



Handläggare
Paul Appelqvist
Tel +46 10 505 60 24
Mobil +46 70 184 57 24
Fax +46 10 505 00 10
paul.appelqvist@afconsult.com

Uppdragsnr
584685
Er referens
HS Kraft AB
Att: Christian Eriksson

Kontroll av ljud från Karsholm vindbrukspark, Kristianstad kommun Ljud från vindkraftverk



ÅF-Infrastructure AB
Ljud & Vibrationer

Paul Appelqvist

Granskad

Martin Almgren



Sammanfattning

HS Kraft AB förvaltar fem vindkraftverk av modell REpower MM92 2050 kW lokaliserade vid Karsholm, Kristianstad kommun. Bolaget har förelagts av Miljö- och hälsoskyddskontoret i Kristianstad kommun att kontrollera ljudet från vindbruksparken. Anvisad metod är antingen närfältsmätning och beräkning alternativt immissionsmätningar vid bostad. Om närfältsmätning och beräkning väljs som metod anger Miljö- och hälsoskyddskontoret att det är önskvärt att indikerande mätning av immission utförs i någon punkt, som bedöms som vindskyddad, i Ekestad. Miljö- och hälsoskyddskontoret bedömer att båda metoderna ger likvärdigt resultat. Bolaget har valt den förstnämnda metoden, emissionsmätning och beräkning, kompletterat med indikerande immissionsmätning i två mätpunkter. ÅF-Ljud och Vibrationer (ÅF-Infrastructure AB) har uppdragits av bolaget att utföra denna kontroll.

Ljudemissionsmätningar har utförts på två vindkraftverk i vindbruksparken, mätningarna utfördes 2013-09-02 och redovisas i separata rapporter. Mätresultatet från dessa mätningar ligger till grund för ljudimmissionsberäkningen.

Ljudimmissionsberäkningen har utförts för sju närliggande fastigheter samt för de två mätpunkterna för ljudimmission. För beräkningarna har beräkningsmodellen Nord2000 använts, vilken tar hänsyn till områdets topografi, markens beskaffenhet, vind- och temperaturprofiler ovan marken. Nord2000 är rekommenderad av Naturvårdsverket för detaljerade beräkningar av ljud från vindkraft. Beräkningsresultatet motsvarar ekvivalent ljudnivå från vindbruksparken, utomhus i fritt fält, och är det värde som ska användas för jämförelse mot riktvärdet i enlighet med föreläggandet. För att kontrollera resultatet från ljudimmissionsberäkningarna utförs även indikationsmätningar i två mätpunkter.

Indikerande immissionmätning har utförts enligt metod C i mätmetod Elforsk rapport 98:24, vilken anvisas av Naturvårdsverket för kontroll av ljudimmission från vindkraft. Mätningarna har utförts i två mätpunkter, mätpunkt A (Eketorp) och mätpunkt D (Kälkestad), i enlighet med det mätprogram som inlämnats och godkänts av Miljö- och hälsoskyddskontoret, daterat 2013-06-26. En av mätpunkterna, mätpunkt D, har även föreslagits av närboende. Båda mätpunkterna är placerade i Ekestad, öster om vindbruksparken. Mätningarna har utförts mellan cirka kl. 07.00-15.00 den 2013-10-24.

Skillnaden mellan bakgrunds nivå (vindkraftverken av) och total ljud (vindkraftverken på) var mindre än 6 decibel, varvid det ej entydigt går att fastställa ljudnivån från enbart vindbruksparken. Bakgrunds nivån bedöms vara som lägst mellan kl. 07.00-10.00 och genom att endast utvärdera denna tidsperiod kan en övre gräns av ljudet från vindbruksparken fastställas. I mätpunkt A är den övre gränsen 37 dBA vid 8 m/s och i mätpunkt B 36 dBA vid 8 m/s. Ljudnivån orsakad av enbart vindkraftverken är dock sannolikt något lägre vid mättillfället. Enligt mätpersonalen kunde det karakteristiska ljudet från vindkraftverken höras tydligt i början av mätningen och det blev mindre tydligt senare under dagen på grund av ökande vegetations brus. Vinden mättes vid mätpunkt A och denna mätpunkt bedöms vara vindskyddad vid mättillfället. Bakgrunds nivån som uppmättes bedöms dock inte som mycket låg. Den varierade mellan cirka 32-51 decibel under två timmar.

Resultatet av kontrollen, i enlighet med föreläggandet, visar att vindbruksparken innehåller riktvärdet 40 dBA för samtliga närliggande fastigheter med minst 2 decibels marginal. Högsta beräknade ekvivalenta ljudnivå är 38 dBA, för två fastigheter. Indikationsmätningarna visar god överensstämmelse med de beräknade ljudnivåerna.



Innehållsförteckning

1	BAKGRUND OCH SYFTE.....	4
2	LJUD FRÅN VINDKRAFT.....	4
3	BERÄKNING AV LJUDIMMISSION5	
3.1	Beräkningsförutsättningar	5
3.2	Indata till beräkningarna	6
3.3	Beräknad ekvivalent ljudnivå	7
3.4	Beräkningsmodellens osäkerhet och marginal.....	8
4	INDIKERANDE IMMISSIONSMÄTNINGAR	9
4.1	Mättingsförutsättningar	10
4.1.1	Vindkraftverk	10
4.1.2	Mätutrustning	10
4.1.3	Mätpunkter	11
4.1.4	Drifts- och väderförhållanden	12
4.2	Analys av mätning.....	13
4.2.1	Bestämning av vindhastighet	13
4.2.2	Uppmätt ljudtrycksnivå	16
4.3	Mätosäkerhet	23
4.4	Avsteg från mätstandarden.....	24
5	AVSTEG FRÅN MÄTPROGRAMMET	24
6	DISKUSSION	24
6.1	Kommentarer uppmätta och beräknade ljudtrycksnivåer	24
7	SLUTSATSER.....	24
8	REFERENSER	25
BILAGA 1.	LJUDKARTA	26



1 Bakgrund och syfte

HS Kraft AB förvaltar fem vindkraftverk av modell REpower MM92 2050 kW lokaliserade vid Karsholm, Kristianstad kommun. Bolaget har förelagts av Miljö- och hälsoskyddskontoret i Kristianstad kommun, beslut Dnr. 2012-001717 [1], att kontrollera ljudet från vindbruksparken enligt följande:

Den ekvivalenta ljudnivån från vindkraftanläggningen ska kontrolleras genom närfältsmätningar och beräkningar eller genom immissionsmätningar vid bostäder. Resultatet från ljudutredningen ska redovisas för miljö- och hälsoskyddskontoret senast den 15 augusti.

Vidare anges

Immissions- och emissionsmätningar, inklusive beräkning, ger enligt miljö- och hälsoskyddskontoret bedömning likartade resultat, varför båda metoderna kan godtas. Om alternativet emissionsmätning och beräkning väljs, bedöms det i detta fall vara önskvärt att den kompletteras med en indikerande immissionsmätning. Indikationsmätningen bör utföras vid någon punkt i Ekestad, som väljs ut i samråd med miljö- och hälsoskyddskontoret och bedöms kunna vara vindskyddad i förhållande till vindkraftanläggningen. Lämpligheten av en sådan indikationsmätning bedöms utifrån att bakgrundsnoise i området är mycket låg och att vissa platser i någon mån är vindskyddade i förhärskande vindriktning (i linje från vindkraftverken) p.g.a. topografen.

Bolaget har valt den förstnämnda metoden, emissionsmätning och beräkning, kompletterat med indikerande immissionsmätning i två mätpunkter. På uppdrag av bolaget har ÅF - Ljud och Vibrationer (ÅF-Infrastructure AB) utfört kontrollen enligt beskrivning i, till Miljö- och hälsoskyddskontoret, inlämnat mätprogram, daterat 2013-06-26 [2].

Ljudemissionsmätningar (mätning av källljud, enligt IEC61400-11 [3]) har utförts på två vindkraftverk i vindbruksparken. Därutöver har indikerande immissionsmätning i två mätpunkter utförts (så kallad ljudimmissionsmätning enligt Elforsk 98:24 [4]). Mätningarna utfördes 2013-09-02 respektive 2013-10-24.

Resultatet från ljudemissionsmätningarna presenteras i [5] och [6]. Resultatet från indikationsmätningarna redovisas i denna rapport.

Ljudimmissionsberäkningen har utförts med beräkningsmodellen Nord2000 och utgår ifrån de uppmätta ljudeffektnivåerna. Beräkningarna utförs för sju fastigheter i närheten av vindbruksparken samt i de två mätpunkterna för ljudimmission, beräkningsförutsättningar och resultatet redovisas i denna rapport samt i [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 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 mojar sker det ibland på ett sådant vis att vinden mojar 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.

Ibland kan man höra ljud när vindkraftverket ställer in sig mot vindriktningen. Det kan bli ett surrande ljud som varar någon eller några sekunder. Det ljudet är relativt svagt och brukar inte höras på långa avstånd från verken. En del vindkraftverk har kylfläktar i huset uppe på tornet. Kylfläktarna kan vara igång även när det inte blåser och vingarna inte snurrar runt. Ljudet från kylfläktarna kan ibland höras nära verket.

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 en dBA är normalt inte märkbar. I lyssningsförsök har man kommit fram till att en höjning av ljudnivån med mellan 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 11,5 m/s vid navet i centrum av rotern på 100 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 framtagna av de nordiska länderna, som rekommenderas av Naturvårdsverket för detaljerade beräkningar av ljud från vindkraft.

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 höjdmateriäl, höjdpunkter i rutnät om 2x2 m, använts. Kartunderlaget och vindkraftverken har lagts in i ett datorprogram, SoundPlan 7.1. Vindkraftverken har modellerats som punktkällor vid verkens 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 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.
- Den geografiska modellen i SoundPLAN är uppbyggd med höjdpunkter i ett 2x2 m rutnät, Grid 2+ inköpt från Metria. Modellen tar hänsyn till höjdskillnader i terrängen. Beräkningen är gjord för 1,5 m mottagarhöjd. Koordinatsystem är Sweref 99 TM.
- Markråhetslängden z_0 har ansatts till 0,3 m enligt definition i "Ljud från vindkraftverk, Naturvårdsverkets rapport 6241". 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 1,2 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 [4]. Positiv temperaturgradient ger generellt sett högre ljudnivåer.
- Den totala ljudeffektnivån för vindkraftverken har erhållits genom ackrediterade ljudemissionsmätningar på två av verken, utförda 2013-09-02, enligt dokument [5] för verk 1 och [6] för verk 5. Verk 2 till 4 är av samma typ som verk 1 och 5 och har samma reglerinställning. De antas ha samma ljudeffektnivå som verk 5, d.v.s. något högre än verk 1.
- I dokumenten anges verkens totala ljudeffektnivå vid olika vindhastigheter. I beräkningarna har den högsta uppmätta ljudeffektnivån använts, oavsett vilken vindhastighet denna uppmätts vid. Använda ljudeffektnivåer och frekvensspektrum presenteras i tabell 1. Nord2000 tar i beräkningarna hänsyn till såväl låga som höga frekvenser och dess egenskaper vid ljudutbredning.
- Verkens placering och benämning anges i tabell 2 och [7].



Tabell 1. Tersbandsspektrum (1/3 oktavband) för vindkraftverk modell REpower MM92 2050 kW, navhöjd 100m, (uppmätt av ÅF-Infrastructure AB) [5] och [6].

Tersband	Verk 1, [5]	Verk 2-5,[6]
	REpower MM92 2050 kW $L_{WA,f}$ [dBA]	REpower MM92 2050 kW $L_{WA,f}$ [dBA]
25 Hz	63,6	62,4
31,5 Hz	71,5	71,3
40 Hz	71,0	70,9
50 Hz	74,8	74,9
63 Hz	79,1	79,5
80 Hz	80,0	80,6
100 Hz	82,7	83,0
125 Hz	84,1	86,2
160 Hz	85,3	88,4
200 Hz	88,3	89,3
250 Hz	91,5	92,3
315 Hz	92,3	94,6
400 Hz	92,7	94,6
500 Hz	94,9	94,3
630 Hz	96,0	95,7
800 Hz	95,9	94,5
1 kHz	94,4	94,6
1,25 kHz	91,5	93,4
1,6 kHz	91,3	92,4
2 kHz	87,1	89,2
2,5 kHz	86,1	87,1
3,15 kHz	83,6	84,1
4 kHz	81,9	81,1
5 kHz	-	74,8
6,3 kHz	-	69,8
8 kHz	-	68,0
10 kHz	-	62,6
Totalnivå	103,9	104,4

Tabell 2. Placering av vindkraftverken, koordinatsystem Sweref 99 TM.

Vindkraftverk	Öst (m)	Nord (m)	Z, Marknivå [möh]
1	451542	6220725	57
2	451794	6221140	93
3	451918	6221526	94
4	451903	6221893	74
5	451703	6222272	67

3.3 Beräknad ekvivalent ljudnivå

Beräkningsresultatet presenteras dels som en ljudkarta och dels som ljudnivån i ljudkänsliga punkter. Detaljerad ljudkarta redovisas i [7] samt i bilaga 1 som ISO-linjer för beräknad ljudnivå i 5-dB steg. Resultatet från beräkningen i de ljudkänsliga punkterna ges i tabell 3.

**Tabell 3. Beräkningsresultat av vindkraftsljud, koordinatsystem Sweref 99 TM.**

Id	Namn	Öst (m)	Nord (m)	Z, marknivå (möh)	Ekvivalent ljudnivå L_{Aeq} i dB(A)	Innehålls riktvärde 40 dBA?
A	Skräddarehus 3:1	450810	6221450	42	38	Ja
B	Fjälkestads Svenstorp 2:6	450573	6222053	41	36	Ja
C	Fjälkestads Svenstorp 1:4	450799	6222553	42	36	Ja
D	Karsholm 1:4	452906	6221124	10	38	Ja
E	Tommarp 1:10	452256	6219978	14	35	Ja
F	Skräddarehus 1:1	451055	6222760	42	36	Ja
G	Röetved 4:2	451397	6223159	33	35	Ja
MpA	Mät punkt A ¹⁾	452974	6220966	4	37	Ja
MpD	Mät punkt D ¹⁾	453087	6220721	5	35	Ja

¹⁾ Benämning enligt mätprogrammet [2] och de ska ej blandas ihop med beräkningspunkterna A och D. Dessa punkter finns ej med i [7] eller i ljudkartan i bilaga 1. Koordinaterna för mätpunkterna har uppskattats utifrån satellitfoto och ej mäts upp.

De beräknade ljudnivåerna varierar mellan 35-38 dBA. Den högsta beräknade ljudnivån, 38 dBA, fås i två av beräkningspunkterna. Utifrån utförda beräkningar innehålls riktvärdet enligt vindbruksparkens villkor, med en marginal om 2 decibel. Denna slutsats ska utgöra bedömningsgrund för kontrollen enligt föreläggandet med vald metod [1].

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 nedåtböjd refraction, 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 temperaturgradientsprofil, 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 [8]. 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 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.

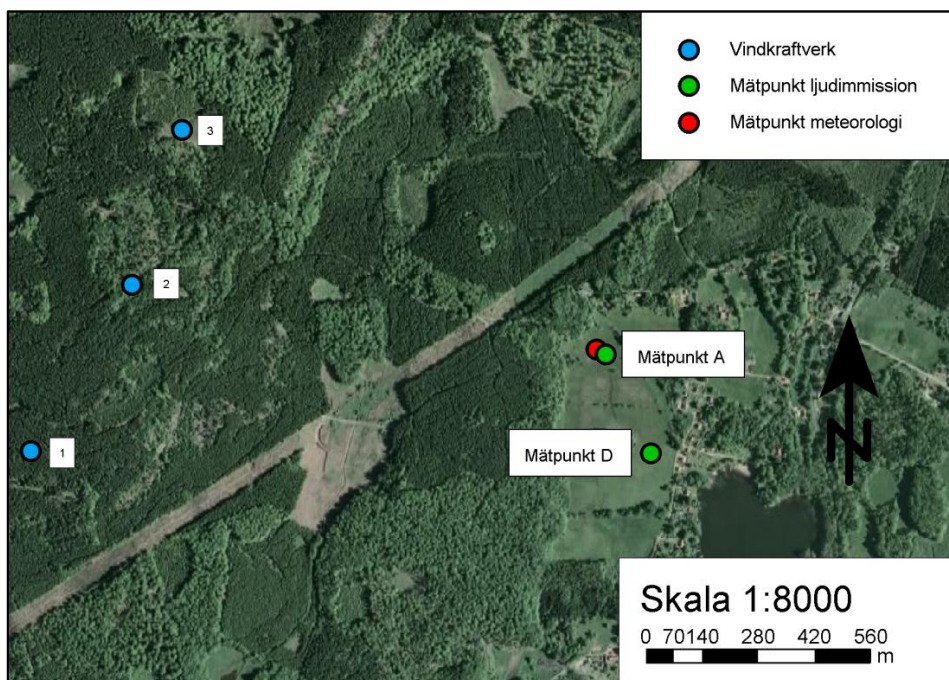
I det aktuella fallet bedömer vi, då avståndet till boende är från 1 000 m och terrängen är delvis kuperad, beräkningsmodellens osäkerhet för ett 90-procentigt konfidensintervall till ± 2 dB. Mätosäkerheten på ljudemissionen är ± 1.2 dB vid 8 m/s för båda verken enligt [5] och [6].

Enligt praxis ska det beräknade värdet utan hänsyn till osäkerheten användas för bedömning mot riktvärdet.

4 Indikerande immissionsmätningar

Ljudmätningarna har utförts enligt mätmetoden beskriven i Elforsk rapport 98:24 [4] med klass 1 ljudnivåmätare. Mikrofonerna placerades i fritt fält på stativ och ljudnivån loggades kontinuerligt. 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. Meteorologiska data gällande lufttryck, temperatur, temperaturgradient, vindriktning samt vindhastighet har uppmätts vid mätpunkt A. Se figur 2 för placering av mätpunkterna. Förutom mätpersonal från ÅF deltog miljöinspektör Cecilia Hammarberg under en del av mätningen.

4.1 Mätningsförutsättningar



Figur 2. Översiktlig situationsplan med mätpunkter markerade.

4.1.1 Vindkraftverk

I tabell 4 redovisas översiktlig information om vindkraftverken.

Tabell 4. Information om vindkraftverken.

Tillverkare:	REpower Systems
Modell:	REpower MM92 (2050 kW)
Driftsmod:	Normal operation (Full drift, utan ljudreducerande inställningar.)
Navhöjd ovan mark:	100 m
Rotordiameter:	92,5 m

Vindkraftverken är placerade i kuperad terräng med tät skog och en del öppna fält. Data från vindkraftverk 3 har använts i analysen. Detta verk ligger 1200 m från mätpunkt A och 1400 m från mätpunkt D. Vindkraftverk 2 loggade endast driftsdata gällande producerad elektrisk effekt för halva mätperioden, annars hade detta vindkraftverk använts för mätpunkt D. Detta påverkar dock inte mätresultatet gällande de uppmätta ljudnivåerna utan endast deras relation till vindhastigheten vid navhöjd.

4.1.2 Mätutrustning

I tabell 5 listas utrustningen som användes under mätningen. Instrumenten är kalibrerade med spårbarhet till nationella och internationella referenser enligt vår kvalitetsstandard som uppfyller kraven i SS-EN ISO/IEC 17025. Datum för senaste systemkalibrering finns angiven i vår kalibreringslogg.

Tabell 5. Använd mätutrustning.

Benämning	Fabrikat, Modell	Intern beteckning
Ljudnivåmätare, klass 1	Norsonic, Nor140	AL170
Kalibrator, klass 1	B&K, Type 4231	KU49
Ljudnivåmätare, klass 1	Norsonic, Nor140	AL224
Kalibrator, klass 1	B&K, Type 4231	KU74
Vind- och temperaturlogger	Campbell o Windsonic CR850	Ö193

I mätpunkt A har två vindsydd använts, dels ett primärt och dels ett sekundärt. Det primära är gjort av skumplast och har en diameter på ca 90 mm. Detta sitter närmast mikrofonen men har liten ljudpåverkan. Det sekundära vindsyddet (även kallat vindskrämen) har en diameter på ca 300 mm. En vindskräme kan påverka ljudbilden vid mikrofonen. Vid mätningarna har en sfärisk vindskräme använts. Det sfäriska vindsyddets ljudpåverkan har mätts i laboratorium och påverkan är mindre än 1 dBA. Vid analysen har en korrektion för vindsyddens inverkan på ljudtrycksnivån skett inom varje tersband.

I mätpunkt D har endast ett primärt vindsydd använts vilket har gett vissa störningar på mätresultatet vid kraftiga vindbyar. Mätvärden med störningar från kraftigt vindbrus (turbulenta tryckfluktuationer) vid mikrofonen har exkluderats från analysen.

4.1.3 Mätpunkter

Vid ljudimmissionsmätning är det viktigt att välja mätpunkter som har relativt lågt bakgrundsljud. Detta för att säkerställa ett bra signal-brusförhållande mellan bakgrundsljudet och ljudet från vindkraftverken. Mätpunkter med mycket intilliggande vegetation bör t.ex. undvikas då ljudet från vegetationen ofta ger upphov till höga bakgrundsnivåer.

Mätpunkterna hade preliminärt fastslagits i mätprogrammet [2] och slutgiltig bedömning av dess placering har gjorts av mätpersonalen vid mättillfället. Mätpunkt A flyttades något jämfört med mätprogrammet, dels utifrån subjektiv och objektiv bedömning av bakgrundsnivån och dels så att mikrofonen skulle ligga i siktlinjen mot två av vindkraftverken. Mätpunkterna redovisas i figur 3 och 4.


Figur 3. Fotografi mätpunkt A med ljudnivåmätare på stativ och mätmast för meteorologi.



Figur 4. Fotografi mät punkt D med ljudnivåmätare på stativ.

Mikrofonerna var placerade enligt mätstandarden nedströms de dominerande verken inom en vinkel på $\pm 45^\circ$.

Perioder med ovidkommande störningar t.ex. fåglar, skott, flygplan, mätpersonal, bilar och turbulenta tryckfluktuationer (orsakade av vinden vid mikrofonen vid mät punkt D) har exkluderats från analysen.

4.1.4 Drifts- och väderförhållanden

Samtliga verk var i drift med ordinarie reglerinställningar, det vill säga Normal operation 2050 kW. Verken stängdes av och på för att mäta total- och bakgrundsljud, se tabell 6.

Tabell 6. Driftsschema för vindkraftverk.

Tidpunkt	Mätaktivitet	Verk 1-5
07:19 -10:00	Totalljud	Samtliga verk på
10:00-12:00	Bakgrundsljud	Samtliga verk av
12:00-15:00	Totalljud	Samtliga verk på

Under mät dagen 2013-10-24 förekom nedanstående drifts- och väderförhållanden, se tabell 7.

Mät punkterna bevakades av mätpersonal under stora delar av mätningen. Ljud spelades också in kontinuerligt under hela mätperioden och ovidkommande störningar har på så vis identifierats och sorterats bort i efterhand för de perioder då mät punkten ej var övervakad. Mätningen genomfördes under väderförhållanden som redovisas i tabell 7. Lufttryck avlästes en gång i timmen under hela mätperioden.

Tabell 7. Väderförhållanden vid mättillfälle.

Lufttemperatur 2 m ovan mark	11-14	[°C]
Temperaturgradient	-0,1 till 0,11	[K/m]
Förhärskande vindriktning	V (240° -275°)	
Molnighet	Mulet (4/8)	
Lufttryck 2 m ovan mark	998-1002	[hPa]

Vindhastigheten vid mätpunkt A uppmättes med en 10 m hög mätmast där en väderstation registrerade temperatur på 2 m och 10 m höjd, temperaturgradient, vindriktning och vindhastighet på 10 m höjd. De mätvärden där temperaturgradienten var under $-0,05$ K/m har ej använts i analysen. Däremot har mätvärden med en temperaturgradient över $+0,05$ K/m använts, detta är ett avsteg från mätmetoden och kan ge en teoretiskt högre ljudnivå från vindkraftverken på grund av nedåtböjande refraktion (inversion). Då ingen mätmast placerades vid mätpunkt D har mätdata från mätpunkt A använts i analysen för mätpunkt D.

Mätpunkterna är placerade på öppna fält, men träd och buskar förekommer vilka ger upphov till visst vindalstrat bakgrundsljud.

4.2 Analys av mätning

Ljudnivåer som redovisas i rapporten är uppmätta värden i frifält. I mätpunkt A har de korrigerats för användandet av ett sekundärt vindsydd. Korrektionen är 0 dB för frekvenser upp till 400 Hz och den är som störst, +5 dB, vid 20 000 Hz. Alla mätdata har en mättid på 1 minut. I tabell 8 presenteras i rapporten angivna beteckningar. Vindriktningen är registrerad av navanemometern och vindhastigheten är alltid angiven för 10 m höjd vid referensförhållanden.

Tabell 8. Beteckningar.

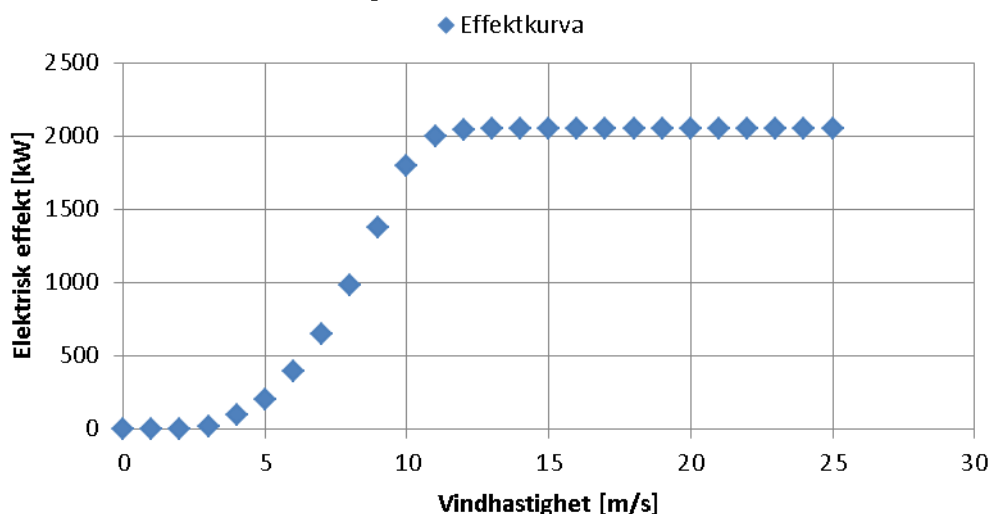
Beteckning	Förklaring	Enhet
L_{free}	Den ekvivalenta ljudtrycksnivån med vindkraftverken på under mättiden 1 minut. Frifältsvärden.	dBA re 20 μ Pa
L_n	Den ekvivalenta ljudtrycksnivån från bakgrundsljud med vindkraftverken av under mättiden 1 minut. Frifältsvärden.	dBA re 20 μ Pa
$L_{Aeq,corr}$	Den ekvivalenta ljudtrycksnivån med vindkraftverken på, $L_{Aeq,free}$, korrigerad för bakgrundsnivån, L_n .	dBA re 20 μ Pa

Enligt [4] ska regression med andra ordningens polynom göras för att bestämma bakgrundsnivån som funktion av vindhastigheten. Totalnivåerna korrigeras därefter för bakgrundsnivå mot denna regressionslinje. De bakgrundskorrigerade nivåerna skall enligt metoden därefter approximeras med en linjär regression. I standarden IEC 61400-11 [3], som används för bestämning av ljudemission från vindkraftverk, anvisas fjärdegradspolynom för regressionen av ljudet från vindkraften inklusive bakgrundsljudet. I analysen i denna rapport används den anpassning av regressionskurvan som bäst motsvarar det uppmätta ljudet.

4.2.1 Bestämning av vindhastighet

Vindhastigheten har i huvudsak bestämts genom den elektriska uteffekten från verk 3 och verkets effektkurva. Effektkurvan ger relationen mellan elektrisk uteffekt och vindhastighet vid navhöjd. I det aktuella fallet har elektriskt producerad effekt räknats om till vindhastighet vid navhöjd med hjälp av effektkurvan för aktuell vindkraftsverksmodell, för de tidsintervaller när producerad eleffekt har varit lägre än 95 % av verkets märkeffekt. Se effektkurvan i figur 5.

Effektkurva : Elektrisk effekt över vindhastighet navhöjd från navanemometer



Figur 5. Effektkurva REpower MM92 Normal operation.

Den så beräknade vindhastigheten har korrigerats för aktuella väderförhållanden med hjälp av Ekvation 1. Ekvation 1 är från standarden IEC61400-11 [3], då det i Elforsk rapport 98:24 [4] inte finns någon formel för aktivt reglerade vindkraftverk.

$$V_H = V_D \left(\frac{p_{ref} T_k}{p T_{ref}} \right)^{1/3} \quad (\text{ekvation 1})$$

där

p är uppmätt lufttryck i kPa och p_{ref} är 90,3 kPa,

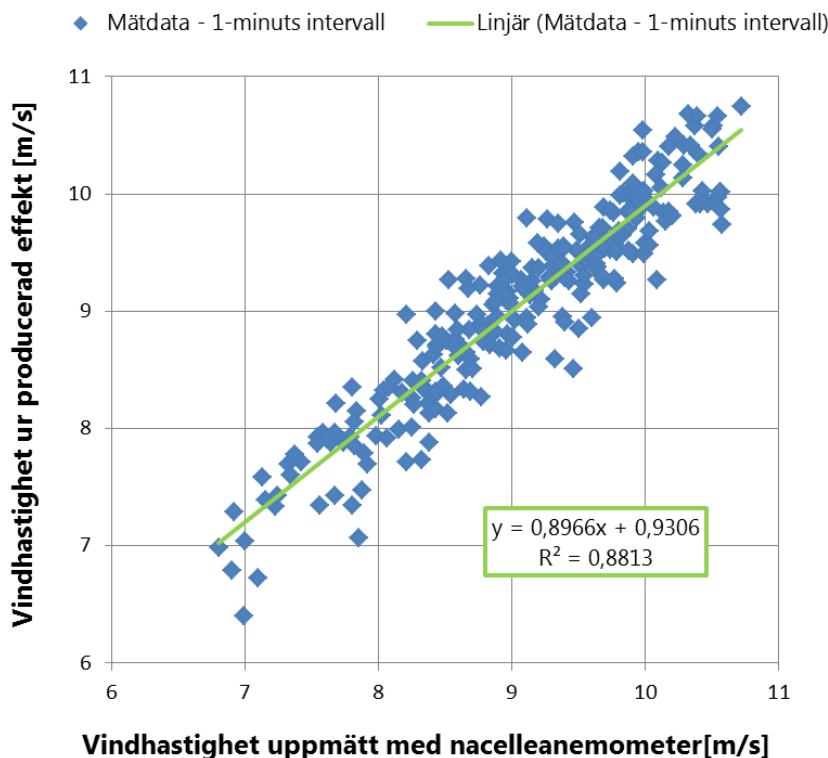
T_k är uppmätt temperatur i K och T_{ref} är 288 K,

V_H är den korrigerade vindhastigheten vid navhöjd i m/s,

V_D är vindhastigheten i m/s läst från diagrammet för vindhastighet som funktion, av elektrisk uteffekt.

Då den elektriskt producerade effekten är mindre än 5 % eller mer än 95 % är det otillräckligt att bestämma vindhastigheten genom effektkurvan. Vid dessa tidpunkter används den s.k. "Nacelle anemometer method" för att bestämma vindhastigheten vid navhöjd, enligt referens [3] kap 7.3.1.1.1. För alla datapunkter mellan 5 % och 95 % av verkets märkeffekt kan ett samband ställas upp mellan vindhastigheten uppmätt vid navhöjd och vindhastigheten vid navhöjd framräknad genom effektkurvan. Sambandet uttrycks genom en regressionslinje. Ekvationen för regressionslinjen redovisas i figur 6 tillsammans med en figur med respektive vindhastighets datapunkter.

Vindhastighet vid navhöjd från producerad elektrisk effekt över vindhastighet från nacellanemometer



Figur 6. Regression enligt nacellanemometermetoden.

Därefter har vindhastigheten vid navhöjd skalats om till vindhastigheten vid 10 m höjd, V_{10} , under antagande om logaritmisk vindprofil, se ekvation 2. Alla vindhastigheter som är angivna i denna rapport är värden på 10 m höjd.

$$V_{10} = V_H \left[\frac{\ln(10/z_0)}{\ln(H/z_0)} \right] \quad (\text{ekvation 2})$$

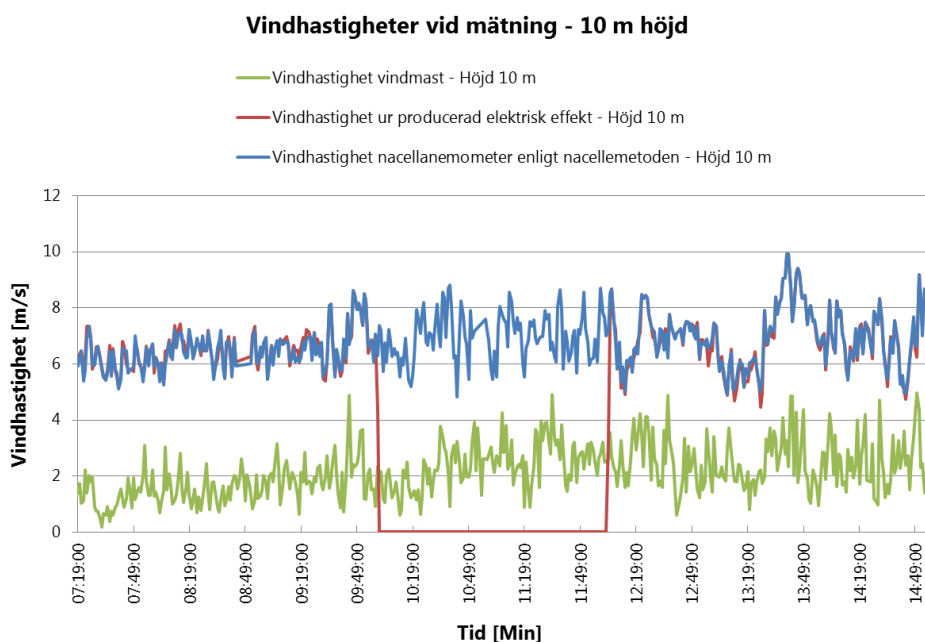
där

H är vindkraftverkets navhöjd i m,
 z_0 är referensmarkrähetslängden 0,05 m.

Vindhastigheten vid 10 m höjd är ett referensvärde som vanligtvis används i rapporter för utstrålning av ljud från vindkraftverk. I fall att vindhastighetsprofilen inte är logaritmisk är detta ett teoretiskt värde.

I figur 7 redovisas vindhastigheten beräknad ur producerad elektrisk effekt, vindhastighet från nacellanemometern enligt nacellanemometermetoden samt från mätmasten för meteorologi i mätpunkt A. Alla värden är angivna på 10 m höjd och när den röda kurvan går ner till noll är vindkraftverken av. Noterbart är att vindhastigheten ökar under mätningen samt att vindhastigheten vid mätpunkt A är mindre än 50 procent av den vid vindkraftverket för stor del av mättiden. Detta indikerar att det för aktuell vindriktning är ett vindsyddat läge enligt Naturvårdsverkets definition, vilket dock inte är att likställa med att bakgrundsnyvån är låg.

Förhållandet mellan vindhastigheterna ökar då vindhastigheten ökar. Vald mätpunkt A uppfyller således kriterierna enligt föreläggandet, d.v.s. mätpunkten ska vara vindskyddad.



Figur 7. Vindhastigheter vid mätning – 10 m höjd.

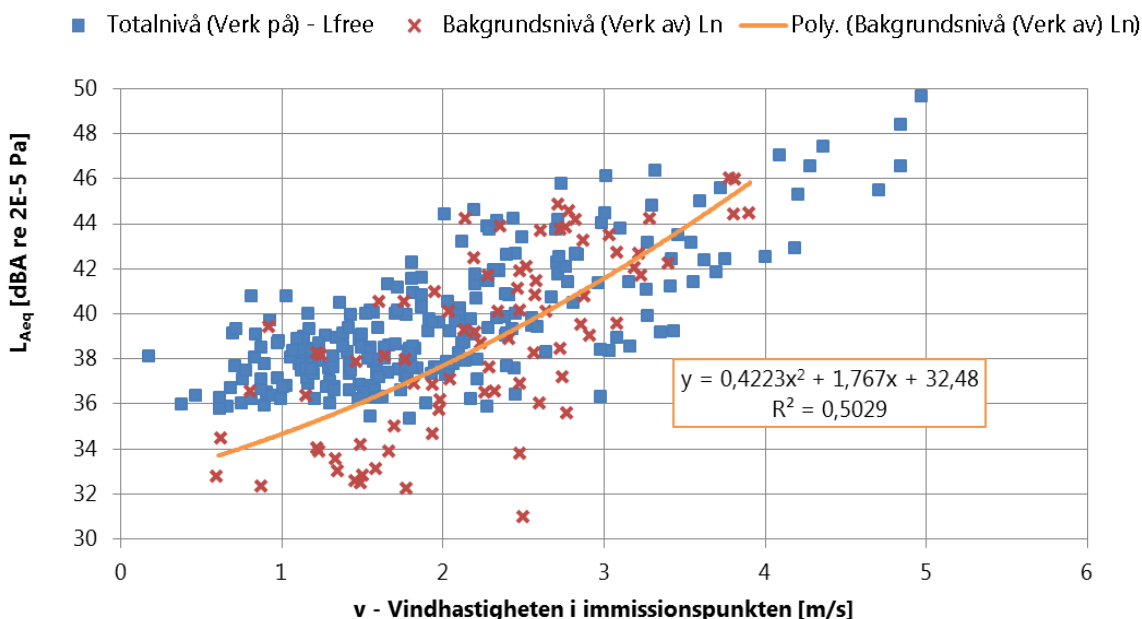
4.2.2 Uppmätt ljudtrycksnivå

Analysen följer de rekommenderade stegen i [4] med undantag för rapporterade avsteg. Mätvärden med ovidkommande ljud har exkluderats.

4.2.2.1 Mätpunkt A

I figur 8 visas den totala ekvivalenta ljudnivån i mätpunkten med vindkraftverken i på, L_{free} och bakgrunds-nivån med vindkraftverken av, L_n , för hela mätperioden. En regression av andra ordningen utförs på bakgrunds-nivån och tillhörande polynom redovisas i figuren. Totalljud (med verket på) och bakgrundsljud (med verket av) har relaterats till vindhastigheten uppmätt vid mätpunkten A på 10 m höjd, se figur 8.

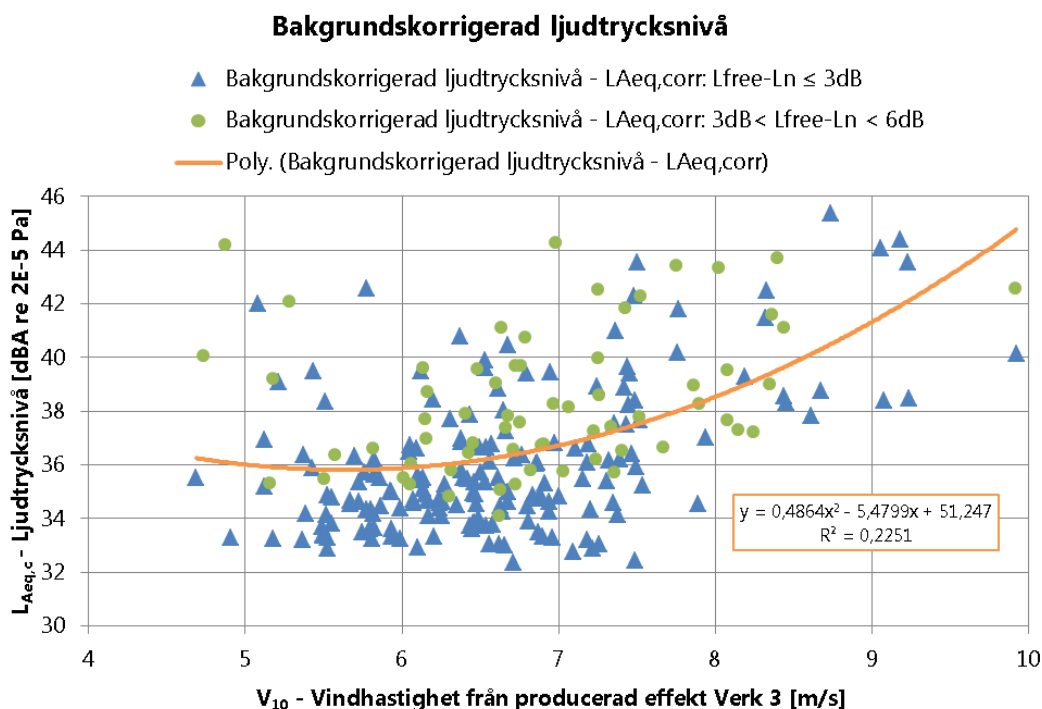
Total ljudtrycksnivå och bakgrunds-nivå



Figur 8. Total ljudnivå, L_{free} , och bakgrunds-nivå, L_n , i mät-punkt A.

Man kan notera att merparten av totalnivåerna, framförallt vid högre vindhastigheter är av samma storleksordning som bakgrunds-ljudet. Det innebär att ljudet domineras av vindalstrat bakgrunds-ljud. För lägre vindhastigheter, under 2 m/s vid mät-punkten, tenderar totalnivån att vara högre än bakgrunds-nivån. Notera också att det är vindhastigheten vid mät-punkten och inte vid vindkraftverken som visas i figuren. Med utgångspunkt i mätresultatet konstateras även att det vid mättillfället ej är en låg bakgrunds-nivå på grund av vindskyddat läge.

Uti från andra ordningens regressionskurva i figur 8 korrigeras den totala ljudnivån för bakgrunds-nivån och den korrigerade ekvivalenta ljudnivån, $L_{Aeq,corr}$, erhålls. Den bakgrundskorrigerade ljudnivån har därefter relaterats till vindhastigheten bestämd ur producerad elektrisk effekt från verk 3, i enlighet med [4]. Denna vindhastighet har sedan räknats om till 10 m höjd under en logaritmisk vindhastighet med referensmarkrålängd 0,05 m, vilket är ett avsteg från mätmetoden. Detta avsteg motsvarar dock Naturvårdsverkets nuvarande rekommendation. De bakgrundskorrigerade ljudnivåerna presenteras i figur 9.



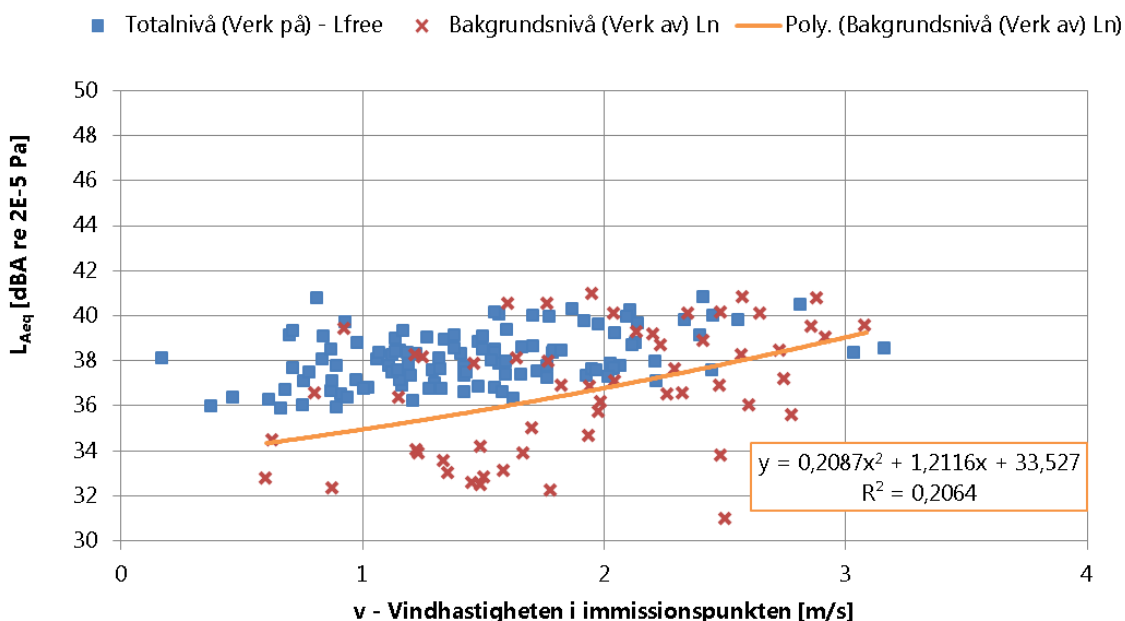
Figur 9. Korrigerad ljudnivå, $L_{Aeq,corr}$, i mätpunkt A.

Där skillnaden mellan total ljudnivå och regressionskurvan för bakgrunds-nivå är mindre än 3 dB görs korrigeringen som $L_{free} - 3$ dB enligt [4]. Den korrigerade ljudnivån utgör då en övre gräns för vindkraftljudet. I aktuellt fall är skillnaden mellan total ljudnivå och bakgrunds-nivå mindre än 3 dB för 73 % av alla värden i mätpunkten. Det erhållna resultatet utgör således en övre gräns för vindkraftljudet.

Utifrån angivet polynom för regressionskurvan beräknas den ekvivalenta ljudnivån vid 8 m/s till 39 dBA i mätpunkt A, vilket utgör en övre gräns av ljudet från vindkraftverken. Ljudet från vindkraftverken är dock troligtvis lägre då bakgrunds-nivåerna är höga.

En tydligare indikation av ljudnivån från enbart vindkraftverken kan fås om analysen görs för de lägre vindhastigheter med vindkraftverken på som rådde mellan kl 07.19-10.00. I mätmetoden [4] rekommenderas analys för lägre vindhastigheter vid problem med för hög bakgrunds-nivå. För att få en representativ bakgrunds-nivå för denna tidsperiod har alla bakgrunds-nivåer över 41 dBA exkluderats från analysen. Det innebär att bakgrundskorrekturen blir mindre och att den korrigerade nivån som ska visa vindkraftljudet blir högre. Noterbart är att samtliga totalnivåer utan störningar ingår under mätperioden, totalt 28 mätvärden har exkluderats på grund av störningar. I figur 10 redovisas total ljudtrycksnivå och bakgrunds-nivå för detta fall, relaterat till vindhastigheten vid mätpunkten.

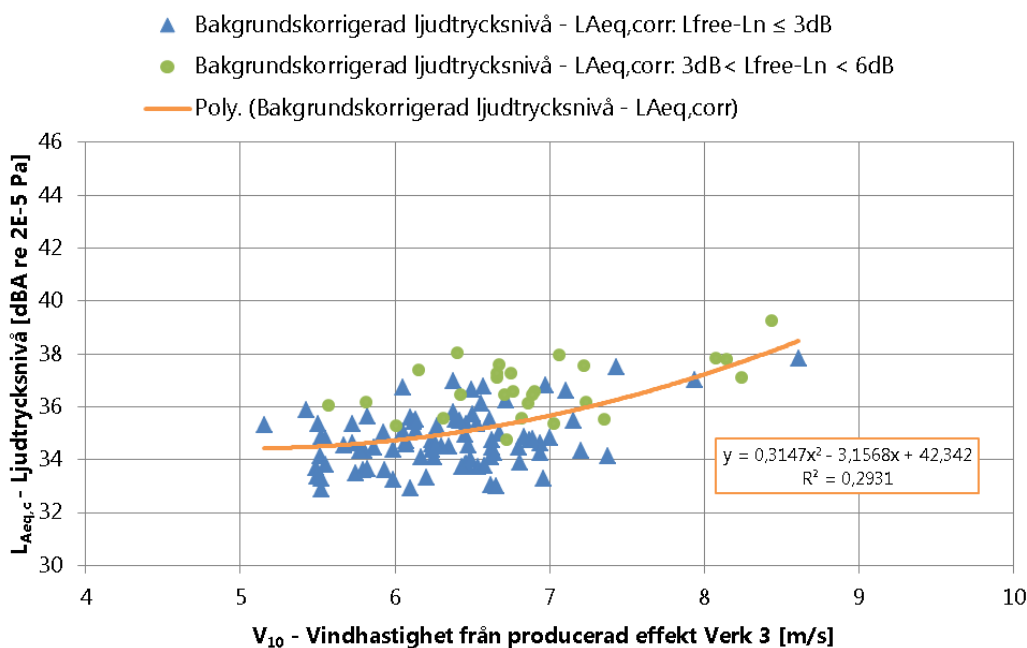
Total ljudtrycksnivå och bakgrunds-nivå



Figur 10. Total ljudnivå, L_{free}, och bakgrunds-nivå, L_n, i mät-punkt A, kl. 07.19-12.00.

Utifrån andra ordningens regressionskurva i figur 10 korrigeras den totala ljudnivån för bakgrunds-nivån och den korrigerade ekvivalenta ljudnivån, L_{Aeq,corr}, erhålls enligt tidigare beskrivning. De bakgrundskorrigerade nivåerna presenteras i figur 11.

Bakgrundskorrigerad ljudtrycksnivå



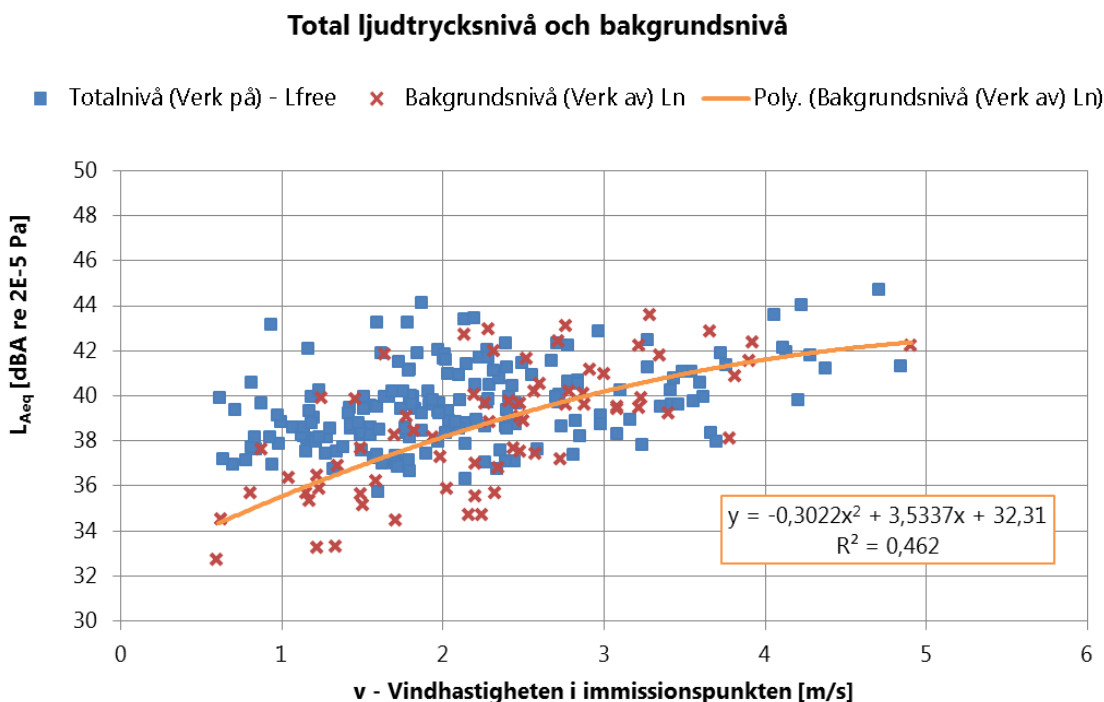
Figur 11. Korrigerad ljudnivå, L_{Aeq,corr}, i mät-punkt A, kl. 07.19-10.00.

I aktuellt fall är skillnaden mellan total ljudnivå och bakgrunds nivå mindre än 3 dB för 77 % av alla värden i mätpunkten. Det erhållna resultatet utgör således fortfarande en övre gräns för vindkraftsljudet och vid högre vindhastigheter är bakgrunds nivån fortfarande i storleksordning av totalnivån. Vår bedömning är dock att analys för denna begränsade tidsperiod ger en tydligare indikation på ljudnivån från vindbruksparken eftersom bakgrunds ljudet var lägre och vindkraftverken hördes tydligare.

Utifrån angivet polynom för regressionskurvan beräknas den ekvivalenta ljudnivån vid 8 m/s till 37 dBA i mätpunkten, vilket utgör en övre gräns av ljudet från vindkraftverken. Beräknad ljudnivå i mät punkt A är 37 dBA, mätresultatet indikerar således att beräkningsresultatet är korrekt.

4.2.2.2 Mät punkt D

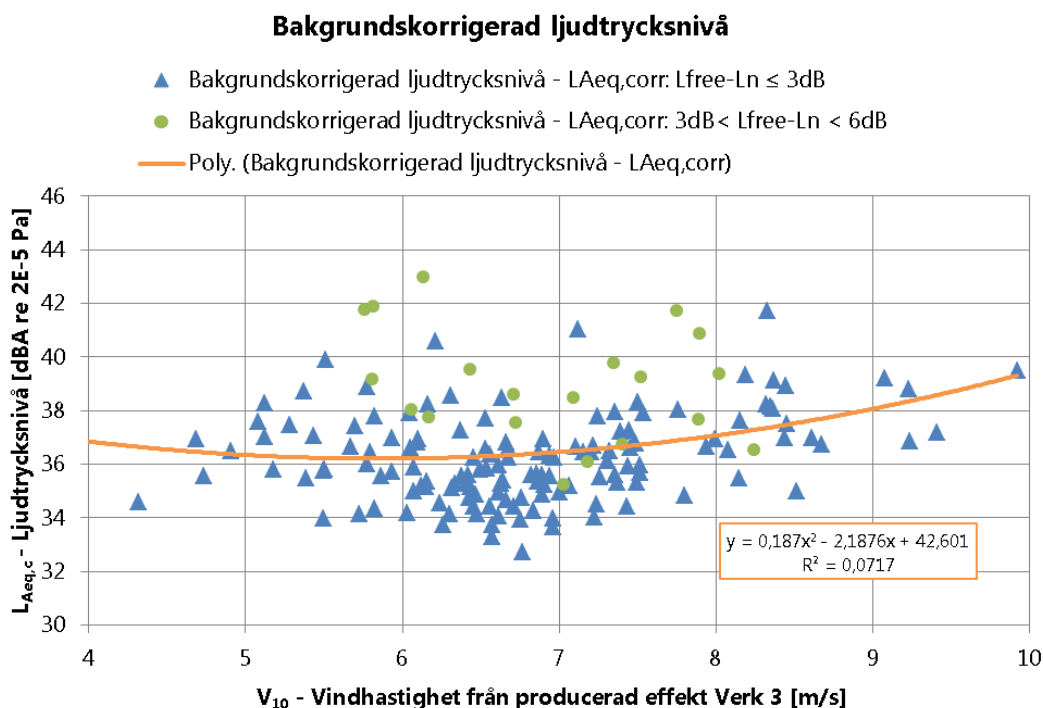
I figur 8 visas den totala ekvivalenta ljudnivån i mät punkten med vindkraftverken på, L_{free} , och bakgrunds nivån med vindkraftverken av, L_n , för hela mätperioden. En regression av andra ordningen utförs på bakgrunds nivån och tillhörande polynom redovisas i figuren. Total ljud (med verket på) och bakgrunds ljud (med verket av) har relaterats till vindhastighet uppmätt vid mät punkten A på 10 m höjd, se figur 12.



Figur 12. Total ljudnivå, L_{free} , och bakgrunds nivå, L_n , i mät punkt D.

Man kan notera att merparten av totalnivåerna, framförallt vid högre vindhastigheter är av samma storleksordning som bakgrunds ljudet. Det innebär att ljudet domineras av vindkraftsljud. För lägre vindhastigheter, under 2 m/s vid mät punkten, tenderar totalnivån att vara högre än bakgrunds nivån. Notera också att det är vindhastigheten vid mät punkten och inte vid vindkraftverken som visas i figuren. Med utgångspunkt i mätresultatet konstateras även att det vid mät tillfället inte är en låg bakgrunds nivå på grund av vindskyddat läge.

Utifrån andra ordningens regressionskurva i figur 12 korrigeras den totala ljudnivån för bakgrunds­nivån och den korrigerade ekvivalenta ljudnivån, $L_{Aeq,corr}$, erhålls. Den bakgrunds­korrigerade ljudnivån har därefter relaterats till vindhastigheten bestämd ur producerad elektrisk effekt från verk 3, i enlighet med [4]. Denna vindhastighet har sedan räknats om till 10 m höjd under en logaritmisk vindhastighet med referensmarkrålängd 0,05 m, vilket är ett avsteg från mätmetoden. Detta avsteg motsvarar dock Naturvårdsverkets nuvarande rekommendation. De bakgrunds­korrigerade nivåerna presenteras i figur 13.



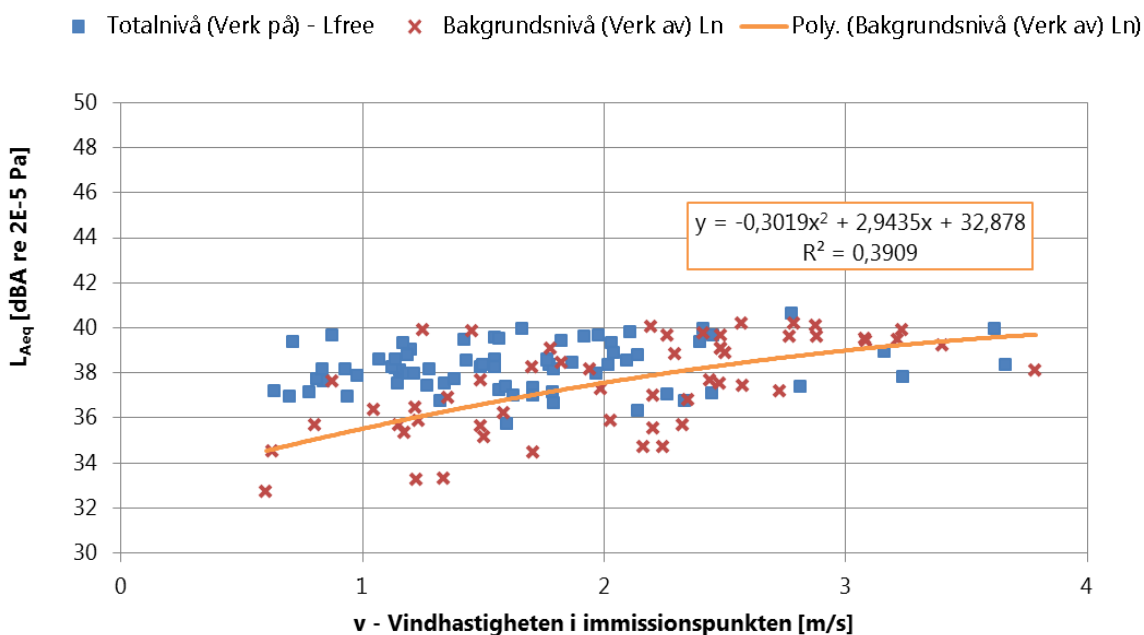
Figur 13. Korrigerad ljudnivå, $L_{Aeq,corr}$, i mät­punkt D.

Där skillnaden mellan total ljudnivå och regressions­kurvan för bakgrunds­nivå är mindre än 3 dB görs korrigeringen som $L_{free} - 3\text{ dB}$ enligt [4]. Den korrigerade ljudnivån utgör då en övre gräns för vindkraftljudet. I aktuellt fall är skillnaden mellan total ljudnivå och bakgrunds­nivå mindre än 3 dB för 88 % av alla värden i mät­punkten. Det erhållna resultatet utgör således en övre gräns för vindkraftljudet.

Utifrån angivet polynom för regressions­kurvan beräknas den ekvivalenta ljudnivån vid 8 m/s till 37 dBA i mät­punkten, vilket utgör en övre gräns av ljudet från vindkraftverken. Ljudet från vindkraftverken är dock troligtvis lägre då bakgrunds­nivåerna är höga.

En tydligare indikation av ljudnivån från enbart vindbruksparken kan fås om analysen görs för de lägre vindhastigheter med vindkraftverken i drift som rådde mellan kl 08.14-10.00. Notera att mätningen började senare i denna mät­punkt jämfört med mät­punkt A. För att få en representativ bakgrunds­nivå för denna tidsperiod har alla bakgrunds­nivåer under 41 dBA exkluderats från analysen. Det innebär att bakgrunds­korrektionen blir mindre och att den korrigerade nivå som ska visa vindkraftljudet blir högre. Noterbart är att samtliga totalnivåer utan störningar ingår under mät­perioden, totalt 16 mät­värden har exkluderats på grund av störningar. I figur 14 redovisas total ljudtrycks­nivå och bakgrunds­nivå för detta fall relaterat till vindhastigheten vid mät­punkten.

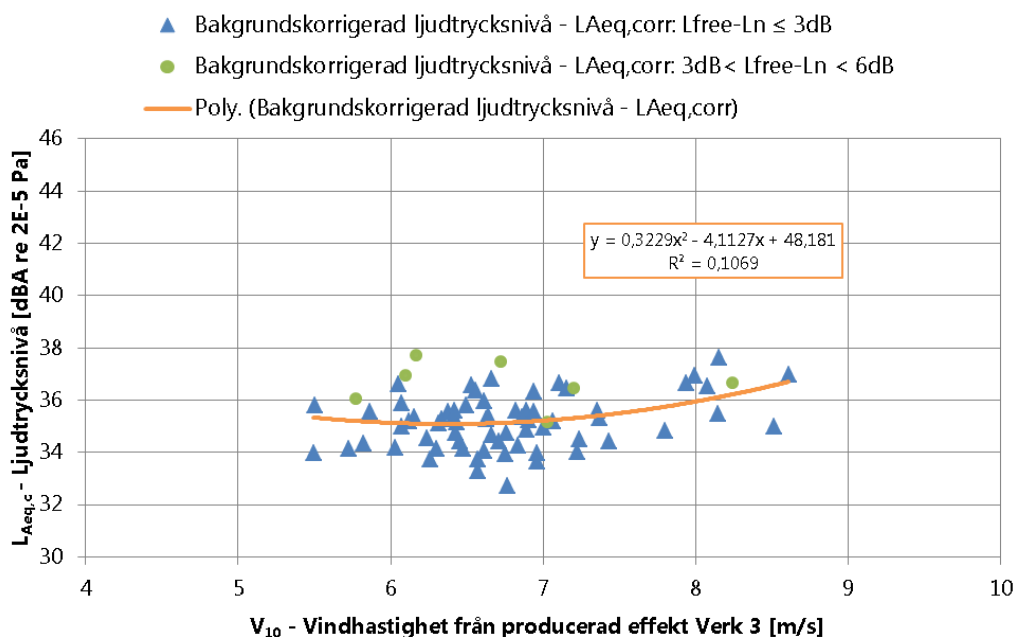
Total ljudtrycksnivå och bakgrundsnivå



Figur 14. Total ljudnivå, L_{free} , och bakgrundsnivå, L_n , i mät punkt D, kl. 08.14-12.00.

Utifrån andra ordningens regressionskurva i figur 14 korrigeras den totala ljudnivån för bakgrundsnivån och den korrigerade ekvivalenta ljudnivån, $L_{Aeq,corr}$, erhålls enligt tidigare beskrivning. De bakgrundskorrigerade nivåerna presenteras i figur 15.

Bakgrundskorrigerad ljudtrycksnivå



Figur 15. Korrigerad ljudnivå, $L_{Aeq,corr}$, i mät punkt D, kl. 08.14-10.00.

I aktuellt fall är skillnaden mellan total ljudnivå och bakgrunds nivå mindre än 3 dB för 92 % av alla värden i mätpunkten. Det erhållna resultatet utgör således fortfarande en övre gräns för vindkraftsljudet och vid högre vindhastigheter är bakgrunds nivån fortfarande i storleksordning av totalnivån. Vår bedömning är dock att analys för denna begränsade tidsperiod ger en tydligare indikation på ljudnivån från vindbruksparken, detta då bakgrunds nivån även här var lägre för denna tidsperiod och verken hördes tydligare.

Utifrån angivet polynom för regressionskurvan beräknas den ekvivalenta ljudnivån vid 8 m/s till 36 dBA i mätpunkten, vilket utgör en övre gräns av ljudet från vindkraftverken. Beräknad ljudnivå i mät punkt D är 35 dBA, mätresultatet indikerar således att beräkningsresultatet är korrekt.

4.3 Mätosäkerhet

Resultatet av de indikerande immissionsmätningarna är belagd med osäkerheter som har sina ursprung i variationer i omgivningen, väderförhållanden, mättiden och mätsystemet. Osäkerheten i uppmätta ljudtrycksnivåer uttrycks i en standardavvikelse s . Denna beräknas genom summation av olika bidrag. Systematiska avvikelser (kalibrering, mätmetod, etc.) uppskattas genom att anta jämn fördelning av resultatet orsakat av spridning i ett visst intervall av bredd a . Standardavvikelsen blir således uppskattat till $s_B = a / \sqrt{3}$. Även den naturliga spridningen av mätvärdena från olika tidsintervaller under mätningens utförande tas hänsyn till. I ett utkast på en ny utgåva av mätmetod för mätning av ljudimmission från vindkraft anger Sten Ljunggren (som tidigare har författat mätmetoden [4] som används i denna rapport) att det "inte finns tillräckligt med erfarenheter för att osäkerheten i ett mätresultat skall kunna uppskattas". Beräkningarna utförs därför enligt den metod som används i [3] som behandlar påverkan av osäkerhet i bakgrundsbulermätning som en systematisk avvikelse på ljudnivån som har korrigerats för bakgrundsbuler. Mätosäkerhetsanalysen görs för analysfallet med totalnivåer före kl. 10.00.

Tabell 9: Mätosäkerhetsanalys mät punkt A och mät punkt B.

Standardavvikelse för komponent		Standardavvikelse [dB]	
Bakgrundskorrigerade nivåer	$U_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y - y_{est})^2}{N - 2}}$	Mätpunkt A	Mätpunkt D
		2,3	2,1
Systematiska avvikelser		$s_B = a / \sqrt{3}$	
Kalibrering	U_{B1}	0,2	0,2
Kedja av alla mätinstrument	U_{B2}	0,2	0,2
Mätning i fritt fält	U_{B3}	0,3	0,3
Luftens akustiska impedans	U_{B4}	0,1	0,1
Meteorologiska variationer, bla. turbulens	U_{B5}	0,4	0,4
Vindhastighet beräknad ur producerad effekt	U_{B6}	0,6	0,6
Vindriktning	U_{B7}	0,3	0,3
Bakgrundsbuller	U_{B8}	[0,-∞]	[0,-∞]
Kombinerade systematiska osäkerheter	$U_B = \sqrt{U_{B1}^2 + U_{B2}^2 + ...}$	1,0	1,0
Alla osäkerheter kombinerade, metod enligt [IEC 61400-11].	$U_{tot} = \sqrt{U_A^2 + U_B^2}$	2,5	2,3

Tabell 9 ger en indikation på vilka storheter som inverkar på bestämningen av ljudimmissionsnivån. Mätinstrumenten i sig har mycket god precision. Osäkerheten för ljudnivån mätt med precisionsljudnivåmätaren är mindre än 0,2 dB. Eftersom bakgrunds ljudet på platsen är

ganska högt kan en undre gräns för osäkerheten inte anges. Mätosäkerheten anges därför som $+2,5/-\infty$ respektive $+2,3/-\infty$ för mätningen. Observera att det enligt praxis är det uppmätta värdet utan hänsyn till osäkerheten som ska jämföras mot riktvärdet.

4.4 Avsteg från mätstandarden

Dessa avsteg från mätstandarden har gjorts:

- Vindhastigheten har räknats ner från navhöjd till 10 m efter referensförhållanden istället för platsens faktiska förhållanden. Detta enligt Naturvårdsverkets rekommendation.
- Mätvärden med en, enligt mätstandarden, för hög positiv temperaturgradient har använts i analysen utöver de mätvärden i tillåtet intervall för temperaturgradienten. En hög positiv temperaturgradient kan teoretiskt ge en högre ljudnivå.
- För mätpunkt D användes ej driftsdata från det närmaste verket, verk 2, utan data från verk 3 har använts i analysen. Detta då driftsdata för producerad elektrisk effekt för verk 2 endast loggades för halva mätperioden. Verk 3 ligger cirka 60 m längre bort från mätpunkt D jämfört med verk 2. Detta påverkar ej de uppmätta ljudnivåerna men kan förskjuta de redovisade mätvärdena upp eller ner i vindhastighet. Då vindkraftverken ligger på liknande avstånd från mätpunkt D bedöms dock inverkan som liten.

5 Avsteg från mätprogrammet

Dessa avsteg från mätprogrammet har gjorts:

- Mätpunkt A har flyttats för att reducera bakgrundsnoise samt ge fri sikt mot flera av vindkraftverken.
- Mätning av både totalnivå (vindkraftverken på) samt bakgrundsnoise (vindkraftverken av) har gjorts under betydligt längre tid än vad som angetts i mätprogrammet.
- Mätning vid ytterligare en mätpunkt har utförts, mätpunkt D, efter önskemål från närboende och Miljö- och hälsoskyddskontoret.

6 Diskussion

6.1 Kommentarer uppmätta och beräknade ljudtrycksnivåer

Ljudimmissionsmätningarna har utförts enligt metod C i mätmetod Elforsk rapport 98:24 (1), vilken anvisas av Naturvårdsverket för kontroll av ljudimmission från vindkraft. På grund av den höga bakgrundsnoise går det dock inte, enligt mätmetoden, att entydigt bestämma ljudnivån från vindbruksparken i någon av mätpunkterna. Däremot kan en övre gräns av ljudnivån fastställas, vilken är 37 dBA i mätpunkt A och 36 dBA i mätpunkt D, om analysen görs för en begränsad del av den totala mättiden. Ljudnivån orsakad av enbart vindkraftverken är dock sannolikt lägre. De indikerande immissionsmätningarna indikerar dock att beräkningsresultatet är korrekt då skillnaden är mindre än 1 decibel vid jämförelse mot mätresultatet. Bedömningen som Miljö- och hälsoskyddsnämnden har gjort i föreläggandet ser därtill ut att stämma, d.v.s. att de båda metoderna ger likartat resultat.

7 Slutsatser

Kontrollen av ljudimmission från vindbrukspark Karsholm, redovisad i sammanfattning i denna rapport, visar att riktvärdet 40 dBA utomhus vid bostad innehålls för samtliga närliggande



fastigheter med minst 2 decibels marginal. De indikerande immissionsmätningarna och ljudimmissionsberäkningarna visar på ett samstämmigt resultat. Utifrån mätresultatet konstateras att det ej, vid mättillfället, var mycket låg bakgrunds nivå på grund av vindskyddat läge. Subjektivt var dock vindkraftljudet tydligt hörbart vid de lägre vindhastigheter som förelåg tidigt på morgonen. Det är enligt uppgift också då som flest klagomål har inkommit från närboende, vilket kan vara en förklaring till detta.

8 Referenser

- [1] Miljö och hälsoskyddskontoret Kristianstads kommun, Beslut om föreläggande angående bullerutredning, Dnr. 2012-001717, 2013-04-12
- [2] Appelqvist, P, 579309 PM01 Förslag mätprogram Karsholm vindbrukspark 130626, ÅF-Infrastructure AB,, 2013-06-26
- [3] IEC 61400-11 Edition 2.1 "Wind turbine generator systems - Part 11: Acoustic noise measurement techniques", International Electrotechnical Commission, Geneve, 2006-11
- [4] Ljungren, Sten, Elforsk rapport 98:24 - Mätning av bullerimmission från vindkraftverk, Energimyndigheten, 1998
- [5] Fredriksson, J och Appelqvist, P, 584685 Rapport A Emissionsmätning Karsholm vkv1 130917, ÅF-Infrastructure AB, 2013-09-17
- [6] Fredriksson, J och Appelqvist, P, 584685 Rapport B Emissionsmätning Karsholm vkv5 130917, ÅF-Infrastructure AB, 2013-09-17
- [7] Fredriksson, J och Appelqvist, P, 584685 Ljudimmissionsberäkning Vindbrukspark Karsholm 130917, ÅF-Infrastructure AB, 2013-09-17
- [8] PSO-07 F & U project no 7389. Noise and energy optimization of wind farms. Validation of the Nord2000 propagation model for use on wind turbine noise.", Delta, rapport AV 1236/09 Hörsholm, Danmark, 2009



Bilaga 1. Ljudkarta

