

Vurdering af toneindhold i vindmøllestøj hos naboer



Rapport nr. 28
Miljøstyrelsens Referencelaboratorium for Støjmålinger
DELTA

Titel Vurdering af toneindhold i vindmøllestøj hos naboer

Vores ref. LSS/THP/ilk

Rekvirent Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K

Resumé

For at kunne fastlægge støjbelastningen fra vindmøller skal støjens indhold af tydeligt hørbare toner i nogle tilfælde vurderes på grundlag af målinger ved naboer til vindmøllerne. Vindgenereret støj fra vegetation og bygninger (vindstøjen) har væsentlig indflydelse på resultatet, og betydningen af målepunktets placering for resultatet er undersøgt. Det er ydermere belyst, hvordan det samlede resultat for et tonetillæg falder ud med hhv. et fast 5 dB tillæg eller et gradueret tillæg.

Der er udført synkrone målinger i 1-minutperioder af vindstøjen i et antal mikrofonpositioner, der kunne repræsentere mulige målepositioner til måling af toneindhold hos naboer til en vindmølle. Resultaterne er analyseret i kritiske bånd, og der er fundet store forskelle (op mod 10 dB for gennemsnittet ved én vindhastighed) i resultaterne fra mikrofonpositionerne.

På baggrund af målingerne er der givet generelle retningslinjer for, hvorledes målepositionerne vælges, så de bedst opfylder bekendtgørelsens krav om, "at vindstøjen får mindst mulig indvirkning på måleresultaterne".

Målingerne viste også, at det A-vægtede støjniveau fra vegetationen i de fleste tilfælde var højere end de gældende støjgrænser. Det betyder, at en eventuel eftervisning af overholdelse af støjgrænserne ud fra målinger kan være svær og give et usikkert resultat.

Den nuværende analysemetode er en maksimalværdimetode for 1-minutperioderne. Det vil kunne nedbringe usikkerheden på resultaterne, hvis tydeligheden i stedet angives som f.eks. 95 % fraktilen af de "tydeligheder", der er målt i 1-minutperioderne svarende til den tydelighed, der overskrides i 5 % af observationerne.

Fire konkrete sager er gennemgået for at belyse et fast kontra et gradueret tonetillæg. Der blev taget udgangspunkt i en måleubestemthed på 2 dB.

I den afgørende naboafstand vil en ændring af tonernes tydelighed med 2 dB kunne ændre afgørelsen om et fast tillæg på 5 dB hos 3 af de 12 naboer, hvor der er foretaget målinger. Et gradueret tillæg ville højst ændre sig med 2 dB i de tilfælde, hvor det gives.

Det kan konkluderes, at i sager, hvor toneniveauet ligger 6-7 dB over medhørstærsklen, bliver det ret tilfældigt, om der tillægges 0 eller 5 dB pga. måleubestemtheden. Med et gradueret tillæg vil tillægget tilsvarende kun variere mellem 2 og 3 dB.

Målingerne, der ligger til grund for denne rapport, er foretaget, mens der var blade på træer og buske. Betydningen af forskellige bevoksningstyper (løv/nåletræer) samt døgn- og årstidsvariation er ikke en del af projektet.

DELTA, 21. december 2015



Lars S. Søndergaard
Referencelaboratoriet



Torben Holm Pedersen
Referencelaboratoriet

Indholdsfortegnelse

1. Indledning	4
2. Baggrund og formål	4
3. Bekendtgørelse og vejledninger	5
4. Målinger	6
4.1 Ejendommen	7
4.2 Mikrofonplaceringer	7
5. Resultater	12
5.1 Støjniveau som funktion af vindhastigheden	12
6. Anbefalinger	19
6.1 Valg af mikrofonplacering	19
6.2 Hensyntagen til luftabsorption	21
7. Graderet tillæg	22
7.1 Måling af toner i vindmøllestøj	22
7.2 Fast eller graderet tillæg	23
7.3 Eksempler på konkrete sager	26
8. Konklusion	31
9. Referencer	33
Appendiks 1 – Placeringer af mikrofoner og vindmast	34
Mikrofonplacering 1	34
Mikrofonplacering 2	36
Mikrofonplacering 3	37
Mikrofonplacering 4	39
Mikrofonplacering 5	40
Placering af mast med vindmåler	41

1. Indledning

For at kunne fastlægge støjbelastningen i et punkt fra en eller flere vindmøller skal støjens indhold af tydeligt hørbare toner i nogle tilfælde vurderes på grundlag af målinger ved én eller flere naboer til vindmøllerne. Vindgenereret støj fra vegetation og bygninger (vindstøjen) har væsentlig indflydelse på resultatet, og betydningen af placeringen af målepunktet for resultatet er undersøgt. Det er ydermere belyst, hvordan det samlede resultat for et tonetillæg falder ud med hhv. et fast 5 dB tillæg eller et graderet tillæg, når ovennævnte variationer er i spil.

Betydningen af forskellige bevoksningstyper (løv/nåletræer) samt døgn- og årstidsvariation er ikke en del af projektet.

2. Baggrund og formål

Ved bestemmelse af støjbelastningen fra vindmøller foretages måling af vindmøllers kildestyrke og toneindhold i henhold til Vindmøllebekendtgørelsen 1736 af 21/12 2015 [1] (fremover refereret til som BEK 1736). Målingen foretages i en afstand svarende til vindmøllens totalhøjde. Hvis det viser sig, at der forekommer tydeligt hørbare toner i denne afstand, skal toneindholdet også vurderes ved den mest støjbelastede bolig. I BEK 1736 er beskrevet følgende omkring vurdering af støjens indhold af tydeligt hørbare toner: ”Støjmålingen skal foretages i et repræsentativt punkt i nærheden af den nærmeste bolig 1,5 m over terræn og valgt på en sådan måde, at vindstøjen får mindst mulig indvirkning på måleresultaterne”.

Sædvanligvis er der en eller anden form for vegetation omkring boligen – som oftest træer og buske. Som ovenstående antyder, har placeringen af målepunktet stor betydning for resultatet, fx om vurderingen foretages i læ, tæt på vegetation eller i det fri, da maskeringen vil stige eller falde alt efter placering.

Om valg af målepunkt:

- 1) Støjgrænsen gælder for det mest støjbelastede punkt ved udendørs opholdsarealer højst 15 m fra beboelse i det åbne land.
- 2) Der skal måles i et repræsentativt punkt, dvs. et punkt som er eller kunne være repræsentativt for brugen af de udendørs opholdsarealer.
- 3) Målepunktet vælges, hvor der er mindst vindgenereret baggrundsstøj på de under 1) og 2) angivne områder med en vindretning, hvor der er medvind $\pm 45^\circ$ fra vindmøllen hen mod målepunktet.

I dette projekt er problematikken belyst ved at sammenligne synkron målinger for forskellige positioner på en typisk landejendom, der kunne have været nabo til vindmøller, men ikke er det. Fordelen ved at vælge en ejendom, der ikke er nabo til vindmøller, er dels af praktisk karakter (det er ikke nødvendigt at vente på, at det blæser fra en bestemt retning), og dels giver det beregningsmæssigt mulighed for at se på effekten for toner i hele frekvensområdet og ikke kun ved de frekvenser, hvor der tilfældigvis er toner fra den eller de aktuelle vindmøller, som står i nærheden.

Det faste 5 dB tillæg for tydeligt hørbare toner udgør et specielt problem, fordi man med et fast tillæg kan risikere, at en minimal forskel i baggrundsstøjniveau kan være afgørende for, om 5 dB tillægget udløses eller ej. Ud over at forsøge at give en vejledning, der minimerer forskelle i baggrundsstøjniveau for målepositioner, der opfylder bekendtgørelsen, er det også et formål at belyse, i hvilken grad et gradueret tillæg kan medvirke til at mindske den samlede ubestemthed og bringe den målte støjbelastning i bedre overensstemmelse med den oplevede støjgene. Det graduerede tonetillæg er beskrevet i Referencelaboratoriets Orientering nr. 31, 2001 [5] samt i ISO 1996-2 Annex C [7].

3. Bekendtgørelse og vejledninger

Målinger og vurderinger skal foretages i henhold til følgende udklip fra relevante metoder.

BEK 1736 [1]:

- *For at kunne fastlægge støjbelastningen L_r i et givet punkt skal støjens indhold af tydeligt hørbare toner vurderes”.*
- *Vurderingen foretages ved den mest støjbelastede bolig ved objektiv måling efter retningslinjerne i kapitel 7 i Miljøstyrelsens vejledning nr. 4/1984: ”Måling af ekstern støj fra virksomheder” [3]. Ved brug af metoden skal det dog forudsættes, at tonerne er stationære, således at både niveauet af tonerne og niveauet af den maskerende støj fastlægges ved midling af et antal spektre, som svarer til en analysetid på mindst 1 minut, og frekvensanalyserne skal foretages af A-vægtede spektre.*
- *Støjmålingen skal foretages i et repræsentativt punkt i nærheden af den nærmeste bolig, 1,5 m over terræn og valgt på en sådan måde, at vindstøjen får mindst mulig indvirkning på måleresultaterne.*
- *Der skal være medvind $\pm 45^\circ$ fra vindmøllen mod målepunktet, og vindhastigheden målt 10 m over terræn skal være mellem 6 og 8 m/s. Der skal måles i et tidsinterval, hvor tonen er tydeligst.*
- *Hvis en frekvensanalyse af vindmøllestøjen, målt tæt ved vindmøllen som beskrevet i procedurerne for måling af det A-vægtede lydeffektniveau, viser, at der ikke forekommer tydeligt hørbare toner i nærheden af vindmøllen, vil der ikke være toner i støjen ved beboelse, og en særskilt analyse heraf er ikke nødvendig.*

Vejledning nr. 1/2012: ”Støj fra vindmøller” [2]:

- *Støjmålingen, som benyttes til toneanalyse, skal foretages på et sted i nærheden af den nærmeste og mest støjbelastede bolig. Målestedet vælges under hensyn til, at der skal være mindst mulig vindstøj, både fra vegetation og fra vindens påvirkning af mikrofonen. Stedet skal være repræsentativt med hensyn til udendørs opholdsarealer i umiddelbar tilknytning til boligen, og målepunktet skal enten være i ”praktisk frit felt”, således at der ikke forekommer reflekteret lyd fra bygninger eller andre flader, eller direkte på facaden af en bygning, i form af en ”+6dB-måling”.*

Vejledning nr. 6/1984: ”Måling af ekstern støj fra virksomheder” [3]:

Om tildeling af tillæg:

Ud fra de fundne lydtrykniveauer af henholdsvis toner og øvrig støj bestemmes en kriteriestørrelse ΔL_{ts} defineret som

$$\Delta L_{ts} = L_{p, \text{tone}} - L_{p, \text{krit. bånd}}$$

$L_{p, \text{tone}}$ er lydtrykniveauet af tone/tonerne

$L_{p, \text{krit. bånd}}$ er lydtrykniveauet af den øvrige støj i det aktuelle kritiske bånd med centerfrekvens $f_{c, \text{krit}}$

ΔL_{ts} er et mål for, hvor kraftig tonen er i forhold til den øvrige støj.

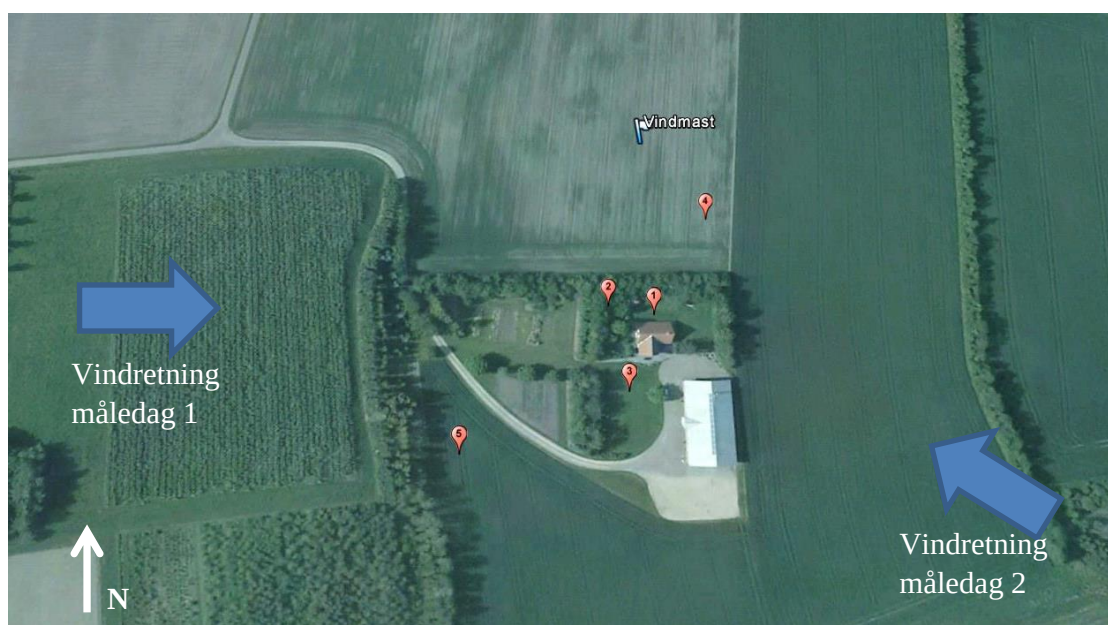
Der er ikke specifikt givet en afstandsgrænse til boliger ved vurdering af toner. Da støjgrænsen gælder for det mest støjbelastede punkt ved udendørs opholdsarealer og højst 15 m fra beboelse i det åbne land, er de konkrete målinger, som beskrives i det følgende, så vidt muligt placeret maksimalt 15 m fra stuehus. De valgte målepositioner belyser, hvilke variationer man vil kunne komme ud for i praksis, stadig under overholdelse af ovenstående regler.

4. Målinger

Målingerne er udført i dagperioden over to særskilte dage i begyndelsen af oktober 2015. Der var stadig rigeligt med grønne blade på træer og buske, og målingen anses derfor også repræsentativ for en sommersituation, hvor man vil opholde sig i haven. Begge dage var himlen overskyet, temperaturen lå på ca. 12-14 °C, og luftfugtigheden var ca. 80 %. Ved målingerne er benyttet både en primær (inderst) og sekundær (ydre) vindskærm, så bidraget fra vindgenereret støj omkring mikrofonen er minimeret. Vindhastigheden er målt i 10 m højde på åben mark i en afstand af ca. 50-160 m fra mikrofonerne.

4.1 Ejendommen

Ejendommen består af et toetagers stuehus samt en lade. Ejendommen er omgivet af en del vegetation – primært træer og buske i en højde op til ca. 10 m. Ca. 100 m vest for huset er lille skov med 1-3 år gamle pile med højden ca. 8 m til brug for brændsel. Ca. 1 km vest for ejendommen løber en hovedvej, hvorfra trafikken er hørbar, når det blæser fra vest. Ca. 300 m mod nord er en lille landevej, hvor der af og til passerer køretøjer. På måledag 1 blev der presset halm ca. 300 m mod sydøst, hvilket til tider var hørbart. Det er i nærværende undersøgelse kun relevant at se på vegetationsstøjen. Øvrig baggrundsstøj er så vidt muligt udeladt af analyserne. Nærmeste større vindmølle står mere end 3 km væk, og der er ingen hørbare vindmøller i nærheden.



Figur 1

Luftfoto af ejendom, målepositioner (markeret med rødt) og vindretninger. Billedet stammer fra Google Earth 2015.

4.2 Mikrofonplaceringer

Der er udvalgt 4 (+1) målepositioner, se Figur 1. På første måledag blæste det fra vest (vindhastigheder mellem 3-7 m/s), mens det blæste fra øst på anden måledag (vindhastigheder mellem 6-12 m/s). De forskellige mikrofonplaceringer er valgt, så de repræsenterer en mulig placering på en ejendom, og hvor de som hovedregel er maksimalt 15 m fra ejendommens stuehus. For denne undersøgelse er enkelte af punkterne placeret længere fra stuehuset end 15 m.

Enkelte af punkterne har desuden (specielt ved måledag 2) en placering i forhold til bygninger man sædvanligvis ikke ville have valgt enten pga. akustiske refleksioner eller skyggeeffekt i forhold til en vindmølle i vindretningen. Når der ikke er nogen vindmølle, er placeringen i forhold til ejendommen umiddelbart uden betydning. Punkterne længere fra stuehuset end 15 m er valgt, da de repræsenterer en situation, det ikke var muligt at opnå indenfor 15 m fra stuehuset.

4.2.1 Mikrofonplacering 1

Mikrofonplacering 1 er den mikrofon, der er placeret tættest på stuehuset. Placeringen repræsenterer nærhed dels til middelhøj vegetation og dels til en ejendom, hvor turbulent vind er fremherskende. Der er ca. 4,5 m til huset og ca. 4,5 m til nærmeste betydende vegetation. Den omkringliggende vegetation er primært træer og buske, hvor træerne er ca. 8-10 m høje primært bestående af bøg og eg, se Figur 2. Yderligere fotos er vist i Appendiks 1.



Figur 2

Foto af mikrofonplacering 1 samt nordsiden af stuehuset.

4.2.2 Mikrofonplacering 2

Mikrofonplacering 2 er inde mellem træerne. Placeringen repræsenterer en position omgivet af middelhøj vegetation og svarer til en tilgroet ejendom med megen vegetation. Omkringliggende vegetation er 8-10 m høje træer og buske primært bestående af bøg, eg og kastanje. Yderligere fotos er vist i Appendiks 1.



Figur 3

Foto af mikrofonplacering 2 med stuehuset i baggrunden.

4.2.3 Mikrofonplacering 3

Mikrofonplacering 3 er på en åben græsplæne relativt langt fra stuehuset (15 m) og fra vegetation (16 m). Placeringen repræsenterer en åben position med vegetation i nogen afstand og svarer til en ejendom med store, åbne græsarealer og nogen vegetation. Omkringliggende vegetation er primært træer og buske i et samlet område samt et enkeltstående kastanjetræ (11 m fra mikrofonen), hvor træerne er ca. 8-10 m høje og primært bestående af fuglekirsebær og eg. Yderligere fotos er vist i Appendiks 1.



Figur 4

Foto af mikrofonplacering 3 med stuehusets syd gavl i baggrunden.

4.2.4 Mikrofonplacering 4

Mikrofonplacering 4 er på en åben mark relativt langt fra ejendommen og vegetation (25 m). Placeringen repræsenterer en åben position med vegetation i nogen afstand, og svarer til en ejendom med store åbne græsarealer og nogen vegetation. Omkringliggende vegetation er primært træer og buske i et samlet område, hvor træerne er ca. 8-10 m høje og primært bøg og eg. Yderligere fotos er vist i Appendiks 1.



Figur 5

Foto af mikrofonplacering 4 samt vindmasten.

4.2.5 Mikrofonplacering 5

Mikrofonplacering 5 er kun anvendt på måledag 2 og er i praksis mikrofonen for position 3, der den sidste time er flyttet til en anden position. Derfor er der relativt få målinger i denne position. Mikrofonen er placeret ved udkanten af en mark, forholdsvis tæt på høje træer i form af nåletræer og løvtræer som fx valnød og hasselnød. Træerne er ca. 15 m høje. Placeringen repræsenterer en åben position med høj vegetation, der er kraftigt eksponeret for vinden. Yderligere fotos er vist i Appendiks 1.

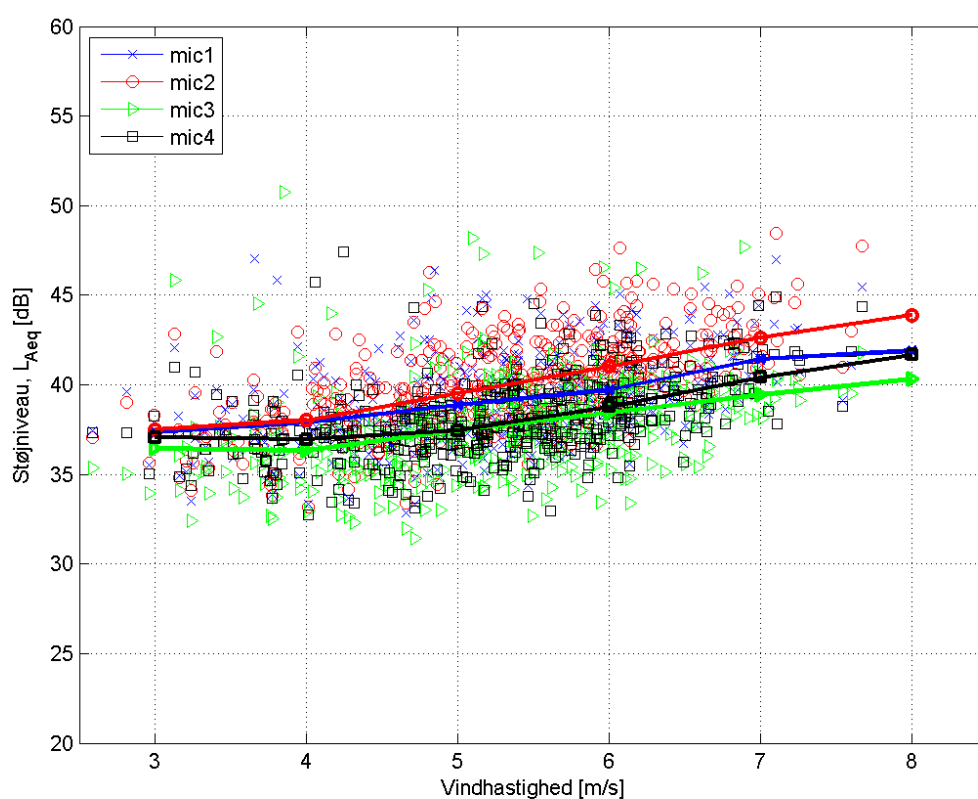


Figur 6
Foto af mikrofonplacering 5.

5. Resultater

I det følgende er resultater for mikrofonposition 1 vist og omtalt som mic1 og tilsvarende for mikrofonpositionerne 2-5.

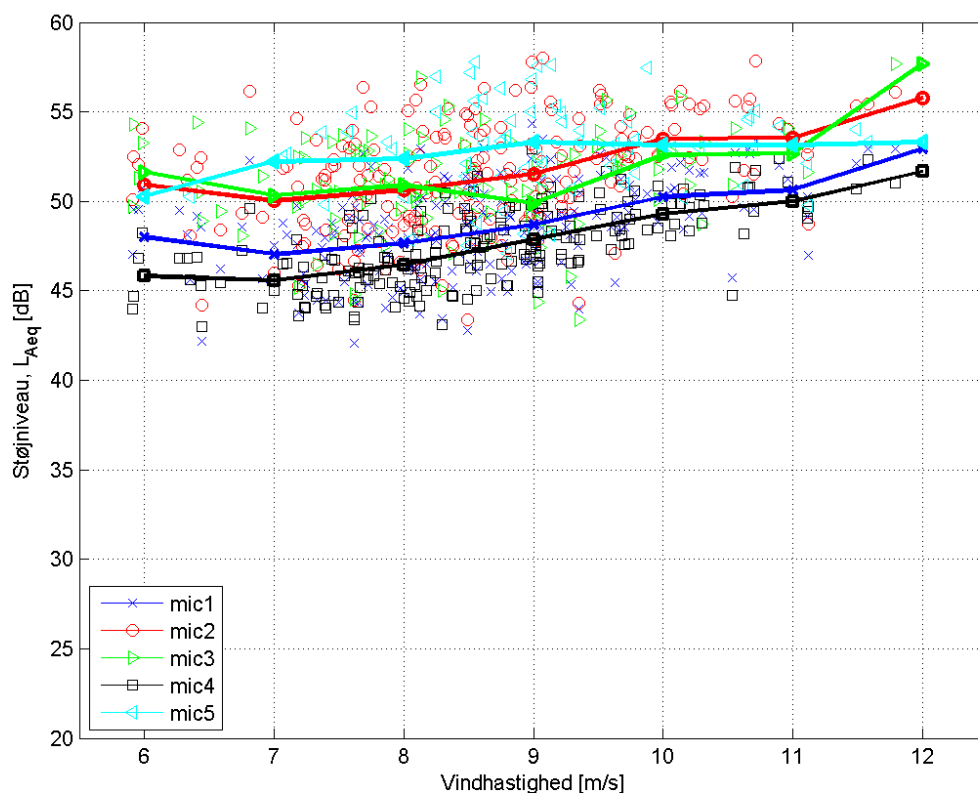
5.1 Støjniveau som funktion af vindhastigheden



Figur 7

A-vægtet støjniveau (1-minutperioder) som funktion af vindhastighed for måledag 1. Kurverne viser middelværdierne af støjniveauerne for vindhastighederne pr. hele m/s.

I Figur 7 og Figur 8 er støjniveauet for de to måledage vist som en funktion af vindhastigheden for hvert 1-minutoptagelse. Det kan som ventet ses, at støjniveauet generelt stiger jo højere vindhastigheden er. Det kan også ses, at støjniveauet ved fx 7 m/s ikke er det samme for de to dage. Dette skyldes formentlig, at vindretningen er forskellig for de to måledage. Den første dag blæste det fra vest, hvilket betyder, at vegetationen som hovedregel var i læ fra anden vegetation. På den anden måledag blæste det fra østsydøst, hvilket betyder, at vegetationen som hovedregel var frit udsat for vinden.



Figur 8

A-vægtet støjniveau (1-minutperioder) som funktion af vindhastighed for måledag 2. Kurverne viser middelværdierne af støjniveauerne for vindhastighederne pr hele m/s.

Figureerne viser, at det A-vægtede støjniveau fra vegetationen i de fleste tilfælde var højere end de gældende støjgrænser (37/42 dB(A) ved 6 m/s og 39/44 dB(A) ved 8 m/s). En eventuel eftervisning af overholdelse af støjgrænserne ud fra målinger på den pågældende ejendom ville være svær og give et usikkert resultat.

Det primære formål i denne rapport er at se på den maskerende støj, eller som udtrykt i Vejledning nr. 6/1984 [3] ”lydtrykniveauet af den øvrige støj i det aktuelle kritiske bånd med centerfrekvens $f_{c,krit}$ ”.

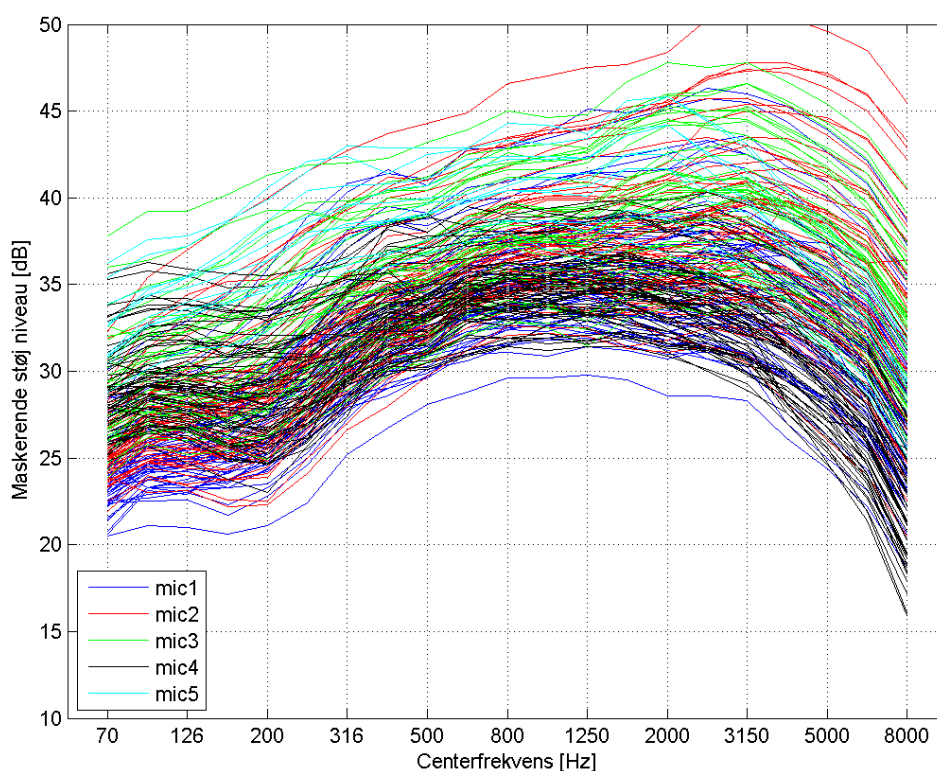
Toner i vindmøllestøj stammer som hovedregel fra vindmøllens nacelle og primært fra gear, generator og kølesystemer. Tonerne kan som hovedregel forekomme i hele det hørbare frekvensområde.

Ifølge vejledningen [3] sættes båndbredden i de kritiske bånd til 100 Hz ved tonefrekvenser under 500 Hz og til 20 % af centerfrekvensen over 500 Hz. (1/3-oktav svarer til en båndbredde på 23 % af centerfrekvensen). Ved at fokusere undersøgelsen på de sædvanlige 1/3-oktav centerfrekvenser over 100 Hz forventes en tilstrækkelig opløsning til at belyse problemstillingen. Supplerende er dog også 70 Hz-båndet inkluderet. De anvendte centerfrekvenser for de kritiske bånd er vist i Tabel 1.

70	100	126	160	200	250	316	400	500	630	800
1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	

Tabel 1

Anvendte centerfrekvenser i Hz ved beregningen af niveauerne i de kritiske bånd.

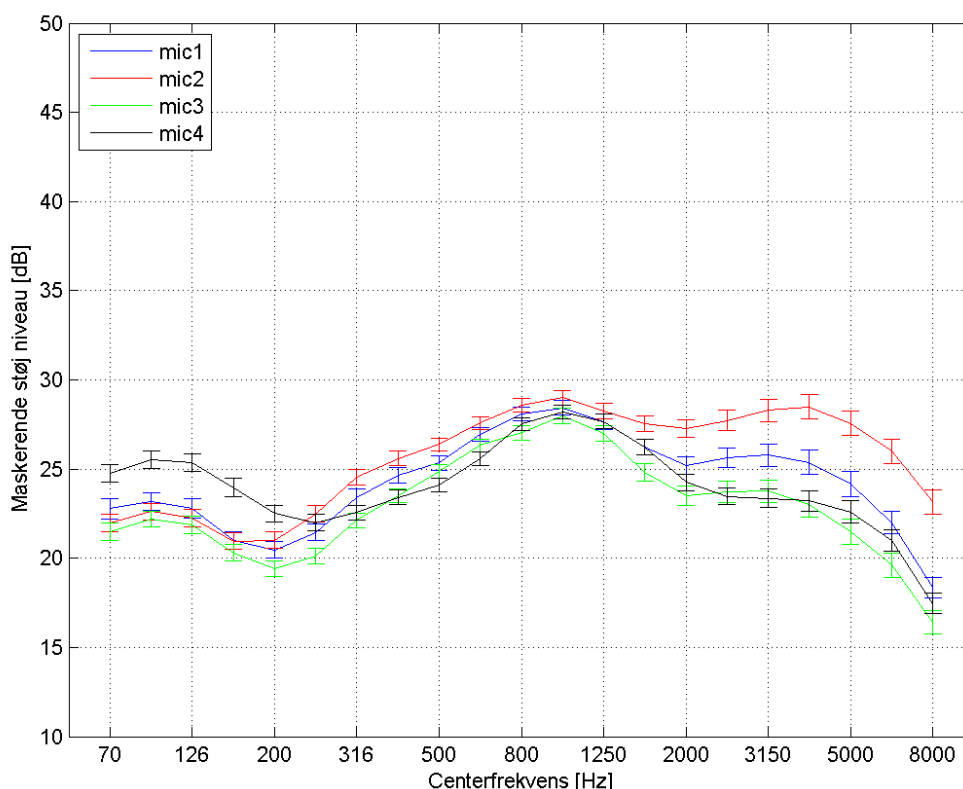


Figur 9

A-vægtet lydtrykniveau pr. kritisk bånd af den maskerende støj (vindstøjen) for alle 1-minut-optagelser ved 8 m/s (7,5-8,5 m/s).

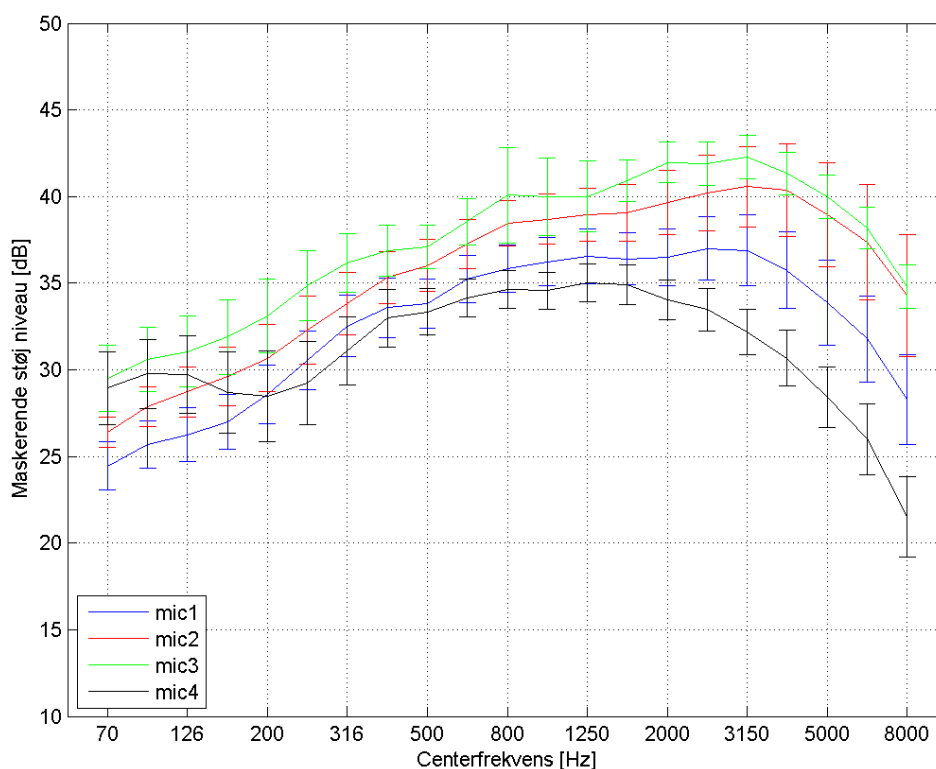
Analysen er foretaget som en smalbåndsanalyse med en opløsning på 2 Hz, som er omregnet til niveauet pr. kritisk bånd. Den maskerende støj pr. kritisk bånd er beregnet som angivet i BEK 1736 for alle 1-minutoptagelser ved hver af de i Tabel 1 viste centerfrekvenser. Resultatet for måledag 2 ved 8 m/s (7,5-8,5 m/s) kan ses i Figur 9. Figuren illustrerer en stor spredning i data, som i nogen grad skyldes, at vindhastigheden er målt i en afstand af ca. 50-160 m fra mikrofonerne. Hvis vindhastigheden var målt tæt på mikrofonen eller den omgivende vegetation, ville der formentlig være væsentlig mindre variation. Ved en virkelig måling af toner fra en vindmølle må det antages, at variationen er endnu større. Især hvis vindmøllen er i MW-størrelsen, da møllen (hvor vindhastigheden registreres) i så fald vil stå i en afstand af 400-1000 m fra mikrofonen.

Figur 9 illustrerer den store spredning i data, men de store mængder data gør det svært at se tendenser og forskelle mellem mikrofonerne. En middelværdi og et 95 % konfidensinterval er derfor udregnet. For 6 m/s (begge måledage) og 8 m/s (kun anden måledag) er dette vist i Figur 10 til Figur 12.



Figur 10

Vindhastighed 6 m/s, måledag 1. A-vægtet lydtrykniveau pr. kritisk bånd af den maskerende støj beregnet som et gennemsnit og et 95 % konfidensinterval (I) for ca. 147 1-minutværdier for hver mikrofonplacering.



Figur 11

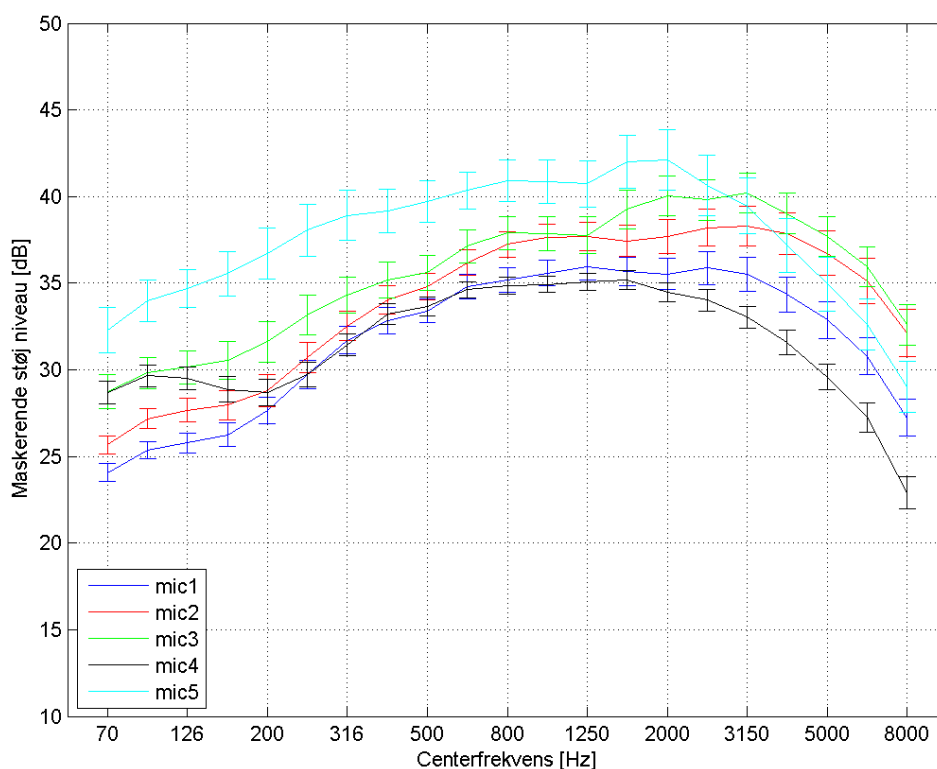
Vindhastighed 6 m/s, måledag 2. A-vægtet lydtrykniveau pr. kritisk bånd af den maskerende støj beregnet som et gennemsnit og et 95 % konfidensinterval (I) af ca. 8-10 1-minutværdier for hver mikrofonplacering.

Måledag 1 indeholder meget få data ved 8 m/s, og analysen er derfor kun udført for 6 m/s for denne dag. Figur 10 viser gennemsnittet ved hver vindhastighed samt 95 % konfidensintervaller. Ved de laveste frekvenser (under 200 Hz) ses, at den maskerende støj er sammenlignelig for mikrofonplacering 1-3, mens den maskerende støj er højere for mikrofonplacering 4. Sidstnævnte kan forklares med vindstøj i mikrofonen (selvom både primær og sekundær vindskærm er anvendt), da placering på åben mark (mikrofonplacering 4) er den mest udsatte for vindstøj, mens at de øvrige 3 mikrofonplaceringer denne måledag er i læ. For højere frekvenser (200 Hz og opefter) kan det ses, at mikrofonplacering 2 har den højeste maskerende støj – specielt over 1250 Hz. Mikrofonplacering 2 er placeringen inde mellem vegetation, så det er ikke overraskende, at denne placering har mest maskerende støj.

Generelt for måledag 1 ved 6 m/s ser det ud til, at mikrofonplacering 3 er den, der bedst opfylder bekendtgørelsens krav om ”at vindstøjen får mindst mulig indvirkning på måleresultaterne”. Kendetegnene for mikrofonplacering 3 på denne måledag er, at det er den af placeringerne, der både er i læ og længst fra vegetation. Mikrofonplacering 4 (altså placeringen på åben mark) er ved frekvenser over 200 Hz dog næsten lige så anvendelig.

Måledag 2 indeholder tilstrækkeligt med data ved 8 m/s og 6 m/s til at fremvise en tendens, hvilket er vist på Figur 11 og Figur 12. Der er dog kun ét datasæt for mikrofonplacering 5 ved 6 m/s, og denne mikrofonplacering er derfor ikke vist på Figur 11. Der er nogen forskel på datamængden i de forskellige figurer (se Figur 13), hvilket også kan ses på konfidensintervallerne, der er noget større for måledag 2. Den største forskel iagttages for den grønne kurve, der viser mikrofonplacering 3. Ved måledag 1 er det placeringen med den laveste maskerende støj, mens det ved måledag 2 er placeringen med højeste maskerende støj. Forklaringen er formentlig, at vegetationen om denne mikrofonplacering ikke længere er i læ, men derimod står frit udsat for vinden. Dette bekræftes ved, at niveauerne ved de laveste frekvenser (under 126 Hz) er sammenlignelige med niveauerne for mikrofonplacering 4 (placeringen på åben mark). For de øvrige tre mikrofonplaceringer er den indbyrdes rækkefølge den samme for de to måledage, men niveauerne er vidt forskellige. Dette skyldes formentlig, at vegetationen omkring ejendommen på grund af vindretningen er mindre i læ under måledag 2 end måledag 1.

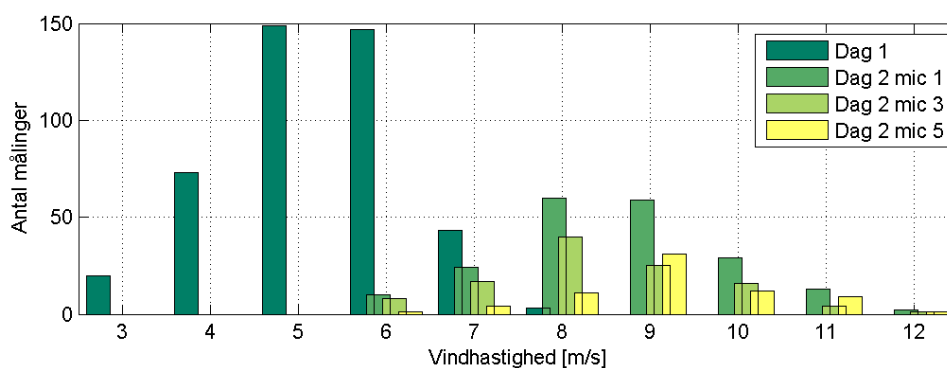
Resultaterne for måledag 2 ved 8 m/s er vist i Figur 12. Generelt er tendenserne de samme som i Figur 11 (måledag 2 ved 6 m/s). Dog er mikrofonplacering 5 også inkluderet her. Kendetegnene ved denne mikrofonplacering er, at mikrofonen er frit eksponeret for vinden, og at vegetationen er høj bestående af nåletræer og er frit eksponeret for vinden. Da to parametre er ændret her – vegetationshøjde og vegetationssammensætning – kan det være svært med sikkerhed at bestemme, hvad der er årsagen til de høje niveauer – formentlig en kombination. Hvis man er ude for denne situation, er det dermed også svært at sige, hvad den bedste placering er. Hvis man bevæger sig ind mellem træerne, vil man formodentlig opnå læ for selve mikrofonen, men niveauet i frekvensbånd over 200 Hz vil formentlig stige kraftigt.



Figur 12

Vindhastighed 8 m/s, måledag 2. A-vægtet lydtrykniveau pr. kritisk bånd af den maskerende støj beregnet som et gennemsnit og et 95 % konfidensinterval af ca. 11-60 1-minutmålinger for hver mikrofonplacering.

I Figur 13 er vist antal data for vindhastighederne på de to måledage. Det ses, at antallet af målinger ved 6 m/s er væsentlig lavere på måledag 2. Da ubestemtheden falder ved midling af et stigende antal målinger, forklarer dette, hvorfor konfidensintervallerne er større på Figur 11 end på Figur 10.



Figur 13

Antal målinger (1-minutperioder) for de to måledage. Antal målinger for mikrofonplacering 2 og 4 ved måledag 2 svarer til det viste antal for mikrofonplacering 1.

6. Anbefalinger

Selv om resultaterne er et casestudie fra en enkelt ejendom med den specifikke bevoksning, der forekommer, kan der udledes nogle generelle anbefalinger.

I det foregående har vi beskrevet de faktisk udførte målinger i 4 (+1) positioner på de to måledage. Man kan også vælge at betragte resultaterne som 8 (9) mulige målepositioner til en konkret nabomåling, hvor man skal vælge den position, der bedst opfylder bekendtgørelsens krav om ”at vindstøjen får mindst mulig indvirkning på måleresultaterne”.

6.1 Valg af mikrofonplacering

Generelt bør en måleposition vælges, hvor:

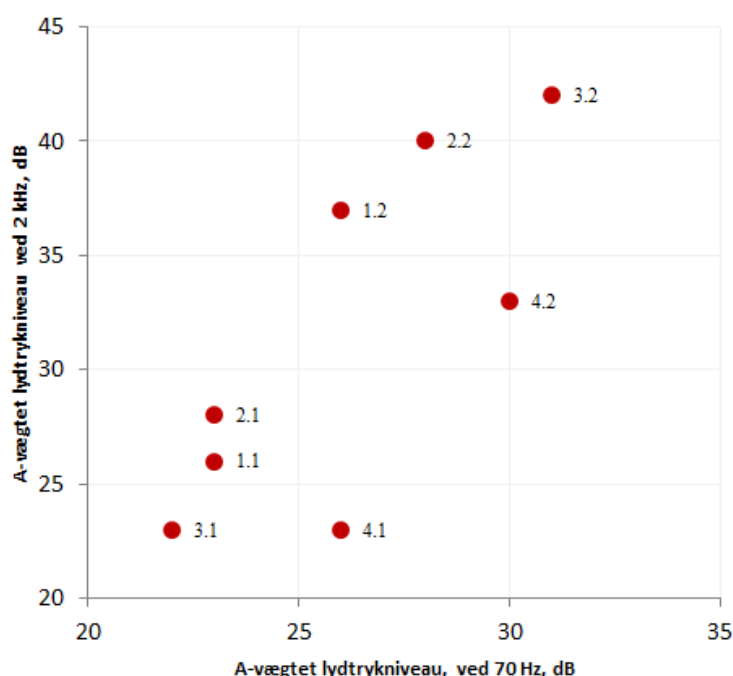
- nærmeste vegetation ligger i læ,
- der er læ ved mikrofonen,
- der er stor afstand til vindeksposteret vegetation.

Hvis ovenstående ikke lader sig gøre, skal man bemærke, at der i de udførte målinger ikke var én mikrofonplacering, der gav det laveste resultat af vindstøjniveauet i alle kritiske bånd. Hvis det er kendt, ved hvilke/hvilken frekvenser/frekvens der kan forventes toner (fx fra målingerne tæt på møllen), er det nemmere at vælge den mest optimale.

Hvis ikke der kan findes en position med både læ og lang afstand til vegetationen, vælges en eller om muligt to målepositioner:

- Ved toner fra 200 Hz og opefter bør man søge at komme så langt fra vegetationen som muligt – eller at finde et sted, hvor vegetationen er i læ (lyt og se, hvor påvirket vegetationen er af vinden).
- Ved toner under 200 Hz er det vigtigt, at mikrofonen står i læ.

Dette kan illustreres som vist i Figur 14.



Figur 14

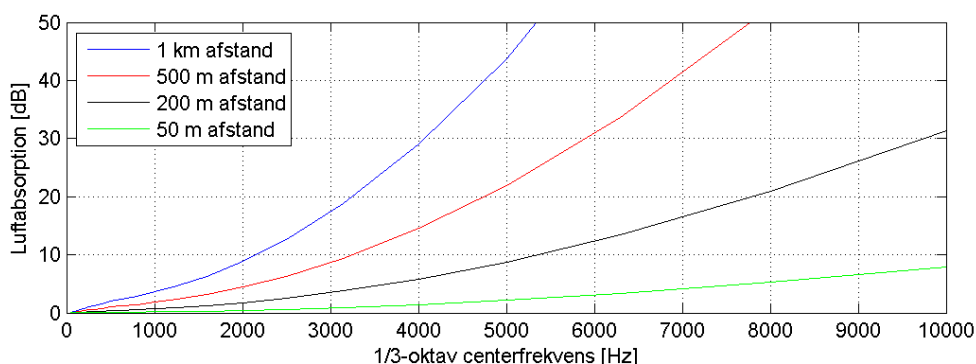
Forholdet mellem det A-vægtede lydtrykniveau pr. kritisk bånd (maskerende støjniveau) ved lave frekvenser (x-aksen) og ved højere frekvenser (y-aksen) for de i alt 8 målepositioner ved 6 m/s. Punkternes benævnelse X.Y refererer til måleposition X på måledag Y.

Pointen i punkt a ovenfor (toner over 200 Hz) illustreres af den øverste punktgruppe i Figur 14 (fra måledag 2). Positionerne 1.2, 2.2 og 3.2 ligger mere i læ end position 4.2, men de er nærmere ved vindeksponeret vegetation end position 4.2. Det ses, at hvis tonerne ligger over 200 Hz, bør en position som 4.2 vælges, hvis den ellers opfylder betingelserne for valg af måleposition. Niveauet ved de højere frekvenser er lavest, og det lavfrekvente niveau er næsten det samme som i position 3.2.

Pointen for punkt b ovenfor (lavfrekvente toner) illustreres af den nederste punktgruppe i Figur 14 (fra måledag 1). Positionerne 1.1, 2.1 og 3.1, som ligger i læ, er bedre end position 4.1. Hvis problemet er mellem- eller højfrekvent er position 3.1 og 4.1 ligeværdige, dvs. enten læ ved både mikrophon og nærmeste bevoksning eller stor afstand til vindeksponeret bevoksning.

6.2 Hensyntagen til luftabsorption

I vurderingen af, hvilke frekvenser der er mest problematiske i naboafstanden, skal luftabsorptionen tages med i betragtning. I BEK 1736 angives tabelværdier for luftabsorption ved forskellige frekvenser og afstande. Disse er vist i Figur 15. Ved en vindmølle med totalhøjde på 150 m vil nærmeste nabo som minimum være 600 m væk, og en tone ved fx 5000 Hz vil derfor være dæmpet ca. 20 dB, mens en tone ved fx 2000 Hz kun vil være dæmpet ca. 5 dB. Jo længere afstand til vindmøllen, jo lavere skal tonens frekvens være, for at det er sandsynligt, at den kan være hørbar.



Figur 15

Luftabsorption ved forskellige 1/3-oktav centerfrekvenser og forskellige afstande

7. Gradueret tillæg

7.1 Måling af toner i vindmøllestøj

Afsnit 3 beskriver, hvordan, under hvilke forhold og hvor målingen skal udføres – som hovedregel hos naboer med tilhørende vegetation.

I forhold til frekvensanalysen bemærkes specifikt:

”...både niveauet af tonerne og niveauet af den maskerende støj fastlægges ved midling af et antal spektre, som svarer til en analysetid på mindst 1 minut...”.

”... og vindhastigheden målt 10 m over terræn skal være mellem 6 og 8 m/s. Der skal måles i et tidsinterval, hvor tonen er tydeligst...”.

Dette udføres i praksis ved, at man fra en given måleperiode (halve timer) lokaliserer de 1-minutperioder, hvor vindhastigheden er mellem 6 og 8 m/s, og herefter finder den 1-minutperiode, hvor ΔL_{ts} (se afsnit 3) er størst, dvs. hvor tonen/tonerne er tydeligst. Dette gøres ofte i en automatiseret analyse. Som tidligere nævnt kan det give anledning til en del variation af den maskerende støj, hvis vindmålingen i praksis udføres flere hundrede meter fra vegetationen, som genererer støjen.

Målemetoden tilstræber altså i sin nuværende form at finde maksimalværdien af ΔL_{ts} ud fra 1-minutmålingerne. Brug af maksimalværdier er altid lidt problematiske i målesammenhæng, fordi der er knyttet større ubestemthed til dem end til andre statistisk baserede målestørrelser. Desuden kan man forestille sig, at der vil optræde en større maksimalværdi, hvis man venter længe nok.

Det kunne man komme ud over ved fx at benytte 95 % fraktilen. Dvs. den værdi af ΔL_{ts} som er overskredet i 5 % af 1-minutperioderne¹. Denne værdi kan findes som middelværdien af ΔL_{ts} for 1-minutperioderne plus 1,644 gange standardafvigelsen. Hvis man brugte en sådan statistisk baseret størrelse (i stedet for maksimalværdien), ville antallet af målinger også være med til at mindske ubestemtheden på resultatet. Med udgangspunkt i standardafvigelserne for de udførte målinger kan der gives et skøn over de nødvendige antal målinger.

Standardafvigelserne for målingerne af vindstøjen i de kritiske bånd afhænger lidt af frekvensen. På måledag 1 ved 6 m/s er den omkring 3 dB ved de lave frekvenser, faldende til ca. 2,5 dB ved 400-1200 Hz og stigende til ca. 4 dB ved 8 kHz. Den samme tendens ses for måledag 2 ved 8 m/s, men her er der dog større forskelle mellem målepositionerne, og position 2 har en standardafvigelse på lidt over 5 dB ved de højeste frekvenser.

For at nedbringe ubestemtheder (udtrykt som 95 % konfidensinterval) til under 2 dB kræves, at der midles over mere end 6-10 stk. 1-minutmålinger, hvis standardafvigelsen er 2,5 dB. Der kræves mere end 25-30 målinger, hvis standardafvigelsen er 5 dB.

Dette antal ligger inden for det antal målinger, der sædvanligvis opnås, når der udføres målinger ifølge bekendtgørelsen².

¹ Det er i øvrigt vist, at N_5 , dvs. 95 % fraktilen af hørestyrken/Loudness er det, der bedst svarer til den totale hørestyrkeoplevelse af en støj med varierende niveau.

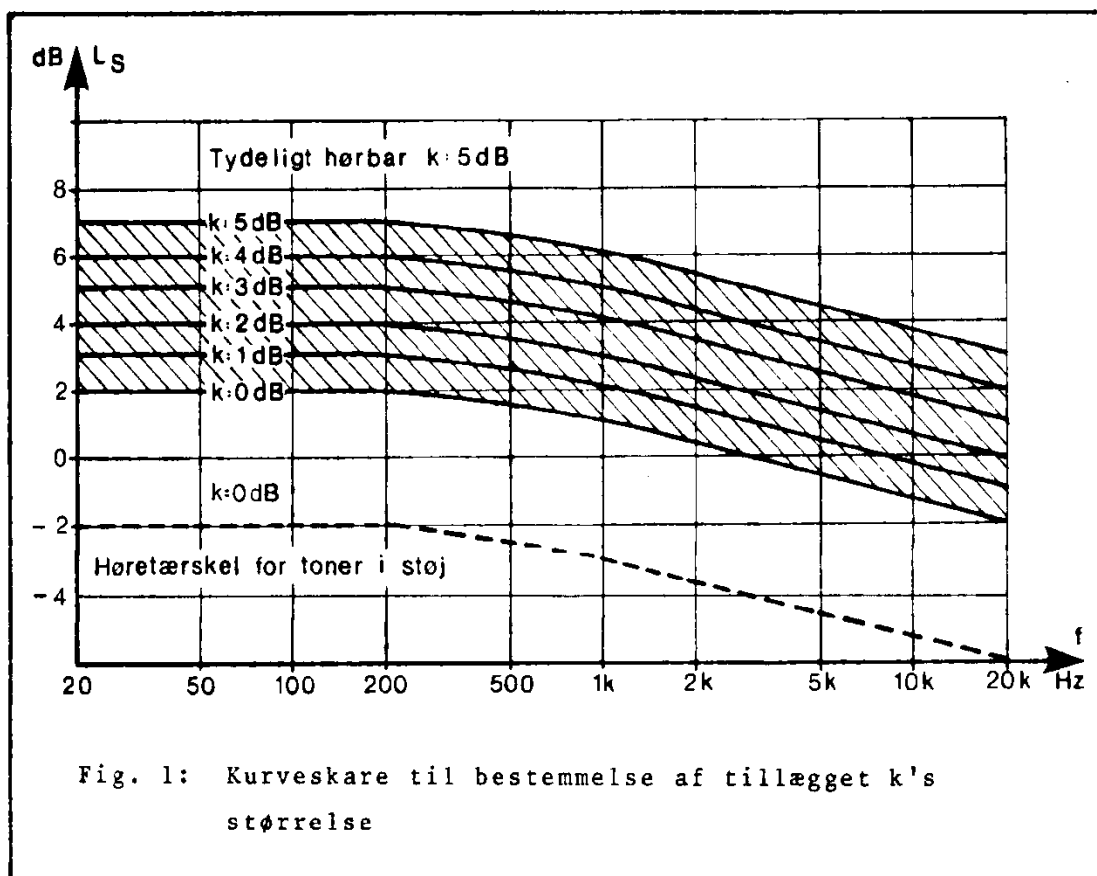
² Iht. BEK 1736 skal man have 5 målinger (a 1 minut) omkring 6 m/s og 5 målinger omkring 8 m/s, eller man skal have 30 målinger (a 10 sekunder) omkring 6 m/s og 30 målinger omkring 8 m/s.

7.2 Fast eller gradueret tillæg

Målemetoden for hørbare toner i støj tager udgangspunkt i det psykoakustiske fænomen, at toners hørbarhed i støj hovedsageligt bestemmes af toneenergien i forhold til energien af støjen i det kritiske bånd, hvor tonerne befinder sig. Dette kan også udtrykkes som forskellen mellem toneniveauet og niveauet af den maskerende støj i et kritisk bånd.

Målemetoden er beskrevet i Vejledning 6/1984 [3] og er senere uddybet i forskellige orienteringer fra Referencelaboratoriet [4] [5] [6].

Oprindeligt var metoden foreslået udformet med et gradueret tillæg, se Figur 16.



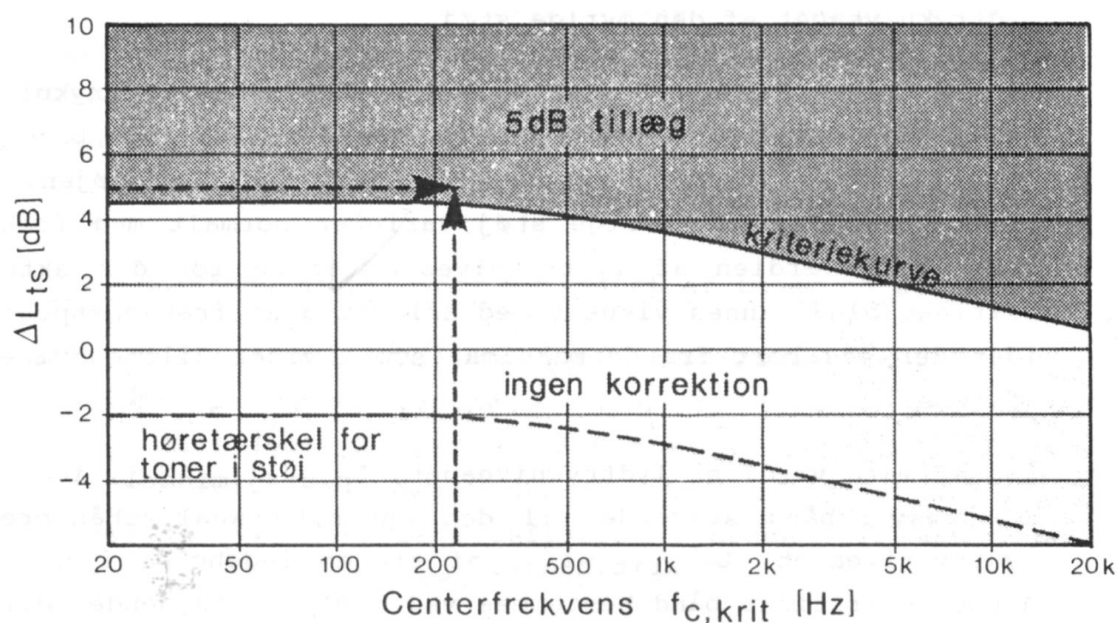
Figur 16

Figur fra notat til Miljøstyrelsen, januar 1980, om hørbare toner i støj. X-aksen angiver centerfrekvensen for kritiske bånd, og y-aksen angiver forskellen mellem tone- og støjniveau.

På figuren kan man ved hjælp af kurveskaren bestemme tillæggets størrelse, som er gradueret mellem 0 og 5 dB alt efter tonen/tonernes tydelighed.

Tydeligheden er niveauet i forhold til ”Høretærskel for toner i støj”, også kaldet medhørstærsklen. Et tillæg på 5 dB opnås, når toneniveauet er 9 dB over medhørstærsklen.

Det blev dog besluttet, at metoden skulle implementeres med et fast tillæg på 5 dB, se Figur 17.



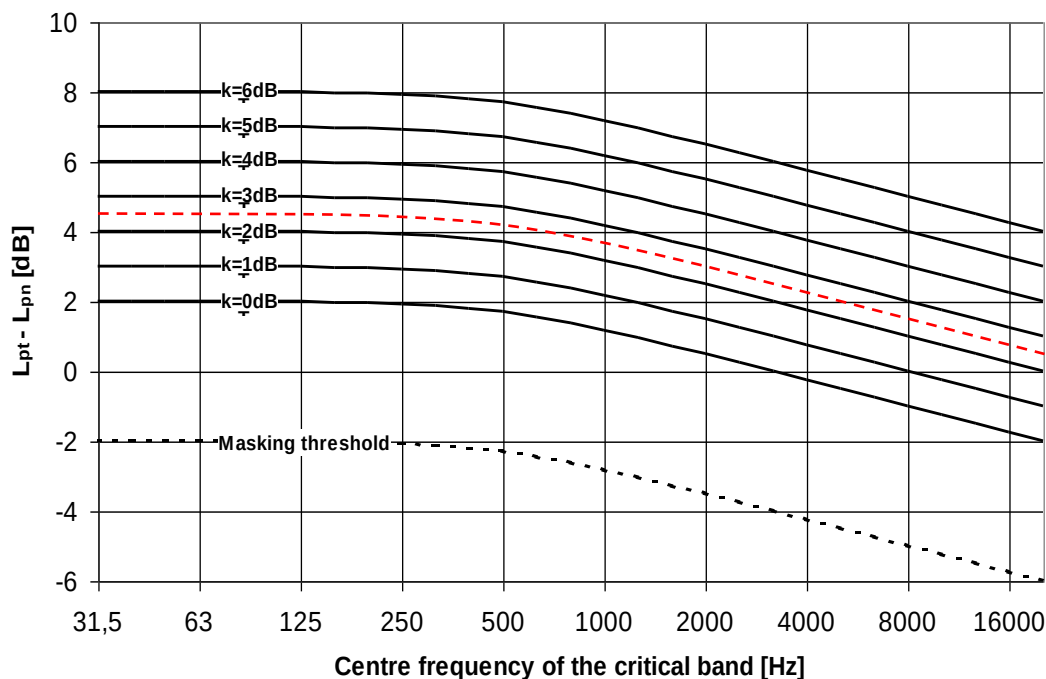
Figur 7.1 Kriteriekurve for korrektion for toneindhold i støj.

Figur 17

Figur fra miljøstyrelsens vejledning 6/84. X-aksen angiver centerfrekvensen for kritiske bånd, og y-aksen angiver forskellen mellem tone- og støjniveau.

Begrundelsen for det faste tillæg var, at man fandt det for indviklet og besværligt med et graderet tillæg. Når forskellen mellem tone- og støjniveau, ΔL_{ts} , overskrider kriteriekurven, gives et tillæg på 5 dB. Dette opnås med et toneniveau på 6,5 dB over medhørstærsklen, hvor det oprindelige forslag med graderet tillæg ville have givet et tillæg på 2,5 dB.

Metoden blev ”international” som Appendix C i ISO 1996 i 2007 [7] med enkelte ændringer. Det væsentligste var, at man overgik til at analysere på et A-vægtet spektrum (som i BEK 1736 [1]), og at der blev indført et graderet tillæg, se Figur 18. Det graderede tillæg går fra 0 til 6 dB. Et tillæg på 5 dB opnås, når toneniveauet er 9 dB over medhørstærsklen. Kriteriekurven for det danske faste tillæg på 5 dB vil efter ISO-metoden give et tillæg på 2,5 dB.



Figur 18

Figur fra ISO 1996 [7]. Maskeringstærskel og kurver til bestemmelse af tillægget, kT . L_{pt} er det totale lydtrykniveau af tonerne i et kritisk bånd, og L_{pn} er det totale lydtrykniveau af den maskerende støj i samme bånd. Den røde punkterede linje angiver kriteriekurven for et 5 dB tillæg i henhold til Miljøstyrelsens vejledning 6/1984.

Både metoden fra Vejledning 6/84 og ISO-metoden er indeholdt i støjanalyseprogrammet NoiseLab og ISO-metoden er implementeret i softwarepakker fra bl.a. Brüel & Kjær, Norsonic og Svantek. Da frekvens- og toneanalyser således i dag udføres softwaremæssigt, er argumentet om, at det er indviklet og besværligt med et graderet tillæg, ikke længere relevant.

To forhold taler for et graderet tillæg:

- 1) Den ekstra genevirkning, som støj med hørbare toner giver anledning til i forhold til støj uden toner, stiger gradvist med tonens tydelighed. Et graderet tillæg vil være i overensstemmelse med dette.
- 2) En minimal ubestemthed ved måling og analyse af støjen kan i grænsetilfælde blive afgørende for tildeling af et 5 dB tillæg. Ved et graderet tillæg bliver ubestemtheden kun den samme som ved måling og analyse.

Pga. af ubestemtheden vil det i sager, hvor toneniveauet ligger 6-7 dB over medhørstærsklen, blive ret tilfældigt, om der tillægges 0 eller 5 dB. Med et graderet tillæg vil tillægget variere mellem 2 og 3 dB.

Endeligt skal det bemærkes, at tillægget for tydeligt hørbare toner er tilpasset, så det svarer til den gennemsnitlige opfattelse af toners tydelighed. Da menneskers tærskel for toner i støj varierer, vil nogle opfatte tonerne tydeligere end gennemsnittet, og andre vil opfatte dem som mindre tydelige.

7.3 Eksempler på konkrete sager

I det følgende ses på udfaldet af forskellige konkrete, men anonymiserede sager i tilfælde af dels et fast, dels et gradueret tonetillæg.

For hver sag er der en tabel, som dels indeholder resultaterne fra målinger tæt på vindmøllerne (ca. i en afstand svarende til vindmøllens totalhøjde), dels hos naboer til møllerne.

Det skal bemærkes, at tillæg for tydeligt hørbare toner rent faktisk kun skal tildeles på baggrund af nabomålingen. Resultaterne tæt på møllerne er alligevel medtaget for at vise relationerne mellem et fast og et gradueret tillæg.

Det antages i bemærkningerne i det følgende, at ubestemtheden på målingerne er 2 dB, således at en måling udført en vilkårlig anden dag kunne ende 2 dB anderledes.

Tallene i tabellerne viser de faktiske måleresultater og konsekvenserne heraf med hhv. et fast eller et gradueret tillæg for tydeligt hørbare toner. Kommentarerne til tabellerne tager udgangspunkt i, hvad der ville ændre sig, hvis resultaterne var op til 2 dB anderledes. Hvis ΔL_{ts} ligger mindre end 2 dB under kriteriekurven, vil en forøgelse med 2 dB jo betyde, at et fast tillæg går fra 0 dB til 5 dB.

7.3.1 Sag nr. 1

Af Tabel 2 ses af den øverste del, at hvis målingerne ved møllerne var afgørende for et tillæg, vil det for 7 ud af de 8 møller være tilfældigt, om der tildeles et tillæg på 0 eller 5 dB, alt efter hvilken dag der måles. Det graduerede tillæg vil kun ændre sig svarende til ubestemtheden.

I den afgørende naboafstand blev der ikke givet tillæg, men for nabo N2 kunne en måling en anden dag have udløst et 5 dB tillæg. Det tilsvarende graduerede tillæg ville være 2,6 dB mod 0,6 dB i den aktuelle måling.

Møller	Tydeligste toner	ΔL_{ts} , dB	dB re kriteriekurve	Fast tillæg, dB	Graderet tillæg, dB
M1	800-900 Hz	3,3	-0,5	0,0	2,0
M2	< 100 Hz	3,3	-1,2	0,0	1,3
M3	< 100 Hz	4,5	0,0	0 eller 5	2,5
M4	100-200 Hz	2,9	-1,6	0,0	0,9
M5	< 100 Hz	7,5	3,0	5,0	5,5
M6	< 100 Hz	4,6	0,1	5,0	2,6
M7	< 100 Hz	3,3	-1,2	0,0	1,3
M8	< 100 Hz	4,1	-0,4	0,0	2,1
Gennemsnitligt tillæg				1,6	2,3

Naboer	Tydeligste toner	ΔL_{ts} , dB	dB re kriteriekurve	Fast tillæg, dB	Graderet tillæg, dB
N1	< 100 Hz	0,2	-4,3	0,0	0,0
N2	< 100 Hz	2,6	-1,9	0,0	0,6
N3	< 100 Hz	0,9	-3,6	0,0	0,0
Gennemsnitligt tillæg				0,0	0,2

Tabel 2

I tabellens øverste del er vist resultater tæt på møllerne. I den nederste del er vist resultater hos naboer. Kun de sidstnævnte resultater danner baggrund for tildeling af tillæg for tydeligt hørbare toner.

7.3.2 Sag nr. 2

Af Tabel 3 ses af den øverste del, at hvis målingerne ved møllerne var afgørende for et tillæg, vil det for 4 ud af de 6 møller være tilfældigt, om der gives et tillæg på 0 eller 5 dB, alt efter hvilken dag der måles. Det graduerede tillæg vil kun ændre sig svarende til ubestemtheden.

I den afgørende naboafstand blev der ikke givet tillæg, men målinger hos naboerne N1 og N4 en anden dag kunne have udløst et 5 dB tillæg. De tilsvarende graduerede tillæg vil højst blive 2 dB større for N1 og N4, mens det for N2 og N3 vil blive hhv. 0,3 og 1,6 dB.

Møller	Tydeligste toner	ΔL_{TS} , dB	dB re kriteriekurve	Fast tillæg, dB	Gradueret tillæg, dB
M1	< 100 Hz	6,6	2,1	5,0	4,6
M2	< 100 Hz	4,4	-0,1	0,0	2,4
M3	< 100 Hz	5,8	1,3	5,0	3,8
M4	< 100 Hz	4,4	-0,1	0,0	2,4
M5	< 100 Hz	6,0	1,5	5,0	4,0
M6	< 100 Hz	6,5	2,0	5,0	4,5
Gennemsnitligt tillæg				3,3	3,6

Naboer	Tydeligste toner	ΔL_{TS} , dB	dB re kriteriekurve	Fast tillæg, dB	Gradueret tillæg, dB
N1	< 100 Hz	3,0	-1,5	0,0	1,0
N2	< 100 Hz	0,3	-4,2	0,0	0,0
N3	< 100 Hz	1,6	-2,9	0,0	0,0
N4	< 100 Hz	3,3	-1,2	0,0	1,3
Gennemsnitligt tillæg				0,0	0,6

Tabel 3

I tabellens øverste del er vist resultater tæt på møllerne. I den nederste del er vist resultater hos naboer. Kun de sidstnævnte resultater danner baggrund for tildeling af tillæg for tydeligt hørbare toner.

7.3.3 Sag nr. 3

Af Tabel 4 ses af den øverste del, at en ubestemthed på 2 dB ikke vil ændre på, om der gives et tillæg på 0 eller 5 dB. Det graduerede tillæg kan højst ændre sig svarende til ubestemtheden.

I den afgørende naboafstand blev der ikke givet tillæg, og målinger en anden dag ville sandsynligvis heller ikke udløse et tillæg.

Møller	Tydeligste toner	ΔL_{ts} , dB	dB re kriteriekurve	Fast tillæg, dB	Gradueret tillæg, dB
M1	500-600 Hz	-1,0	-5,2	0,0	0,0
M2	400-500 Hz	2,0	-2,3	0,0	0,2
M3	400-500 Hz	9,7	5,4	5,0	6,0
M4	400-500 Hz	6,6	2,3	5,0	4,8
M5	400-500 Hz	7,3	3,0	5,0	5,5
Gennemsnitligt tillæg				3,0	3,3

Naboer	Tydeligste toner	ΔL_{ts} , dB	dB re kriteriekurve	Fast tillæg, dB	Gradueret tillæg, dB
N1	400-500 Hz	-2,3	-6,6	0,0	0,0
N2	600-700 Hz	-3,6	-7,7	0,0	0,0
N3	< 100 Hz	0,4	-4,1	0,0	0,0
Gennemsnitligt tillæg				0,0	0,0

Tabel 4

I tabellens øverste del er vist resultater tæt på møllerne. I den nederste del er vist resultater hos naboer. Kun de sidstnævnte resultater danner baggrund for tildeling af tillæg for tydeligt hørbare toner.

7.3.4 Sag nr. 4

Af Tabel 5 ses af den øverste del, at hvis målingerne ved møllerne var afgørende for et tillæg, vil det for 2 ud af de 3 møller være tilfældigt, om der tildeles et tillæg på 0 eller 5 dB, alt efter hvilken dag der måles. Det graduerede tillæg for M1 og M3 vil ændre sig svarende til ubestemtheden, mens M3 vil forblive på 0 dB.

I den afgørende naboafstand blev der ikke givet tillæg, og tonernes hørbarhed er her så lille, at de hverken vil udløse et fast eller et gradueret tillæg.

Møller	Tydeligste toner	ΔL_{ts} , dB	dB re kriteriekurve	Fast tillæg, dB	Graderet tillæg, dB
M1	< 100 Hz	5,9	1,4	5,0	3,9
M2	100-200 Hz	5,5	1,0	5,0	3,5
M3	< 100 Hz	-1,4	-5,9	0,0	0,0
Gennemsnitligt tillæg				3,3	2,5

Naboer	Tydeligste toner	ΔL_{ts} , dB	dB re kriteriekurve	Fast tillæg, dB	Graderet tillæg, dB
N1	< 100 Hz	-2,0	-6,5	0,0	0,0
N2	200-300 Hz	-4,2	-8,6	0,0	0,0
Gennemsnitligt tillæg				0,0	0,0

Tabel 5

I tabellens øverste del er vist resultater tæt på møllerne. I den nederste del er vist resultater hos naboer. Kun de sidstnævnte resultater danner baggrund for tildeling af tillæg for tydeligt hørbare toner.

8. Konklusion

Der er udført synkrone målinger i 1-minutperioder af maskerende vegetationsstøj over to dage i 4 (+1) mikrofonpositioner. Målingerne kunne repræsentere 8 (9) mulige målepositioner til måling af toneindhold hos naboen til en vindmølle. Resultaterne er analyseret i kritiske bånd svarende til forskellige tonefrekvenser. Der er stor forskel (op mod 10 dB) i resultaterne fra de forskellige mikrofonpositioner. Det er derfor vigtigt at udvælge den, der bedst opfylder bekendtgørelsens krav om ”at vindstøjen får mindst mulig indvirkning på måleresultaterne” og om muligt at vælge mere end en måleposition.

Ud fra målingerne kan gives følgende generelle regler for valg af måleposition.

Der bør vælges en måleposition, hvor

- nærmeste vegetation ligger i læ,
- der er læ ved mikrofonen,
- der er stor afstand til vindeksponeret vegetation.

Hvis ikke der kan findes en position med både læ og lang afstand til vegetationen, vælges en eller om muligt to målepositioner:

- Ved toner fra 200 Hz og opefter bør man gå efter at komme så langt fra vegetation som muligt – eller finde et sted, hvor vegetationen er i læ (lyt og se hvor påvirket vegetationen er af vinden).
- Ved toner under 200 Hz er det vigtigt, at mikrofonen står i læ.

Nogle af de konstaterede variationer skyldes, at vindmåleren var placeret i 50-160 m afstand fra mikrofonerne. Denne variation bliver større i praksis, når vindhastigheden fastlægges på grundlag af vindmøllen, som typisk er placeret mere end 500 m fra naboerne.

Der er derfor set på, hvad denne ubestemthed kan betyde for tildelingen af tillæg for tydeligt hørbare toner, enten i form af et fast 5 dB tillæg eller et graderet tillæg. Det har tidligere (i 1980) været foreslået at benytte et graderet tillæg, ligesom det siden 2007 er tilfældet internationalt. To forhold taler for et graderet tillæg:

- 1) Den ekstra genevirkning, som støj med hørbare toner giver anledning til i forhold til støj uden toner, stiger gradvist med tonens tydelighed. Et graderet tillæg vil være i overensstemmelse med dette.
- 2) En minimal ubestemthed ved måling og analyse af støjen kan i grænsetilfælde blive afgørende for tildeling af et 5-dB tillæg. Ved et graderet tillæg bliver ubestemtheden højst den samme som ved selve målingen og analysen.

Fire konkrete sager er gennemgået med henblik på at sammenligne konsekvenserne af hhv. et fast og et graderet tillæg, hvor der er taget udgangspunkt i en måleubestemthed på 2 dB.

Ofte bliver der konstateret hørbare toner tæt på møllerne, som dog sjældent er tydeligt hørbare hos naboerne.

Hvis målinger tæt på møllerne (i samme afstand som møllens totalhøjde) var afgørende for fordelingen af det faste 5-dB tillæg, ville en 2 dB forskel i måleresultatet betyde en ændret afgørelse for det faste 5-dB tillæg for 13 ud af de 22 møller, som er undersøgt. Et graderet tillæg ville højst ændre sig 2 dB.

I den afgørende naboafstand vil en ændring af tonernes tydelighed med 2 dB kunne ændre afgørelsen om det faste på 5-dB tillæg hos 3 af de 12 naboer, hvor der er foretaget målinger. Også her er det sådan, at et graderet tillæg højst ville ændre sig 2 dB i de tilfælde, hvor det gives.

Det kan konkluderes, at pga. måleubestemtheden vil det i sager, hvor toneniveauet ligger 6-7 dB over medhørstærsklen, blive ret tilfældigt, om der tillægges 0 eller 5 dB. Med et graderet tillæg vil tillægget tilsvarende variere mellem 2 og 3 dB.

Målemetoden er udformet, så den søger efter den højeste tydelighed af toner i 1-minut-perioderne. Det er således en maksimalværdimetode. Der er knyttet en større ubestemthed til maksimalværdier end til andre statistisk baserede målestørrelser. Desuden kan man altid forestille sig, at der vil optræde en større maksimalværdi, hvis man venter længe nok. Det vil kunne nedbringe usikkerheden på resultaterne, hvis tydeligheden opgives som 95 % fraktilen af de "tydeligheder", der er målt i 1-minutperioderne, dvs. den tydelighed der kun overskrides i 5 % af 1-minutperioderne. Denne kan nemt beregnes ud fra spredningen på de målte data. Inden for det antal målinger, der sædvanligvis opnås, når der udføres målinger ifølge bekendtgørelsen, vil man kunne komme ned på en ubestemthed (udtrykt som 95 % konfidensinterval) på 2 dB eller derunder.

Det graderede tillæg for tydeligt hørbare toner er tilpasset, så det svarer til den gennemsnitlige opfattelse af toners tydelighed. Da menneskers tærskel for toner i støj varierer, vil nogen opfatte tonerne tydeligere end gennemsnittet, mens andre vil opfatte dem som mindre tydelige.

Målingerne (rapporteret i kapitel 4 og 5), der ligger til grund for denne rapport, er foretaget, mens der var blade på træer og buske. Betydningen af forskellige bevoksningstyper (løv/nåletræer) samt døgn- og årstidsvariation er ikke en del af projektet.

9. Referencer

- [1] Miljøministeriets BEK nr. 1736 af 21/12 2015: "Bekendtgørelse om støj fra vindmøller".
- [2] Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 1/2012: "Støj fra vindmøller".
- [3] Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 6/1984: "Måling af ekstern støj fra virksomheder".
- [4] Referencelaboratoriets Orientering nr. 13: "Måling af hørbare toner i støj", 1991.
- [5] Referencelaboratoriets Orientering nr. 31: "Forslag til revideret metode til bestemmelse af toner", 2001.
- [6] Orientering nr. 47: "Toneanalyser – den danske metode", Referencelaboratoriet 2013.
- [7] ISO 1996-2, 2007: "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".

Appendiks 1 – Placeringer af mikrofoner og vindmast

Mikrofonplacering 1



Figur 19

Foto af mikrofonplacering 1 taget væk fra huset.



Figur 20

Foto af mikrofonplacering 1 taget mod øst.



Figur 21

Foto af mikrofonplacering 1 taget mod huset (mod syd).

Mikrofonplacering 2



Figur 22

Foto af mikrofonplacering 2 taget fra huset.



Figur 23

Foto af mikrofonplacering 2 taget mod øst.

Mikrofonplacering 3



Figur 24

Foto af mikrofonplacering 3 taget mod vest.



Figur 25

Foto af mikrofonplacering 3 taget mod øst.



Figur 26
Foto af mikrofonplacering 3 taget væk fra huset.

Mikrofonplacering 4



Figur 27

Foto af mikrofonplacering 4 taget mod vest.



Figur 28

Foto af mikrofonplacering 4 taget mod huset.

Mikrofonplacering 5



Figur 29

Foto af mikrofonplacering 5 taget mod syd.



Figur 30

Foto af mikrofonplacering 5 taget mod øst.

Placering af mast med vindmåler



Figur 31
Foto af vindmast mod vest.



Figur 32
Foto af vindmast mod huset.