være over $L_{A90} = 35$ dB(A). Hvis niveauet er højere, måles baggrundsstøjen ved et repræsentativt antal kommende naboer. Støjen fra vindmøllerne beregnes derefter ved naboerne ved anvendelse af lydudbredelsesmetoden beskrevet i

standarden ISO 9613-2 ved anvendelse af indgangsparametre, som er angivet i vejledningen, og som er baseret på empirisk undersøgte data. Som anvendte kildedata for vindmøllerne er der forskellige muligheder, bl.a. at anvende deklarerede værdier fra producenterne. I nogle tilfælde (ved klager eller hvis det er fastlagt i planlægningen) foretages der herudover også målinger ved naboerne med det formål at bestemme, om støjgrænserne er overholdt.

Målemetoder

Målingerne foretages primært som måling af baggrundsstøj (uden operative vindmøller), men der foretages også målinger af totalstøjen (dvs. med operative vindmøller). Målingerne af L_{A90} af baggrundsstøjen foretages ved vindhastigheder i intervallet fra startvind (typisk 2-4 m/s i navhøjde) og op til vindhastigheden med den maksimale kildestyrke (dvs. for de pitch-regulerede vindmøller, der typisk er opstillet p.t. i Danmark, svarer det til ca. 8 m/s refereret til 10 m højde). Ved eventuel efterfølgende måling af totalstøjen skal samme vindhastigheder dækkes som under måling af baggrundsstøjen.

Ved et repræsentativt antal naboer og placeringer (fastlægges af planlægningsmyndigheden) foretages måling af baggrundsstøj over en periode på minimum 2 uger. Der måles L_{A90} med en midlingstid på 10 minutter, og der foretages synkront hermed registrering af vindhastighed med det formål at etablere en sammenhæng mellem baggrundsstøjniveau og vindhastighed. Registreringen af vindhastighed skal være repræsentativ for de kommende vindmøller, hvor der gives forskellige muligheder, bl.a. vindmast (registrering svarende til navhøjde på de planlagte vindmøller), Lidar/Sodar (meteorologisk instrument på størrelse med en trailer, der kan måle vindhastigheden i forskellige højder over jordoverfladen) og også en 10 m vindmast i nogle tilfælde. Vindhastigheden regnes om til en referencevindhastighed i 10 m højde. Støj fra eksisterende vindmøller skal ikke inkluderes i baggrundsstøjen, når den anvendes til beregning af støjgrænserne, der som nævnt er defineret i forhold til baggrundsstøjen.

Hvis der i en konkret sag skal udføres måling af vindmøllestøjen (totalstøjen) anbefales det, at der måles over minimum 1 måned. Selvom målingen udføres over en meget lang periode, er det sædvanligvis kun de tidsrum, hvor vinden blæser fra vindmøllerne mod den aktuelle nabo, der analyseres. Det anbefales, at møllerne programmeres til at være slukket ca. 1 time hver dag (i måleperioden), og med mindre at der er grund til andet, anbefales det at fokusere på natperioden. Der optegnes derefter to kurver – én for baggrundsstøjen (inklusive eventuelle nabovindmølleparker) og én for totalstøjen. Hvis totalstøjen holder sig under grænseværdierne foretages ikke yderligere. Hvis totalstøjen ligger over grænseværdien, beregnes vindmøllestøjen ved energimæssig subtraktion mellem totalstøjen og baggrundsstøjen, og denne værdi sammenlignes med grænseværdien. Hvis forskellen mellem totalstøjen og baggrundsstøjen er mindre end 3 dB, er metoden dog ikke egnet, og en anden metode må aftales med planlægningsmyndigheden.

Støjgrænser

Storbritannien har mange forskellige områdetyper, bl.a. også kuperede områder, hvor der oftest er læ. Der er derfor to sæt støjgrænser: Faste støjgrænser samt støjgrænser, der er fastlagt i forhold til baggrundsstøjen (5 dB over baggrundsstøjen). Om natten kl. 23-07 gælder støjgrænsen 43 dB eller baggrundsstøjen + 5 dB. Om dagen/aftenen gælder støjgrænser fra 35 til 40 dB eller baggrundsstøjen + 5 dB, afhængigt af antallet af naboer og vindmøller. Det bemærkes, at støjgrænsen i Storbritannien – i modsætning til andre lande – er højere om natten end om dagen, hvilket er bestemt ud fra den filosofi, at naboerne befinder sig indenfor om natten, og at de – selv ved åbne vinduer – her er beskyttet med en lydisolation på ca. 10 dB.

Den faste støjgrænse er opsat for at give plads til støjen fra vindmøller og er afhængig af, hvor mange der potentielt kan være generet, og hvor stor en elektrisk effekt vindmølleparken kan producere. Ved naboer, der har økonomisk fordel af vindmøllerne, defineres støjgrænsen højere end ved naboer, der ikke har økonomisk fordel af vindmøllerne.

En enkelt nabo vil typisk kunne udsættes for mere støj end en gruppe naboer. Hvis vindmølleparken har en stor elproduktion, må parken typisk støje mere end en lille vindmøllepark med en lille elproduktion.

Hvis der forekommer toner i støjen iht. ETSU-R-97 målt ved naboerne, korrigeres den målte værdi af vindmøllestøjen ved naboerne med 1,5-5 dB afhængigt af tonens hørbarhed. Tonehørbarheden undersøges for hver (heltals-) vindhastighed. For hver af de mange 10 minutters optagelser analyseres to minutter for toner.

Storbritannien har ikke angivet nogen minimumsafstand fra vindmøller til boliger.

Sammenfattende bemærkninger

Reglerne for støj fra vindmøller i Storbritannien lægger stor vægt på støjens hørbarhed (niveau-forskellen mellem totalstøj og baggrundsstøj, dog uden at se på den spektrale fordeling, som er væsentlig for, om møllerne rent faktisk kan høres), men samtidig også på, at det skal være muligt at opstille vindmøller. Der lægges stor vægt på vurdering fra sted til sted, og undersøgelserne kræver en lang måle- og analysetid primært af baggrundsstøjen på stedet. Den store vægt på vurdering fra sted til sted giver god mulighed for tilpasning til forholdene på netop denne placering, men åbner samtidig op for fortolkninger og diskussioner. Tiden, der går fra en vindmølle(park) planlægges til vindmølle(parken) er blevet etableret, kan være lang – ofte flere år. Baggrundsstøjen kan i den mellemliggende tid godt have ændret sig betydeligt – fx i forbindelse med at skove fældes eller plantes, infrastrukturændringer m.m. Det kan være problematisk, at baggrundsstøjen ofte ændrer sig hen over året (løvfald, vandmængde i vandløb, osv.), hvilket gør det vanskeligt at sikre, at baggrundsstøjen er reproducerbar og repræsentativ for hele året, hvilket er et generelt problem for denne målemetode.

3.7 Frankrig

De franske støjgrænser for vindmøller er ligesom i Storbritannien fastlagt i forhold til baggrundsstøjen i boligområdet, dvs. som en stigning (fransk: *émergence*) i baggrundsstøjen som følge af vindmøllens tilstedeværelse. Vurderingen af vindmøllestøj baserer sig derfor på målinger udført tæt ved boliger. Frankrig benytter den statistiske støjindikator L_{A50} for støjen. Grænseværdierne ved de nærmeste boliger gælder udendørs ved alle vindhastigheder. Da støjen ved boligerne afhænger af nærområdets baggrundsstøj, foretages indledningsvist en geografisk opdeling i klasser med ens baggrundsstøj. For hver klasse placeres et målepunkt dér, hvor overskridelsen af støjgrænsen forventes størst.

Målemetoder

Den franske måle- og analysemetode er beskrevet i NF S 31-114 [17], som er en vejledning om vurdering af støj fra vindmøller. Den er under revision af det franske standardiseringsorgan, AFNOR, og forventedes færdig i marts 2016. Alle målinger foretages ved de nærmeste boliger. Analyserne udføres med den statistiske indikator $L_{A50,10min}$ (10 minutters værdien af L_{A50}) for hver heltalsvindhastighed op til 5 m/sek. Herfra ekstrapoleres til højere vindhastigheder. Resultaterne skal udtrages for hver baggrundsstøjklasse (Cr-klasse).

Støj fra fremtidige vindmøller kan beregnes i henhold til standard ISO 9613 ved at anvende leverandørdata for vindmøllen. Indendørs målinger skal udføres i henhold til kriterierne i vejledningen NF 31-010. Her stilles der strikse krav til beregning af usikkerheden på resultaterne. To typer usikkerhed skal beregnes, Type A: Usikkerheden på ”prøveudtagningen” (fransk: *distribution d'échantillonnae*), og Type B: Usikkerheden på selve støjindikatoren og metrologien.

Målingerne tager typisk 7-10 dage at udføre. I denne periode skal vindmøllerne typisk standses hver 1-2 time for at måle baggrundsstøjen.

Støjgrænser

I udkastet til den franske standard NF S 31-114 angives 2 typer grænseværdier: En fast grænse på 35 dB(A), som gælder hele døgnet, samt en relativ grænse i forhold til baggrundsstøjen. Hvis den faste grænse er overskredet, kan det tillades, at den målte totalstøj overstiger baggrundsstøjen med 5 dB om dagen og 3 dB om natten.

Der tillades, at støjgrænsen overskrides i korte perioder. Lempelsen afhænger af varigheden af overskridelsen. Fx kan 35 dB støjgrænsen forhøjes med 1 dB, 2 dB eller 3 dB, hvis overskridelsen varer henholdsvis 4-8 timer, 2-4 timer eller 20 min.-1 time.

Toner i støjen skal analyseres pr. 1/3-oktav i henhold til anvisningerne i NF S 31-114. Der må højst forekomme toner i støjen i 30 % af dagperioden (kl. 07-22) eller aftenperioden (kl. 22-07).

Der angives, i modsætning til mange andre lande, en minimumsafstand på 500 m for vindmøllens afstand til boliger.

Sammenfattende bemærkninger

Den franske målemetode baserer sig på langtidsmålinger af støj ved boliger, og genererer derfor store datamængder. Det er derfor vigtigt, hvordan målinger analyseres. Dette er detaljeret beskrevet i standarden NF S 31-114, som desuden angiver kravet til dokumentationen af måleresultaterne og beregning af usikkerheden. Usikkerheden kan mindskes ved statistisk at udelukke perioder, hvor vindmøllerne ikke er årsag til støjen. Det kan være vanskeligt at opdele boligområder i "baggrundsstøjklasser" (Cr-klasser) for at kunne placere målepunkternes korrekt. Disse vurderinger bør derfor foretages af en støjekspert.

3.8 Sydaustralien

Reglerne for den australske delstat Sydaustralien læner sig meget op af reglerne for Storbritannien. Til planlægningsformål udføres der målinger af baggrundsstøjen og efterfølgende beregning af støjen ved naboerne, eventuelt efterfulgt af kontrollerende støjmålinger.

Sydaustralien har dels faste grænser for støjbidraget i og uden for støjfølsomme områder, dels krav om at vindmøllestøjen ikke overstiger baggrundsstøjen med mere end 5 dB. Den statistiske indikator $L_{A90,10min}$ benyttes til at kvantificere baggrundsstøjen, mens $L_{Aeq,10min}$ er resultatet af de beregnede støjniveauer [23].

Målemetoder

Målingerne foretages udendørs med en mikrofon i højden 1,2-1,5 m over jorden og minimum 5 m fra reflekterende flader (udover terræn). Der anbefales en måleposition mindre end 30 m fra huset i retning mod vindmøllen/vindmøllerne, hvor det er vigtigt, at støjen fra vindmøllerne ikke er skærmet. Der måles over 10 minutters intervaller. For at undgå vindstøj i mikrofonen anbefales det, at vindhastigheden ved mikrofonen ikke er højere end 5 m/s, med mindre der anvendes specielle vindskærme. I efterbehandlingen af målingerne skal der udføres grafisk regression for mindst 2.000 måleperioder (å 10 minutter) – heraf mindst 500 perioder i vindretningen mod målepunktet. Målingerne af totalstøjen skal udføres for worst case vindretning. Hvis den oprindelige måling af baggrundsstøj fra planlægningsfasen stadig kan bruges, anvendes denne – alternativt skal baggrundsstøjen måles igen. Den resulterende vindmøllestøj beregnes ved at korrigere totalstøjen for baggrundsstøjens bidrag og derefter sammenligne med grænseværdierne.

Det anbefales, at vindhastigheden og -retning måles i den samme position, både når der foretages baggrundsstøjmålinger, og når der foretages en efterfølgende kontrol. Vinden registreres både ved mikrofonen (samme højde som mikrofonen) og ved/på vindmølle siten (registreres som minimum i navhøjde, samt i øvrige relevante højder).

Den anvendte placering på vindmølle siten bør overvejes nøje, så den kan være repræsentativ for alle planlagte vindmøller. Vindhastigheden ved vindmølle siten og ved nabo (mikrofon) skal korreleres, så baggrundsstøj og vindmøllestøj kan sammenlignes. Overvågede målinger kan også

anvendes for bedre at kunne fjerne perioder med irrelevant støj. Der anbefales minimum 4 besøg af 8 timers varighed.

Målingerne bør ikke foretages, når det regner. Det anbefales at gentage målingerne på et andet tidspunkt af året, hvis der er bekymring for, at den målte periode ikke er repræsentativ.

For støjberegningerne til planlægningsformål anbefales det at anvende metoder i overensstemmelse med ISO 1996-2 [14] eller CONCAWE [24]. Det anbefales at anvende en konservativ tilgang, idet anbefalinger til inputparametre er angivet. Til måling af kildestyrke anbefales det at benytte målestandard IEC 61400-11.

Støjgrænser

De beregnede støjniveauer ($L_{Aeq,10 \text{ min}}$) justeret for tonalitet må ikke overskride 35 dB(A) ved støjfølsomme naboer (benævnt landmæssig bebyggelse) samt 40 dB(A) ved naboer i øvrige zoner. Desuden må vindmøllestøjen ikke overskride baggrundsstøjen ($L_{A90,10 \text{ min}}$) med mere end 5 dB. Den højeste af ovenstående grænser er den gældende. Grænserne gælder for heltalsvindhastigheder fra startvind til nominel effekt for vindmøllerne.

Hvis der i planlægningsfasen forekommer toner i støjen fra de planlagte vindmøller i henhold til IEC 61400-11 eller lignende, tillægges der 5 dB til den beregnede eller målte støj ved naboerne. Ved kontrolmåling for hørbare toner efter vindmøllerne er opstillet, skal man anvende en procedure for vurdering af toner, der kan accepteres af landets miljøstyrelse. Målingen foretages som udgangspunkt ved naboen, men et fravær af hørbare toner tættere på vindmøllerne er tilstrækkeligt grundlag for ikke at skulle udføre målinger ved naboerne.

Sydaustralien har ikke angivet nogen minimumsafstand fra vindmøller til boliger.

Sammenfattende bemærkninger

I Sydaustralien måles vindmøllestøjen og baggrundsstøjen ved de nærmeste boliger. Til planlægningsformål beregnes støjen med worst case-parametre for vindhastighed og vindmøllens kildestyrke. Baggrundsstøjen defineres som støjen i området uden støjen fra vindmøller – heller ikke fra eksisterende vindmølleparker.

Der er stor frihed til valg af beregningsmodel, hvilket giver den fordel, at den mest egnede model kan anvendes til hvert site, men forskelle i beregningsmodeller kan give anledning til efterfølgende diskussioner.

Vindhastigheden måles både i vindmølleområdet (i navhøjde) og ved mikrofonpositionen /ved naboerne (i 1,2-1,5 m højde), hvorefter vindhastighederne korreleres.

3.9 Australien, New South Wales

I den australske delstat New South Wales er man i gang med at udarbejde støjregler for vindmøller. Siden 2011 har der ligget et udkast til en guide om planlægning af vindmølleparker [25]. Guiden læner sig op af guidelinen fra delstaten Sydaustralien. Indtil støjreglerne er færdigudarbejdede, anvender man normalt reglerne for Sydaustralien, men bruger støjgrænsen 35 dB(A) i stedet for 40 dB(A) samt reglerne for toner og lavfrekvent støj fra det nævnte udkast.

Målemetoder

Målemetoderne er overordnet identisk med Sydaustraliens. $L_{A90,10min}$ anvendes til måling af baggrundsstøj, og både $L_{A90,10min}$ og $L_{Aeq,10min}$ anvendes til måling af totalstøj, hvor man i nogle tilfælde antager, at $L_{Aeq} = L_{A90} + 1,5$ dB. Det betragtede frekvensområde er 20 Hz til 4 kHz. Supplerende beskriver man, at det kan være svært at måle en forskel mellem baggrundsstøjen og totalstøjen, og at man i nogle tilfælde efter aftale med myndighederne kan anvende mikrofonpositioner tættere på vindmølleparken (herefter benævnt ”mellemliggende positioner”) for at få et bedre signal/støj forhold, fx målepositioner ca. 400 m fra den nærmeste vindmølle. Positionerne udvælges typisk på baggrund af beregnede støjkonturplots. Forstyrrelser fra regn skal fjernes med mindre at niveauet ligger mere end 10 dB under L_{A90} . Som i reglerne for Sydaustralien skal der måles 2.000 datapunkter, hvoraf minimum 500 i worst case-vindretningen. I nogle tilfælde opstår worst case-vindretningen sjældent, og målingerne skal derfor forlænges i op til 6 uger.

Støjgrænser

Støjgrænsen er enten 35 dB(A) eller +5 dB over baggrundsstøjen, gældende for vindhastigheder fra startvind til nominal effekt for vindmøllerne. Den store forskel i forhold til Sydaustralien er beskrivelsen af støjens karakteristika defineret som toneindhold, amplitudemodulation og lavfrekvent støj:

- Hvis der detekteres gentagne toner i støjen, gives et tillæg på 5 dB til vindmøllestøjen, men kun for de vindretninger og vindhastigheder, hvor tonerne forekommer. Toneanalysen er baseret på 1/3-oktav analyser.
- Der defineres en ”overdreven amplitudemodulation” som en variation, der er større end 4 dB ved vingepassagefrekvensen. Ved overdreven amplitudemodulation tillægges 5 dB – dog kun ved de vindhastigheder og -retninger, hvor det opstår.
- For den lavfrekvente del af støjen foreslås det, at hvis det C-vægtede lydtrykkniveau fra vindmøllen gentagne gange overstiger 65 dB(C) om dagen eller 60 dB(C) om natten, skal støjen undersøges nærmere. Det gøres også opmærksom på, at måling af lavfrekvent støj meget nemt kan påvirkes af vind. Hvis den indendørs målte lavfrekvente del af støjen ligger over menneskets høretærskel (som beskrevet i UK Department for Environment, Food and Rural Affairs dokumentet: *Proposed criteria for the assessment of low frequency noise disturbance* [26]), gives der 5 dB tillæg til den målte eller beregnede støj ved modtageren for de tidsrum og meteorologiske forhold, hvor det optræder.

For alle tre ovenstående karakteristika gælder det, at fravær af fænomenet i en mellemliggende position er tilstrækkeligt bevis for, at fænomenet ikke er en karakteristika for vindmølleparken.

Hvis mere end én af ovenstående situationer optræder samtidigt gives maksimalt ét 5 dB tillæg.

Hvis én af ovenstående situationer optræder mindre end 10 % af en evalueringsperiode, lægges tillægget til den aktuelle 10 minutters måling og inkluderes i det samlede datasæt. Hvis det opstår i mere end 30 % af en sæson, skal vindmøllen/vindmølleparken modificeres og problemet løses.

Sammenfattende bemærkninger

Generelt gælder for New South Wales de samme observationer som for Sydaustralien. Specielt New South Wales har fokus på specielle karakteristika for vindmøllestøjen, som kan medføre, at man

lægger særligt mærke til støjen og dermed nemmere bliver genereret, dvs. indhold af hørbare toner, overdreven amplitudemodulation og lavfrekvent støj. De anerkender også, at det kan være svært at skelne mellem vindmøllestøj og baggrundsstøj ved naboerne, og giver mulighed for at anvende mellemliggende positioner.

3.10 Canada, Ontario

I guidelinen fra den canadiske delstat Ontario's miljøministerium [27] er støjreglerne fastsat som bl.a. i Storbritannien og Frankrig ved, at der ved lave vindhastigheder gives en fast støjgrænse og ved højere vindhastigheder en støjgrænse angivet relativt til baggrundsstøjen – aktuelt 7 dB over baggrundsstøjen. Forskellen er dog her, at der ikke er et krav om at måle baggrundsstøjen, men at den antages til faste værdier, som er fastlagt på baggrund af måling af L_{A90} på en udpræget stille placering. Der vejledes og lovgives for vindmøller både med og uden transformatorstationer. Kun reglerne for vindmøller uden tilhørende transformatorstationer vil blive beskrevet her.

Målemetoder

I planlægningsfasen kræves beregninger med lydudbredelsesmetoden ISO 9613-2 [21] på baggrund af leverandøropgavne kildestyrkedata for de planlagte vindmøller. Kildestyrkeværdierne skal dokumenteres og rapporteres iht. IEC 61400 (CAN/CSA-C61400-11-07). For korrektion af vindhastighedsprofilen (sammenhængen mellem vindhastighed og højden over terræn) skal der anvendes en gennemsnitlig sommernats vindhastighedsprofil for den aktuelle lokalitet. Det fremgår ikke af dokumentet, hvordan denne profil er fastsat. Beregningerne er dog kun nødvendige, hvis der er beboelser indenfor 1500 m fra nærmeste vindmølle. Både eksisterende vindmøller og planlagte vindmøller skal inkluderes, hvis det vurderes, at de kan have en indflydelse – man behøver dog ikke at medtage vindmøller mere end 5 km væk.

I kontrolsituationen, når vindmøllen/vindmøllerne er opstillet, findes en protokol [28] for håndtering af eventuelle klager, der bl.a. også beskriver tre typer af målekampanjer, der efterfølgende kan igangsættes: 1) Kvantitativ screening – kortvarige bemandede målinger, 2) Akustiske optagelser initieret af naboer samt 3) Detaljerede akustiske målinger. Det primære formål med den kvantitative screening er for at bedømme, om detaljerede akustiske målinger skal igangsættes. De kortvarige bemandede målinger anbefales udført om aftenen/natten, når baggrundsstøjen er lavest, med worst case forhold som medvind fra vindmøllerne mod målepunktet og med høj vindgradient, dvs. relativ stor forskel på vindhastigheden ved terræn og ved vindmøllens totalhøjde. Vindhastigheden skal måles i nærheden af mikrofonen, og det anbefales både at registrere vinden i 10 m højde og i samme højde som mikrofonen. Der skal måles over minimum 1 time. Det er ikke nødvendigt at måle baggrundsstøj, men det anbefales, hvis det er muligt.

Akustiske optagelser initieret af naboer kan benyttes i situationer, hvor det ikke er muligt for ministeriets ansatte at udføre målinger. Grundlæggende går det ud på, at der opstilles udstyr (mikrofon og vindmåler) – der ikke kan ændres på – i en eller flere relevante positioner, der kan foretage 3-10 stk. 10 minutters optagelser, når brugeren (naboen/rekvirenten) synes det er relevant. Optagelserne vil efterfølgende blive analyseret og information fra vindmølle(parken) blive indhentet. Hvis vindmøllerne er hørbare, og hvis hovedparten af $L_{Aeq,10min}$ -værdierne overskrider grænseværdierne, er der grundlag for yderligere undersøgelser.

De detaljerede målinger anvendes typisk først efter en kvantitativ screening eller akustiske optagelser hos naboer. Der udføres målinger både af totalstøjen og baggrundsstøjen. Der skal måles mindst 120 perioder á 1 minut for hver af de 7 (heltals-) vindhastigheder og tilsvarende mindst 60 perioder af baggrundsstøjen (L_{Aeq} for begge). For hvert minut beregnes 1/3-oktav fra 20 Hz til 20.000 Hz, hvor lydfiler med minimum samplingsfrekvens på 8.000 Hz også optages. For at måle baggrundsstøjen er det nødvendigt at slukke alle relevante vindmøller, idet det anbefales at slukke alle møller, der giver et samlet beregnet bidrag ved naboen over 30 dB(A). For at beregne vindmøllestøjen fratrækkes baggrundsstøjen fra totalstøjen. Vindhastighedsmålingen skal udføres

på et åbent, frit areal i 10 m højde i nærheden af målemikrofonen. Det anbefales at måle vindhastigheden i øvrige højder også (navhøjde og mikrofonhøjde). Vindgradientkoefficienten bør også beregnes/monitoreres.

Det anbefales, at målingerne udføres over måneden med den højeste gennemsnitsvind om natten, den højeste vindgradientkoefficient og en gennemsnitlig navhøjdevindhastighed større end 4 m/s. Det anbefales desuden, at målingerne ikke foretages mellem december og februar pga. dårligt vejr. Kun målinger foretaget mellem kl. 22 og kl. 05 anvendes. Målinger, der er foretaget mindre end en time før eller efter regn, anvendes ikke. Maksimum- og minimumsvindhastigheden målt i intervallet må ikke afvige mere end 2 m/s fra gennemsnittet, og disse intervaller bortsorteres i så fald. Resultat af målingerne/beregninger må ikke overskride støjgrænserne.

Der skal udføres toneanalyse, enten hvis der er observeret toner, eller hvis leverandørens støjrapporter viser tonehørbarheden ($\Delta L_{a,k}$) til at være over 3 dB. Toneanalysen følger ISO 1996-2 [14], og en eventuel korrektion tilføjes den relevante vindhastighed, hvor tonen optræder.

Støjgrænser

Støjgrænserne for vindmøllestøj i Ontario er angivet i nedenstående tabel, i dB(A):

	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s
Landlig bebyggelse	40	40	40	43	45	49	51
Bymæssig bebyggelse	45	45	45	45	45	49	51

Hvis leverandørens kildestyrkedata angiver tilstedeværelsen af toner, skal der adderes 5 dB for toner [29]. Der gives ikke tillæg for variationer i vindmøllens støjniveau (en "swish"-lyd).

Sammenfattende bemærkninger

Vindmøllestøjreglerne for Ontario minder på nogle områder om støjreglerne i Storbritannien og Frankrig, dog med den forskel, at i stedet for at måle baggrundsstøjen er den allerede fastsat. Der er beskrevet tre forskellige målekampanjer for kontrol af vindmøllestøjen ved naboer primært til brug ved forekomsten af klager: En kortvarig orienterende målekampagne, optagelser initieret af naboer og en detaljeret længerevarende målekampagne.

4. Sammenligninger

4.1 Målinger kontra støjberegninger

De 10 undersøgte lande benytter sig af overordnet af 2 metoder til vurdering af støj fra vindmøller (kontrol af overholdelse af støjgrænser):

- 1) Beregning af støjniveauet ved boliger baseret på vindmøllens målte kildestyrke og beregning af dæmpningen under lydudbredelsen.
- 2) Måling af totalstøj og evt. også baggrundsstøjen ved boliger.

Metode 1

Alle lande benytter Metode 1 i planlægningsfasen med udgangspunkt i kildestyrker, som typisk er oplyst af leverandøren. I en senere kontrolfase bruger halvdelen af landene metoden til at beregne støjen hos naboerne, idet de tager udgangspunkt i en måling af den aktuelle vindmøllens lydeffekt (kildestyrke) med metoden givet i standarden IEC 61 400-11 eller tilsvarende. På basis af denne kildestyrke benyttes typisk metoden i standarden ISO 9613-2 til at beregne lydudbredelsen til modtagepunktet. ISO 9613-2 er oprindeligt udviklet til beregning af lydudbredelse af støj fra industrivirksomheder, hvor støjkilderne typisk er placeret forholdsvist tæt på terræn. Det har vist sig, at denne metode er knap så velegnet til at beskrive lydudbredelsen fra højtplacerede støjkilder, idet metoden overvurderer terrændæmpningen. Visse lande (fx Tyskland og Danmark) tager højde for dette og benytter – i stedet for ISO 9613's frekvensafhængige terrænkorrektion – en terrænkorrektion, som ikke er frekvensafhængig. I Danmark er problemet med højtplacerede støjkilder løst – hvad angår den lavfrekvente støjudbredelse – ved indførelse af en terrænkorrektion, som er angivet i vindmøllebekendtgørelsen [1]. Korrektionen heri er fastlagt ved hjælp af Nord2000-metoden, idet denne metodes beregning af lydudbredelsen er verificeret for højtplacerede støjkilder [6].

Metode 2

I 5 af de undersøgte lande (Storbritannien, Frankrig, Ontario og de australske delstater New South Wales og Sydaustralien) beregnes lydudbredelsen fra vindmøllerne ikke i de tilfælde, hvor støjbidraget skal dokumenteres efter at vindmøllerne er opstillet. Hvis vindmøllens støjbidrag ved boliger skal kontrolleres, måles det samlede bidrag fra vindmøller og baggrundsstøj (totalstøjen) i stedet direkte ved disse boliger. Storbritannien, Frankrig, Ontario og de australske delstater New South Wales og Sydaustralien stiller krav til, hvor meget vindmøllestøjen må overstige baggrundsstøjen. Metode 2 kan anvendes i Sverige, men det anføres at det er svært med sikkerhed at bestemme vindmøllernes støjbidrag. I de nævnte lande er der meget forskellige meninger om, hvordan baggrundsstøjens indflydelse skal behandles. Selve målingerne ved boligerne er for det meste uovervågede og simple at udføre, men dataopsamlingen er langvarig, idet målingerne ofte foregår over flere uger. Valget af den korrekte placering af målemikrofonen på boligatriklen er dog ikke altid simpel. Da baggrundsstøjen ofte – ligesom totalstøjen – skal måles ved "alle" vindhastigheder, skal vindmøllerne slukkes med regelmæssige mellemrum i hele måleperioden, hvilket medfører tab af møllernes elproduktion. Baggrundsstøjen måles dog ikke nødvendigvis igen i kontrolsituationen, fordi den normalt allerede er målt forud for planlægningen og opstillingen af vindmøllerne. Målingerne genererer store mængder data, og i de efterfølgende analyser skal der korrigeres for forstyrrelser som regn, trafik, landbrugsmaskiner m.m.

Der benyttes dertil statistiske metoder til at analysere støjdata (L_{A10} , L_{A50} og L_{A90}), således at kortvarige forstyrrende hændelser kan frasorteres. Måletidspunktet på året kan desuden have betydning i de områder, hvor baggrundsstøjen er sæsonbetonet.

Fordelene ved Metode 1 (kildestyrkemålinger og støjudbredelsesberegninger) er, at vindmøllens kildestyrke er enkel at måle, og der kræves oftest ikke nogen bestemt vindretning for at kunne udføre målingerne. Målingerne skal dog afvente en vejr-situation, hvor der forekommer et repræsentativt antal forskellige vindhastigheder. Målingerne kan normalt planlægges, så der ikke er problemer med baggrundsstøj, fordi der måles tæt på vindmøllen. Vindmøllen skal kun standses relativt få gange, mens baggrundsstøjen måles. Der måles kun på én vindmølle ad gangen, og de nærmeste nabovindmøller skal derfor være slukket under målingen. Beregningen af lydudbredelsen fra vindmøllen til boligerne er enkel og præcis, når de gængse standarder følges.

Fordelene ved Metode 2 (immissionsmålemetoden), hvor totalstøjen måles direkte ved boligerne, er, at ved at måle ved selve boligen tages hensyn til, at hørbarheden af vindmøllestøjen er forskellig i områder med forskellig baggrundsstøj. Ulemperne er, at målingerne tæt ved boligerne kan kræve flere ugers registrering af støjen i modsætning til kildestyrkemålinger, som kan foretages på et par dage alt efter antallet af vindmøller, der skal måles. Desuden skal vindmøllerne standses gentagne gange, hvilket kan være omstændeligt, og vil i måleperioden reducere fortjenesten på møllens elproduktion. De meteorologiske forhold i den valgte måleperiode er afgørende for udfaldet af målingerne, og det kan i det hele taget være svært at afgøre, hvad der er en repræsentativ vindsituation ved boligerne. Behandling af data er omstændelig, dels pga. de store datamængder, dels fordi det i analyserne er svært at adskille uvedkommende støj fra optagelserne, idet målingerne normalt er uovervågede, og fordi forskellen mellem totalstøj og baggrundsstøj kan være meget lille. De statistiske parametre, der benyttes (L_{10} , L_{50} og L_{90}) for at "bortfiltrere" uvedkommende støj, er ikke umiddelbart forståelige for lægmand, i modsætning til de ukorrigerede støjbidrag, L_{Aeq} , der beregnes med Metode 1.

I de forskellige lande der anvender Metode 2 er der ikke enighed om, hvor vindhastigheden måles. I nogle lande måles vindhastigheden udelukkende ved vindmøllerne (fx Storbritannien), i andre lande måles vindhastigheden både ved vindmøllerne og ved naboerne (fx i Australien). I nogle lande er det kun et krav at måle vindhastigheden ved naboen (fx i Ontario), men hvor det dog også anbefales at måle vindhastigheden i navnhøjde. Da både baggrundsstøjen og vindmøllestøjen er afhængig af vindhastigheden lokalt, er nøjagtigheden på resultatet meget afhængig af, hvor god bestemmelse man har af vindhastigheden.

4.2 Støjgrænser

Alle de undersøgte lande har faste støjgrænser. Fire af landene har derudover relative grænser, som afhænger af baggrundsstøjens størrelse (Storbritannien, Frankrig og de 2 delstater i Australien: New South Wales og Sydaustralien). Halvdelen af landene skelner mellem almindelig og støjfølsom arealanvendelse (Danmark, Sverige, Tyskland, delstaten Sydaustralien i Australien samt delstaten Ontario i Canada), mens den anden halvdel ikke har denne opdeling, og hvor de faste støjgrænser således gælder overalt (Norge, Holland, Frankrig, Storbritannien og delstaten New South Wales i Australien). I Frankrig skal der dog – forud for opstilling af vindmøller – foretages en kategorisering af naboområderne mht. deres anvendelse og især baggrundsstøj. Tre lande angiver – udover grænser for støjens niveau – desuden en minimumsafstand for opstilling af vindmøller (Danmark, Tyskland og Frankrig). For Storbritannien er støjgrænsen en vurdering fra gang til gang, som bl.a. afhænger af antallet af naboer og størrelsen på vindmølle(parken).

De fleste lande tager hensyn til den øgede genevirkning ved at give et tillæg til støjen ved boligerne (eller en skærpelse af støjgrænsen), hvis støjen fra vindmøllerne indeholder tydeligt hørbare toner. Undtaget herfra er Holland, som dog angiver en metode til vurdering af toneindhold.

5. Konklusion

Denne rapport omhandler en undersøgelse af målemetoder og støjregler for vindmøller i 10 lande/delstater. Undersøgelsen er udført som et litteraturstudium og søgningen er afsluttet i december 2015. For de undersøgte lande tegner der sig to overordnede metoder til dokumentation af støjen fra vindmøller når de er opstillet:

- 1) Beregning af støjniveauet ved boliger, baseret på vindmøllens målte kildestyrke og beregning af dæmpningen under lydudbredelsen.
- 2) Måling af totalstøj ved boligen og evt. også baggrundsstøjen her.

Til begge metoder knyttes der faste støjgrænser, men til Metode 2 hører der derudover også relative støjgrænser, der afhænger af baggrundsstøjens niveau ved boliger. Metode 2 er mest udbredt i Storbritannien, Australien og Frankrig.

Metode 1 ser ud til at være bedst valideret pga. de internationale standarder og metoder, der benyttes. Kildestyrkemålinger foretages pr. vindmølle og kan udføres på relativt kort tid (1-2 dage pr. mølle, alt efter hvor stort vindhastighedsområde, der ønskes dækket), og da målingen foregår tæt på vindmøllen, er disse målinger normalt ikke forstyrret af baggrundsstøj. Det er enkelt at beregne støjen ved boligerne. Nogle lande beregner årsmiddelværdien L_{den} , mens andre lande, herunder Danmark antager en worst case situation, hvor det altid antages, at det blæser, og at der altid er medvind til de omkringliggende boliger. Der forsøges ikke at måle baggrundsstøj ved boligerne, som ville kunne maskere oplevelsen af støjen fra vindmøllerne. Der kan foretages målinger af tonehørbarheden tæt ved boligen.

Ved Metode 2 kan målingerne ved naboen direkte relateres til støjbilledet inkl. baggrundsstøj, som det opleves ved boligen. De statiske parametre (L_{10} , L_{50} og L_{90}), der beskriver støjen, er dog ikke umiddelbart forståelige for lægmand. Metode 2 kræver langvarige målinger og regelmæssige standsninger af vindmøllerne. Det efterfølgende analysearbejde af måledata kan være omfattende, og det kan vise sig svært at adskille vindmøllens støjbidrag fra baggrundsstøjen, fordi målingerne ofte er uovervågede og forskellen mellem totalstøj og baggrundsstøj meget lille, hvilket gør det vanskeligt at korrigere for baggrundsstøjen. De årlige variationer af de meteorologiske forhold og områdets baggrundsstøj skal undersøges. Variationerne gør det vanskeligt at sikre, at målinger og måleperiode er repræsentativ for støjgenen ved boligerne. I lande, hvor grænseværdien bygger på indledningsvis bestemmelse af baggrundsstøjen, kan baggrundsstøjen i den mellemliggende tid mellem planlægning og opførelse af vindmøllerne godt have ændret sig betydeligt – fx i forbindelse med at skove fældes eller plantes, infrastrukturændringer m.m. Da baggrundsstøjen kan ændre sig hen over året (løvfald, vandmængde i vandløb, osv.), kan det være vanskeligt at sikre, at målingen af baggrundsstøjen er reproducerbar og repræsentativ for hele året, hvilket er et generelt problem for denne målemetode, hvor støjgrænsen defineres i forhold til niveauet af baggrundsstøjen.

Da lovgivningen skal sikre miljøet ved at stille krav til vindmøllestøjen ved boliger og samtidig give vindmølleejere en sikkerhed for at støjkravet også kan overholdes, når vindmøllen er blevet opført, kan det være problematisk for begge parter, hvis baggrundsstøjen ændrer sig.

Det kan konkluderes, at i alle de undersøgte lande bestemmes støjbelastningen fra vindmøllen i planlægningsfasen ud fra møllernes kildestyrke (ofte leverandørdata) kombineret med en beregning af lydudbredelsen. I halvdelen af de undersøgte lande gøres – i kontrolsituationen efter opsætning af møllen – beregningen på baggrund af aktuelle målinger af kildestyrken for den opstillede vindmølle. Disse lande har en fast støjgrænse, som gælder støjbidraget fra vindmøllen. I den anden halvdel af de undersøgte lande kan kontrollen udføres ved måling af støjen ved boliger. 4 af disse lande har både en fast grænse og en supplerende relativ støjgrænse, som fastsættes og evt. kontrolleres ud fra målinger af baggrundsstøjen.

I Annex A er der angivet 2 overbliksskemaer over de forskellige landes regler og metoder. Mange af støjreglerne er forholdsvis nye eller under udarbejdelse/revision. Læseren opfordres til selv at sikre sig, at reglerne stadig er gældende. I Tabel 1 nedenfor ses et samlet overblik for de 10 lande.

TABEL 1. Oversigtsskema over målemetoder og grænseværdier. Ikke alle relevante detaljer har kunnet indpasses i skemaet, jævnfør de relevante dele af afsnit 3. En mere uddybende oversigt er givet i skemaerne i Annex A.

	Dokumentation af støjniveau			Støj indikator	Grænse, støjfølsom		Vindhast. m/s	Tone-korr. dB	Min. afstand
	Kilde-styrke-måling	Bereg-ning	Måling hos naboer		Ude dag/nat dB(A)	Inde (LF) dag / nat dB(A)			
Danmark	x	x	(x) ²	L _r	37/39 @ 6/8 m/s	20	6/8	5	4 x totalhøjde
Norge	x	x	(x) ³	L _{den}	45	-	8	5	-
Sverige	x	x	x ⁴	L _{Aeq}	35	-	8	5	-
Tyskland	x	x	(x) ²	L _r	45/35	-	10	3/6	300-1000 m
Holland	x	x		L _{den} / L _n	47/31	-	6 - 10	-	-
Stor-britannien			x ⁵	L _{A90} / L _{Aeq}	35-40/43 eller baggr. + 5 dB	-	Startvind til max kildestyrke	1,5 - 5	-
Frankrig			x ⁵	L _{A50,10min}	35-40/43 eller baggr. + 5 / + 3 dB	-	8	-	500 m
Syd-australien			x ⁵	L _{A90} / L _{Aeq}	35 dB eller baggr. + 5 dB	-	Startvind til nominel effekt	5	-
Australien New South Wales			x ⁵	L _{A90} / L _{Aeq}	35 dB eller baggr. + 5 dB	-	Startvind til nominel effekt	5	-
Canada, Ontario			x ⁶	L _{A90} / L _{Aeq}	40-51@4-10 m/s	-	4-10	5	-

² Kun til fastlæggelse af toners tydelighed.

³ Det anføres, at usikkerheden på disse målinger er stor, og at målinger ikke kan benyttes til kontrol af grænseværdierne. Toner kan vurderes i denne måleposition.

⁴ Hvis effekten af forskellige meteorologiske forhold ønskes belyst, kan der foretages langtidsmålinger ved de nærmeste boliger. Langtidsmålinger er normalt ikke overvågede, og det anføres i vejledningen, at det i efterbehandlingen af måledata kan være svært at adskille vindmøllestøjen fra uvedkommende støj.

⁵ Målinger i kontrolsituation udføres som langtidsmålinger over flere uger (totalstøj og baggrundsstøj).

⁶ Der er beskrevet tre typer målekampagner – en kortvarig kvalificerende, optagelser initieret af nabo og en længerevarende detaljeret (flere uger).

6. Referencer

- [1] Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1736 af 21. december 2015: "*Bekendtgørelse om støj fra vindmøller*".
- [2] Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1284 af 15. december 2011: "*Bekendtgørelse om støj fra vindmøller*".
- [3] Miljøstyrelsens vejledning nr. 1: "*Støj fra vindmøller*", 2012.
- [4] Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1590 af 10. december 2014: "*Bekendtgørelse om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller*".
- [5] Rapport: "*General Nordic sound propagation model and applications in source-related prediction methods*", DELTA 2002.
- [6] Rapport: "*Validation of the Nord2000 propagation model for use on wind turbine noise*", DELTA 2009.
- [7] T-1440/1212: "*Veileder til retningslinje for behandling av støy i arealplanlegging*", Miljødirektoratet 2012.
- [8] Vejledning M-290: "*Måling av støy fra industri – Immisjonsmålemetode*", Miljødirektoratet 1984.
- [9] Elforsk rapport 98:24: "*Mätning av bullerimmission från vindkraftverk*", S. Ljunggren, 1998.
- [10] Vejledning fra Naturstyrelsen: "*Mätning och beräkning av ljud från vindkraft vägledning*", Naturvårdsverket 2013.
- [11] Vejledning fra Naturstyrelsen: "*Ljud från vindkraftverk*" - reviderad utgåva av rapport 6241, koncept 20 april 2010.
- [12] IEC 61 400-11:2006 standard: "*Wind turbine generator systems – Part 11: Acoustic noise measurement techniques*", edition 2.1, International Electrotechnical Commission.
- [13] IEC 61 400-14 technical specification: "*Declaration of apparent sound power values and tonality values*", International Electrotechnical Commission.
- [14] ISO 1996-2 standard: "*Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2: Determination of environmental noise levels*", Annex C: *Objective method for assessing the audibility of tones in noise - Reference method*", 2007.
- [15] Engelsk vejledning om støj fra vindmøller: ETSU-R-97: "*The assessment and rating of noise from wind farms*", The Working Group on Noise from Wind Turbines, 1996.
- [16] Vejledning i brug af ETSU-R-97: "*A good practice guide to the application of ETSU-R-97 for the assessment and rating of wind turbine noise*", Institute of Acoustics, 2013.
- [17] Fransk standard (udkast) NF S 31-114: "*Mesurage du bruit dans l'environnement avec et sans activité éolienne*" – version du 7/7/2011 – v3.
- [18] Tysk vejledning for industristøj: TA-Lärm GMBH Nr. 26: "*Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm*", 1998.
- [19] Tysk standard om tonetillæg: DIN 45681:2005-03: "*Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen*", 2005.
- [20] Tysk standard om lavfrekvent støj: DIN 45680:1997-03: "*Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft*", 1997 (standarden er under revision).
- [21] ISO 9613-2: Standard for "*Måling og beskrivelse af ekstern støj – Lydubredelsesdæmpning udendørs*", 1997.
- [22] Hollandsk vejledning: "*Bijlage 4 van Reken- en meetvoorschrift windturbinegeluid - annex 4 activiteitenbesluit*", 2011.

- [23] Guideline fra Sydaustralien: *"Wind farms environmental noise guidelines"*, 2009.
- [24] CONCAWE Report No. 4/81: *"The propagation of noise from petroleum and petrochemical complexes to neighbouring communities"*, 1981 .
- [25] Udkast til guideline for New South Wales: *"Draft NSW Planning Guidelines Wind Farms"*, 2011.
- [26] *"Proposed criteria for the assessment of low frequency noise disturbance"*, UK Department for Environment, Food and Rural Affairs, 2011.
- [27] Canadisk støj-guideline: *"Noise Guidelines for Wind Farms, Interpretation for Applying MOE NPC Publications to Wind Power Generation Facilities"*, 2008.
- [28] Canadisk måle-guideline: *"Compliance Protocol for Wind Turbine Noise, Guideline for Acoustic Assessment and Measurement"*, 2011.
- [29] NPC-104: *"Sound Level Adjustments"*, Ontario Ministry of the Environment.
- [30] IEC 61 400-11:2012 standard: *"Wind turbine generator systems – Part 11: Acoustic noise measurement techniques"*, edition 3.0, International Electrotechnical Commission.

Annex A - Oversigtsskemaer

TABEL 2. STØJREGLER I 5 EUROPÆISKE LANDE.

	Danmark	Norge	Sverige	Tyskland	Holland
Støjindikator	L_r (LF-støj: $L_{pA,LF}$)	L_{den} (årsmiddel)	L_{Aeq}	L_r	L_{den} / L_n
Tone-korrektion	5 dB	5 dB skærpelse af støjgrænsen. Tonevurdering ikke påkrævet forud for opstilling af nye vindmøller	5 dB skærpelse af støjgrænserne til henh. 35 dB og 30 dB i boliger og i støjfølsomme områder	3 / 6 dB	- Tonevurdering er ikke påkrævet, men kan udføres med IEC 61400-11
Minimum afstand til boliger	4 x vindmøllens totalhøjde	-	-	Enkeltbeboelse: 300-1000 m Boligområder: 500-1000 m (afh. af kommune)	-
Støjgrænser: <i>Alm. boligområder</i> DK: spredt bebyggelse i åbent land	42 / 44 (6 / 8 m/s)	45	40 (35 hvis toner)	50 / 35 (dag / nat)	Gælder alle boligområder: $L_{den} = 47$ $L_{night} = 41$
Støjgrænser: <i>Støjfølsomme Områder</i> DK: boligområder mm.	37 / 39 (6 / 8 m/s)		35 (30 hvis toner)	45 / 35 (dag / nat)	
Reference-vindhastighed	6 og 8 m/s	8 m/s	8 m/s	10 m/s	Alle relevante vindhastigheder
Grænseværdier	Bekendtgørelse nr. 1736 af 21/12-2015	Miljødirektoratet: T-1442/2012	www.naturvardsverket.se: <i>Riktvärden för ljud från vindkraft</i>	TA Lärm, GMBI Nr. 26/1998	Miljøministeriet www.infomil.nl: Artikel 3.14a wijzigingsbesluit 2010/749

Målemetoder	Kildestyrke: Bekendtgørelse nr. 1736 eller IEC 61400-11 Beregninger: Bekendtgørelse nr. 1736 af 21/12-2015 Toner: MST 6/1984 og Orientering nr. 16, 31 og 47.	Kildestyrker: IEC 61400-14 Beregninger: T-1442/2012, eller alternativt med Nord 2000 Nabomåling: Elforsk rapport 98:24/1998 Toner: ISO 9613-2: 1996 Annex C	Kildestyrker: IEC 61400-14 Beregninger: Naturvårdsverket rapport 6241, koncept 2010. Nabomåling: Elforsk rapport 98:24/1998 Toner: ISO 9613-2: 1996 Annex C	Beregninger DIN ISO 9613-2	Kildestyrke og beregninger: Bilbage 4 van Reken - en meetvoorschrift windturbinegeluid (2011), baseret på IEC 61400-11 og ISO 9613-2:1996
-------------	---	--	--	--------------------------------------	---

TABEL 3. STØJREGLER I 5 LANDE.

	Storbritannien	Frankrig	Sydaustralien	Australien New South Wales	Canada Ontario
Støjindikator	$L_{A90,10min}$	$L_{A50,10min}$	$L_{A90,10min} / L_{Aeq,10min}$	$L_{A90,10min} / L_{Aeq,10min}$	L_{A90} / L_{Aeq}
Tonekorrektion	1,5 - 5 dB	Toner må ikke forekomme i mere end 30 % af dagen / natten	5 dB	5 dB	5 dB
Minimumsafstand til beboelse	-	> 500 m	-	-	-
Støjgrænser <i>Alm. boligområder</i>	Gælder overalt: Nat: 43 dB(A) Dag: 35-40 dB(A) eller baggrundsstøjen plus 5 dB	35 dB(A) eller højst 5 dB / 3 dB over baggrundsstøjen henh. dag / nat	40 dB(A) eller højst 5 dB over baggrundsstøjen	35 dB(A) eller højst 5 dB over baggrundsstøjen	Trinvis L_{Aeq} fra 45 til 51 dB(A) ved vindhastigheder fra 4 til 10 m/s
Støjgrænser <i>Støjfølsomme områder</i>		Som for alm. boligområder	35 dB(A) eller 5 dB over baggrundsstøjen	Som for alm. boligområder	L_{Aeq} trinvis fra 40 til 51 dB(A) ved vindhastigheder fra 4 til 10 m/s
Referencevindhastighed	Startvind til max kildestyrke	Totalstøj: 8 m/s Baggrundsstøj: < 5 m/s	Startvind til nominal effekt	Startvind til nominal effekt	4 til 10 m/s
Retningslinjer	ETSU-R-97	Dekret nr. 2006-1099, aug. 2006. Dette gælder alle typer støjkluder	Wind farms environmental guidelines 2009	Samme som Sydaustralien, samt Draft NSW Planning Guidelines Wind Farms 2011	Noise Guideline for Wind Farms 2008

Måle- og beregningsmetoder	<p>Nabomålinger: ETSU-R-97 samt Good practice guide, 2013</p> <p>Kildestyrke: IEC 61400-11</p> <p>Beregninger: ISO 9613-2</p> <p>Toner: ETSU-R-97</p>	<p>Målinger: Udkast: NF S 31-114, juli 2011. En ny standard på vej i 2016 (AFNOR 2105)</p> <p>Indendørs: NF 31-010</p>	<p>Nabomålinger Wind farms environmental guidelines</p> <p>Kildestyrke: IEC 61400-11</p> <p>Beregninger: ISO 1996-2 eller CONCAWE</p>	<p>Nabomålinger Wind farms environmental guidelines</p> <p>Kildestyrke: IEC 61400-11</p> <p>Beregninger: ISO 1996-2 eller CONCAWE</p> <p>Toner: Draft NSW Planning Guidelines</p>	<p>Nabomålinger Compliance Protocol for Wind Turbine Noise, MOE 2011</p> <p>Beregning: ISO 9613-2</p> <p>Toner: ISO-1996-2 Annex C</p>
----------------------------	---	---	---	---	--

Regler og metoder for støj fra vindmøller i andre lande

Denne rapport omhandler en undersøgelse af målemetoder og støjregler for vindmøller i 10 lande/delstater. Undersøgelsen er udført som et litteraturstudium. Informationsøgningen er afsluttet i december 2015. For de undersøgte lande tegner der sig to overordnede metoder til kontrol af støjen fra vindmøllerne:

- Metode 1) Beregning af støjudbredelsen ved boliger, baseret på vindmøllens målte kildestyrke.
- Metode 2) Måling direkte ved boliger.

De to metoder giver anledning til forskellige typer støjgrænser. Til begge metoder knyttes der faste støjgrænser udendørs ved boliger, men Metode 2 har derudover også relative støjgrænser, der afhænger af boligområdets baggrundsstøj. Der stilles her krav til, hvor meget vindmøllerne må forøge baggrundsstøjen ved en bolig. Metode 2 er mest udbredt i Frankrig og de engelsktalende lande.

Metode 1 ser ud til at være bedst valideret pga. de internationale standarder og metoder, der benyttes. Kildestyrkemålinger udføres pr. vindmølle og kan sædvanligvis udføres på 1-2 dage pr. vindmølle alt efter ønsket vindhastighedsområde. Målingerne foregår tæt på møllen og kan normalt planlægges, så de ikke forstyrres af baggrundsstøj. Støjen ved boligerne kan nemt beregnes.

Metode 2 kræver langvarige målinger og regelmæssige standsninger af vindmøllerne. Det efterfølgende analysearbejde af måledata kan være omfattende, og det kan vise sig svært at adskille vindmøllens støjbidrag fra baggrundsstøjen.



Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K

www.mst.dk