



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Beregningsmetode for lavfrekvent støj fra vindmøller

Birger Plovsing
DELTA

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

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.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	9
1 INDLEDNING	11
2 FREMGANGSMÅDE	13
3 LANDBASEREDE MØLLER	17
4 OFFSHOREMØLLER	21
5 LUFTABSORPTION	25
6 KONKLUSION	27
7 REFERENCER	29

Forord

Miljøstyrelsen har iværksat en revision af bekendtgørelsen om støj fra vindmøller, så der fastsættes grænser også for den lavfrekvente støj fra møller. Bekendtgørelsen skal også foreskrive en entydig og operationel metode til at beregne den lavfrekvente støj.

Derfor har Miljøstyrelsen bedt DELTA om at undersøge, om der kan udarbejdes en enkel beregningsmetode for lavfrekvent støj fra vindmøller baseret på Nord2000, som ikke kræver anvendelse af egentlig Nord2000-software. Så vidt muligt skal terrænkorrekktionerne udtrykkes som simple korrekktioner pr. oktavbånd eller 1/3-oktavbånd, og metoden skal være gyldig i et afstandsområde der strækker sig fra minimumsafstanden til vindmøller (4 gange totalhøjden) til mindst den dobbelte afstand. For offshore vindmøller er der tale om længere afstande.

Rapporten her dokumenterer de undersøgelser, som DELTA har gennemført og de opnåede resultater. Rapporten giver anbefalinger om terrænkorrekktioner for vindmøller placeret henholdsvis på land og på havet, og anbefaler desuden værdier for luftabsorptionen.

Sammenfatning og konklusioner

Den enkle beregningsmetode for det A-vægtede støjniveau i den nuværende bekendtgørelse om støj fra vindmøller er baseret på Nord2000-beregningsmetoden. I beregningsmetoden giver terrænet anledning til en A-vægtet korrektion på 1,5 dB for landbaserede møller og 3 dB for offshoremøller. En beregningsmetode for lavfrekvent støj fra vindmøller bør også baseres på Nord2000-beregningsmetoden, men den simple metode kan ikke bruges. Støjniveauet ville blive undervurderet, hvis denne metode anvendes, idet virkningen af terrænet er større i lavfrekvensområdet, og terrænkorrektionen må være frekvensafhængig.

Formålet med dette projekt har været at udarbejde en enkel beregningsmetode for både landbaserede vindmøller og for offshoremøller, som er anvendelig ved beregning af lavfrekvent støj, og som ikke kræver anvendelse af egentlig Nord2000-software. Ønsket har været at udtrykke terrænkorrektionerne som simple korrektioner i 1/3-oktavnåb, som i udformning passer til den eksisterende metode i bekendtgørelsen. Korrektionerne har skullet dække vindmøller med navhøjder fra ca. 35 m til omkring 180 m og relevante udbredelsesafstande. For landbaserede vindmøller har det været hensigten, at metoden skulle dække afstande fra den mindste, relevante afstand til mindst det dobbelte af denne afstand. For offshoremøller skulle metoden dække større afstande.

På baggrund af projektarbejdet anbefales anvendt samme model for terrænvirkningen for landbaserede møller og for offshoremøller, hvor afstanden mellem bolig og kystlinje er mindst 200 m, og en anden model for terrænvirkningen for offshoremøller, hvor boligerne er beliggende tæt på kystlinjen. I begge modeller regnes terrænvirkningen at være uafhængig af møllehøjden og udbredelsesafstanden samt af de i vejledningen omtalte vindhastigheder og terrænrheder.

For boliger beliggende mindre end 200 m fra kystlinjen anbefales det at interpolere mellem værdierne de to terrænvirkningstabeller med anvendelse af afstanden til kysten som interpolationsparameter.

I projektet belyses nøjagtigheden af den anbefalede metode til beregning af det indendørs A-vægtede lavfrensstøjniveau i forhold til beregninger med Nord2000-metoden, hvor der tages hensyn til de faktiske udbredelsesforhold (møllehøjde, udbredelsesafstand, vindhastighed og terrænrhed).

Ved bestemmelse af luftabsorptionen anbefales det at anvende dæmpningskoefficienterne fra Nord2000-metoden i 1/3-oktavnåb fra 25 Hz til 160 Hz for den i vejledningen anførte lufttemperatur og relativ luftfugtighed og ignorere luftabsorption under 25 Hz.

Summary and conclusions

The simple calculation method for the A-weighted noise level in the present regulation of noise from wind turbines is based on the Nord2000 calculation method. In the method the A-weighted terrain correction is 1.5 dB for wind turbines placed on land and 3 dB for offshore wind turbines. A calculation method for the A-weighted low frequency noise should also be based on Nord2000 but the simple method cannot be used. The noise level would be underestimated if this method was used as the ground effect is larger in the low frequency range, and the terrain correction has to be frequency dependent.

The purpose of this project has been to develop a simple calculation method of the A-weighted low frequency noise level for wind turbines placed on land or offshore. The aim has been to express the terrain corrections in one-third octave bands in a form that fits into the present regulation. The corrections have to cover wind turbine hub heights between 35 m and 180 m and relevant propagation distances. For wind turbines on land the intension has been to cover propagation distances from the minimum relevant distance to at least twice this distance. For offshore wind turbines the method has to cover larger distances.

Based on the work in the project it is recommended to use the same terrain correction for wind turbines on land and for offshore wind turbines when the distance from a habitation to the coast is at least 200 m. Another terrain correction is used for offshore wind turbines if the habitation is close to the coast. Both terrain corrections are assumed to be independent of wind turbine height, propagation distance and of the wind speed and terrain roughness mentioned in the regulation.

For habitations less than 200 m from the coast it is recommended to make an interpolation between the two models using the distance to the coast as interpolation parameter.

In the project the accuracy of A-weighted low frequency noise levels indoors predicted by the simplified method is analyzed and quantified by comparison with noise level predicted by the Nord2000 method taking into account all propagation variables (source height, propagation distance, and wind speed and terrain roughness).

The prediction of air absorption is recommended to be based on the Nord2000 attenuation rates in one-third octave bands from 25 Hz to 160 Hz for the air temperature and relative humidity defined in the regulation and to ignore air absorption below 25 Hz.

1 Indledning

Den enkle beregningsmetode for det A-vægtede støjniveau i den nuværende bekendtgørelse om støj fra vindmøller [1] er baseret på Nord2000-beregningsmetoden [2]. Metodens udarbejdelse er beskrevet i [3] og [4]. I beregningsmetoden giver terrænet anledning til en A-vægtet korrektion på 1,5 dB for landbaserede møller og 3 dB for offshoremøller. En beregningsmetode for lavfrekvent støj fra vindmøller bør også baseres på Nord2000-beregningsmetoden, men den simple metode kan ikke bruges. Virkningen af terrænet vil være større, så støjniveauet ville blive undervurderet, og det forventes, at korrektionen for terræn må være frekvensafhængig.

Formålet med dette projekt har været at udarbejde en enkel beregningsmetode for både landbaserede vindmøller og for offshoremøller, som er anvendelig ved beregning af lavfrekvent støj, og som ikke kræver anvendelse af egentlig Nord2000-software. Ønsket har været at udtrykke terrænkorrektionerne som simple korrektioner i 1/3-oktavnåbånd, som i udformning passer til den eksisterende metode i bekendtgørelsen. Korrektionerne har skullet dække vindmøller med navhøjder fra ca. 35 m til omkring 180 m, hvilket betyder at den mindste, relevante afstand bliver 200 - 1000 m (4 gange totalhøjden). For landbaserede vindmøller har det været hensigten, at metoden skulle dække afstande fra den mindste, relevante afstand til mindst det dobbelte af denne afstand. For offshoremøller er større afstande relevante, og under udførelse af projektet blev det klart, at det er nødvendigt at skelne mellem boliger, som befinder sig i en vis afstand fra kystlinien (mindst 200 m), hvilket vil være den almindeligst forekommende situation, og boliger tæt på kystlinien. Da formålet har været at beregne A-vægtet lavfrekvent støj er det relevante frekvensområdet 10 Hz - 160 Hz (centerfrekvenser i 1/3-oktavnåbånd). Derudover har korrektionerne skulle dække vindhastigheder på omkring 6 og 8 m/s i 10 m højde og de i bekendtgørelsen omtalte ruhedslængder for forskellige terræntyper.

2 Fremgangsmåde

Til brug for udarbejdelsen af en simplificeret metode er der udført en række beregninger med DELTA's Nord2000-referencesoftware skrevet i Matlab-kode. Disse beregninger omfatter relevante vindmøllehøjder, beregningsafstande, vindhastigheder og terrænruheder.

Vindmøllehøjderne omfatter navhøjder fra 35 m til 180 m, som i analysen er repræsenteret ved højderne vist i Tabel 1. Tabellen viser også de tilhørende mindste afstande til vindmøllen (4 gange totalhøjden).

Tabel 1: Navhøjder og tilhørende mindste afstande i analysen

Navhøjde (m)	Mindste afstand (m)
35	200
50	280
70	392
100	560
140	784
180	1000

Beregningsafstandene omfatter afstande fra mindste afstand vist i Tabel 1 til op til 16 gange mindste afstand. Forholdet mellem de valgte beregningsafstande i analysen og mindste afstand er vist i Tabel 2. For landbaserede møller indgår kun afstande op til 4 gange mindste afstand i analysen. Tabellen viser også elevationsvinklen af vindmøllens nav set fra modtageren. I analysen afbildes resultaterne ofte som elevationsvinklen, idet en eventuel afhængighed af udbredelsesgeometrien forventes at være knyttet til denne parameter.

Tabel 2: Afstande anvendt i analysen og tilhørende elevationsvinkel af nav set fra modtagerpunkt

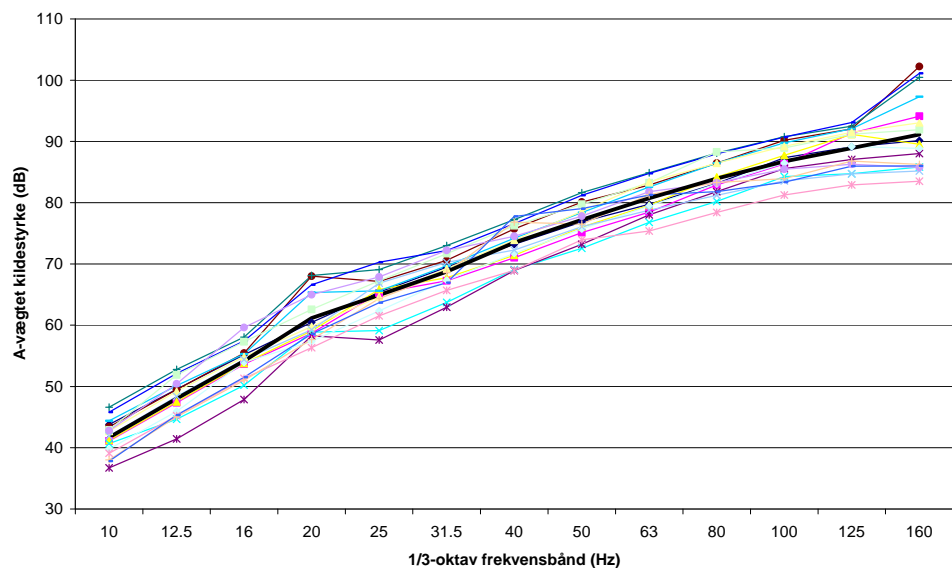
Forhold mellem afstand og mindste afstand	Navelationsvinkel (°)
1	10
1,4	7
2	5
2,8	3,6
4	2,6
5,7	1,8
8	1,3
11,3	0,9
16	0,6

Analysen omfatter derudover de i bekendtgørelsen relevante vindhastigheder 6 og 8 m/s og terrænruhederne 0,0001 m, 0,01 m, 0,05 m og 0,3 m. For offshoremøller omfatter analysen kun den mindste terrænruhed.

For at kvantificere nøjagtigheden af det A-vægtede indendørs LF-støjniveau beregnet med en simplificeret beregningsmetode i forhold til beregning med Nord2000 direkte har der i analysen været anvendt et "typisk" vindmøllekildespektrum og en "typisk" forskel på støjniveau udendørs og indendørs i 1/3-oktavniveau fra 10 til 160 Hz.

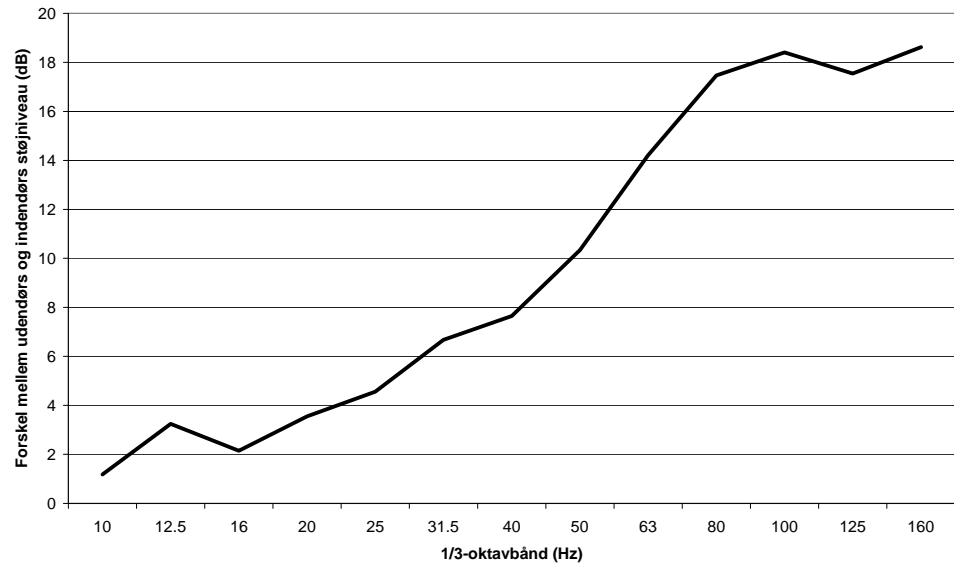
Det anvendte "typiske" A-vægtede kildespektrum, som er en middelværdi af 17 spektre målt af DELTA i [6], er vist i Figur 1. Den absolutte kildestyrke er uden betydning for analysen, idet den beregnede differens kun påvirkes af spektrets form.

Figur 1: 17 forskellige spektre målt i [6] og middelværdi af disse (fed sort streg)



Den anvendte "typiske" forskel mellem støjniveauet udendørs og indendørs i 1/3-oktavbånd fra 10 til 160 Hz stammer fra [3] og er defineret som den mindste niveauforskel for 80-90 % af danske boliger. Den i analysen anvendte "typiske" forskel ses i Figur 2.

Figur 2: Forskel mellem udendørs og indendørs støjniveau anvendt i analysen



Ved beregning af det A-vægtede LF-støjniveau både med den simplificerede og med Nord2000-metoden medtages virkningen af luftabsorptionen for 10° C lufttemperatur og 80 % relativ luftfugtighed efter Nord2000-metoden. Virkningen vil dog være begrænset i lavfrekvensområdet selv ved de store udbredelsesafstande.

3 Landbaserede møller

For landbaserede møller har formålet som nævnt i Afsnit 1 været at udarbejde en simplificeret metode, som kan dække afstande fra mindste relevante afstand til det dobbelte af denne. Terrænkorrektion i 1/3-oktavnband fra 10 Hz til 160 Hz er derfor fundet som gennemsnittet af udbredelsesafstandene 1, 1,4 og 2 gange den mindste afstand samt af vindhastighederne og terrænrheder omtalt i Afsnit 2. Den fundne terrænkorrektion ΔL_g er vist i Tabel 3.

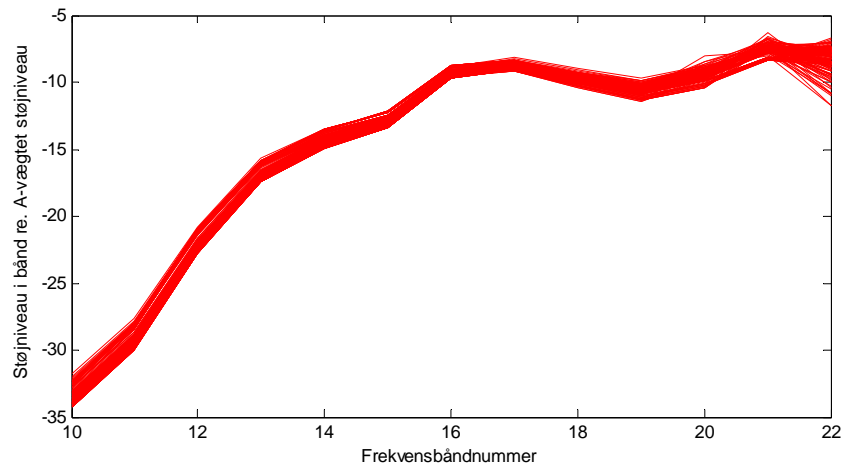
Tabel 3: Terrænkorrektion ΔL_g for landbaserede møller

Frekvens (Hz)	ΔL_g (dB)
10	6,00
12,5	5,98
16	5,80
20	5,61
25	5,43
31,5	5,24
40	5,00
50	4,69
63	4,27
80	3,71
100	2,95
125	1,84
160	0,03

For at undersøge nøjagtigheden af det A-vægtede indendørs LF-støjniveau beregnet med terrænkorrektionen vist i Tabel 3 i forhold til beregninger med Nord2000-metoden, som kan tage hensyn til udbredelsesgeometri og forskelle i vindhastighed og terrænrheder, er afstandsintervallet i analysen udvidet til op til 4 gange den mindste afstand for også at kunne kvantificere metodens nøjagtighed ved større afstande end det tilstræbte afstandsinterval.

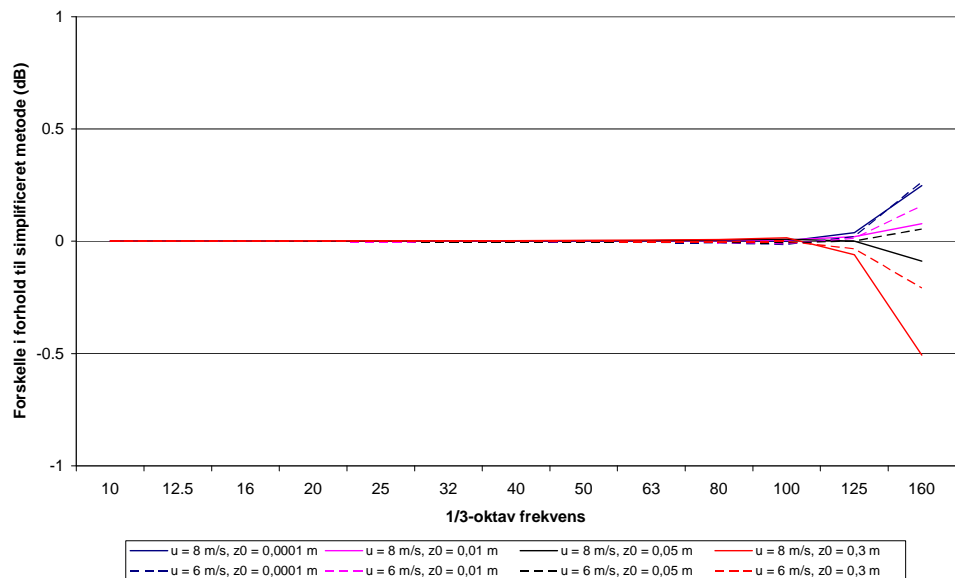
De beregnede A-vægtede spektre indendørs i forhold til det A-vægtede LF-støjniveau er for de 240 beregningstilfælde, der indgår i analysen, vist i Figur 3 (alle kombinationer af udbredelsesgeometri (30), vindhastighed (2) og terrænrheder (4)). Af figuren ses det, at LF-støjniveauet indendørs domineres af frekvensområdet 40-160 Hz. Derudover viser figuren, at variationen i det beregnede indendørs spektrum er lille for de 240 beregningstilfælde. Største bidrag kommer fra 125 Hz frekvensbåndet, men da det totale A-vægtede LF-støjniveau er 7-8 dB større end bidraget i dette frekvensbånd, indikerer det, at mindst 7-8 frekvensbånd bidrager væsentligt til det samlede støjniveau.

Figur 3: A-vægtet støjniveau indendørs i de enkelte frekvensbånd (givet ved båndnummer, 1 svarer til 10 Hz, 22 svarer til 160 Hz) i forhold til det A-vægtede LF-støjniveau



I analysen blev det undersøgt, hvor stor indflydelsen var af de meteorologiske variable som vindhastighed og terrænrheder, ved at bestemme den gennemsnitlige terrænkorrektion for hver af de otte kombinationer af vindhastighed og terrænrhed (hver især for de 18 udbredelsesgeometrier som indgår i Tabel 3). Figur 4 viser forskellen mellem disse otte terrænkorektioner og terrænkorektionen i den simplificerede metode (Tabel 3). Figuren viser en meget lille indflydelse af disse variable, så det kan konkluderes, at de største afvigelser skyldes variationer i de geometriske udbredelsesforhold (højde og afstand). Der vil derfor ikke være behov for i beregningsmetoden at tage højde for vindhastighed og terrænrhed.

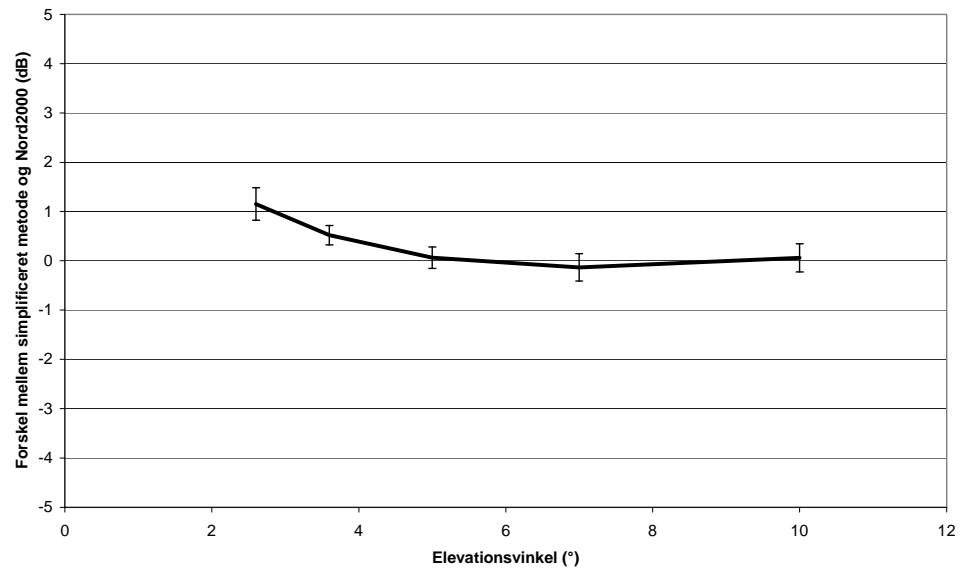
Figur 4: Afvigelser i terrænkorrektion ved variation i meteorologiske variable (vindhastighed og terrænrhed) i forhold værdierne i Tabel 3



Figur 5 viser forskellen i A-vægtet LF-støjniveau beregnet med den simplificerede metode og med Nord2000-metoden for elevationsvinkler mellem 10° og $2,6^\circ$ (afstande fra 1 til 4 gange mindste afstand). Figuren viser, at den gennemsnitlige forskel er meget lille i afstandsintervallet fra mindste afstand til den dobbelte afstand (elevationsvinkel $5-10^\circ$), og at den simplificerede metode giver et ca. 1 dB højere LF-støjniveau ved fire gange

den mindste afstand (2,6°). Figuren viser endvidere variationen i forskellene udtrykt ved to gange standardafvigelsen. Det ses, at variationsområdet kun udgør nogle få tiendedele dB på hver side af gennemsnitsværdien.

Figur 5: Gennemsnitlig forskel i A-vægtet LF-støjniveau indendørs for landbaserede møller beregnet med simplificeret metode og med Nord2000 som funktion af elevationsvinklen og variationsområdet vist som to gange spredningen (lodrette streger)



4 Offshoremøller

For offshoremøller har formålet som nævnt i Afsnit 1 været at udarbejde en simplificeret metode, som kan dække større afstande end de afstande, der er relevante for landbaserede møller. I projektet er det valgt i analysen at dække afstande op til 16 gange den mindste afstand i forventning om, at møllerne ikke udgør et støjmæssigt problem ved større afstande.

I første omgang blev terrænvirkningen bestemt under forudsætning af, at boligen befinder sig tæt på kystlinien. Herved vil lydudbredelsen udelukkende ske over vand. Terrænkorrektionen i 1/3-oktavnåbånd fra 10 Hz til 160 Hz er fundet som gennemsnittet af udbredelsesafstandene fra 1,4 til 8 gange den mindste afstand (elevationsvinkel 7° til $1,3^\circ$) samt af vindhastighederne omtalt i Afsnit 2 (der er kun en terrænrødhed). Dette afstandsinterval giver en nogenlunde konstant terrænkorrektion, mens terrænkorrektion vil mindske (give lave støjniveauer) ved større afstande og ved den mindste afstand. Terrænkorrektionen ΔL_G er vist i Tabel 4.

Tabel 4: Terrænkorrektion ΔL_G for offshoremøller og boliger tæt på kystlinien

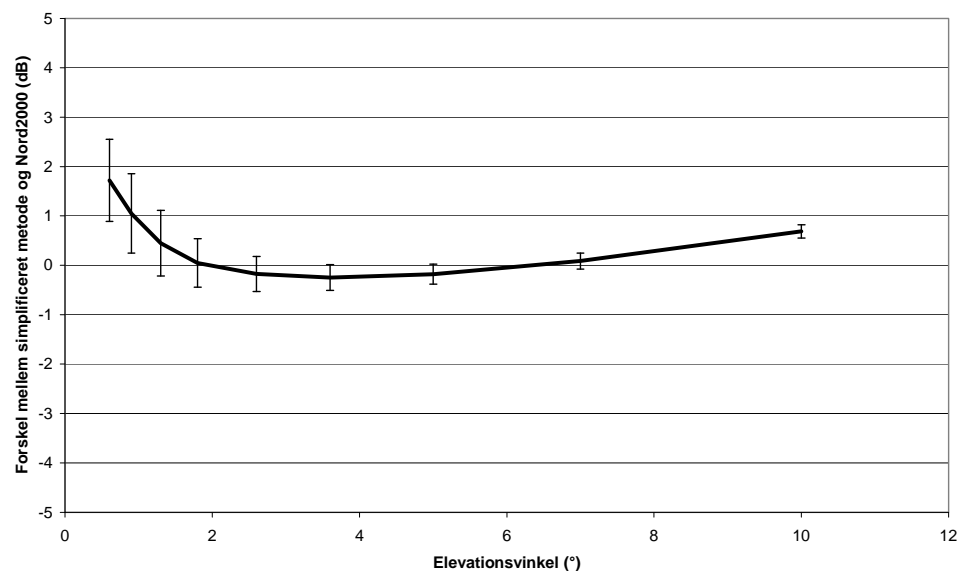
Frekvens (Hz)	ΔL_G (dB)
10	6,00
12,5	6,00
16	6,00
20	5,98
25	5,95
31,5	5,92
40	5,87
50	5,79
63	5,66
80	5,47
100	5,18
125	4,72
160	4,03

For at undersøge nøjagtigheden af det A-vægtede indendørs LF-støjniveau beregnet med terrænkorrektionen vist i Tabel 4 i forhold til beregninger med Nord2000-metoden er afstandsintervallet i analysen udvidet til 16 gange den mindste afstand.

I analysen blev det undersøgt, hvor stor indflydelsen var af vindhastigheden (6 og 8 m/s), og som for de landbaserede møller kunne det konkluderes, at der ikke er behov for i beregningsmetoden at tage højde for vindhastigheden.

Figur 6 viser forskellen i A-vægtet LF-støjniveau for offshoremøller beregnet med den simplificerede metode og med Nord2000-metoden for elevationsvinkler mellem 10° og $0,6^\circ$ (afstande fra 1 til 16 gange mindste afstand), når boligen er placeret tæt på kystlinien. Figuren viser, at den gennemsnitlige forskel er meget lille i afstandsintervallet fra 1,4 til 8 gange mindste afstand (elevationsvinkel 7° - $1,3^\circ$), og at den simplificerede metode giver et 1,7 dB højere LF-støjniveau ved 16 gange den mindste afstand ($0,6^\circ$) og et 0,7 dB højere LF-støjniveau ved den mindste afstand (10°). Figuren viser endvidere variationen i forskellene udtrykt ved to gange standardafvigelsen. Det ses, at variationsområdet kun udgør nogle få tiendedele dB på hver side af gennemsnitsværdien op til 4 gange mindste afstand som fundet for landbaserede møller, men at variationsområdet stiger for større afstande og er 0,8 dB ved 16 gange mindste afstand.

Figur 6: Gennemsnitlig forskel i A-vægtet LF-støjniveau indendørs for offshoremøller og boliger tæt på kystlinien beregnet med simplificeret metode og med Nord2000 som funktion af elevationsvinklen og variationsområdet vist som to gange spredningen (lodrette streger)

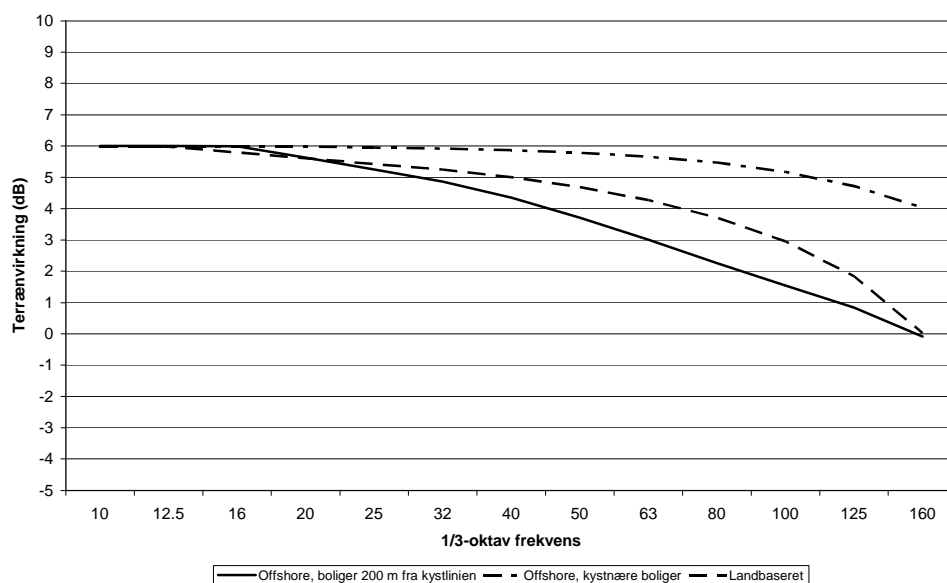


Herefter blev terrænvirkningen bestemt under forudsætning af, at boligen befinder sig 200 m fra kystlinien. Den i almindelighed forekommende situation er, at boligerne befinder sig mindst 200 m fra kystlinien. Ligesom for de kystnære boliger blev terrænkorrektionen i 1/3-oktavnband fra 10 Hz til 160 Hz bestemt som gennemsnittet af udbredelsesafstandene fra 1,4 til 8 gange den mindste afstand. Den herved fundne terrænkorrektion er vist i Figur 7. Figuren viser også terrænvirkningen for boliger med en placering ved tæt ved kystlinien fra Tabel 4 og terrænvirkningen for landbaserede møller fra Tabel 3. Umiddelbart kan det overraske, at terrænvirkningen er mindre for offshoremøller, hvor kun den sidste del af udbredelsen sker over land, end for landbaserede møller, hvor hele udbredelsen sker over land. Det skyldes, at afstandsintervallet ved optimering af terrænvirkningen for offshore og landbaserede møller ikke er det samme. Optimeres terrænvirkningen for offshoremøller med boliger 200 m fra kystlinien i stedet for det samme afstandsinterval, som er anvendt for landbaserede møller (1 til 2 gange mindste afstand), er der kun meget små forskelle mellem beregnede terrænvirkning og terrænvirkningen for landbaserede møller. Det kan derfor konkluderes, at mindst 200 m land mellem bolig og kyst betyder, at

terrænvirkningen stort set er den samme for offshoremøller og landbaserede møller.

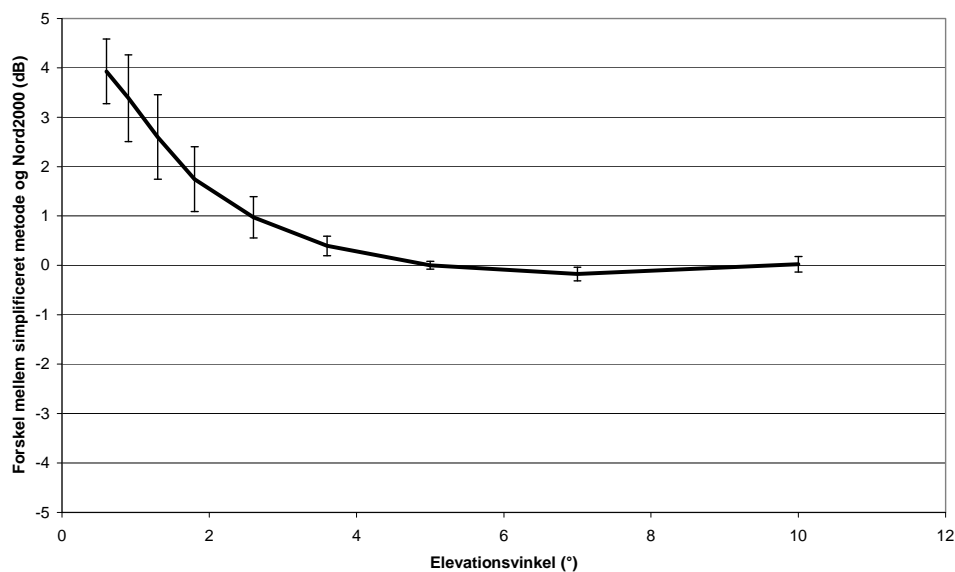
Anvendes den fundne terrænvirkning for offshoremøller vist i Figur 7, giver dette anledning til lavere støjniveauer end beregnet for landbaserede møller i samme afstand (ca. 1 dB) og for afstande op til 2 gange den mindste afstand vil den simplificerede metode undervurdere støjniveauet med omkring 1 dB. For at udgå dette og for at få en simplere metode anbefales det, at terrænkorraktionen for landbaserede møller også anvendes for offshoremøller, hvor boligerne ligger mindst 200 m fra kystlinien.

Figur 7: Gennemsnitlig terrænvirkning ΔL_g i 1/3-oktavbånd fra 1,4 til 8 gange mindste afstand for offshore møller med boliger 200 m fra kystlinien og placeret tæt på kystlinien samt terrænvirkning for landbaserede møller fra Tabel 3



Hvis terrænkorraktionen for landbaserede møller også anvendes for offshoremøller, hvor boligerne ligger mindst 200 m fra kystlinien, viser Figur 8 forskellen i A-vægtet LF-støjniveau indendørs for offshoremøller, når boligen er mindst 200 m fra kystlinien, beregnet med den simplificerede metode og med Nord2000-metoden for elevationsvinkler mellem 10° og $0,6^\circ$ (afstande fra 1 til 16 gange mindste afstand). Figuren viser, at den gennemsnitlige forskel er lille i afstandsintervallet op til 4 gange den mindste afstand (elevationsvinkel $3,6^\circ$) og ca. den samme som set for landbaserede møller. For stigende afstande optræder en stigende overestimering af støjniveauet med den simplificerede metode. Figuren viser endvidere variationen i forskellene udtrykt ved to gange standardafvigelsen. Det ses som tidligere, at variationsområdet kun udgør nogle få tiendedele dB på hver side af gennemsnitsværdien ved de mindre afstande, men at variationsområdet stiger med stigende afstand over 4 gange mindste afstand men forbliver dog mindre end 1 dB i alle afstande.

Figur 8: Gennemsnitlig forskel i A-vægtet LF-støjniveau indendørs for offshoremøller og boliger beliggende mindst 200 m fra kystlinjen beregnet med simplificeret metode og med Nord2000 som funktion af elevationsvinklen og variationsområdet vist som to gange spredningen (Iodrette streger)



Da variationsområdet i hele afstandsintervallet er forholdsmæssigt beskedent (inden for ca. 1 dB) for offshoremøller, både når boliger er placeret tæt på kysten (Figur 6), og når boligen er placeret mindst 200 m fra kysten (Figur 8), kan nøjagtigheden i begge modeller forbedres ved over en given afstand at tilføje en frekvensafhængig korrektion til terrænvirkningen, som er en funktion af elevationsvinklen. Denne korrektion vil være en simpel tabel med de i figurene viste afvigelser. Det anbefales dog ikke at medtage sådan en korrektion, da det vil resultere i en mere kompliceret model, og da overvurderingen vil ske med stigende afstand, hvor der alt andet lige forventes stigende usikkerhed på støjniveauerne. På denne baggrund vurderes det, at den simple, konservative model er at foretrække.

Overgangen mellem terrænvirkningen for boliger tæt på kysten og i afstanden 200 m har ikke været undersøgt. Hvis der ønskes en overgang uden diskontinuitet anbefales det, at der interpoleres mellem værdierne de to terrænvirkningstabeller (Tabel 3 og Tabel 4) med anvendelse af afstanden til kysten som interpolationsparameter. Dette vurderes ikke at undervurdere terrænvirkningen.

5 Luftabsorption

I de fleste tilfælde vil luftabsorption kunne ignoreres ved beregning af LF-støjniveauet, men specielt for offshoremøller vides det ikke med sikkerhed, hvor store afstande der kan blive relevante. Analysen omfatter for de højeste møller afstande helt op til 16 km. Ved en afstand på 10 km vil luftabsorptionen eksempelvis udgøre 5,5 dB ved 160 Hz ved den lufttemperatur og relativ luftfugtighed, der forudsættes i bekendtgørelsen (10° C og 80 %), så det kan ikke helt udelukkes, at luftabsorptionen kan få en indflydelse på det beregnede LF-støjniveau.

Det anbefales at anvende dæmpningskoefficienterne fra Nord2000-metoden i frekvensområdet 25 Hz til 160 Hz og ignorere luftabsorption under 25 Hz som vist i Tabel 5.

Tabel 5: Luftabsorptionskoefficienter α i dB/m ved en relativ luftfugtighed på 80 % og en lufttemperatur på 10° C i 1/3-oktavnåbånd fra 10 til 160 Hz

Frekvens (Hz)	α i dB/m
10	0
12,5	0
16	0
20	0
25	0,00002
31,5	0,00003
40	0,00005
50	0,00007
63	0,00011
80	0,00017
100	0,00026
125	0,00038
160	0,00055

6 Konklusion

Det anbefales at anvende terrænvirkningen vist i Tabel 3 for landbaserede møller og for offshoremøller, hvor afstanden mellem bolig og kystlinie er mindst 200 m.

Det anbefales at anvende terrænvirkningen vist i Tabel 4 for offshoremøller, hvor boligerne er beliggende tæt på kystlinien.

For andre boliger beliggende mindre end 200 m fra kystlinien anbefales det at interpolere mellem værdierne de to terrænvirkningstabeller med anvendelse af afstanden til kysten som interpolationsparameter.

Nøjagtigheden i begge modeller kan forbedres ved over en given afstand at tilføje en frekvensafhængig korrektion til terrænvirkningen, som er en funktion af elevationsvinklen. Det anbefales dog ikke at medtage sådan en korrektion, da det vil resultere i en mere kompliceret model, og da overvurderingen vil ske med stigende afstand, hvor der alt andet lige forventes stigende usikkerhed på støjniveauerne. På denne baggrund vurderes det, at den simple, konservative model er at foretrække.

Det anbefales at anvende dæmpningskoefficienterne vist i Tabel 5 til bestemmelse af luftabsorptionen, selv om denne i de fleste tilfælde må antages at være af mindre betydning for LF-støjniveauet.

7 Referencer

- [1] Miljøstyrelsen, **Bekendtgørelse om støj fra vindmøller**, nr. 1518 af 14. december 2006
- [2] B. Plovsing, **Proposal for Nordtest Method: Nord2000 – Prediction of Outdoor Sound Propagation**, DELTA Report AV 1106/07, revised 10. jan 2010
- [3] Miljøstyrelsens referencelaboratorium for støjmålinger, **Udbredelse af støj fra vindmøller**, Teknisk Notat RL 45/05, 2005
- [4] Miljøstyrelsen, **Noise from offshore wind turbines**, Environmental Project no. 1016, 2005
- [5] D. Hoffmeyer og J. Jakobsen, **Sound insulation of dwellings at low frequencies**, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 2010
- [6] K. D. Madsen and T. H. Pedersen, **Low frequency noise from large wind turbines. Final report**, DELTA Report AV 1272/10, 2010