



RAPPORT 4

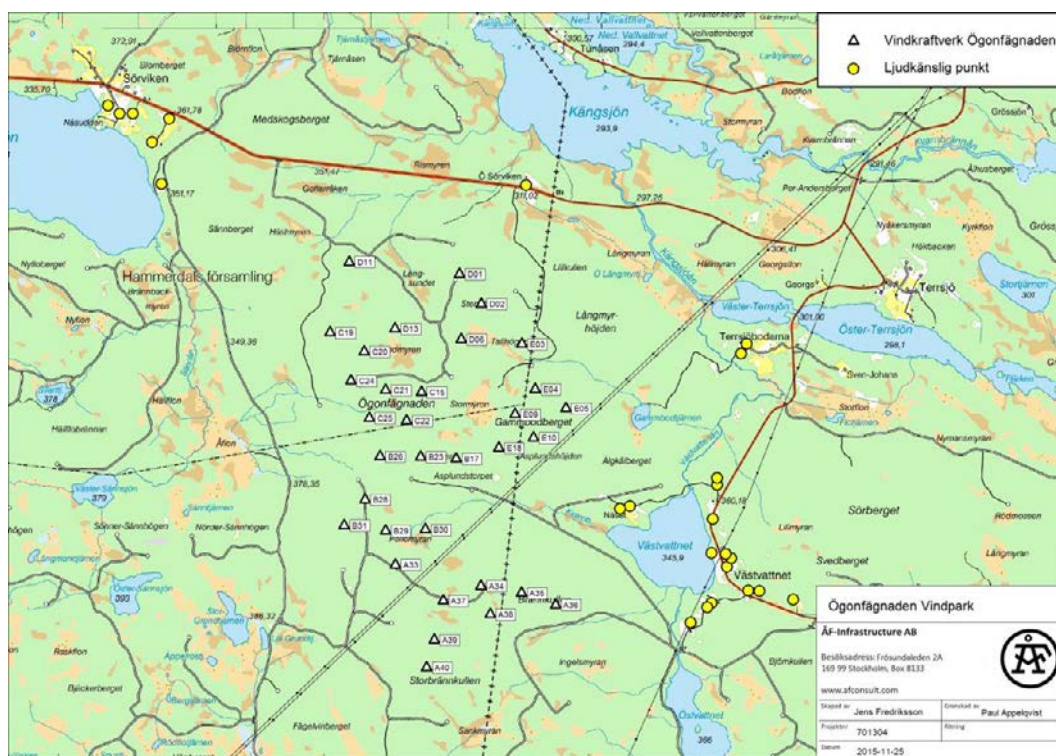
Handläggare
Jens Fredriksson
Tel
+46 10 505 60 97
Mobil
+46 70 184 57 97
E-post
jens.fredriksson@afconsult.com

Datum
2015-11-26
Projekt-ID
701304

Rapport-ID
Rapport 4
Kund
Statkraft SCA Vind II AB

Kontroll av ljud från vindpark Ögonfågeln - Strömsund, Sollefteå och Ragunda kommun

Ljud från vindkraftverk



ÅF-Infrastructure AB
Ljud & Vibrationer

Granskad

Jens Fredriksson

Paul Appelqvist



RAPPORT 4

Sammanfattning

Statkraft SCA Vind II AB har uppfört en vindpark vid Ögonfågeln, Strömsund, Sollefteå och Ragunda kommun. Vindparken består av 33 st Siemens SWT-3.0-113 vindkraftverk, 113 m rotordiameter och 115 m navhöjd. Bolaget ska enligt sitt villkor utföra kontroll av ljud för att visa att riktvärdet i villkoret, ekvivalent ljudtrycksnivå 40 dBA utomhus vid bostad, innehålls. ÅF har anlåtats för att utföra denna kontroll.

Kontrollen har utförts genom ljudmissionsmätning i två mätpunkter; vid Östra Sörviken och Näset. Utöver detta har emissionsmätning utförts vid två vindkraftverk i kombination med ljudberäkningar av ljudtrycksnivån vid närliggande bostäder med beräkningsmodellen Nord2000. Samtliga ljudmätningar genomfördes 2015-09-30 till 2015-10-01.

Ljudmissionsmätningarna utfördes ackrediterat i mätpunkten vid Näset samt som indikativ immissionsmätning vid Östra Sörviken. Skillnaden mellan den helt ackrediterade mätningen och de indikativa mätningarna är att flera avsteg från mätmetoden görs vid den sistnämnda. Detta kan påverka mätresultatet, bl.a. placerades ingen vindmast vid mätpunkten utan bakgrundsljudet vid mätplatsen relaterades istället till vindhastigheten vid närliggande verk D01. Mätningarna kan ge en bra indikation på ljudtrycksnivån vid de aktuella bostäderna samt användas för kontroll mot beräkningsresultatet. Ljudmätningarna utfördes kvälls- och nattetid för att minimera inverkan från vindinducerade bakgrundsljud, då det ofta mojar vid marknivå på kvällen. Ljudmissionsmätningarna visar att riktvärdet, ekvivalent ljudtrycksnivå 40 dBA då det blåser 8 m/s på 10 m höjd, innehålls i båda mätpunkterna. Som högst uppmättes 38 dBA i den mätpunkt där den ackrediterade ljudmissionsmätningen utfördes (Näset). I mätpunkten för indikation uppmättes ljudnivån till 36 dBA. Viss osäkerhet i bakgrundskorrekturen i båda mätpunkterna föreligger då bakgrundsnivåer endast erhöles vid lägre vindhastigheter. Inga objektivt eller subjektivt hörbara toner fanns i ljudet från vindparken.

Ljudmissionsmätningar utfördes vid två vindkraftverk, verk E03 och verk C19. Verken valdes där goda mätförhållanden förelåg för den rådande vindriktningen. Mätningarna visar att ljudeffektnivån för båda verken var lägre än det som tillverkaren garanterar för verktypen.

Baserat på resultatet från ljudmissionsmätningarna utfördes ljudmissionsberäkningar med beräkningsmodellen Nord2000, vilken rekommenderas av Naturvårdsverket för detaljerade beräkningar av ljud från vindkraft. Samtliga verk var i drift med reglerinställningen "standard setting" (dvs full drift). I beräkningarna ingår även ljudbidraget från den närliggande vindparken Björkhöjden. Beräkningarna utförs både enligt praxis, medvind åt alla håll vid 8 m/s på 10 m höjd, samt för västlig vindriktning (vid 8 m/s på 10 m höjd) som rådde vid ljudmissionsmätningen. Resultatet från beräkningarna visar att riktvärdet 40 dBA innehålls i samtliga ljudkänsliga punkter (bostäder).

Ljudmissionsmätningarna och ljudmissionsberäkningarna baserat på uppmätt ljudeffektnivå visar god överensstämmelse. I mätpunkten vid Näset, där 38 dBA uppmättes, beräknas nivån till 39 dBA (beräkningspunkt CK) för den västliga vind som rådde under ljudmissionsmätningen. För medvindsförhållande i alla riktningar beräknas nivån till 40 dBA vid Näset vilket är den högsta beräknade ljudnivån för någon närliggande bostad.

I mätpunkten vid Östra Sörviken, där 36 dBA uppmättes, beräknas nivån till 36 dBA (beräkningspunkt GB) för den västliga vind som rådde under ljudmissionsmätningen. För medvindsförhållande i alla riktningar beräknas nivån till 37 dBA i mätpunkten.

Beräkningar av lågfrekvent ljud inomhus har gjorts för samtliga bostäder. Analyserna visar att Folkhälsomyndighetens riktvärden för lågfrekvent ljud inomhus beräknas innehållas för samtliga bostadshus. Det ska dock noteras att vindparken inte har riktvärden för lågfrekvent ljud i sitt villkor.

Resultatet av kontrollen genom både ljudmissionsmätning och ljudmissionsberäkning kombinerat med ljudmissionsberäkning visar att vindpark Ögonfågeln innehåller riktvärdet ekvivalent ljudtrycksnivå 40 dBA för samtliga närliggande bostäder.



Innehållsförteckning

1	Bakgrund och syfte	4
2	Ljud från vindkraft	4
3	Beräkning av ljudimmission	5
3.1	Beräkningsförutsättningar	5
3.2	Indata till beräkningarna	5
3.3	Beräknad ekvivalent ljudnivå	7
3.4	Beräkningsmodellens osäkerhet och marginal	9
4	Ljudimmissionsmätningar	10
4.1	Mätningförutsättningar - Ackrediterad ljudimmissionsmätning	10
4.2	Mätningförutsättningar - Indikativa immissionsmätningar	10
4.3	Resultat	10
5	Jämförelse mellan beräknad och uppmätt ljudimmission	11
6	Lågfrekventljud	11
6.1	Riktvärden inomhus	11
6.2	Beräkning av lågfrekvent ljud	12
7	Slutsatser	13
8	Referenser	13



RAPPORT 4

1 Bakgrund och syfte

Statkraft SCA Vind II AB har uppfört en vindpark vid Ögonfågeln, Strömsund, Sollefteå och Ragunda kommun. Vindparken består av 33 st Siemens SWT-3.0-113 vindkraftverk, 113 m rotordiameter och 115 m navhöjd. Bolaget ska enligt sitt villkor utföra kontroll av ljud för att visa att riktvärdet i villkoret, ekvivalent ljudtrycksnivå 40 dBA utomhus vid bostad, innehålls. ÅF har anlitats för att utföra denna kontroll.

Kontrollen har utförts genom ljudmissionsmätning, enligt mätmetoden Elforsk 98:24 (1), i två mätpunkter; vid Östra Sörviken och Näset. Utöver detta har emissionsmätning, enligt mätmetoden IEC 61400-11 (2), utförts vid två vindkraftverk samt ljudberäkningar av ljudtrycksnivån vid närliggande bostäder med beräkningsmodellen Nord2000. Samtliga ljudmätningar genomfördes 2015-09-30 till 2015-10-01.

Resultaten från mätningar och beräkningar sammanfattas i denna rapport. Ljudmissionsmätningarna (mätning av ljudmission enligt Elforsk 98:24 (1)) har utförts ackrediterat i en mätpunkt, vilket redovisas i ÅF:s rapport "701304 Rapport 3 ljudmissionsmätning Ögonfågeln vid Näset 151001" (3) samt "701304 PM08 Indikativ ljudmissionsmätning tre mätpunkter vid Ögonfågeln och Björkhöjden vindpark 151001" (4). Ljudmissionsmätning (mätning av ljudeffektnivå enligt IEC61400-11 (2)) har utförts på två vindkraftverk, vilket redovisas i ÅFs rapport "701304 Rapport 1 ljudmissionsmätning Ögonfågeln Verk E03 151001" (5) samt "701304 Rapport 2 ljudmissionsmätning Ögonfågeln Verk C19 151001" (6).

Ljudmissionsberäkningen har utförts med beräkningsmodellen Nord2000 och utgår från de uppmätta ljudeffektnivåerna. Beräkningarna utförs för 173 fastigheter i området. Beräkningsförutsättningar och resultatet redovisas i denna rapport samt i resultatsammanställningen "701304 Ljudmissionsberäkning vindpark Ögonfågeln 151125" (7).

2 Ljud från vindkraft

Ljud från vindkraftverk uppstår normalt bara när det blåser och vingarna sätts i rörelse av vinden. Det blir ett brusartat ljud som varierar i takt med att vingarna sveper fram genom luften. Är man nära ett verk kan det låta svisch-svisch-svisch, där svischarna upprepas med drygt en sekunds mellanrum.



Figur 1. Tre vindkraftverk av typen Vestas V90 i Varbergs kommun.

Ljudet från vindkraftverken avtar med avståndet. Höga frekvenser dämpas mer än låga, vilket innebär att ljudet låter dovre på avstånd om man kan höra det. När det blåser uppstår ljud i buskar, träd och byggnader. Ofta kan man höra vindkraftljudet även om ljudnivån på grund av att annat vindalstrat ljud är högre.



RAPPORT 4

På kvällarna när vinden mojnar sker det ibland på ett sådant vis att vinden mojnar först nere vid marken, medan det fortfarande blåser uppe vid vindkraftverkens vingar. Då kan det inträffa att man hör vindkraftverken tydligare även om ljudnivån inte blir högre. Det beror på att det vindalstrade ljudet från buskar och träd nere vid marken minskar.

I Sverige har Naturvårdsverket angett riktvärde för ljud vid bostäder. Riktvärdet för vindkraft är 40 dBA och gäller utomhus på en normal villatomt runt bostaden. Vid kontroll av ljudnivån ska man mäta med en metod där man tar ett medelvärde av ljudnivån under minst någon timme.

dB uttalas decibel och är den enhet i vilken man mäter ljudnivå. A:et i dBA innebär att ljudnivåmätaren vid kontroll ska ha ett A-filter som efterliknar hur människor uppfattar svaga ljuds hörnivå. En ljudnivåändring på 1 dBA är normalt inte märkbar. I lyssningsförsök har man kommit fram till att en höjning av ljudnivån med mellan ca 8 till 10 dBA uppfattas som en dubbling av ljudets styrka.

3 Beräkning av ljudimmission

3.1 Beräkningsförutsättningar

Vid beräkningen utgår man från hur mycket ljud som skickas ut från vindkraftverket när det blåser cirka 12 m/s vid navet i centrum av rotorn på 115 m höjd. Det motsvarar referensförhållandet 8 m/s på 10 m höjd, vilket är den höjd vid vilken vindhastigheter normalt anges. Uppmätta ljudeffektnivåer, för respektive vindkraftverk, har använts i ljudberäkningen. Ljudberäkningen tar hänsyn till hur ljudenergin tunnats ut då den sprids över en allt större yta då avståndet ökar, ljudabsorption i luften, ljudreflektion från marken och eventuell skärmning av berg och kullar. Ingen hänsyn tas till att viss ljuddämpning kan ske då ljudet tar sig fram mellan träden i en skog.

Beräkningen har utförts för det teoretiska fallet att det blåser medvind från alla verk samtidigt till varje bostad. Det fallet kan inte inträffa, men ger den högsta ljudnivån för den enskilda bostaden. Beräkningen har gjorts med beräkningsmetoden Nord2000, en metod gemensamt framtagen av de nordiska länderna, som rekommenderas av Naturvårdsverket för detaljerade beräkningar av ljud från vindkraft (8). Ljudimmissionsberäkningar med Nord2000 ligger också till grund för tillståndsbeslutet för vindparken varvid det är lämpligt att använda samma beräkningsmodell för kontrollen av ljud från vindparken.

Ljudberäkningen utförs för den aktuella verkstypen och med de koordinater som erhållits av bolaget. Bolaget har även angivit koordinater för de ljudkänsliga punkter i omgivningen som ska vara med i beräkningen, enligt ljudberäkningar utförda i tillståndsansökan.

Som underlag till beräkningarna har digitalt höjdmaterial, höjdlinjer med 2,5 till 10 m ekvidistans, använts. Kartunderlaget och vindkraftverken har lagts in i ett datorprogram, SoundPlan 7.1. Vindkraftverken har modellerats som punktkällor vid vindkraftverkens navhöjd. Därefter har ljudnivåer utomhus i dBA beräknats för direkt jämförelse mot riktvärdet i villkoret.

3.2 Indata till beräkningarna

Följande indata ligger till grund för beräkningarna:

- För beräkning enligt praxis med Nord2000 har luftfuktigheten RH 70 %, temperaturen 15°C samt lufttrycket 1013 mbar ansatts. Detta motsvarar standardiserade meteorologiska värden enligt ISA-standard, International Standard Atmosphere, vilket brukar vara praxis vid bullerberäkningar. Vindriktningen motsvarar medvind åt alla håll då det blåser 8 m/s på 10 m höjd enligt Naturvårdsverkets rekommendation. Därutöver har beräkningar utförts för den vindriktning som rådde vid mätningen, dvs. västlig vind, för jämförelse mot uppmätt ljudimmission.
- Den geografiska modellen i SoundPLAN är uppbyggd med höjdlinjer med 2,5 till 10 m ekvidistans inköpta från Lantmäteriet. Modellen tar hänsyn till höjdskillnader i terrängen. Beräkningen är gjord för 1,5 m mottagarhöjd. Koordinatsystem är RT 90 2.5 gon V.
- Markråhetslängden z_0 har ansatts till 0,3 m enligt definition i "Ljud från vindkraftverk, Naturvårdsverkets rapport 6241" (9). Terrängtytor definieras i Nord2000 genom den

RAPPORT 4



effektiva flödesresistansen som för skog samt fält som klass D, "Normal uncompacted ground". För vattenytor har den effektiva flödesresistansen klass H använts, "Very hard and dence surface". Standardavvikelsen av vindhastigheten är satt till 0,5 m/s. Turbulenta vindhastighetsfluktuationer är satt till $0,12 C_w^2 [m^{4/3}s^{-2}]$. Turbulenta temperaturfluktuationer är satt till $0,008 C_t^2 [Ks^{-2}]$. Temperaturgradienten är satt till $+0,05 dT/dz [K/m]$, den högsta tillåtliga temperaturgradienten enligt mätmetoden för ljudimmission (1). Positiv temperaturgradient ger generellt sett högre ljudnivåer.

- Den totala ljudeffektnivån för vindkraftverken har erhållits genom ackrediterade ljudemissionsmätningar på vindkraftverk E03 och C19, utförda 2015-10-01, enligt dokument (5) (6). Samtliga vindkraftverk i parken är inställda med samma reglerinställning "Standard Setting" (full drift). I beräkningarna ingår även ljudbidrag från den närliggande parken Björkhöjden, där en liknande kontroll genomförts, för mer information se (10).
- I dokument (5) och (6) anges vindkraftverkens totala ljudeffektnivå vid olika vindhastigheter. I beräkningarna har den högsta uppmätta ljudeffektnivån använts, oavsett vilken vindhastighet denna uppmätts vid. I beräkningarna används den högsta uppmätta ljudeffektnivån, 105,8 dBA vid 7 m/s, för samtliga vindkraftverk i Ögonfågeln utom för verk C19 där ljudeffektnivån uppmättes till 105,5 dBA vid 7 m/s. Använda ljudeffektnivåer och frekvensspektrum för Ögonfågeln presenteras i tabell 1. Samtliga uppmätta ljudeffektnivåer är lägre än det som tillverkaren garanterar. Nord2000 tar i beräkningarna hänsyn till såväl låga som höga frekvenser och dess egenskaper vid ljudutbredning.
- Vindkraftverkens placering och benämning anges i tabell 2 och (7).

Tabell 1. Tersbandsspektrum (1/3 oktavband) för vindkraftverk modell Siemens SWT-3.0-113, navhöjd 115 m och rotordiameter 113 m, uppmätt av ÅF-Infrastructure AB (5) (6).

	Verk E03 (5), Standard Setting	Verk C19 (6), Standard Setting
Tersband	Siemens SWT-3.0-113	Siemens SWT-3.0-113
	L_{WA,f} [dBA]	L_{WA,f} [dBA]
25 Hz	66,8	69,8
31,5 Hz	70,9	71,5
40 Hz	75,5	75,0
50 Hz	79,5	79,1
63 Hz	82,8	81,6
80 Hz	88,0	85,4
100 Hz	88,6	84,8
125 Hz	90,9	88,5
160 Hz	92,4	88,7
200 Hz	93,7	89,0
250 Hz	94,6	92,9
315 Hz	94,1	94,0
400 Hz	95,1	92,6
500 Hz	94,2	93,7
630 Hz	95,1	95,5
800 Hz	95,3	95,9
1 kHz	95,4	96,2
1,25 kHz	94,1	95,9
1,6 kHz	94,2	94,9
2 kHz	91,5	92,4
2,5 kHz	90,1	90,7
3,15 kHz	89,1	89,3
4 kHz	89,2	89,5
5 kHz	-	86,5
Totalnivå L_{WA,tot}	105,8	105,5



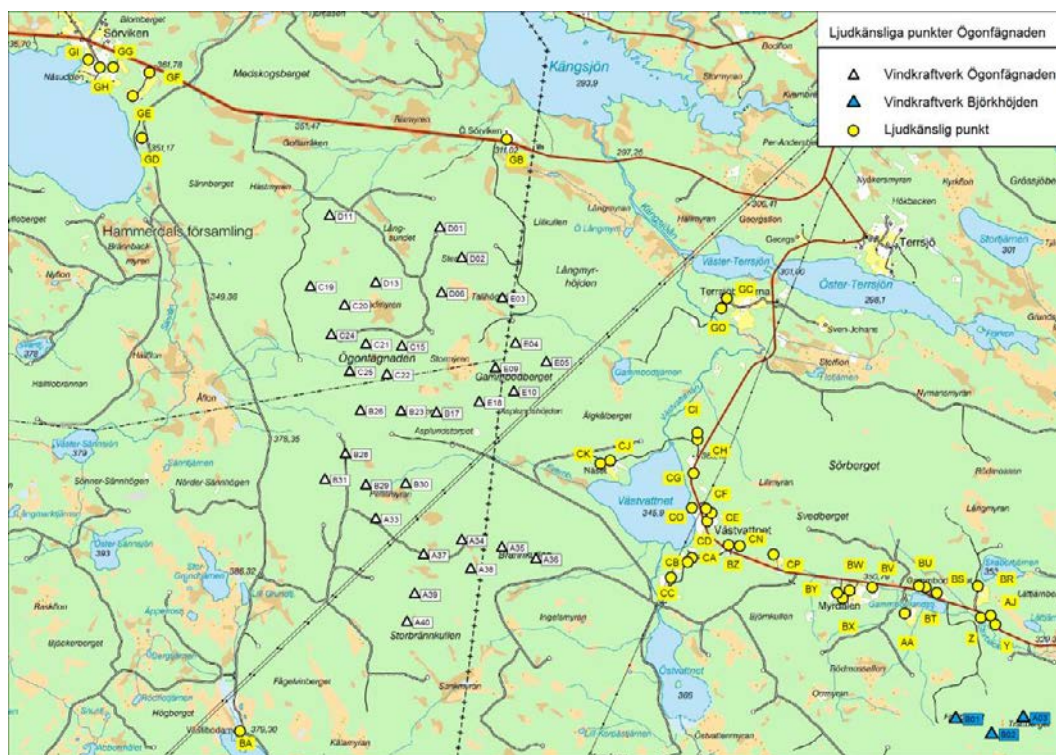
Tabell 2. Placering av vindkraftverken, koordinatsystem RT90 2.5 gon V.

Vindkraftverk	X (m)	Y (m)	Z, Marknivå [möh]
D01	7046806	1508165	435
D02	7046416	1508449	455
E03	7045894	1508976	463
E04	7045303	1509151	470
E05	7045059	1509549	465
D06	7045956	1508185	450
E09	7044980	1508886	480
E10	7044676	1509125	475
D11	7046962	1506730	426
D13	7046092	1507329	458
C15	7045264	1507670	498
B17	7044405	1508122	508
E18	7044544	1508676	472
C19	7046041	1506481	440
C20	7045796	1506926	468
C21	7045293	1507204	504
C22	7044897	1507478	508
B23	7044427	1507659	520
C24	7045413	1506753	478
C25	7044935	1506991	490
B26	7044433	1507130	486
B28	7043871	1506938	471
B29	7043464	1507203	480
B30	7043480	1507723	478
B31	7043535	1506668	460
A33	7043024	1507332	474
A34	7042746	1508446	505
A35	7042654	1508972	480
A36	7042501	1509413	471
A37	7042556	1507952	505
A38	7042375	1508566	521
A39	7042045	1507838	498
A40	7041686	1507739	523

3.3 Beräknad ekvivalent ljudnivå

Beräkningsresultat enligt praxis, d.v.s. för medvind 8m/s på 10 m höjd och standardiserade meteorologiska värden enligt ISA-standarden, presenteras dels som en ljudkarta och dels som ekvivalent ljudtrycksnivå i ljudkänsliga punkter. Detaljerad ljudkarta redovisas i (7) samt i bilaga 1 som ISO-linjer för beräknad ekvivalent ljudtrycksnivå i 5-dB steg. Resultatet för ett urval av ljudkänsliga punkter, med högst beräknad nivå i närheten av Ögonfågeln, redovisas i tabell 3 och fullständiga beräkningsresultat återges i (7). Beräkningsresultat för de väderförhållanden som rådde vid ljudimmissionsmätningen presenteras och jämförs mot uppmätt ljudimmission i avsnitt 5. En översikt över vindparken och beräkningspunkterna ges i figur 2 nedan.

RAPPORT 4



Figur 2. Översikt över Ögonfågeln vindpark samt närliggande ljudkänsliga punkter.

Tabell 3. Beräkningsresultat för de ljudkänsliga punkter med högst beräknad ekvivalent ljudtrycksnivå i närheten av Ögonfågeln, koordinatsystem RT90 2.5 gon V, vid medvind i alla riktningar.

Id	X (m)	Y (m)	Z, marknivå (möh)	Ekvivalent ljudtrycksnivå L_{Aeq} i dBA	Innehålls riktvärdet 40 dBA?
BA	7040274	1505571	380	33	Ja
BY	7042068	1513330	362	33	Ja
BZ	7042690	1511921	368	34	Ja
CA	7042526	1511445	356	35	Ja
CB	7042471	1511390	357	35	Ja
CC	7042269	1511171	371	35	Ja
CD	7043001	1511646	367	35	Ja
CE	7043111	1511701	384	35	Ja
CF	7043166	1511628	377	35	Ja
CG	7043624	1511463	362	36	Ja
CH	7044063	1511518	358	35	Ja
CI	7044155	1511518	355	35	Ja
CJ	7043789	1510384	357	39	Ja
CK	7043752	1510256	360	40	Ja
CN	7042681	1512067	373	34	Ja
CO	7043175	1511445	350	35	Ja
CP	7042571	1512507	377	33	Ja
GB	7047964	1509035	310	37	Ja
GC	7045897	1511898	310	33	Ja
GD	7047981	1504292	344	32	Ja
GE	7048524	1504173	346	31	Ja
GF	7048829	1504393	360	31	Ja
GG	7048896	1503919	343	29	Ja
GH	7048896	1503750	340	29	Ja
GI	7048998	1503597	340	29	Ja
GO	7045770	1511825	310	34	Ja

Den högsta beräknade ekvivalenta ljudtrycksnivån, 40 dBA, fås i en av beräkningspunkterna (CK – Näset). Resultatet är avrundat till närmaste heltal enligt praxis. Utifrån utförda beräkningar



innehålls riktvärdet ekvivalent ljudnivå 40 dBA enligt vindparkens villkor vid samtliga närliggande bostäder.

3.4 Beräkningsmodellens osäkerhet och marginal

När ljud utomhus ska bedömas används ofta ljudberäkningar som grund eller hjälpmedel. Det går dock inte att skapa en beräkningsmodell vilken tar hänsyn till alla parametrar som påverkar ljudet vid verklig ljudutbredning, verkligheten är för komplex. Vädret är aldrig konstant och ljudutbredning är starkt beroende av vädret. Medvind och positiv temperaturgradient leder till neråtböjd refraktion, som innebär att ljudet får en högre koncentration närmare marken och kan leda till att ljudet ökar vid en mottagare. Därför används väl avvägda antaganden och förenklingar som gör att ljudet kan beräknas. Antaganden ger dock en osäkerhet till beräkningsmodellen. För att förstå hur osäkerheten påverkar beräkningen och hur den beror av olika förhållanden, t.ex. vindhastighetsprofil eller temperaturgradientprofil, görs omfattande studier på att verifiera eller kontrollera osäkerheten i beräkningsmodeller. Denna ljudberäkning har genomförts med vissa marginaler, t.ex. medvind i alla riktningar och positiv temperaturgradient, för att öka sannolikheten att det verkliga ljudet inte blir högre än beräknat.

För Naturvårdsverkets planeringsmodell för ljud från vindkraftverk anges beräkningsosäkerheten ligga inom intervallet ± 1 dB över relativt slät mark. Dock nämns att det inte är känt hur väl beräkningarna stämmer i kuperad terräng. Klart är att osäkerheten över kuperad terräng är större.

För Nord2000 har ett danskt forskningsprojekt undersökt och validerat användningen av Nord2000 för beräkning av ljud från vindkraft (11). Allmänt är slutsatsen att för de testade situationerna visar Nord2000 bra överensstämmelse med ljudmätningar över enkel plan terräng med enkel meteorologi och för komplex terräng med komplex meteorologi. Vid jämförelse med ISO 9613-2 är Nord2000 en förbättring, särskilt för de komplexa situationerna.

Valideringsmätningarna för nedströms ljudutbredning från en högtalare i navhöjd över plan grästäckt mark visar fin överensstämmelse mellan mätningar och beräkningar med Nord2000 i det studerade avståndsområdet upp till 1500 m. Medelskillnaden (beräknad minus uppmätt) i A-vägd ljudnivå är -0,1 dB med en standardavvikelse på 0,7 dB, vilket är mycket bra. Också överensstämmelsen mellan uppmätta och beräknade frekvensspektra är bra.

Om ett konfidensintervall för mätvärdet ska bestämmas, ska standardosäkerheten multipliceras med en så kallad täckningsfaktor. Ett konfidensintervall på 90 % betyder att om försöket upprepas många gånger kommer 90 % av resultaten att hamna inom intervallet. Täckningsfaktorn är 1 för 68,3 % konfidensintervall och den är 2 (eller egentligen 1,96) för 95 % konfidensintervall. För ett 90 % konfidensintervall ska standardavvikelsen multipliceras med 1,645. Med en konfidensgrad av 90 % ligger således ett med Nord2000 beräknat värde av ljudnivån inom intervallet (-0,9, +1,1 dB) från det verkliga uppmätta värdet med hänsyn till osäkerheten i ljudutbredningsdämpning för plan gräsbeklädd mark upp till 1500 m med enkla meteorologiska förhållanden.

I det danska forskningsprojektet undersöktes också ljudutbredningen i komplex norsk fjällterräng med komplexa meteorologiska förhållanden. Ljudutbredningsmätningarna med en högtalare placerad på turbinhuset visade att beräknad ljudnivå med Nord2000 låg i medeltal 0,5 dB under de uppmätta med en standardavvikelse på 1,8 dB. Med en konfidensgrad av 90 % ligger således ett med Nord2000 beräknat värde av ljudnivån inom intervallet (-3, +2 dB) från det verkliga uppmätta värdet med hänsyn till osäkerheten i ljudutbredningsdämpning för komplex norsk fjällterräng upp till 1000 m med komplexa meteorologiska förhållanden.

Mätningar och Nord2000-beräkningar med 70 vindkraftverk som ljudkälla gjordes också för parken i norsk fjällterräng med komplexa meteorologiska förhållanden. Först bestämdes ljudeffektnivån genom att mäta ljudemissionen med IEC 61400-11 (2) för två av vindkraftverken. Ljudmätningarna med 70 vindkraftverk som ljudkällor visade att beräknad ljudnivå med Nord2000 låg i medeltal 1,0 dB under de uppmätta med en standardavvikelse på 2,3 dB. Med en konfidensgrad av 90 % ligger således ett med Nord2000 beräknat värde av ljudnivån inom intervallet (-5, +3 dB) från det verkliga uppmätta värdet med hänsyn till osäkerheten i ljudutbredningsdämpning för komplex norsk fjällterräng upp till 4 km med komplexa



RAPPORT 4

meteorologiska förhållanden. Detta konfidensintervall innehåller också osäkerheten i ljudeffektbestämningen.

I det aktuella fallet bedömer vi beräkningsmodellens osäkerhet för ett 90-procentigt konfidensintervall till ± 2 dB för de beräkningspunkter som ligger närmast vindparken och således har högst beräknad ljudtrycksnivå. På stora avstånd från vindparken är beräkningsmodellens osäkerhet större. Mätosäkerheten på ljudemissionen är cirka ± 1 dB enligt (5) och (6).

Enligt praxis ska det beräknade värdet, utan avdrag eller tillägg till osäkerheten, användas för bedömning mot riktvärdet 40 dBA.

4 Ljudimmissionsmätningar

Ljudimmissionsmätningarna skede separat från ljudemissionsmätningarna och har utförts i två mätpunkter i görligaste mån i enlighet med mätmetoden beskriven i Elforsk rapport 98:24 (1). I en av mätpunkterna görs en helt ackrediterad ljudimmissionsmätning och i en av mätpunkterna görs s.k. indikativ immissionsmätning som följer mätstandarderna men med vissa avsteg som kan påverka den uppmätta ljudtrycksnivån. Avsteget avser att ingen vindmast placerats vid mätpunkten utan bakgrunds nivåer har relaterats till vindhastigheten uppmätt vid närliggande verk D01. Mätningarna har utförts kvälls- och nattetid då bakgrunds nivåer ofta är lägre. Mätningarna presenteras i sin helhet i (3) och (4), endast utdrag från dessa redovisas i denna rapport.

4.1 Mätningförutsättningar - Ackrediterad ljudimmissionsmätning

Mikrofonen monterades på en mätskiva dikt an fasad på bostaden Näset, se beräkningspunkt CK i figur 2. En korrektion med 6 dB har därefter utförts på uppmätta ljudnivåer i enlighet med mätmetoden (1). Det förelåg västlig vindriktning vid mättillfället vilket bedöms innehålla mätmetodens krav om medvind från vindkraftverken mot mätpunkten ska avvika med högst $\pm 45^\circ$. Efter genomförda mätningar har data analyserats med hänsyn till väderförhållanden, producerad effekt och bakgrundsljud. Uppgifter om producerad effekt, vindhastighet från en anemometer vid navhöjd och navriktning har loggats av driftcentralen under mätperioden. En lokal 10 m hög mätmast för meteorologi placerades i närheten av mätpunkten i enlighet med mätmetoden, data från denna används också i analysen.

4.2 Mätningförutsättningar – Indikativa immissionsmätningar

Mikrofonen monterades på en mätskiva dikt an en ekonomibyggning i anslutning till bostaden Östra Sörviken, se beräkningspunkt GB i figur 2. En korrektion med 6 dB har därefter utförts på uppmätta ljudnivåer i enlighet med mätmetoden (1). Det förelåg västlig vindriktning vid mättillfället vilket avviker något från mätmetodens krav om medvind från vindkraftverken mot mätpunkten ska avvika med högst $\pm 45^\circ$. Efter genomförda mätningar har data analyserats med hänsyn till väderförhållanden, producerad effekt och bakgrundsljud. Uppgifter om producerad effekt, vindhastighet från en anemometer vid navhöjd och navriktning har loggats av driftcentralen under mätperioden.

4.3 Resultat

Utifrån analysen redovisad i (3) och (4) har en ekvivalent ljudtrycksnivå vid 8 m/s på 10 m höjd för respektive mätpunkt uppmätts vilket redovisas i tabell 4 nedan. Inga objektiva hörbara toner hittades i analysen, mätpersonalen uppfattade ej heller toner subjektivt vid mätningen.



RAPPORT 4

Tabell 4. Resultat ljudimmissionsmätningar. Inom parentes anges motsvarande beräkningspunkt.

Typ av mätning	Mätpunkt	Uppmätt ekvivalent ljudtrycksnivå L_{Aeq} i dBA	Innehålls riktvärdet 40 dBA?
Akrediterad ljudimmissionsmätning	Näset (CK)	38	Ja
Indikativ immissionsmätning ¹⁾	Mp1 – Ö. Sörviken (GB)	36	Ja

5 Jämförelse mellan beräknad och uppmätt ljudimmission

För att kontrollera att de vid ljudimmissionsmätningarna uppmätta ljudtrycksnivåerna stämmer med ljudimmissionsberäkningarna utfördes beräkningar för västlig vind som rådde vid mättillfället, se (7). I tabell 5 redovisas denna jämförelse. Notera att beräkningspunktens koordinat kan skilja något mot mätpunktens koordinat, det bedöms dock ej ha någon nämnvärd påverkan på resultaten då avstånden till vindkraftparken är stora i förhållande till avvikelse mellan beräkningspunkt och mätpunkt.

Tabell 5. Jämförelse beräknad ljudnivå vid västlig vind och uppmätt ljudimmission.

Mätpunkt	Beräkningspunkt	Uppmätt ekvivalent ljudtrycksnivå L_{Aeq} i dBA	Beräknad ekvivalent ljudtrycksnivå L_{Aeq} i dBA
Näset	CK	38	39
Mp1 – Ö. Sörviken	GB	36	36

Utifrån jämförelsen framgår att det är god korrelation mellan uppmätta och beräknade ljudtrycksnivåer med en avvikelse på som högst 1 dB.

6 Lågfrekventljud

6.1 Riktvärden inomhus

Riktvärden för lågfrekvent ljud inomhus finns angivet i Folkhälsomyndighetens allmänna råd, FoHMFS 2014:13 "Folkhälsomyndighetens allmänna råd om buller inomhus" (12). Där anges att den ekvivalenta ljudnivån inomhus, i tersbanden 31,5-200 Hz ej skall överstiga värdena återgivna i tabell 6 nedan. Noterbart är att det inte finns något riktvärde på lågfrekvent ljud i vindparkens villkor, jämförelsen som redovisas här är därvid endast informativ.

Tabell 6. Riktvärden för lågfrekvent ljud enligt FoHMFS 2014:13 (12).

Frekvens (Hz)	Ljudtrycksnivå (dB)
31,5	56
40	49
50	43
63	42
80	40
100	38
125	36
160	34
200	32

Vidare anges att:

"Dessa allmänna råd gäller för bostadsrum i permanentbostäder och fritidshus. Som bostadsrum räknas rum för sömn och vila, rum för daglig samvaro och matrum som används som sovrum."

Ovanstående riktvärden följer en normalpersons hörtröskel för frekvenser upp till ca 50 Hz. Däröver tillåter riktvärdet ljudnivåer som överskrider hörtröskeln något. Detta innebär att lågfrekvent ljud inomhus från vindkraft kan vara hörbart men ändå innehålla gällande riktvärden.



RAPPORT 4

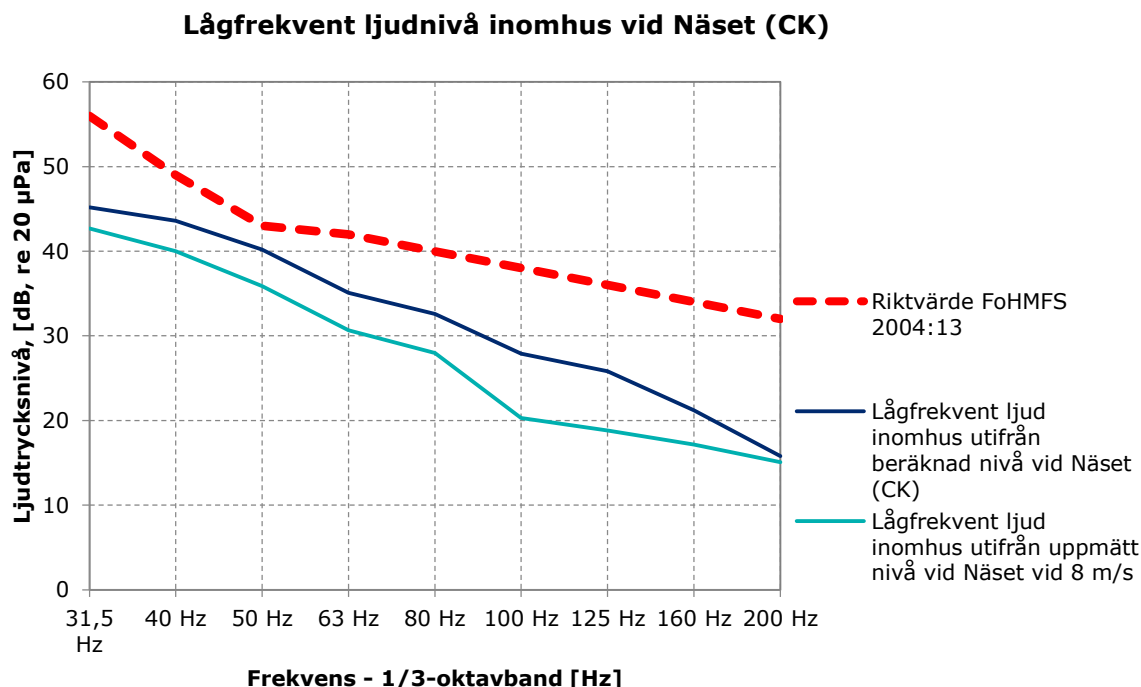
6.2 Beräkning av lågfrekvent ljud

Ljudnivån inomhus beräknas i tersband utifrån beräknade utomhusnivåer vid bostad samt genom antagandet av en fasaddämpning enligt tabell 7. Dessa värden är från en artikel om ljudisolering i bostäder vid låga frekvenser enligt *Sound insulation of dwellings at low frequencies, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, vol 29, no 1, pp 15-23, 2010 av Hoffmeyer och Jakobsen* (13). De motsvarar ljudnivån i fritt fält ute minus ljudnivån inne som förväntas överskridas av 80 - 90% av typiska danska bostäder. Fasaddämpningen är uppmätt på hus i Danmark och normalt har bostadshus i Sverige fasader med bättre isolering som dämpar ljudet bättre. Noterbart är dock att det finns hus med sämre isolering där det oftast är fönstertypen som är dimensionerande.

Tabell 7. Antagen fasaddämpning utifrån Hoffmeyer o Jakobsen (13).

Frekvens (Hz)	Fasaddämpning dL i dB
31,5	6,7
40	7,6
50	10,3
63	14,2
80	17,5
100	18,4
125	17,5
160	18,6
200	22,4

Utifrån ovan angiven fasadisolering har en beräknad ljudnivå inomhus erhållits utifrån beräknad ljudnivå vid Näset (beräkningspunkt CK) samt som jämförelse för uppmätt ljudnivå (vid vindhastigheten 8 m/s på 10 m höjd). Beräknad ljudnivå inomhus jämförs mot gällande riktvärde i figur 3 nedan.



Figur 3. Beräknad ljudnivå inomhus för Näset jämfört med gällande riktvärde. Den beräknade ljudnivån inomhus innehåller gällande riktvärde i samtliga tersband. Ljudnivå inomhus har dels beräknats utifrån beräknad nivå vid fasad för medvindsfallet i beräkningspunkt CK och dels har nivå inomhus beräknats utifrån uppmätt frekvensspektrum vid Näset vid 8 m/s.

Resultaten i figur 3 ovan visar att, med den antagna fasadisoleringen från (13), innehålls gällande riktvärden för lågfrekvent ljud vid Näset. Ljudnivåerna inomhus är generellt något högre då beräkningsresultatet från beräkningspunkt CK används än då ljudnivåerna inomhus beräknats utifrån de uppmätta ljudnivåerna från den ackrediterade ljudimmissionsmätningen (3) vid Näset.



RAPPORT 4

En jämförelse gjordes även mot den referensmätare på stativ som placerades vid Näset och spektrumet från mätningen på stativ stämde väldigt väl överens med spektrumet från den ackrediterade mätningen dikt an fasad.

Beräkningar av lågfrekvent ljud inomhus har gjorts för samtliga övriga bostäder. Analyserna visar att Folkhälsomyndighetens riktvärden för lågfrekvent ljud inomhus beräknas innehållas för samtliga bostadshus.

7 Slutsatser

Kontrollen av ljudimmission från vindpark Ögonfågeln visar att riktvärdet i vindparkens villkor, ekvivalent ljudtrycksnivå 40 dBA utomhus vid bostad, innehålls för samtliga närliggande bostadshus. Ljudet från vindparken innehåller inga objektivt eller subjektivt hörbara toner.

Därutöver har Beräkningar av lågfrekvent ljud inomhus gjorts. Enligt dessa beräkningar innehålls Folkhälsomyndighetens riktvärden för samtliga närliggande bostadshus. Det ska dock noteras att vindparken inte har riktvärden för lågfrekvent ljud i sitt villkor.

Korrelationen mellan uppmätt och beräknad ljudimmission är också god och för båda kontrollmetoderna innehålls riktvärdet. Detta tyder också på att de beräknade ljudtrycksnivåerna för samtliga kringliggande bostäder är korrekta.

8 Referenser

1. **Ljunggren, Sten.** *Elforsk rapport 98:24 - Mätning av bullerimmission från vindkraftverk.* u.o. : Energimyndigheten, 1998.
2. **IEC.** *IEC 61400-11 Edition 2.1 "Wind turbine generator systems - Part 11: Acoustic noise measurement techniques".* Geneve : International Electrotechnical Commission, 2006-11.
3. **Fredriksson, Jens och Appelqvist, Paul.** *701304 Rapport 3 ljudimmissionsmätning Ögonfågeln vid Näset 151001.* Stockholm : ÅF-Infrastructure AB, 2015-11-26.
4. —. *701304 PM08 Indikativ ljudimmissionsmätning tre mätpunkter vid Ögonfågeln och Björkhöjden vindpark 151001.* u.o. : ÅF-Infrastructure AB, 2015-11-26.
5. —. *701304 Rapport 1 ljudemissionsmätning Ögonfågeln Verk E03 151001.* Stockholm : ÅF-Infrastructure AB, 2015-11-26.
6. —. *701304 Rapport 2 ljudemissionsmätning Ögonfågeln Verk C19 151001.* Stockholm : ÅF-Infrastructure AB, 2015-11-26.
7. —. *701304 Ljudimmissionsberäkning vindpark Ögonfågeln 151126.* Stockholm : ÅF-Infrastructure AB, 2015-11-26.
8. **Naturvårdsverket.** Mätning och beräkning av ljud från vindkraft. *Naturvårdsverket.* [Online] den 24 08 2012.
<http://www.naturvardsverket.se/sv/Start/Verksamheter-med-miljopaverkan/Buller/Vindkraft/Matning-och-berakning-av-ljud-fran-vindkraft/>.
9. —. *Ljud från vindkraftverk, rapport 6241, rev 20 april 2010.*
10. **Fredriksson, Jens och Appelqvist, Paul.** *701304 Rapport C Kontroll av ljud vindpark Björkhöjden 151126.* Stockholm : ÅF-Infrastructure AB, 2015-11-26.

RAPPORT 4



11. **DELTA.** *Validation of the Nord2000 propagation model for use on wind turbine noise (PSO-07 F&U project no. 7389).* Hörsholm : DELTA, 2009.

12. **Folkhälsomyndigheten.** *FoHMFS 2014:13 - Folkhälsomyndighetens allmänna råd om buller inomhus.* u.o. : Folkhälsomyndigheten, 2014. ISSN 2001-7804.

13. *Sound insulation of dwellings at low frequencies.* **Hoffmeyer, Dan och Jakobsen, Jorgen.** u.o. : Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 2010, Vol. vol 29, no 1,pp 15-23.