

# Teknisk Notat

---

**Målt og beregnet lavfrekvent støj ved Avedøre Holme**

**Rekvirent: DONG Energy**

AV 1099/08

Side 1 af 18

30. april 2008

**DELTA**

Dansk Elektronik,  
Lys & Akustik

Venlighedsvej 4  
2970 Hørsholm  
Danmark

Tlf. (+45) 72 19 40 00  
Fax (+45) 72 19 40 01  
[www.delta.dk](http://www.delta.dk)



Titel  
Målt og beregnet lavfrekvent støj ved Avedøre Holme

Journal nr.  
AV 1099/08

Sagsnr.  
A580886

Vores ref.  
THP/CB/BP/ilk

Rekvirent  
DONG Energy  
A.C. Meyers Vænge 9  
2450 København SV

Rekvirentens ref.  
Birte Hansen

DELTA, 30. april 2008



---

Claus Backalarz  
Akustik

## Indholdsfortegnelse

<b>1. Indledning .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Generelt om lavfrekvent støj.....</b>	<b>5</b>
<b>3. Støjinterferens .....</b>	<b>6</b>
<b>4. Lavfrekvent støj fra små og store vindmøller .....</b>	<b>7</b>
<b>5. Målinger .....</b>	<b>8</b>
<b>6. Resultater .....</b>	<b>10</b>
6.1 Målinger og beregninger af støjbidrag fra udvalgte kilder .....	10
6.2 Støjbidrag fra de planlagte vindmøller udendørs.....	11
6.3 Støjbidrag fra de planlagte vindmøller indendørs.....	13
6.4 Støj fra kompaktor og gravemaskiner hos AV-Miljø .....	14
<b>7. Støjbarometer .....</b>	<b>16</b>
<b>8. Sammenfatning.....</b>	<b>17</b>
<b>9. Referencer .....</b>	<b>18</b>

## 1. Indledning

DONG Energy har i forbindelse med udarbejdelsen af VVM-redegørelsen for de planlagte nye vindmøller ud for Avedøre Holme rekvireret DELTA til at måle den lavfrekvente støj  $L_{pA,LF}$  fra kendte støjkluder og sammenholde resultaterne med de forventede  $L_{pA,LF}$  -værdier for møllernes støjbidrag.

DELTA har derfor målt  $L_{pA,LF}$  ved en række støjkluder både inde og ude samt beregnet støjen fra de kommende vindmøller i området ved Avedøre Holme på grundlag af emissionsmålinger foretaget på 3,6 MW vindmøller.

Dette notat omhandler både  $L_{pA,LF}$  målt inde og ude, selvom man i miljøsager normalt kun måler lavfrekvent støj indendørs.

Efter aftale med DONG Energy rapporteres målinger og beregninger i notatform, hvilket betyder at kildestyrker, spektre, detaljerede beregningsforudsætninger mv. ikke er gengivet. Disse kan om ønsket senere gengives i en egentlig rapport.

## 2. Generelt om lavfrekvent støj

I Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 9/1997 ”Lavfrekvent støj, infralyd og vibrationer i det eksterne miljø” [1] kan man læse, at lavfrekvent støj i miljøsagssammenhæng defineres som det A-vægtede støjniveau i området 10-160 Hz. Støj under 20 Hz betegnes infralyd og omtales ikke i dette notat. Notationen for det A-vægtede lavfrevente støjniveau er  $L_{pA,LF}$ . I samme orientering er der angivet foreslåede grænseværdier for den lavfrevente støj målt indendørs:

Anvendelse		$L_{pA,LF}$ [dB]
Beboelsesrum, herunder i børneinstitutioner og lign.	Aften/nat (kl. 18-07)	20
	Dag (kl. 07-18)	25
Kontorer, undervisningslokaler og andre lign. støjfølsomme rum		30
Øvrige rum i virksomheder		35

**Tabel 1**

*Miljøstyrelsens foreslåede grænseværdier for lavfrekvent støj målt indendørs.*

Grænseværdierne gælder for godkendelsespligtige virksomheder og anlæg og gælder støjen målt indendørs hos naboer, da det er forbundet med store praktiske problemer at måle støjen udendørs, og det oftest er indendørs, at lavfrekvent støj kan give problemer.

Grænseværdierne i Tabel 1 gælder ikke for støj fra vindmøller, der reguleres af Bekendtgørelse nr. 1518 af 14. december 2006. Denne bekendtgørelse omhandler ikke lavfrekvent støj eller infralyd.

### 2.1 Ændringer i støjniveauer

Enheden for lydeffektniveau (kildestyrke, støjemission)  $L_{WA}$  er dB re 1 pW og enheden for lydtrykniveau (fx målt eller beregnet støjbidrag ved naboer)  $L_{Aeq}$  er dB re 20µPa.

Med andre ord beskrives den udsendte støj fra en kilde (emission) ved  $L_{WA}$  og den ”modtagne” støj (immission) ved  $L_{Aeq}$ .

De fleste mennesker oplever en øgning af lydtrykniveauet på 10 dB som en fordobling af støjen og omvendt vil en 10 dB dæmpning af støjen af de fleste opleves som halvering af støjen.

De fleste vil kunne høre en ændring af lydtrykniveauet på 3 dB, medens de fleste ikke vil kunne registrere en ændring på 1 dB.

Ovenstående håndregler gælder hvis man præsenteres for ændringerne af den samme støj øjeblikkeligt. Hvis ændringerne sker langsomt eller man sammenligner støj med forskellig frekvenssammensætning (fx rentoner og trafikstøj) kan den oplevede ændring i lydtrykniveau være anderledes.

### 3. Støjinterferens

Hvidovre Kommunes kommunalbestyrelse har i brev til Energistyrelsen af 27. februar 2008 ønsket at få vurderet støjinterferens mellem støj fra vindmøllerne og støj fra motorvejen i området ved Avedøre Holme.

Akustisk interferens (forstærkning eller dæmpning af det totale lydtrykniveau eller stødtoner) kan forekomme, hvis to eller flere lydkilder er korreleret, hvilket fx vil sige, at de udsender lyd med samme frekvens. Da støjen fra motorvejen og møllen ikke er korreleret (de har fx ikke væsentlige identiske frekvenskomponenter), kan der ikke forekomme interferens de to støjkluder imellem.

De almindelige regler for energimæssig addition af lydtrykniveauer vil gælde. Hvis fx støjbidragene fra motorvej og vindmøller i et punkt er lige store, vil det samlede støjbidrag i punktet være 3 dB kraftigere end hvert af de to enkeltbidrag.

Kommunens ønske om vurdering af støjinterferens kan muligvis være udtryk for bekymring om, at støjen fra motorvejen og vindmøllerne gennemsnitligt kan danne en form for interferens. Altså at generne ved at lytte til motorvejsstøj og vindmøllestøj skulle være betydelig større end ved at lytte til motorvejsstøj alene. Dette er næppe sandsynligt, idet støjbidraget fra vindmøllerne selv i værste fald (medvind og positiv temperaturgradient) vil være betydelig mindre end støjen fra motorvejen ved de nærmeste boliger.

#### 4. Lavfrekvent støj fra små og store vindmøller

Den spektrale fordeling af lydenergien for store (>2 MW) og små vindmøller (<500 kW) er stort set identisk. Det betyder, at store vindmøller forholdsmæssigt udsender nogenlunde samme lydenergi i det lavfrekvente område som små vindmøller.

På Avedøre Holme erstattes 12 stk. 300 kW møller af 3 stk. 3,6 MW møller. Energimæssigt svarer 12 møller a 300 kW til  $12 \times 300 \text{ kW} = 3,6 \text{ MW}$ . Én af de nye vindmøller erstatter dermed energimæssigt alle 12 gamle møller.

De gamle møller har hver en kildestyrke på  $L_{WA} = 95,7 \text{ dB re } 1 \text{ pW}$  ved vindhastigheden 8m/s. Den samlede kildestyrke for de 12 gamle møller er da  $95,7 + 10 \times \log(12) = 106,5 \text{ dB re } 1 \text{ pW}$ . Kildestyrken for 3,6 MW vindmøllen, der er benyttet ved beregningerne i afsnit 6.2, er på  $L_{WA} = 105 \text{ dB re } 1 \text{ pW}$ . Støjemissionen fra én 3,6 MW vindmølle er altså ca. 1,5 dB mindre end støjen fra samtlige 12 stk. 300 kW møller.

Det samlede regnestykke for ændringen af støjemissionen efter opsætningen af 3 stk. 3,6 MW vindmøller er da  $\Delta L_{WA} = 105 + 10 \times \log(3) - 106,5 = 105 + 4,8 - 106,5 = 3,3 \text{ dB}$ .

Da der som nævnt ikke er nævneværdig forskel på den spektrale fordeling af lydenergien for små og store vindmøller, gælder øgningen af støjemissionen både for lavfrekvent støj (10-160 Hz) og for den øvrige hørbare støj (160-20000 Hz).

## 5. Målinger

Der er foretaget følgende målinger (se Figur 1, hvor måleposition 4 og 7 er vist):

Pos.	Beskrivelse
4	Hammerholmen 9, ca. 1800 m fra den midterste af de kommende møller og 500 m fra motorvejen, målehøjde 1,5 m. Målingen blev foretaget 26-3-2008 kl. 22. Der blev målt 1) baggrundsstøj (kun motorvejen hørtes), 2) under passage af en lastbil og 3) under manøvrering med en lastbil ca. 70 m fra målepunktet.
7	Strandholms Allé 43A, ca. 2300 m fra den midterste af de kommende møller og 250 m fra motorvejen, målehøjde 1,5 m. Målingen blev foretaget 26-3-2008 kl. 22.25. Der blev målt baggrundsstøj (kun motorvejen hørtes).
	Hillerødmotorvejen, 225 m fra denne samt på en bro over denne, ved Allerød. 27-3-2008 kl. 09.
	AV-Miljø, Avedøre Holme 97. Måling på kompaktor og gravemaskiner. Kildestyrkemåling til brug for beregninger af støjbidraget i forskellige afstande. 3-4-2008.
	Typisk 3,6MW vindmølle målt i forbindelse med et andet projekt. Kildestyrken er brugt til at beregne vindmøllers støjbidrag i forskellige afstande.

**Tabel 2**

*Udendørs målinger.*



**Figur 1**  
Kort med den omtrentlige placering af de planlagte vindmøller samt målepunkter.

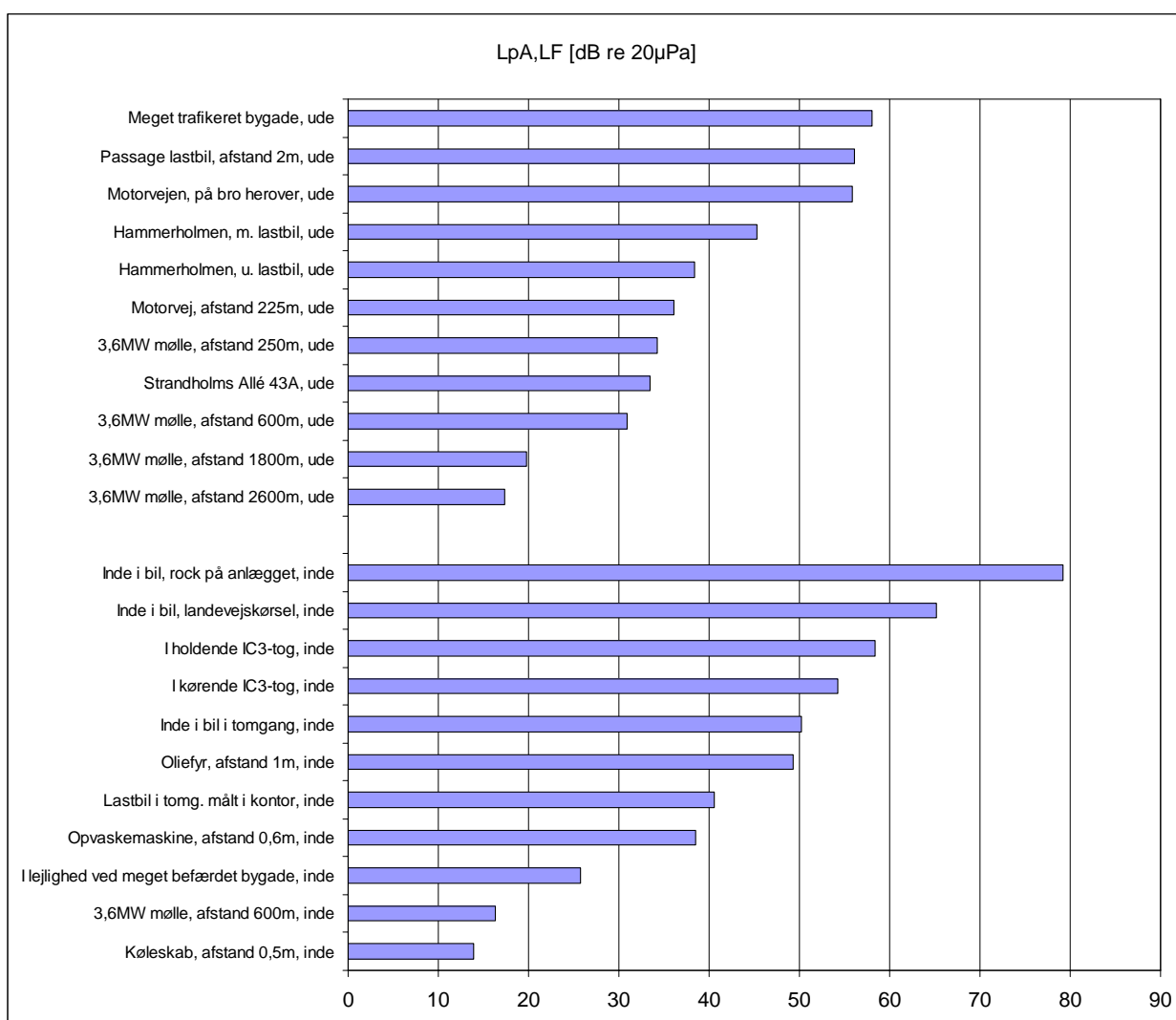
Oliefyre, 1 m afstand. Målt i marts 2008.
Køleskab, 0,5 m afstand. Målt i marts 2008.
Opvaskemaskine, 0,6 m afstand. Målt i marts 2008.
I bil under landevejskørsel, under afspilning af rockmusik samt i tomgang. Målt i Citroen Xantia fra 1994. Målt i marts 2008.
I holdende og kørende IC3-tog. Målt i oktober 2007 i forbindelse med et andet projekt.
I kontor medens en lastbil manøvrerede udenfor. 10-4-2008.

**Tabel 3**  
Indendørs målinger.

## 6. Resultater

### 6.1 Målinger og beregninger af støjbidrag fra udvalgte kilder

I Figur 2 er vist et udvalg af de målte og beregnede  $L_{pA,LF}$ -værdier grupperet i indendørs og udendørs.



**Figur 2**

Eksempler på lavfrekvent støjniveau udtrykt ved  $L_{pA,LF}$ . Tallene for vindmøllerne gælder for én mølle.

Beregningen af den indendørs lavfrekvente støj fra en vindmølle er foregået som angivet i næste afsnit bortset fra, at der er regnet om fra udendørs til indendørs støjniveau vha. støjreduktionstal for et typisk dansk enfamiliehus. Reduktionstallene stammer fra et andet projekt.

## 6.2 Støjbidrag fra de planlagte vindmøller udendørs

Der er foretaget beregninger af det udendørs lavfrekvente støjbidrag  $L_{pA,LF}$  fra de planlagte 3 vindmøller. Beregningerne er foretaget for de 7 punkter vist i Figur 3, der alle er beliggende i højden 1,5 m over terræn.



**Figur 3**

*De syv punkter i hvilke støjbidraget fra de kommende 3 vindmøller er beregnet.*

Der er i beregningerne forudsat, at møllerne er typiske 3,6 MW møller med navhøjde 105 m og et A-vægtet lydeffektniveau på  $L_{WA} = 105$  dB re 1 pW, at vindhastigheden er 8 m/s, at der er medvind fra hver mølle til hvert beregningspunkt, og at terrænet på alle transmissionsveje består af 75 % hårdt terræn og 25 % porøst terræn. Beregningerne er foretaget efter Nord2000-metoden, se [2] og [3].

Resultaterne af beregningerne er vist i nedenstående Tabel 4. Til sammenligning vises også de målte  $L_{pA,LF}$ -bidrag fra motorvejen ved Avedøre Holme og de beregnede  $L_{pA,LF}$ -bidrag fra 3 maskiner hos AV-Miljø (se afsnit 6.4).

	<b><math>L_{pA,LF}</math> udendørs beregnet bidrag fra vindmøller</b>	<b><math>L_{pA,LF}</math> udendørs målte/vurd. bi- drag fra motorvej</b>	<b><math>L_{pA,LF}</math> udendørs beregnet bidrag AV-Miljø</b>
Punkt 1. Brøndby Havn	32	(36)	25
Punkt 2. Rensningsanlæg	38	(35)	38
Punkt 3. AV-Miljø	39	(34)	49
Punkt 4. Hammerholmen	28	38	-
Punkt 5. Helseholmen	32	(38)	25
Punkt 6. Strandvangen	28	(33)	-
Punkt 7. Strandholms Allé	24	33	-

**Tabel 4**

Beregnet udendørs støjbidrag  $L_{pA,LF}$  fra 3 stk. 3,6 MW vindmøller til venstre og målt støjbidrag fra motorvejen ved Avedøre Holme (midt) samt bidraget fra et udvalg af AV-Miljø's maskiner (til højre). Resultaterne i parentes er fremkommet ved simple betragtninger vedr. afstandsforskelle [dB re 20 $\mu$ Pa].

Tabel 4 viser bl.a., at det beregnede lavfrekvente udendørs støjbidrag  $L_{pA,LF}$  fra de kommende vindmøller er ca. 4-10 dB lavere end det målte lavfrekvente støjbidrag fra motorvejen for punkt 1, 4, 5, 6 og 7. For punkterne tæt på de kommende 3,6 MW møller (punkt 2 Rensningsanlæg og punkt 3 AV-Miljø) overstiger møllernes lavfrekvente udendørs støjbidrag  $L_{pA,LF}$  den lavfrekvente støj fra motorvejen med ca. 3-5 dB.

### 6.3 Støjbidrag fra de planlagte vindmøller indendørs

På grundlag af det beregnede udendørs lavfrekvente støjbidrag  $L_{pA,LF}$  fra de planlagte 3 vindmøller (vist i første kolonne i Tabel 4) er det indendørs støjniveau ved de 7 punkter beregnet. Til beregningerne er der benyttet støjreduktionstal for en dansk gennemsnitsbygning som angivet i Miljøstyrelsens såkaldte Hurtigfærgebekendtgørelse [5].

Resultaterne er vist i Tabel 5 herunder.

	<b>Beregnet <math>L_{pA,LF}</math> <u>indendørs</u></b>
Punkt 1. Brøndby Havn.	16
Punkt 2. Rensningsanlæg.	23
Punkt 3. AV-Miljø.	25
Punkt 4. Hammerholmen.	12
Punkt 5. Helseholmen.	16
Punkt 6. Strandvangen.	12
Punkt 7. Strandholms Allé.	9

**Tabel 5**

Beregnet indendørs støjbidrag  $L_{pA,LF}$  fra 3 stk. 3,6 MW vindmølle [dB re 20 $\mu$ Pa].

Resultaterne svarer til det støjbidrag, man under ideelle forhold (ingen bidrag fra andre kilder) vil kunne måle indendørs fra de 3 stk. 3,6 MW møller, hvis der var placeret et gennemsnitshus i hvert af punkterne.

Det ses, at grænseværdien for kontorer, undervisningslokaler og andre lign. støjfølsomme rum på 30 dB(A) samt grænseværdien for øvrige rum på virksomheder på 35 dB(A) ikke vil blive overskredet (se [1]).

#### 6.4 Støj fra kompaktor og gravemaskiner hos AV-Miljø

På grundlag af målinger af støjemissionen af en kompaktor og to gravemaskiner er støjbidraget beregnet på og omkring AV-Miljø's område.



**Figur 4**  
*Den målte kompaktor (øverst) og de målte gravemaskiner hos AV-Miljø.*

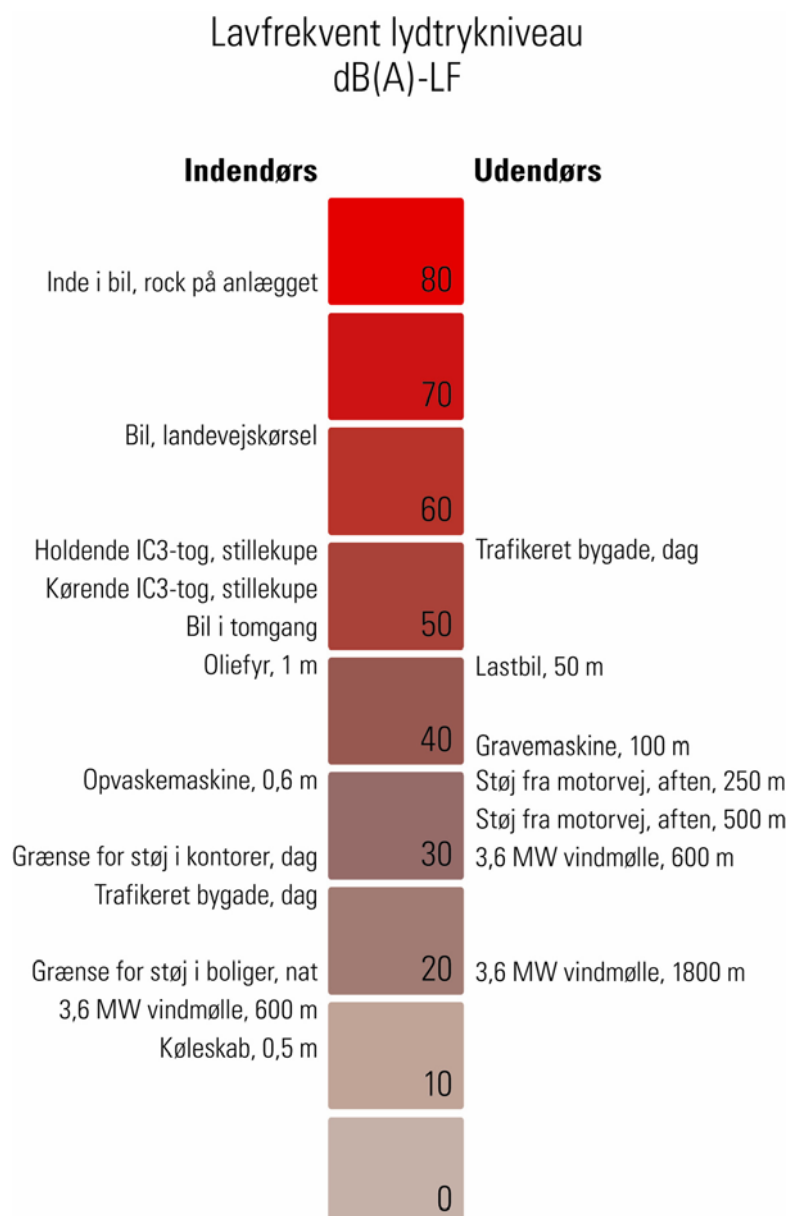
Der er i beregningerne forudsat, at én kompaktor og to gravemaskiner arbejder samtidigt i det område, der er vist i Figur 5 med en rød prik. Ydermere er det forudsat, at vindhastigheden er 8 m/s, at der er medvind fra maskinerne i alle retninger, og at terrænet på alle transmissionsveje består af 75 % hårdt terræn og 25 % porøst terræn. Beregningerne er foretaget efter Nord2000-metoden.



**Figur 5**  
Resultater af beregninger af det lavfrekvente udendørs støjbidrag  $L_{pA,LF}$  fra én kompaktor og to gravemaskiner, der arbejder samtidigt i området ved den røde prik.

## 7. Støjbarometer

Nedenstående viser et ”støjbarometer” for lavfrekvent støj. Teksterne er generaliserede, men en del af resultaterne stammer fra nærværende undersøgelse. De steder, hvor der er meterangivelser, er det afstanden til den aktuelle kilde.



## 8. Sammenfatning

Notatets angivelse af forskellige værdier af  $L_{pA,LF}$  gør det muligt at sammenligne det lavfrekvente støjbidrag fra de kommende vindmøller på Avedøre Holme med det lavfrekvente støjniveau i området, der skyldes andre kilder.

Som det bl.a. fremgår af Tabel 4, vil det lavfrekvente udendørs støjbidrag  $L_{pA,LF}$  fra de planlagte tre 3,6 MW vindmøller være ca. 4-10 dB mindre end det lavfrekvente støjbidrag fra motorvejen i de fleste punkter på Avedøre Holme og i boligkvarteret mod nord. For to punkter tæt på vindmøllerne vil disses støjbidrag  $L_{pA,LF}$  overstige bidraget fra motorvejen.

Beregninger af det indendørs støjbidrag  $L_{pA,LF}$  i punkterne viser, at Miljøstyrelsens grænseværdier for de respektive områdetyper (industri og boligbebyggelse) ikke overskrides. Disse grænseværdier gælder ikke støj fra vindmøller, men er nævnt til sammenligning.

En undersøgelse vedrørende lavfrekvent støj fra store vindmøller er ved at blive færdiggjort. Der er i den forbindelse udsendt en pressemeddelelse [4] fra DELTA, hvor i det bl.a. hedder:

*Projektet viser, at der IKKE er grund til at frygte mere lavfrekvent indendørs støj fra de nye og større møller, når man sammenligner med de møller, som vi alle kender og lever med i dag. Der er ikke sket nogen forværring af den lavfrekvente støj indendørs for de store møller sammenlignet med de små møller. Det gælder for huse placeret i gældende minimumsafstand svarende til 4 gange møllens totalhøjde.*

## 9. Referencer

- [1] Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 9/1997 ”Lavfrekvent støj, infralyd og vibrationer i det eksterne miljø”.
- [2] B. Plovsing and J. Kragh, Nord2000. Comprehensive Outdoor Sound Propagation Model. Part 1: Propagation in an Atmosphere without Significant Refraction, DELTA Akustik & Vibration, Rapport AV 1849/00, revised Hørsholm 2006.
- [3] B. Plovsing and J. Kragh, Nord2000. Comprehensive Outdoor Sound Propagation Model. Part 2: Propagation in an Atmosphere with Refraction, DELTA Akustik & Vibration, Rapport AV 1851/00, revised Hørsholm 2006.
- [4] Pressemeddelelse fra DELTA fra 9. april 2008, AV 1089/08.
- [5] Miljøstyrelsens Bekendtgørelse nr. 821 af 23. oktober 1997 (Hurtigfærbekendtgørelsen).