



We help ideas meet the real world

Teknisk Notat

Støj fra vindmøller ved andre vindhastigheder end 6 og 8 m/s

Udført for Miljøstyrelsen

TC-100531

Sagsnr.: T207334

Side 1 af 15

3. april 2014

DELTA

Venlighedsvej 4

2970 Hørsholm

Danmark

Tlf. +45 72 19 40 00

Fax +45 72 19 40 01

www.delta.dk

CVR nr. 12275110

Titel

Støj fra vindmøller ved andre vindhastigheder end 6 og 8 m/s

Journal nr.

TC-100531

Sagsnr.

T207334

Vores ref.

LSS-SMN-THP/ilk

Rekvirent

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K

Rekvirentens ref.

Jesper Mogensen

Resumé

Målinger af støj fra vindmøller i Danmark er blevet gennemgået for at identificere datasæt indeholdende data ved andre vindhastigheder end 6 og 8 m/s. Fokus har været på nyere pitch-regulerede vindmøller, som typisk opstilles i Danmark. Det samlede datagrundlag er genanalyseret og resultaterne sammenlignet.

Generelt stiger kildestyrken med vindhastigheden op til omkring 7 m/s, hvorefter kurven knækker, og kildestyrken er konstant eller svagt aftagende ved højere vindhastigheder.

Der er stor spredning i støjen fra støjreducerede vindmøller, hvilket formentlig skyldes, at de målte vindmøller hver især opererer i flere forskellige støjindstillinger. Generelt ser det ud til, at kildestyrken stiger op til en vis vindhastighed, hvorefter kurven flader ud. Der er dog stor variation i, hvor kraftig stigningen er i kildestyrke pr. ændring i vindhastighed, og ved hvilken vindhastighed knækket sker.

Når støjen fra vindmøller i standardindstilling sammenlignes med støjreducerede vindmøller trods den store spredning på sidstnævnte, er der en tendens til, at støjen ved lav vind (4-5 m/s) er sammenlignelig, mens der for vindhastigheder omkring 6-9 m/s er en gennemsnitlig forskel på 2 dB mellem støjreducerede vindmøller og ikke støjreducerede vindmøller. For højere vindhastigheder omkring 10 og 11 m/s er der en svag tendens til, at støjen igen er sammenlignelig. Datagrundlaget i dette vindhastighedsområde er dog spinkelt.

Der er ingen tendenser til minima i støjen ved 6 og 8 m/s.

DELTA, 3. april 2014

Lars S. Søndergaard
Akustik



Indholdsfortegnelse

1. Formål	4
2. Metode.....	4
3. Datagrundlag.....	6
4. Resultater	8
5. Betydning af baggrundsstøj	13
6. Konklusion	15
7. Referencer	15

1. Formål

Sammenlignet med stall-regulerede vindmøller har de moderne pitch-regulerede vindmøller mulighed for at optimere vindmøllens ydelse til en given situation og lokalitet og dermed udnytte vinden bedre. De forbedrede indstillingsmuligheder skaber dog frygt i befolkningen for, at vindmølleproducenter og vindmølleejere udnytter denne mulighed til at indstille vindmøllerne, så vindmøllerne støjer mere ved andre vindhastigheder end 6 og 8 m/s, hvor støjkravene er gældende i Danmark. DELTA har udført en stor mængde kontrolmålinger af støjen fra forskellige vindmøller i Danmark, og Miljøstyrelsen har bedt DELTA undersøge støjen fra nyere vindmøller i Danmark ved andre vindhastigheder end de normalt rapporterede.

2. Metode

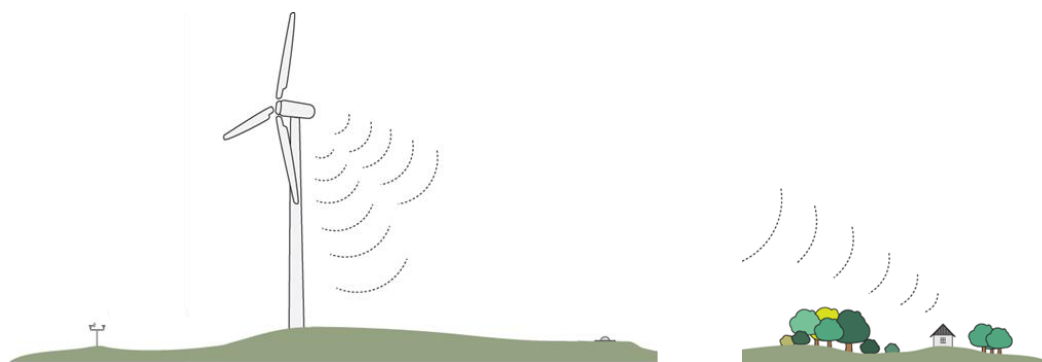
I Danmark er støj fra vindmøller siden år 2006 reguleret ved bekendtgørelserne BEK nr. 1518 [1] og BEK nr. 1284 [2]. Fælles for de to bekendtgørelser er, at de fokuserer på vindhastighederne 6 og 8 m/s i 10 m højde. En del kommuner i Danmark kræver, at der udføres kontrolmåling af støjen, når der opsættes nye vindmøller. Under kontrolmålingen fokuseres der på at måle støjemissionen ved 6 og 8 m/s, men vejrudsigten passer sjældent eksakt, og samtidig er vinden til tider meget svingende og turbulent. DELTA har derfor også indsamlet data ved andre vindhastigheder end 6 og 8 m/s. Naturligvis er vindhastighederne tættest på 6 og 8 m/s bedst repræsenteret, hvorfor der vil være et begrænset datagrundlag under 4 m/s og over 10 m/s.



Figur 1

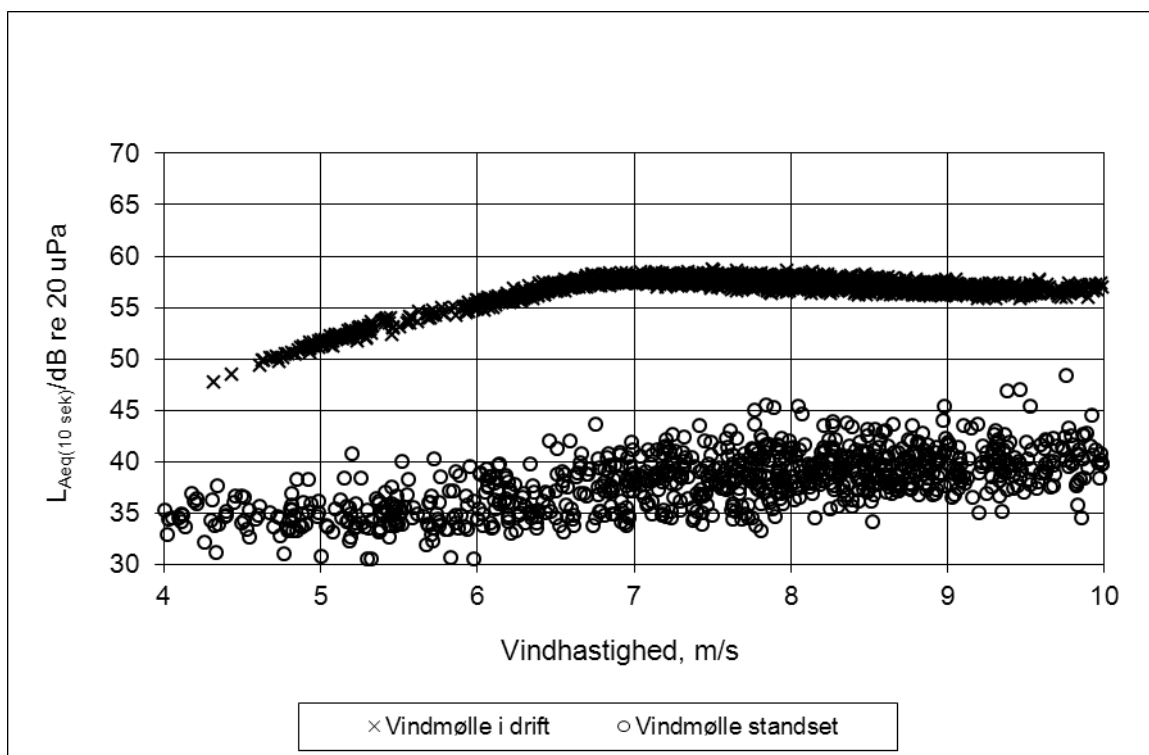
Foto af en måling af støjen fra en vindmølle, hvor vindmøllen, pladen og mikrofonen (under den ekstra vindskærm) kan ses.

De omtalte kontrolmålinger udføres iht. bekendtgørelserne ved en måling af lydtrykket på en cirkulær plade (+6 dB-måling) placeret direkte på jorden i en afstand svarende til totalhøjden på vindmøllen, se Figur 1. På baggrund af det målte lydtryk kan kildestyrken beregnes. Denne anvendes så til udregning af støjbelastningen i naboafstand, se Figur 2.



Figur 2
Principskitse, hvor vindmøllen, mikrofon og nabo er vist.

Bestemmelsen af kildestyrke foregår, ved at støjniveauet måles over en periode på enten 10 eller 60 sekunder. 60 sekunder anvendes ved BEK nr. 1518, mens begge periodetider kan anvendes ved BEK nr. 1284. Samtidig med målingen af støjniveau registreres forskellige parametre fra vindmøllen, blandt andet produceret effekt og vindhastighed målt med vindmøllens anemometer. Disse data suppleres med vindhastigheden målt med en medbragt meteorologimast på minimum 10 m højde. På baggrund af disse data bestemmes vindhastigheden i 10 m højde. Der måles totalstøj, som hovedsageligt er støjen fra vindmøllen og baggrundsstøj, når møllen er standset. Begge målinger udføres med eventuelle nabovindmøller standset, så støjen fra disse ikke forstyrrer målingen. I Figur 3 er vist en måling efter BEK nr. 1284, hvor støjen ved forskellige vindhastigheder er vist både med vindmøllen i drift og standset. For den aktuelle måling ses det, at støjen fra vindmøllen stiger med stigende vindhastighed til ca. 7 m/s, hvorefter støjen ved højere vindhastigheder end 7 m/s aftager en smule. Det ses desuden, at baggrundsstøjen (i dette tilfælde vegetationsstøj) er jævnt stigende med stigende vindhastighed for hele måleintervallet.



Figur 3

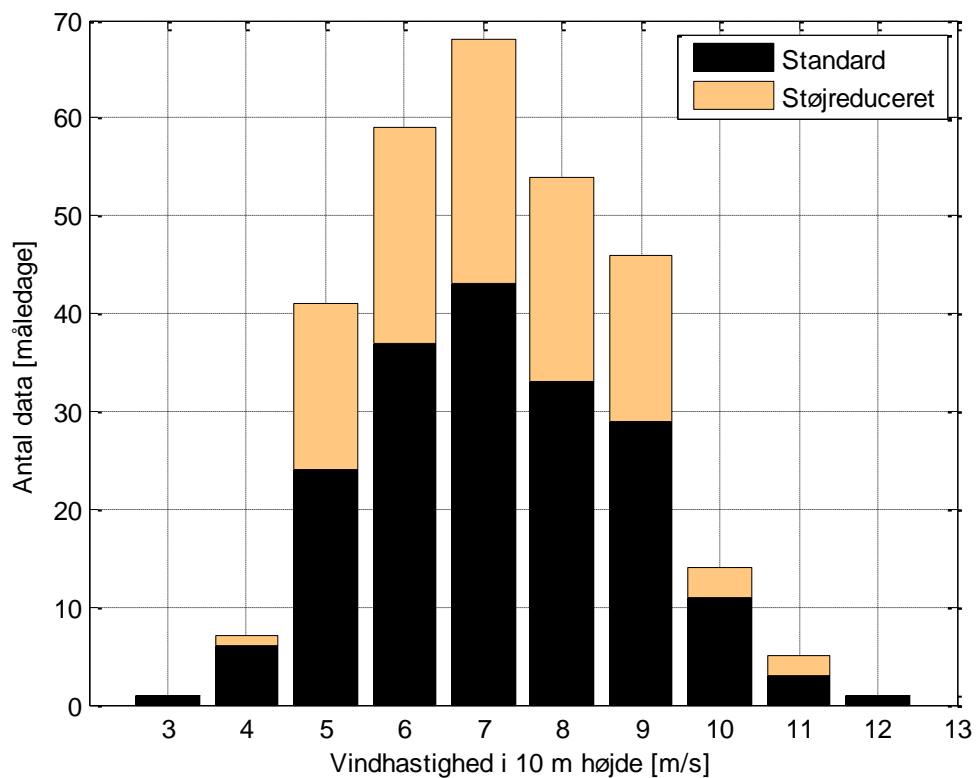
Måling af vindmøllestøj og baggrundsstøj som opfylder både BEK nr. 1284 [2] (omfatter vindhastigheder på 6 og 8 m/s) og IEC 61400-11 [3] (omfatter vindhastigheder fra 6 til 10 m/s).

I henhold til BEK 1518 og BEK 1284 beregnes en gennemsnitsværdi af støjen i de forskellige vindhastighedsintervaller, v_{ref} , hvor data beliggende i området $5,5 \text{ m/s} \leq v_{ref} < 6,5 \text{ m/s}$ hører til vindhastighedsintervallet 6 m/s. På samme måde dækker vindhastighedsintervallet 8 m/s området $7,5 \text{ m/s} \leq v_{ref} < 8,5 \text{ m/s}$.

3. Datagrundlag

Datagrundlaget for denne analyse er indsamlet ved måling på 51 forskellige vindmøller gennemført af DELTA i perioden primo 2010 til ultimo 2013. Visse af vindmøllerne er målt i forskellige driftsindstillinger. Nogle af møllerne er målt over flere måledage for at fange vindhastigheder både omkring 6 m/s og 8 m/s. I alt er her medtaget 74 målinger. Figur 4 viser fordelingen af disse målinger på vindhastigheder. Det ses af figuren, at de to fordelinger ligner hinanden meget, hvorfor sammenligningen af de to mølletyper ved forskellige vindhastigheder kan ske på et ensartet grundlag. De 74 målinger repræsenterer et udsnit af de målinger, DELTA har udført siden 2010, og er udvalgt efter, hvor stort et vindhastighedsområde de indeholder data i, og hvorvidt der er givet tilladelse til at genanvende data.

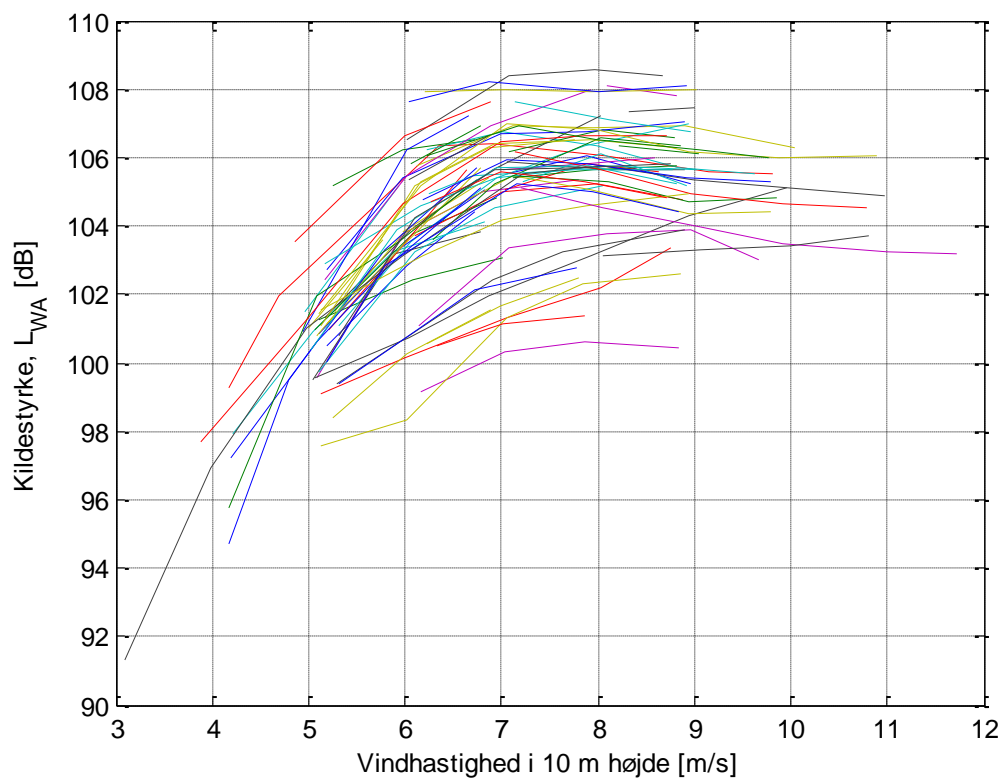
De anvendte data er fra målinger foretaget på mølletyperne Vestas V80, Vestas V90, Vestas V112, Siemens SWT 2,3 MW, Siemens SWT 3,0 MW og Siemens SWT 3,6 MW, hvilket repræsenterer de vindmølletyper, der hyppigst er blevet opsat i Danmark over de seneste år. Ovennævnte vindmøller findes desuden ofte med forskellig rotordiameter, forskellig nominal effekt, forskellige støjindstillinger og nogle både med og uden gear. For hver måling er data lokaliseret ud over 6 og 8 m/s, hvorefter disse er analyseret, og en kildestyrke er beregnet iht. retningslinjerne i enten BEK 1518 eller BEK 1284 ved disse vindhastigheder. Enkelte af de viste data opfylder ikke alle retningslinjer i BEK 1518 eller BEK 1284, men data er alligevel inkluderet, da afvigelsen vurderes ikke at have betydning for resultatet.



Figur 4
 Overblik over antal målinger for hver vindhastighed.

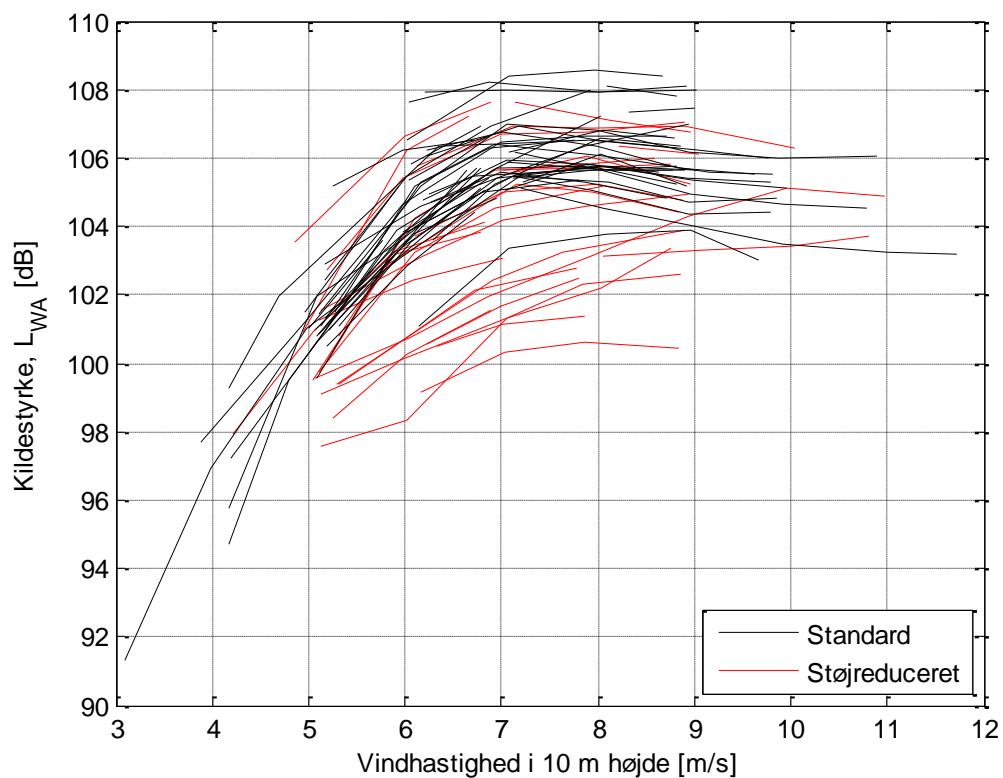
4. Resultater

Resultaterne fra gennemgangen af data er vist på de følgende sider. Figur 5 viser det samlede overblik over de fundne data. Det ses, at resultaterne - som forventet - primært dækker området fra 5 til 9 m/s, men enkelte resultater ned til 3 m/s og op til 12 m/s er også indeholdt. Det ses også, at der er en stor spredning på ca. 8 dB i kildestyrkerne i området omkring 6-8 m/s.

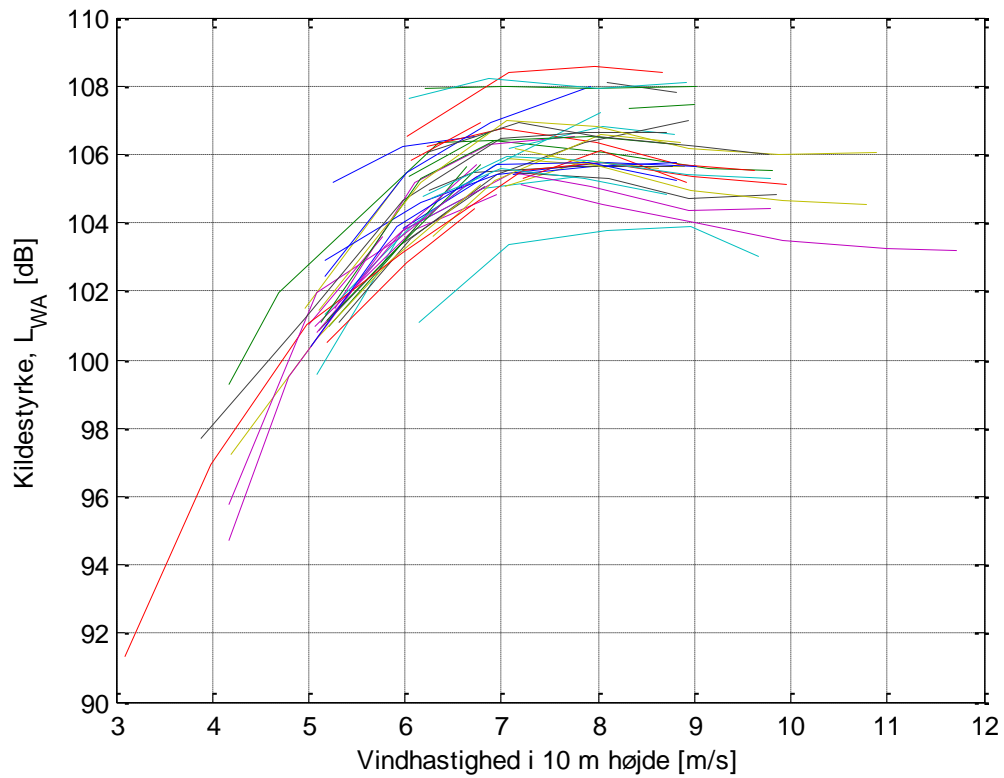


Figur 5
 Samlet overblik over alle de fundne data. Her vises kildestyrken som funktion af vindhastigheden.

For at skabe et bedre overblik er kurverne fra Figur 5 gentegnet i Figur 6, men opdelt i to grupper, sort og rød. Den sorte farve repræsenterer vindmøller, der ikke er støjreduceret. Den røde farve repræsenterer støjreducerede vindmøller. Den generelle tendens i denne figur viser som ventet, at de ikke støjreducerede vindmøller generelt støjer mest. Kurverne splittes herefter op i to figurer: Figur 7 indeholder vindmøllerne i standardindstilling, mens Figur 8 indeholder de støjreducerede vindmøller.

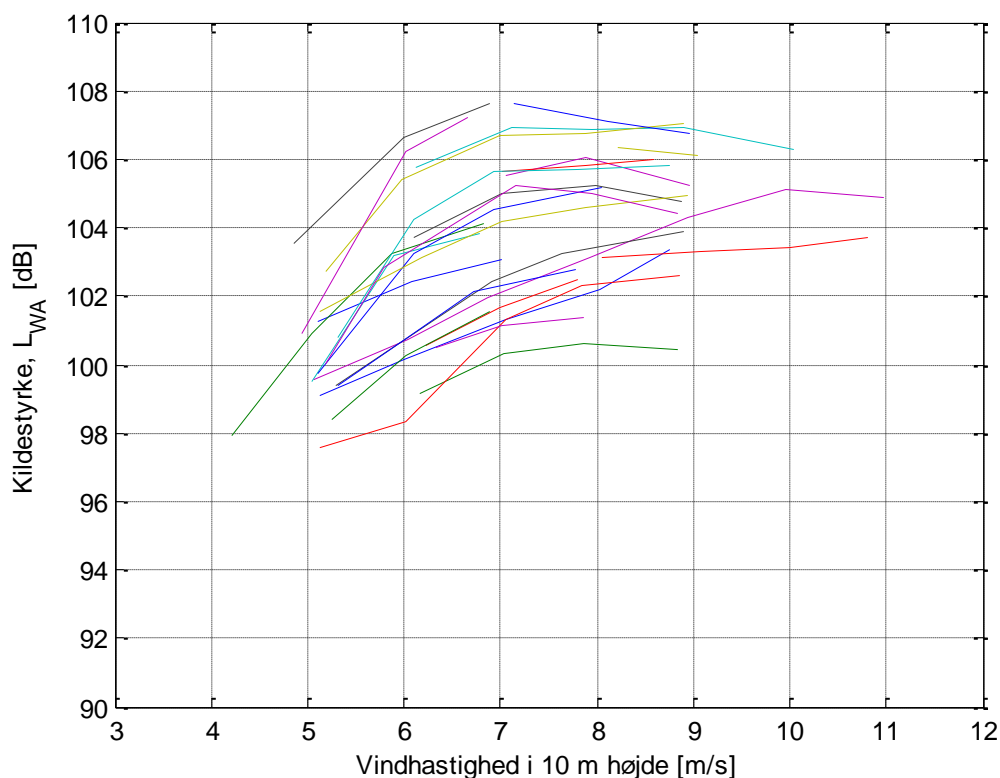


Figur 6
 Kildestyrke for både vindmøller i standardindstilling (sort) og i en støjreduceret indstilling (rød).



Figur 7
Støjudviklingen for alle vindmøller der kører i standardindstilling.

For vindmøller i standardindstilling ser støjudviklingen for vindhastighed ud til at følge omtrent det samme mønster: støjen stiger med vindhastigheden op til ca. 7 m/s, hvorefter støjniveauet ved stigende vindhastighed enten er det samme eller lavere.

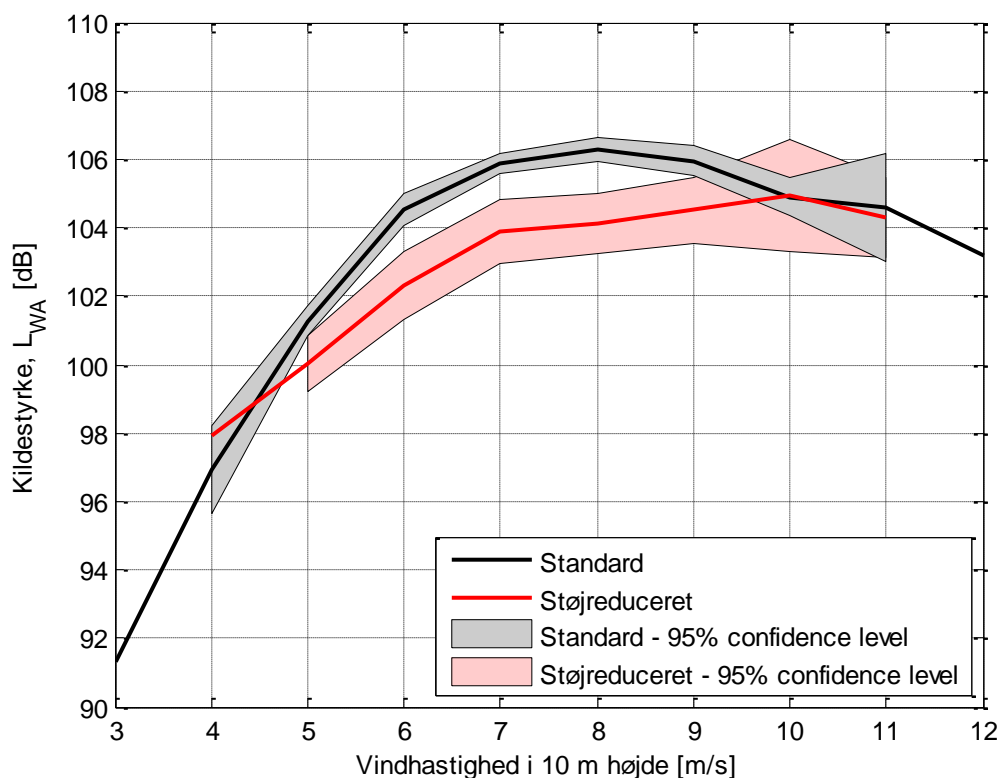


Figur 8
 Støj udviklingen for alle vindmøller der kører i en støjreduceret mode.

Støjudviklingen for støjreducerede vindmøller er vist i Figur 8 og ser ikke ud til at følge et bestemt mønster, hvilket heller ikke var forventeligt, da hver mølle kan indstilles til forskellige niveauer af støjreducering. Generelt ser der ud til at være to tendenser:

- Støjen stiger med stigende vindhastighed op til ca. 7 m/s, hvorefter støjen enten er konstant eller faldende for højere vindhastigheder.
- Støjen stiger med stigende vindhastighed op til grænsen for, hvor der er data.

I et forsøg på at sammenligne de støjreducerede vindmøller med standardvindmøllerne er den aritmetiske middelværdi for hver vindhastighed beregnet og vises på Figur 9. Det kan diskuteres, om middelværdien beregnet på denne måde er en fair repræsentation, da den begrænsede datamængde over 9 m/s ikke nødvendigvis er repræsentativ.



Figur 9

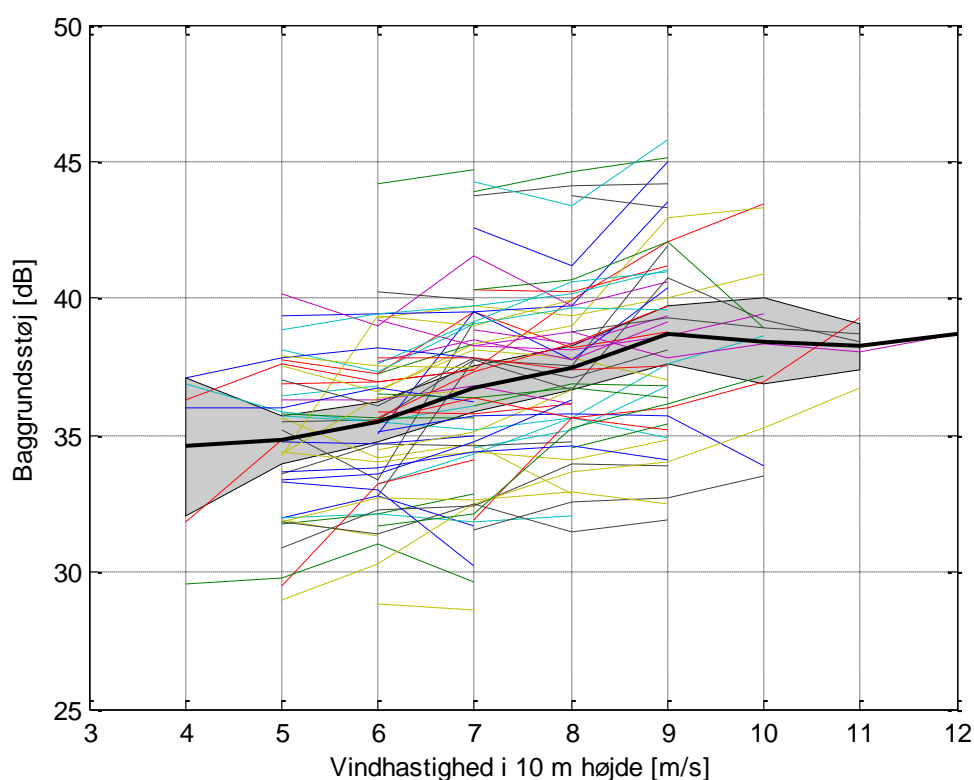
Den generelle forskel mellem vindmøller i standardindstilling og vindmøller der er støjreduceret i en eller anden form. Kurverne viser middelværdierne, og de farvede arealer viser 95 % konfidensintervallet.

Som en tommelfingerregel kan man antage, at overlappende konfidensintervaller tyder på, at middelværdierne ikke er signifikant forskellige. Figur 9 viser derfor, at kildestyrken ved let vind (4 og 5 m/s) og kraftig vind (10 og 11 m/s) ikke er væsentligt forskellig, uanset om vindmøllerne er støjreducerede eller ej, hvor der er en generel forskel på ca. 2 dB for vindhastighederne 6-9 m/s. Ved vindhastighederne 10 og 11 m/s er kurverne ikke signifikant forskellige og datagrundlaget meget spinkelt.

Det bemærkes også, at begge kurver har et glat forløb uden tendenser til minima i støjen ved 6 og 8 m/s.

5. Betydning af baggrundsstøj

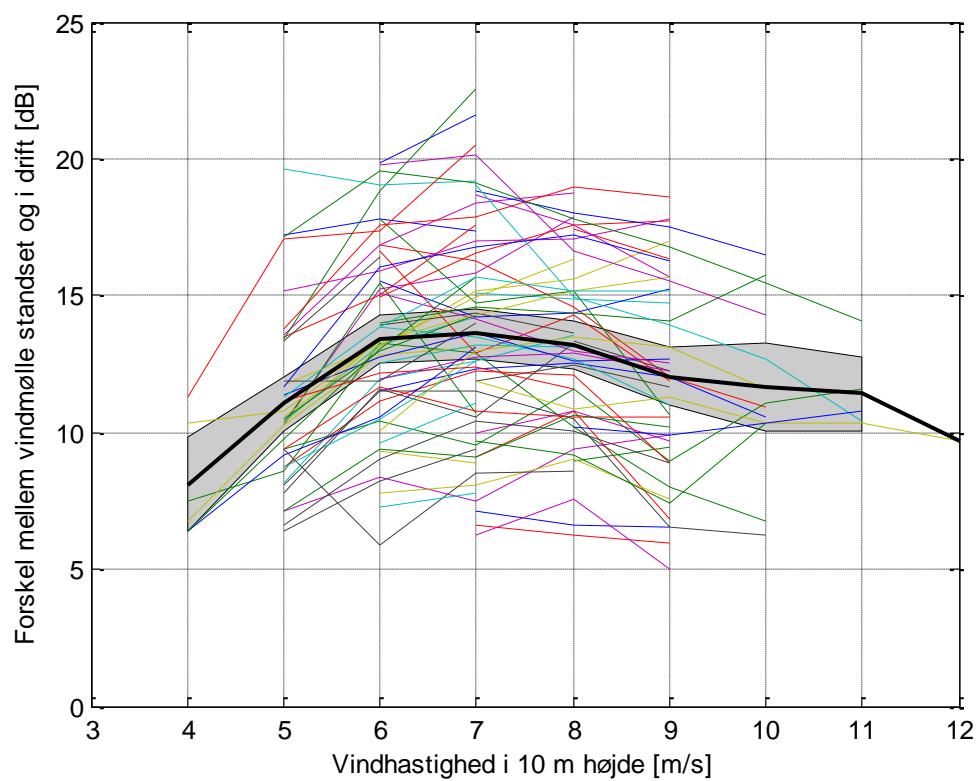
Slutteligt er den målte baggrundsstøj (korrigeret til frit felt) for alle målingerne illustreret i Figur 10, hvor også den aritmetiske gennemsnitsværdi samt 95 % konfidensinterval er vist. Den generelle tendens viser, at baggrundsstøjen stiger, jo højere vindhastigheden er. Dog er middelværdien for 10 og 11 m/s ikke nødvendigvis repræsentativ, da disse bygger på et spinklere datagrundlag end ved fx 9 m/s.



Figur 10

Udviklingen af baggrundsstøjen som funktion af vindhastigheden for samtlige 74 målinger samt middelværdi og 95 % konfidensinterval (hvh. fed sort og gråt areal).

Hvis den målte baggrundsstøj sammenlignes med den målte støj fra vindmøllen (totalstøjen) ved at se på differensen, se Figur 11, er der en tendens til, at den største forskel mellem totalstøjen og støjen i omgivelserne findes i området 6-9 m/s med en gennemsnitlig forskel på ca. 12 dB. Denne forskel falder med øget afstand til vindmøllen. Hvis støjudviklingen for den målte baggrundsstøj tæt ved vindmøllen er repræsentativ for støjudviklingen i naboafstand til vindmøllen, betyder det, at vindmøllen i gennemsnit vil være mest hørbar i området 6-9 m/s.



Figur 11
Forskellen mellem totalstøj og baggrundsstøjen ved forskellige vindhastigheder.

6. Konklusion

Et stort antal målinger af støj fra vindmøller er gennemgået, og relevante datasæt, som fokuserer på nyere vindmøller, hvor andre vindhastigheder end 6 og 8 m/s er repræsenteret, er udvalgt. Måledata er genanalyseret, og en kildestyrke er beregnet ved de vindhastigheder, hvor der findes data. Der er et stort datasæt for vindhastighedsintervallet 5-9 m/s, hvorimod der kun er få data for lavere vindhastigheder end 5 m/s og højere vindhastigheder end 9 m/s.

Generelt viser data, at støjen fra vindmøllerne stiger med vindhastigheden op til ca. 7 m/s hvorefter støjen ved højere vindhastigheder typisk enten er konstant eller let faldende.

Der er stor spredning i støjen fra støjreducerede vindmøller, hvilket formentlig skyldes, at de målte vindmøller hver især opererer i flere forskellige støjindstillinger. Generelt ser det ud til, at kildestyrken stiger op til en vis vindhastighed, hvorefter kurven flader ud. Der er dog stor variation i, hvor kraftig stigningen er i kildestyrke pr. ændring i vindhastighed, og ved hvilken vindhastighed knækket sker.

Når støjen fra vindmøller i standardindstilling alligevel sammenlignes med støjreducerede vindmøller, er der en tendens til, at støjen ved lav vind (4-5 m/s) er sammenlignelig, mens at der for vindhastigheder i intervallet omkring 6-9 m/s er en gennemsnitlig forskel på 2 dB mellem støjreducerede vindmøller og ikke støjreducerede vindmøller. For højere vindhastigheder omkring 10 og 11 m/s er der en svag tendens til, at støjen igen er sammenlignelig. Datagrundlaget over 9 m/s er dog spinkelt.

Det kan også konkluderes, at der ikke for nogen af målingerne er specielle minima i kildestyrkerne omkring de to vindhastigheder 6 og 8 m/s.

7. Referencer

- [1] Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1518 af 14. december 2006:
Bekendtgørelse om støj fra vindmøller.
- [2] Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1284 af 15. december 2011:
Bekendtgørelse om støj fra vindmøller.
- [3] IEC 61400-11:2002 edition 2.1:
Wind turbine generator systems – Part 11: Acoustic noise measurement techniques.