



# RAPPORT C

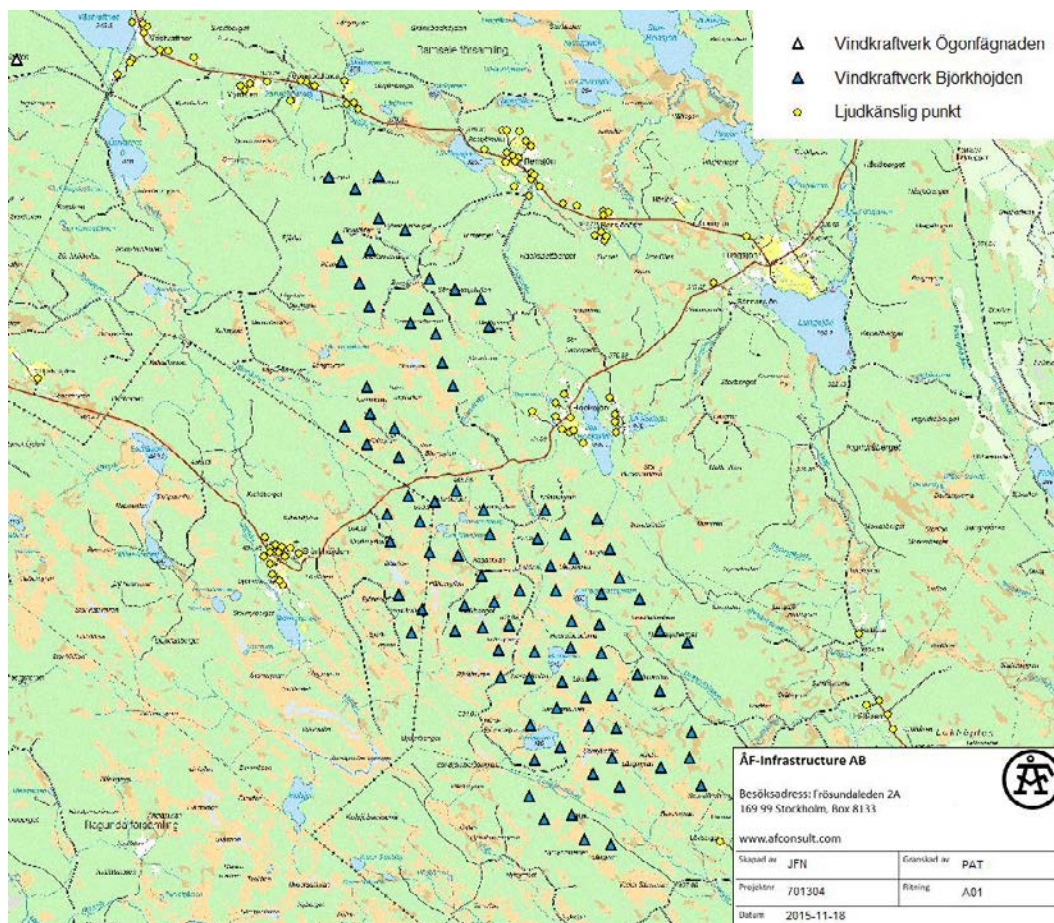
Handläggare  
Jens Fredriksson  
Tel  
+46 10 505 60 97  
Mobil  
+46 70 184 57 97  
E-post  
jens.fredriksson@afconsult.com

Datum  
2015-11-26  
Projekt-ID  
701304

Rapport-ID  
Rapport C  
Kund  
Statkraft SCA Vind II AB

## Kontroll av ljud från vindpark Björkhöjden - Sollefteå och Ragunda kommun

### Ljud från vindkraftverk



ÅF-Infrastructure AB  
Ljud & Vibrationer

Granskad

Jens Fredriksson

Paul Appelqvist

ÅF Infrastructure AB, Frösundaleden 2 (goods 2E), SE-169 99  
Telefon +46 10 505 60 97, www.afconsult.com  
Org.nr 556185-2103, VAT nr SE556185210301



# RAPPORT C

## Sammanfattning

Statkraft SCA Vind II AB har uppfört en vindpark vid Björkhöjden, Sollefteå och Ragunda kommun. Vindparken består av 90 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 Rensjön och Hocksjön. Utöver detta har emissionsmätning utförts vid två vindkraftverk samt ljudberäkningar av ljudtrycksnivån vid närliggande bostäder med beräkningsmodellen Nord2000. Samtliga ljudmätningar genomfördes 2015-09-30 till 2015-10-01.

Indikativa ljudmissionsmätningarna utfördes vid Hocksjön samt vid Rensjön. De indikativa mätningarna är genomförda med vissa avsteg mot mätmetoden Elforsk 98:24. Till exempel placerades ingen vindmast vid mätpunkten utan bakgrundsljudet vid mätplatsen relaterades istället till vindhastigheten vid närliggande verk. 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 mätpunkten vid Hocksjön samt en övre gräns på 36 dBA erhöles vid Rensjön. 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 A04 och verk C18. Verken valdes där goda mätförhållanden förelåg för den rådande vindriktningen, dock visade det sig att det var höga bakgrundsnivåer vid verk A04 vilket gjorde att endast en övre gräns för ljudet på 106,7 dBA kunde erhöles vid det verket. Vid mätningen på verk C18 var mätförhållandena bättre och den högsta ljudeffektnivån erhöles vid 7 m/s på 104,8 dBA vilket är 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 ingick även ljudbidraget från den närliggande vindparken Ögonfågeln. 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).

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.

Ljudmissionsmätningarna och ljudmissionsberäkningarna baserat på uppmätt ljudeffektnivå visar relativt god överensstämmelse. I mätpunkten vid Hocksjön, där 38 dBA uppmättes, beräknas nivån till 37 dBA (beräkningspunkt BO) för den västliga vind som rådde under ljudmissionsmätningen. För medvindsförhållande i alla riktningar beräknas nivån till 37 dBA.

I mätpunkten vid Rensjön (beräkningspunkt DL), där en övre gräns för ljudet på 36 dBA uppmättes, beräknas nivån till 34 dBA (beräkningspunkt GB) för den västliga vind som rådde under ljudmissionsmätningen. För medvindsförhållande i alla riktningar beräknas nivån till 34 dBA i mätpunkten.

Resultatet av kontrollen genom både ljudmissionsmätning och ljudmissionsmätning kombinerat med ljudmissionsberäkning visar att vindpark Björkhöjden 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 .....	8
3.4	Beräkningsmodellens osäkerhet och marginal .....	10
4	Ljudimmissionsmätningar .....	11
4.1	Mätningförutsättningar - Hocksjön .....	12
4.2	Mätningförutsättningar - Rensjön .....	12
4.3	Resultat .....	12
5	Jämförelse mellan beräknad och uppmätt ljudimmission .....	12
6	Lågfrekventljud .....	13
6.1	Riktvärden inomhus .....	13
6.2	Beräkning av lågfrekvent ljud .....	13
7	Slutsatser .....	14
8	Referenser .....	15



## 1 Bakgrund och syfte

Statkraft SCA Vind II AB har uppfört en vindpark vid Björkhöjden, Sollefteå och Ragunda kommun. Vindparken består av 90 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 ljudimmissionsmätning, enligt mätmetoden Elforsk 98:24 (1), i två mätpunkter; vid Rensjön och Hocksjön. 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. Indikativa ljudimmissionsmätningarna, utförda utifrån mätmetoden Elforsk 98:24 (1), har utförts i två mätpunkter, vilka redovisas i ÅF:s PM "701304 PM08 Indikativ ljudimmissionsmätning tre mätpunkter vid Björkhöjden och Björkhöjden vindpark 151001" (3). Ljudemissionsmätning (mätning av ljudeffektnivå enligt IEC61400-11 (2)) har utförts på två vindkraftverk, vilket redovisas i ÅFs rapport "701304 Rapport A ljudemissionsmätning Björkhöjden Verk A04 151001" (4) samt "701304 Rapport B ljudemissionsmätning Björkhöjden Verk C18 151001" (5).

Ljudimmissionsberäkningen 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 Ljudimmissionsberäkning vindpark Björkhöjden 151125" (6).

## 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 dovare 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.

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.



# RAPPORT C

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 (7). 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 höjdmateriel, 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-standarden, 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" (8). Terrängtyper definieras i Nord2000 genom den 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 dense 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

# RAPPORT C



+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 A04 och C18, utförda 2015-10-01, enligt dokument (4) (5). Samtliga vindkraftverk i parken är inställda med samma reglerinställning "Standard Setting" (full drift). I beräkningarna ingår även ljudbidrag från den närliggande parken Ögonfågeln, där en liknande kontroll genomförts, för mer information se (9).
- I dokument (4) och (5) anges vindkraftverkens totala ljudeffektnivå vid olika vindhastigheter. I beräkningarna har den högsta uppmätta ljudeffektnivån använts, oavsett vilken vindhastighet denna uppmätts vid. Då ljudeffektnivån vid verk A04 endast kunde erhållas som en övre gräns på 106,7 dBA vid 7 m/s har denna ljudeffekt endast använts för verk A04. För övriga verk användes mätresultatet från verk C18. Använda ljudeffektnivåer och frekvensspektrum för Björkhöjden 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 (6).

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) (5).

	Verk A04 (4), Standard Setting	Verk C18 (5), Standard Setting
Tersband	Siemens SWT-3.0-113 L <sub>WA,f</sub> [dBA]	Siemens SWT-3.0-113 L <sub>WA,f</sub> [dBA]
25 Hz	68,2	70,6
31,5 Hz	71,5	67,6
40 Hz	75,0	71,1
50 Hz	78,0	75,5
63 Hz	80,7	78,7
80 Hz	84,4	85,3
100 Hz	85,6	84,4
125 Hz	87,9	87,1
160 Hz	86,0	88,9
200 Hz	90,6	90,7
250 Hz	92,7	93,5
315 Hz	91,5	94,4
400 Hz	90,6	93,5
500 Hz	94,6	93,5
630 Hz	96,5	94,5
800 Hz	97,1	94,0
1 kHz	96,9	93,6
1,25 kHz	96,3	93,5
1,6 kHz	97,6	95,4
2 kHz	94,9	91,2
2,5 kHz	94,6	91,3
3,15 kHz	93,7	88,3
4 kHz	94,0	88,6
5 kHz	91,4	82,8
6 kHz		78,9
<b>Totalnivå L<sub>WA,tot</sub></b>	<b>106,7*</b>	<b>104,8</b>

\*Ljudeffektnivån utgör en övre gräns för verkets ljudnivå och den faktiska ljudeffektnivån är sannolikt lägre.

# RAPPORT C



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

Vindkraftverk	X (m)	Y (m)	Z, Marknivå [möh]
A03	7040445	1515748	443
A04	7039715	1515747	453
A05	7039499	1516208	473
A11	7038639	1516631	447
A12	7038465	1517086	467
A13	7038296	1517538	428
A14	7037805	1517688	448
B01	7040433	1514874	448
B02	7040233	1515340	438
B06	7039374	1515017	469
B07	7039145	1515594	475
B08	7038944	1515104	470
B09	7038569	1515406	465
B10	7038169	1515573	454
C15	7038127	1516625	460
C16	7037869	1516296	480
C17	7037677	1516756	454
C18	7037182	1516858	460
C19	7036763	1517050	459
D35	7034595	1518666	478
D36	7034170	1519012	516
D37	7033739	1519173	528
D46	7033177	1518850	514
D52	7034175	1517692	505
D60	7032576	1518040	535
E29	7034456	1519572	501
E30	7033911	1519793	512
E31	7033399	1519963	505
E32	7033041	1520320	476
E33	7032485	1520676	480
E34	7032273	1521150	475
E38	7033123	1519649	533
F40	7032095	1519659	515
F47	7032639	1519122	515
F48	7032178	1519102	518
F49	7031711	1519475	555
F50	7031341	1519829	513
F54	7031582	1518954	533
F55	7031311	1519376	513
G39	7032591	1519621	519
G41	7031718	1520274	508
G42	7031423	1520675	489
G43	7030685	1521236	458
G66	7030255	1521193	470
G67	7029774	1521397	475
G80	7030082	1520684	473
H20	7036761	1515550	460
H21	7036282	1515600	480
H22	7036027	1516029	480
H23	7036064	1515160	485
H24	7035747	1515540	480
H25	7035527	1516095	497
H44	7034097	1518544	498
H45	7033617	1518749	507
I26	7034831	1516269	527
I27	7034749	1516735	555
I28	7034937	1517100	503



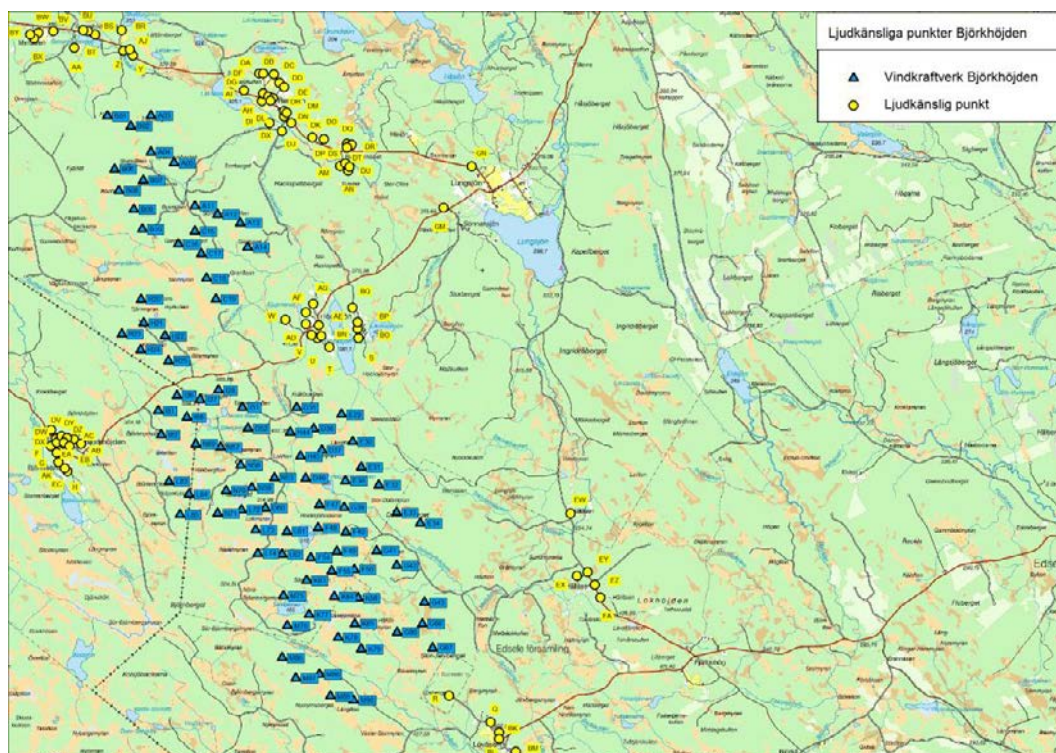
Vindkraftverk	X (m)	Y (m)	Z, Marknivå [möh]
I51	7034598	1517579	523
I68	7034400	1516469	523
I81	7034528	1515889	521
I82	7034047	1515948	523
K56	7030771	1519905	503
K63	7031121	1518865	546
K64	7030798	1519425	500
K65	7030255	1519840	491
K77	7030437	1518919	490
K78	7029978	1519502	481
K79	7029752	1519968	481
L61	7032105	1518474	535
L62	7031647	1518383	544
L72	7032541	1517563	550
L73	7032141	1517847	528
L74	7031669	1517893	522
L83	7033108	1516105	535
L84	7032855	1516511	534
L85	7032445	1516330	538
M75	7030815	1518405	490
M76	7030215	1518479	490
M86	7029578	1518377	489
M87	7029171	1518651	476
M88	7029246	1519123	477
M89	7028810	1519344	475
M90	7028729	1519814	463
N53	7033184	1518221	528
N57	7033797	1517141	523
N58	7033436	1517550	529
N59	7032983	1517774	553
N69	7033862	1516648	521
N70	7032928	1517256	556
N71	7032471	1517085	545

### 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-standard, presenteras dels som en ljudkarta och dels som ekvivalent ljudtrycksnivå i ljudkänsliga punkter. Detaljerad ljudkarta redovisas i (6) 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 Björkhöjden, redovisas i tabell 3 och fullständiga beräkningsresultat återges i (6). 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 C



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

Tabell 3. Beräkningsresultat för de ljudkänsliga punkter med högst beräknad ekvivalent ljudtrycksnivå i närheten av Björkhöjden, 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	Innehållsriktvärdet 40 dBA?
AA	7041803	1514209	353	35	JA
AB	7033868	1514346	512	37	JA
AC	7033959	1514199	511	36	JA
AD	7036266	1518857	401	38	JA
AE	7036247	1519113	403	37	JA
AF	7036504	1518857	410	38	JA
AG	7036668	1519003	404	37	JA
AH	7040732	1517979	334	35	JA
AI	7040951	1517613	346	35	JA
AJ	7041775	1515325	342	36	JA
AK	7033502	1513897	470	34	JA
BK	7028084	1522737	393	32	JA
BL	7027956	1522737	390	32	JA
BM	7027700	1523066	364	30	JA
BN	7036028	1519168	402	37	JA
BO	7036174	1519900	401	37	JA
BP	7036302	1519900	404	37	JA
BQ	7036595	1519790	410	37	JA
BR	7042159	1515160	360	34	JA
BS	7042068	1514630	350	34	JA
BT	7042141	1514483	352	34	JA
BU	7042159	1514392	352	34	JA
BV	7042141	1513788	350	33	JA
BW	7042105	1513495	353	33	JA
BX	7041995	1513403	367	33	JA
BY	7042068	1513330	362	33	JA
DA	7041290	1517924	348	32	JA
DB	7041290	1517997	349	33	JA
DC	7041272	1518217	348	33	JA
DD	7041107	1518326	334	33	JA
DE	7041015	1518418	330	33	JA
DF	7040887	1517997	343	34	JA

# RAPPORT C



Id	X (m)	Y (m)	Z, marknivå (möh)	Ekvivalent ljudtrycksnivå $L_{Aeq}$ i dBA	Innehålls riktvärdet 40 dBA?
DG	7040832	1518107	340	34	JA
DH	7040796	1518198	338	34	JA
DI	7040741	1518143	336	34	JA
DJ	7040137	1518381	320	35	JA
DK	7040302	1518564	320	34	JA
DL	7040430	1518418	323	34	JA
DM	7040540	1518418	325	34	JA
DN	7040503	1518473	324	34	JA
DO	7040009	1518985	320	33	JA
DP	7039972	1519223	320	33	JA
DQ	7039881	1519681	327	32	JA
DR	7039862	1519772	330	32	JA
DS	7039807	1519681	329	32	JA
DT	7039496	1519644	322	32	JA
DU	7039423	1519736	324	33	JA
DV	7034152	1513751	468	34	JA
DW	7033969	1513843	472	34	JA
DX	7033895	1513861	471	34	JA
DY	7034023	1513952	490	35	JA
DZ	7033987	1514062	500	35	JA
EA	7033895	1514007	491	35	JA
EB	7033822	1514117	502	35	JA
EC	7033383	1514026	470	35	JA
EW	7032468	1524164	328	32	JA
EX	7031223	1524292	354	32	JA
EY	7031296	1524512	356	31	JA
EZ	7031040	1524658	370	31	JA
F	7033822	1513742	463	34	JA
FA	7030784	1524768	390	31	JA
G	7033685	1513861	472	34	JA
GM	7038602	1521623	308	30	JA
GN	7039433	1522189	330	29	JA
H	7033319	1514071	469	34	JA
Q	7028285	1522563	409	33	JA
R	7028816	1521730	452	37	JA
S	7035982	1519909	396	37	JA
T	7035808	1519333	398	38	JA
U	7035982	1519086	407	38	JA
V	7036046	1518967	405	38	JA
W	7036357	1518445	430	39	JA
Y	7041656	1515389	340	36	JA
Z	7041748	1515197	340	36	JA

Den högsta beräknade ekvivalenta ljudtrycksnivån, 39 dBA, fås i en av beräkningspunkterna (W, väster om Hocksjön). 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. Värdet 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.



# RAPPORT C

För Naturvårdsverkets planeringsmodell för ljud från vindkraftverk anges beräkningsosäkerheten ligga inom intervallet  $\pm 1$  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 (10). 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 meteorologiska förhållanden. Detta konfidensintervall innehåller också osäkerheten i ljudeffektbestämningen.

I det aktuella fallet bedömer vi beräkningsmodellens osäkerhet för ett 90-procentigt konfidensintervall till  $\pm 2$  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  $\pm 1-3$  dB enligt (4) och (5).

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 båda mätpunkterna görs s.k. indikativa immissionsmätningar som följer mätstandarderna men med



# RAPPORT C

vissa avsteg som kan påverka den uppmätta ljudtrycksnivån. Avsteget avser att ingen vindmast placerats vid mätpunkterna utan bakgrunds nivåer har relaterats till vindhastigheten uppmätt vid närliggande verk. Mätningarna har utförts kvälls- och nattetid då bakgrunds nivåer ofta är lägre. Mätningarna presenteras i sin helhet i (3) och endast utdrag från dessa redovisas i denna rapport.

## 4.1 Mätningförutsättningar - Hocksjön

Mikrofonen monterades på en mätskiva dikt an fasad på en byggnad i närheten av bostadshuset vid Hocksjön, se beräkningspunkt BO 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.

## 4.2 Mätningförutsättningar – Rensjön

Mikrofonen monterades på en mätskiva dikt an Bostadshuset i Rensjön, se beräkningspunkt DL 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.

## 4.3 Resultat

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

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

Typ av mätning	Mätpunkt	Ekvivalent ljudtrycksnivå $L_{Aeq}$ i dBA	Innehålls riktvärdet 40 dBA?
Indikativ ljudmissionsmätning	Hocksjön (BO)	38	Ja
Indikativ immissionsmätning <sup>1)</sup>	Rensjön (DL)	$\leq 36$	Ja

## 5 Jämförelse mellan beräknad och uppmätt ljudmission

För att kontrollera att de vid ljudmissionsmätningarna uppmätta ljudtrycksnivåerna stämmer med ljudmissionsberäkningarna utfördes beräkningar för västlig vind som rådde vid mättillfället, se (6). 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 ljudmission.

Mätpunkt	Beräkningspunkt	Uppmätt ekvivalent ljudtrycksnivå $L_{Aeq}$ i dBA	Beräknad ekvivalent ljudtrycksnivå $L_{Aeq}$ i dBA
Hocksjön	BO	38	37
Rensjön	DL	$\leq 36$	34



Utifrån jämförelsen framgår att det är god korrelation mellan uppmätta och beräknade ljudtrycksnivåer med en avvikelse på som högst 2 dB. Dock ska noteras att samtliga verk inte var i drift vid ljudmissionsmätningen vilket kan ha påverkat mätresultatet.

## 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"* (11). 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 (11)

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.

### 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* (12). 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.

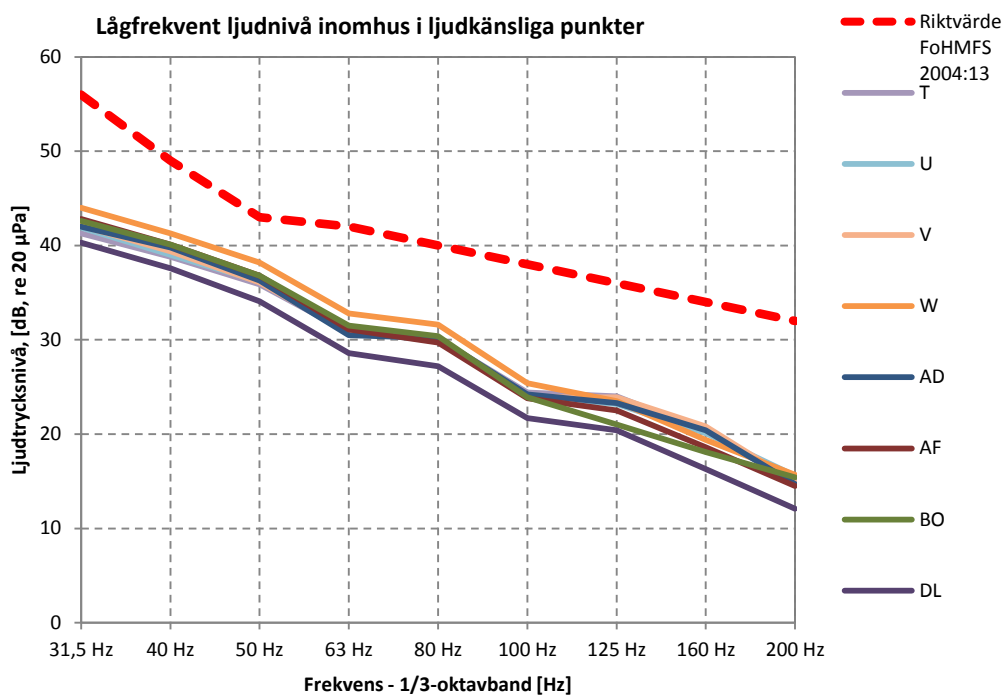
Tabell 7. Antagen fasaddämpning utifrån Hoffmeyer o Jakobsen (12).

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



# RAPPORT C

Utifrån ovan angiven fasadisolering har en beräknad ljudnivå inomhus erhållits utifrån beräknad ljudnivå vid närliggande bostäder. Beräknad ljudnivå inomhus jämförs mot gällande riktvärde i figur 3 nedan för ett urval av de beräkningpunkterna närmas vindpark Björkhöjden med högst beräknad ljudnivå. Fullständiga beräkningar återges i (6).



Figur 3. Beräknad ljudnivå inomhus för ett urval av beräkningpunkter jämfört med Folkhälsomyndighetens riktvärde. Den beräknade ljudnivån inomhus innehåller gällande riktvärde i samtliga tersband med marginal.

Utifrån utförda beräkningar, med den antagna fasadisoleringen från (12), innehålls gällande riktvärden för lågfrekvent ljud vid alla bostadshus kring björkhöjden vindpark.

## 7 Slutsatser

Kontrollen av ljudmission från vindpark Björkhöjden 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 ljudmission är också god och för båda kontrollmetoderna innehålls riktvärdet. Detta tyder också på att de beräknade ljudtrycksnivåerna för samtliga kringliggande bostäder är korrekta.



# RAPPORT C

## 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 PM08 Indikativ ljudimmissionsmätning tre mätpunkter vid Ögonfågeln och Björkhöjden vindpark 151001.* u.o. : ÅF-Infrastructure AB, 2015-11-26.
4. —. *701304 Rapport A ljudemissionsmätning Björkhöjden Verk A04 151001.* Stockholm : ÅF-Infrastructure AB, 2015-11-26.
5. —. *701304 Rapport B ljudemissionsmätning Björkhöjden Verk C18 151001.* Stockholm : ÅF-Infrastructure AB, 2015-11-26.
6. —. *701304 Ljudimmissionsberäkning vindpark Björkhöjden 151126.* Stockholm : ÅF-Infrastructure AB, 2015-11-26.
7. **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/>.
8. —. *Ljud från vindkraftverk, rapport 6241, rev 20 april 2010.*
9. **Fredriksson, Jens och Appelqvist, Paul.** *701304 Rapport 4 Kontroll av ljud vindpark Ögonfågeln 151126.* Stockholm : ÅF-Infrastructure AB, 2015-11-26.
10. **DELTA.** *Validation of the Nord2000 propagation model for use on wind turbine noise (PSO-07 F&U project no. 7389).* Hörsholm : DELTA, 2009.
11. **Folkhälsomyndigheten.** *FoHMFS 2014:13 - Folkhälsomyndighetens allmänna råd om buller inomhus.* u.o. : Folkhälsomyndigheten, 2014. ISSN 2001-7804.
12. *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.