



RAPPORT

1 (27)

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

Datum
2013-09-24

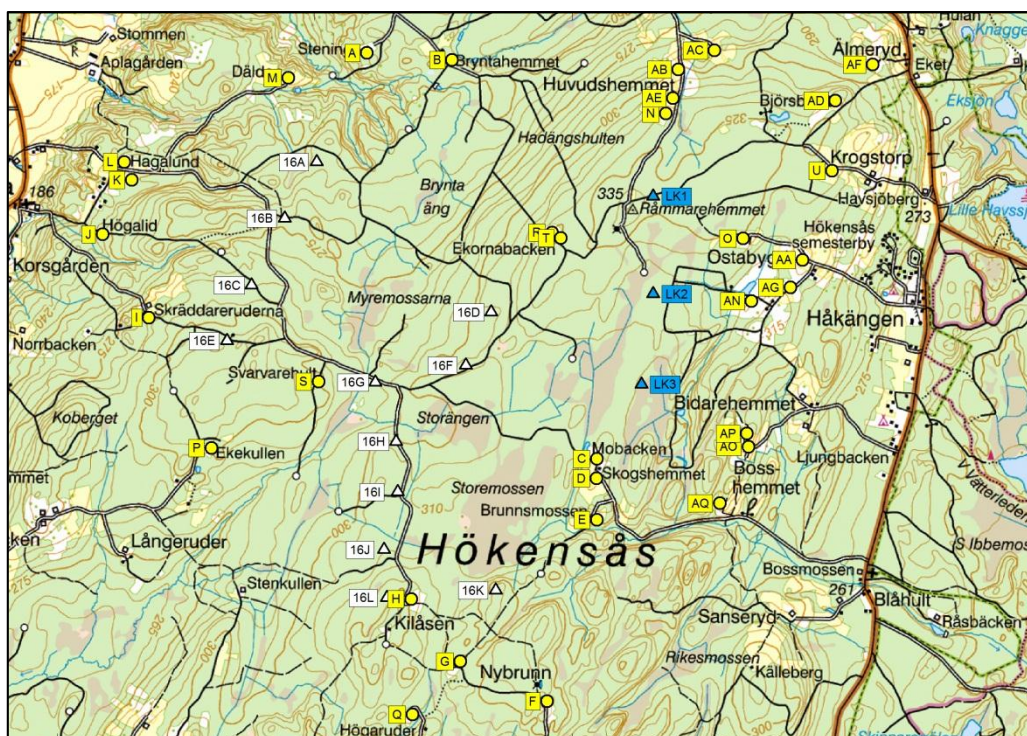
Kund
Vattenfall Vindkraft AB
Att: Sara Arvidsson

Uppdragsnr
564386

Rapport nr 564386 Rapport A

Vindkraftpark Velinga, Tidaholms kommun

Beräkning av ljudfördelning enligt SLS-metoden, ljudimmission utomhus samt lågfrekvent ljud inomhus för vindkraftpark Velinga



ÅF-Infrastructure AB
Ljud och Vibrationer

Granskad

Paul Appelqvist

Martin Almgren



Sammanfattning

Vattenfall Vindkraft AB projekterar för en vindkraftpark, Velinga, i Tidaholms kommun om 12 st vindkraftverk. I samband med tillståndsprocessen har bolaget fått två förelägganden om kompletteringar från miljöprövningsdelegationen vid Länsstyrelsen i Västra Götalands län, föreläggande 1 med diarienummer 551-17496-2012 och datum 2013-01-29 samt föreläggande 2 med diarienummer 551-17495-2012 och datum 2013-04-15. ÅF har på uppdrag av bolaget utrett tre kompletteringspunkter rörande ljud. För en av kompletteringspunkterna, ljudfördelning enligt SLS-metoden, har samordning skett med närliggande vindkraftprojekt, projektör Lars Källner.

Följande beräkningar har utförts och redovisas i rapporten, vilka behandlar punkt 13-14 i kompletteringsföreläggande 1 och punkt 2 i kompletteringsföreläggande 2:

1. Beräkning av ljudfördelning enligt SLS-metoden för att kumulativt, med vindkraftpark Velinga och vindkraftpark Lars Källner, innehålla 40 dBA vid samtliga närliggande bostäder. Beräkningen utförs för två beräkningsfall "Parklayouter Vattenfall Alt 16 och Lars Källner 3 verk" och "Parklayouter Vattenfall Alt 15 och Lars Källner 4 verk", i rapporten och bilagor kallade Fall 1 och Fall 2. Det andra beräkningsfallet förutsätter att ytterligare fastigheter köps loss av Vattenfall.
2. Beräkning av ljudimmission för vindkraftpark Velinga och vindkraftpark Lars Källner, för respektive beräkningsfall och parklayout, för att enskilt innehålla 40 dBA.
3. Beräkning av ljudimmission för vindkraftpark Velinga och vindkraftpark Lars Källner, för respektive beräkningsfall och parklayout, för att innehålla SLS-fördelningen enligt punkt 1.
4. Beräkning av lågfrekvent ljud inomhus, kumulativt för respektive beräkningsfall, efter ljudreglering mot SLS-fördelning.

Beräkningarna är utförda med beräkningsmodellen Nord2000 för ett medvindfall då det blåser 8 m/s på 10 m höjd, i enlighet med Naturvårdsverkets rekommenderade praxis. Ljudeffektnivå och frekvensspektrum för det exemplifierade vindkraftverket, Siemens SWT-3.0-113 3MW med totalhöjd 179 m, härrör från leverantörens dokumentation vilken tillhandahållits av Vattenfall.

Utifrån SLS-fördelningen för respektive beräkningsfall görs en ljudreglering, nedreglering av ett antal vindkraftverk, av vindkraftpark Velinga och vindkraftpark Lars Källner. Efter ljudregleringen innehålls Naturvårdsverkets rekommenderade riktvärde, ekvivalent ljudnivå 40 dBA, kumulativt för båda vindkraftparkerna.

Som skyddsåtgärd har inget vindkraftverk ljudreglerats till den lägsta reglerinställningen. Detta ger marginal och samtliga vindkraftverk kan ljudregleras med ytterligare minst 2 decibel för det första beräkningsfallet och 1 decibel för det andra beräkningsfallet, i det fall vindkraftparkerna ej innehåller riktvärdet vid kontroll efter byggnation. Om endast en av vindkraftparkerna byggs kan vindkraftverken ljudregleras upp mer.

Beräkning av lågfrekvent ljud, kumulativt för båda beräkningsfallen efter ljudreglering mot SLS-fördelningen, har utförts detaljerat för de fem ljudkänsliga punkter med högst beräknad ekvivalent ljudnivå. Beräkningarna visar att Socialstyrelsens riktvärden i SOSFS 2005:6 för lågfrekvent ljud inomhus innehålls för dessa punkter. En översiktlig kontroll av låga frekvenser har utförts även för övriga ljudkänsliga punkterna. Denna översiktliga kontroll visar att samtliga ljudkänsliga punkter innehåller riktvärderna, i båda beräkningsfallen.



Innehållsförteckning

1	BAKGRUND.....	4
2	UPPDRAG.....	4
3	BERÄKNINGSMETODER.....	4
3.1	Metodbeskrivning SLS-metoden.....	4
3.2	Beräkningsmetod ljudimmission.....	6
3.1.1	Kommentarer till beräkningsmodellen Nord2000.....	6
3.1.2	Beräkningsmodellens osäkerhet.....	7
3.3	Beräkningsmetod lågfrekvent ljud.....	8
3.1.3	Kommentarer lågfrekvent ljud och infraljud.....	9
4	UNDERLAG TILL BERÄKNING.....	10
4.1	Beräkningsfall.....	10
4.2	Indata till beräkningarna.....	12
5	RESULTAT.....	13
5.1	Ljutfördelning enligt SLS-metoden.....	13
5.2	Resultat ljudimmission.....	15
5.2.1	Resultat punkt 2 – Ljudreglering för att innehålla 40 dBA enskilt – Ingångsvärden för beräkning av SLS-fördelning.....	16
5.2.2	Resultat punkt 3 – Ljudreglering för att innehålla ljudkrav i SLS-fördelningen....	18
5.3	Resultat beräkning lågfrekvent ljud.....	21
5.3.1	Resultat – Fall 1.....	21
5.3.2	Resultat – Fall 2.....	23
5.3.3	Kommentarer.....	25
6	MARGINAL.....	25
7	SKYDDÅTGÄRDER.....	27
8	CITERADE ARBETEN.....	27

Bilagor

564386 A01-A02 Beräkning av SLS-fördelning (1)

564386 B01-B06 Ljudimmissionsberäkning – Ljudreglering mot SLS-fördelning (2)

564386 C01-C02 Lågfrekvensberäkning (3)



1 Bakgrund

Vattenfall Vindkraft AB projekterar för en vindkraftpark, Velinga, i Tidaholms kommun om 12 st vindkraftverk. I samband med tillståndsprocessen har bolaget fått två förelägganden om kompletteringar från miljöprövningsdelegationen vid Länsstyrelsen i Västra Götalands län, föreläggande 1 med diarienummer 551-17496-2012 och datum 2013-01-29 (4) samt föreläggande 2 med diarienummer 551-17495-2012 och datum 2013-04-15 (5). ÅF har på uppdrag av bolaget utrett tre kompletteringspunkter rörande ljud. För en av kompletteringspunkterna, ljudfördelning enligt SLS-metoden, har samordning skett med närliggande vindkraftprojekt, projektör Lars Källner.

2 Uppdrag

ÅF Ljud och Vibrationer har uppdragits av Vattenfall Vindkraft AB att utreda följande:

1. Beräkning av ljudfördelning enligt SLS-metoden för att kumulativt, med vindkraftpark Velinga och vindkraftpark Lars Källner, innehålla 40 dBA vid samtliga närliggande bostäder. Beräkningen utförs för två beräkningsfall "Parklayouter Vattenfall Alt 16 och Lars Källner 3 verk" och "Parklayouter Vattenfall Alt 15 och Lars Källner 4 verk". Beräkningsfallen benämns fortsättningsvis Fall 1 och Fall 2. Fall 2 förutsätter att ytterligare fastigheter löses in av Vattenfall.
2. Beräkning av ljudimmission för vindkraftpark Velinga och vindkraftpark Lars Källner, för respektive beräkningsfall och parklayout, för att enskilt innehålla 40 dBA.
3. Beräkning av ljudimmission för vindkraftpark Velinga och vindkraftpark Lars Källner, för respektive beräkningsfall och parklayout, för att innehålla SLS-fördelningen enligt punkt 1.
4. Beräkning av lågfrekvent ljud inomhus, kumulativt för respektive beräkningsfall, efter ljudreglering mot SLS-fördelning.

Dessa punkter bedöms besvara punkt 13-14 i kompletteringsföreläggandet 1 och punkt 2 i kompletteringsföreläggande 2. I nästföljande avsnitt beskrivs använda beräkningsmetoder.

3 Beräkningsmetoder

3.1 Metodbeskrivning SLS-metoden

SLS-metoden är en metod för ljudfördelning för att kumulativt innehålla riktvärdet 40 dBA för projektområden med flera närliggande vindkraftparker. Metoden har utvecklats av ÅF och använts i ett flertal projekt med gott resultat och ska framförallt ses som ett verktyg för vindkraftprojektörer att komma överens om fördelning av ljudbidragen den kumulativa ljudnivån.

Grundprincipen för SLS-metoden är att ingen ljudkänslig punkt ska få en ljudnivå över 40 dBA, det riktvärde som fastställts som praxis i ett antal domar och rekommenderas av Naturvårdsverket, oavsett hur många vindkraftparker som finns eller planeras i omgivningen. Normalt förfarande vid vindkraftprojektering är att projektören gör beräkningar för att innehålla riktvärdet 40 dBA i alla ljudkänsliga punkter. Om två närliggande vindkraftparker avger 40 dBA var, det vill säga den procentuella fördelningen är 50 procent per vindkraftpark, kan den totala ljudnivån bli 43 dBA i någon ljudkänslig punkt. Detta eftersom två lika stora ljudnivåer ger en ökning med 3 dBA. För att det totala ljudbidraget ska bli 40 dBA kan vardera vindkraftpark tillåtas ge en ljudnivå på högst 37 dBA, beräknat utifrån tidigare procentuell fördelning om 50



procent per vindkraftpark. Enligt denna princip sker fördelningen med SLS-metoden. Se även exempel i tabell 3.1.

Tabell 3.1. Principiell fördelning av ljudnivåer med SLS-metoden

Ursprungligt bidrag		Totalt	Procentuell fördelning		Nytt bidrag för att innehålla 40 dBA enligt procentuell fördelning	
Projektör 1	Projektör 2		Projektör 1	Projektör 2	Projektör 1	Projektör 2
37 dBA	38 dBA	40,5 dBA	44,3%	55,7%	36,5 dBA	37,5 dBA

Notera att det procentuella bidraget beräknas med hänsyn till att ljudnivån är en logaritmisk skala.

Nedan beskrivs metoden stegvis:

1 - Urval av vindkraftparker

Om en vindkraftpark tillsammans med en eller flera närliggande vindkraftparker bedöms avge en kumulativ ljudnivå över 40 dBA bör den ingå i ljudfördelningen.

2 - Parklayout för fördelning

Som parklayout vid fördelningen bör varje projektör ange en layout där de innehåller högst 40 dBA i alla ljudkänsliga punkter och där ingen hänsyn har tagits till intilliggande vindkraftparker. Därefter görs en kumulativ beräkning med samtliga vindkraftparker. I de beräkningspunkter där ljudnivån blir högre än 40 dBA ska reducering av ljudbidragen ske till fördelad ljudnivå i steg 7.

3 - Urval av ljudkänsliga punkter

Om antalet ljudkänsliga punkter är stort kan fördelningen förenklas av att ett representativt urval av ljudkänsliga punkter görs, så att även övriga ljudkänsliga punkter innehåller 40 dBA. I aktuellt fall används alla identifierade ljudkänsliga punkter i beräkningen.

4 - Ingångsdata och beräkningsmodell

Ljudeffektdata samt navhöjd för vindkraftverken i respektive vindkraftpark ansätts, se avsnitt 4.2. I övrigt utförs beräkningarna med Nord2000 enligt beskrivning i avsnitt 3.2.

5 - Procentuell fördelning

Procentuell fördelning utförs för att innehålla den sammanlagrade ljudnivån 40 dBA i alla ljudkänsliga punkter.

6 - Omfördelning vid begränsad ljudnivå

Vid stora avstånd till ljudkänsliga punkter blir ljudnivån låg och påverkar ej den sammanlagrade ljudnivån. Om så är fallet justeras de fördelade procentsatserna i dessa ljudkänsliga punkter utifrån följande princip. För ljudnivåer ≤ 30 dBA sätts den procentuella fördelningen till 0 procent och fördelningen av ljudnivån till 30 dBA, bidraget behöver således ej beaktas. Därefter beräknas en ny procentuell fördelning så att övriga vindkraftparker's procentuella fördelning justeras till 100 procent, i aktuellt fall 40 dBA. Detta ger en sammanlagrad ljudnivå på högst 40 dBA.

7 - Fördelning

Utifrån ovan angivna förutsättningar görs fördelningen av ljudnivåer, SLS-fördelning, för de två beräkningsfallen Fall 1 och Fall 2, se avsnitt 5.1 och (1).



8 - Justering mot fördelad ljudnivå

Då fördelningen fastställts kan beräkningar för ljudreglering till fördelad ljudnivå utföras med Naturvårdsverkets beräkningsmodell, Nord2000 eller annan av Naturvårdsverket rekommenderad beräkningsmodell. Fördelningen är oberoende av framtida val av verktyg och placering.

Utifrån denna SLS-metod har fördelningen av det kumulativa ljudutrymmet för vindkraftpark Velinga och vindkraftpark Lars Källner skett. Arbetet har utförts i samverkan med de båda projektörerna och ett möte hölls 2013-05-20 för samordning av beräkningarna. Slutgiltiga parklayouts för beräkningarna i denna rapport har meddelats ÅF av Vattenfall Vindkraft AB. Alla beräkningar för SLS-fördelningen har utförts med beräkningsmodellen Nord2000.

3.2 Beräkningsmetod ljudimmission

Vid beräkningen utgår man från hur mycket ljud som alstras från varje vindkraftverk. Källjudet modelleras som en punktkälla vid navhöjd utgående från ljuddata erhållen från verksleverantören.

Beräkningen tar vidare hänsyn till hur ljudenergin tunnas ut då den sprids över en allt större yta då avståndet ökar, ljudabsorption i luften, ljudreflektion från marken och eventuell skärmning av kullar. Beräkningen tar också hänsyn till vindriktningen. Ljudnivån nedströms verket, dvs. då det blåser från verket till en bostad blir nästan alltid högre än när det blåser åt andra hållet. Beräkningarna är utförda för fallet att det blåser medvind från respektive verk till varje ljudkänslig punkt, samtidigt. Det fallet kan inte inträffa, vilket innebär att ljudnivån i verkligheten bör bli lägre. Beräkningen har gjorts med beräkningsmodellen Nord2000, en modell gemensamt framtagen av de nordiska länderna, som rekommenderas av Naturvårdsverket för detaljerade beräkningar av ljud från vindkraft (6) och numera även av finska myndigheter.

Beräkningarna utförs baserat på ljuddata erhållna från verksleverantören. Den resulterande ljudtrycksnivån i de ljudkänsliga punkterna kan därmed beräknas. I utförda beräkningar ingår vindkraftpark Velinga och vindkraftpark Lars Källner.

Som underlag till beräkningarna har digitalt höjdmateriale erhållet från Vattenfall Vindkraft AB 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, dBC samt ovägt i tersband (1/3-oktavband) beräknats.

3.1.1 Kommentarer till beräkningsmodellen Nord2000

Fördelen med beräkningsmodellen Nord2000 är att den är mer detaljerad jämfört med Naturvårdsverkets beräkningsmodell för planeringsändamål. Naturvårdsverket rekommenderar Nord2000 för mer detaljerade beräkningar i dess vägledning *Mätning och beräkning av ljud från vindkraft* (6) där man skriver följande:

"Det finns även mer detaljerade beräkningsmodeller, t ex Nord 2000, där hänsyn tas till många parametrar. Men det kräver också att flera data tas fram för beräkningarna, vilket kan vara omständligt att få fram och kräver kompetens och erfarenhet. Det har också visat sig att de enklare modellerna normalt ger beräkningsresultat med god noggrannhet, åtminstone när det gäller etableringar på land."

ÅF Ljud och Vibrationer har gjort beräkningar med Nord2000 i hundratals vindkraftprojekt och besitter de kunskaper som krävs för att utföra korrekta beräkningar. Ett antal av våra beräkningar har även granskats och godkänts för bedömning av domstolar, se t.ex. dom mål nr



M 8236-12 i Svea Hovrätt av Mark- och miljööverdomstolen där beräkningsmodellen Nord2000 nämns explicit (7).

3.1.2 Beräkningsmodellens osäkerhet

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 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 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. Rapporten heter "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." (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 god 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 bedöms osäkerheten för ett 90-procentigt konfidensintervall till ± 2 dB. Enligt praxis ska dock det beräknade värdet utan hänsyn till osäkerheten användas för bedömning mot riktvärdet.

3.3 Beräkningsmetod lågfrekvent ljud

Det finns i dagsläget inget specifikt riktvärde gällande lågfrekvent ljud och vindkraft. I Naturvårdsverkets rekommendationer rörande lågfrekvent ljud (9), sägs att:

" Naturvårdsverket anser därför att man vid de större verken bör beakta och följa upp lågfrekvent ljud. Ett sätt att ganska enkelt bedöma om det förekommer lågfrekvent ljud, är att ta reda på skillnaden mellan A-vägt (se under Mer information) och C-vägt ljud. Det är sannolikt inget problem om den A-vägda nivån är klart under riktvärdet samtidigt som skillnaden mellan det C-vägda och A-vägda värdet är mindre än cirka 20 dB. Om det däremot skiljer mer bör man göra en mer noggrann mätning. Socialstyrelsen har gett ut allmänna råd som bland annat innehåller riktvärden för lågfrekvent buller inomhus."

En bra utgångspunkt utifrån dessa rekommendationer är därvid att undersöka skillnaden mellan A-vägt och C-vägt ljud, vilket om vindparken ej är uppförd bör göras genom beräkningar. Detta kan i beräkningsmodellen Nord2000 utföras med beräkningar utgående från vindkraftverkets källljud i 1/3- oktavband, även kallat tersband. Om tersband ej finns tillgängligt för verktypen kan beräkning utföras för oktavband, där varje oktavband fördelas på tre tersband. Detta ger dock en större osäkerhet på resultatet. Om skillnaden mellan det beräknade A-vägda och C-vägda ljudet är större än 20 dB eller om skillnaden är nära 20 dB och den ekvivalenta ljudnivån är kring riktvärdet 40 dBA bör en vidare undersökning utföras.

I Sverige har Socialstyrelsen, i SOSFS 2005:6, angett riktvärden för lågfrekvent ljud inomhus (10), inget riktvärde finns i dagsläget utomhus. Riktvärdena anges som ljudnivån per tersband mellan frekvenserna 31.5 och 200 Hz, se tabell 3.2. I rapport "Kunskapssammanställning om infra- och lågfrekvent ljud från vindkraftsanläggningar: Exponering och hälsoeffekter" (11), som Naturvårdsverket låtit sammanställa, sägs att det är dessa riktvärden som bör ligga till grund för om en vindpark klarar det lågfrekventa ljudet vid bostäder eller ej. Bedömningen i denna rapport görs utifrån dessa riktvärden.

**Tabell 3.2. Riktvärden för lågfrekvent ljud enligt SOSFS 2005:6 (8).**

Frekvens (Hz)	Ljudtrycksnivå (dB)
31,5	56
40	49
50	43
63	41,5
80	40
100	38
125	36
160	34
200	32

Ljudnivån inomhus beräknas i tersband genom antagandet av en fasaddämpning enligt tabell 3.3. 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.

Tabell 3.3. 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

Mätningarna som ligger till grund för Hoffmeyer och Jakobsens artikel har kritiserats för att ge för hög fasaddämpning, se Møller et al. i referens (13).

3.1.3 Kommentarer lågfrekvent ljud och infraljud

Infraljud och lågfrekvent ljud från vindkraft väcker ofta oro hos boende kring planerade och befintliga vindkraftparker. Infraljud brukar definieras som ljud mellan frekvenserna 1 och 20 Hz och lågfrekvent ljud som ljud mellan frekvenserna 20 och 200 Hz. Naturvårdsverket har låtit göra en kunskapsställning gällande infraljud och lågfrekventljud från vindkraftanläggningar. Studien är sammanställd av några av Sveriges främsta forskare inom akustik och miljömedicin och finns i en reviderad slutversion daterad 2011-11-28 (11).

När det gäller infraljud säger denna rapport följande:

Infraljud (1–20 Hz) från vindkraftverk är inte hörbart på nära håll och än mindre på de avstånd där bostäder är belägna. Det finns inga belägg för att infraljud vid dessa nivåer bidrar till bullerstörning eller har andra hälsoeffekter.

Utifrån dagens kunskapsläge finns det således ingen forskning som tyder på att infraljud är ett problem kring vindparker.

När det gäller lågfrekvent ljud så finns det enligt rapporten inget som särskiljer ljud från vindkraft från andra ljudkällor i samhället. I Naturvårdsverkets rapport står:

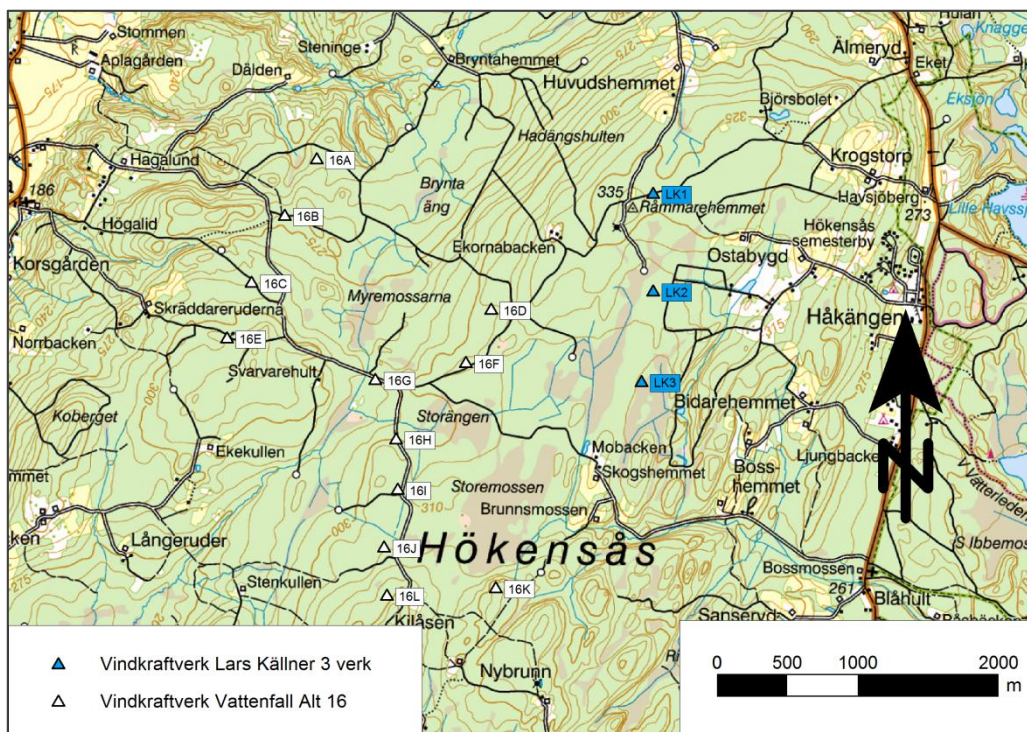
Lågfrekvent ljud (20–200 Hz) från moderna vindkraftsverk är ofta hörbart vid gällande riktvärden för bostäder, men vindkraftsbullret har inte större innehåll av lågfrekvent ljud än andra vanliga bullerkällor vid deras riktvärden, till exempel buller från vägtrafik. Större vindkraftverk genererar förhållandevis mer lågfrekvent ljud än mindre vindkraftverk, även med hänsyn taget till total ljudnivå. Med allt större vindkraftverk kommer därför andelen lågfrekvensljud i vindkraftsbullret att öka något. Förutsatt att riktvärdet utomhus vid bostadens fasad, 40 dBA, och Socialstyrelsens riktvärden för lågfrekvent buller inomhus är uppfyllda är det dock inte troligt att allvarliga störningar till följd av lågfrekvensbuller från vindkraft är att vänta i framtiden.

Enligt den forskning som finns tillgänglig idag kring lågfrekvent ljud föreligger således ingen risk för allvarliga störningar av lågfrekvent ljud från vindkraft, varken i nuläget eller i framtiden. Detta förutsatt att de föreskrivna riktvärdena efterföljs.

4 Underlag till beräkning

4.1 Beräkningsfall

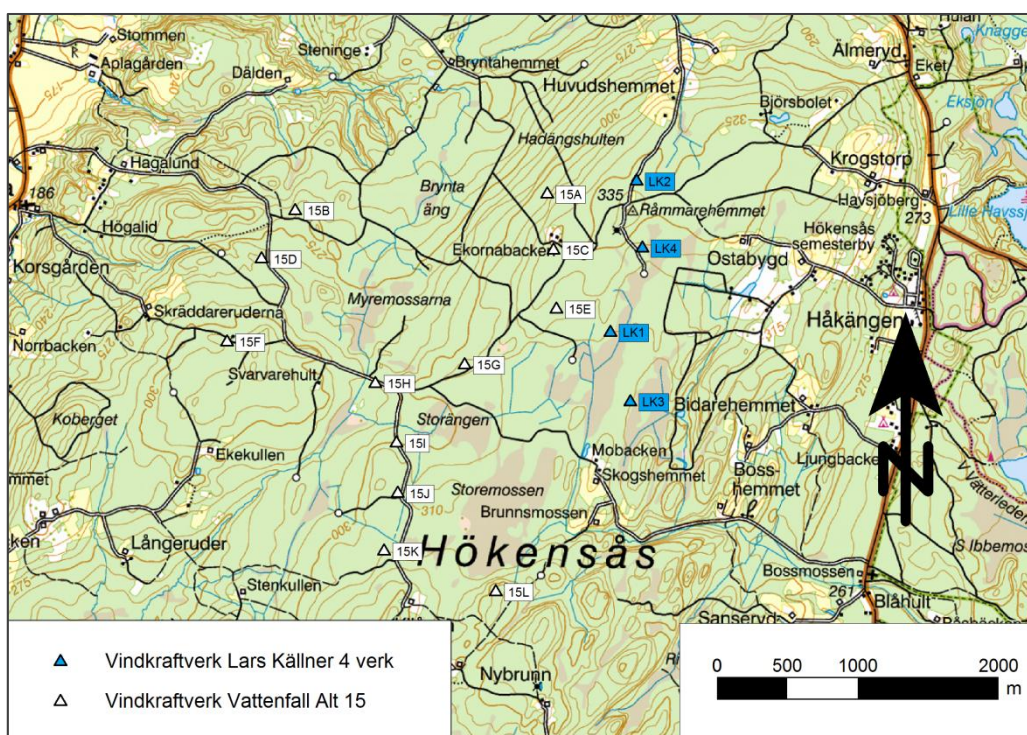
Beräkningarna utförs för två beräkningsfall, Fall 1 och Fall 2, enligt benämning i avsnitt 2. Parklayouterna har erhållits av Vattenfall Vindkraft AB. Samtliga beräkningar utförs för båda beräkningsfallen vilka redovisas i figur 4.1-4.2 samt tabell 4.1-4.2. Noterbart är att i Fall 1 har två fastigheter köpts upp av Vattenfall och i Fall 2 förutsätts att ytterligare två fastigheter köps upp av Vattenfall.



Figur 4.1. Placering vindkraftverk Fall 1

Tabell 4.1. Verkspositioner Fall 1

Vattenfall - Alt 16			Lars Källner - 3 verk		
Vindkraftverk	X	Y	Vindkraftverk	X	Y
16A	1393673	6443892	LK1	1396062	6443648
16B	1393443	6443491	LK2	1396062	6442953
16C	1393209	6443015	LK3	1395981	6442311
16D	1394911	6442823			
16E	1393034	6442621			
16F	1394731	6442445			
16G	1394088	6442326			
16H	1394235	6441904			
16I	1394246	6441546			
16J	1394149	6441135			
16K	1394945	6440846			
16L	1394169	6440795			



Figur 4.2. Placering vindkraftverk Fall 2

Tabell 4.2. Verkspositioner Fall 2

Vattenfall - Alt 15			Lars Källner - 4 verk		
Vindkraftverk	X	Y	Vindkraftverk	X	Y
15A	1395310	6443670	LK1	1395758	6442689
15B	1393518	6443553	LK2	1395943	6443761
15C	1395354	6443274	LK3	1395899	6442196
15D	1393280	6443210	LK4	1395985	6443286
15E	1395376	6442854			
15F	1393034	6442621			
15G	1394723	6442459			
15H	1394088	6442326			
15I	1394238	6441903			
15J	1394246	6441546			
15K	1394149	6441135			
15L	1394945	6440846			

4.2 Indata till beräkningarna

Följande indata ligger till grund för beräkningarna:

- För beräkning med Nord2000 har luftfuktigheten RH 70 %, temperaturen 15°C samt lufttrycket 1013,25 mbar ansatts. Detta motsvarar standardiserade meteorologiska värden enligt ISA-standard, International Standard Atmosphere vilket brukar vara praxis vid bullerberäkningar. Värdena är en bra kompromiss som ger låg ljuddämpning vid ljudutbredning. Vid ljudutbredningsberäkning till bostäder har vindhastigheten 8 m/s och medvind använts enligt praxis.
- Den geografiska modellen i SoundPLAN är uppbyggd med höjddata erhållen från Vattenfall Vindkraft AB. Modellen tar hänsyn till höjdskillnader i terrängen. Beräkningen är gjord för 1,5 m mottagarhöjd.
- Markråhetslängden z_0 har ansatts till 0,3 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 uncompact ground* och för vatten klass G, *hard 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 har satts till +0,05 °/m vilket innebär måttlig temperaturinversion. Vid immissionsmätning vid bostad (enligt Elforsk 98:24) (14) får temperaturgradienten ej överstiga +0,05 °/m. Positiv temperaturgradient ger generellt sett högre ljudnivåer.
- Verkens placering och benämning anges i tabell 4.1- 4.2, figur 4.1-4.2 samt i (2).
- I beräkningarna använda ljudeffektnivåer och frekvensspektrum anges i (2). Alla verk i beräkningarna är av typen Siemens SWT-3.0-113 3 MW med totalhöjd 179 m (rotordiameter 113 m samt navhöjd 122.5 m). Då ljuddata från tillverkaren endast har funnits tillgängligt i oktavband ner till 63 Hz har en linjär skattning till tersband gjorts för lågfrekvensberäkningen, vilket innebär ett antagande med viss osäkerhet. Ingen beräkning har heller kunnat göras för frekvenser under 50 Hz då dessa data helt saknas. Reglerinställningar som använts i beräkningarna redovisas i avsnitt 6 samt (2).

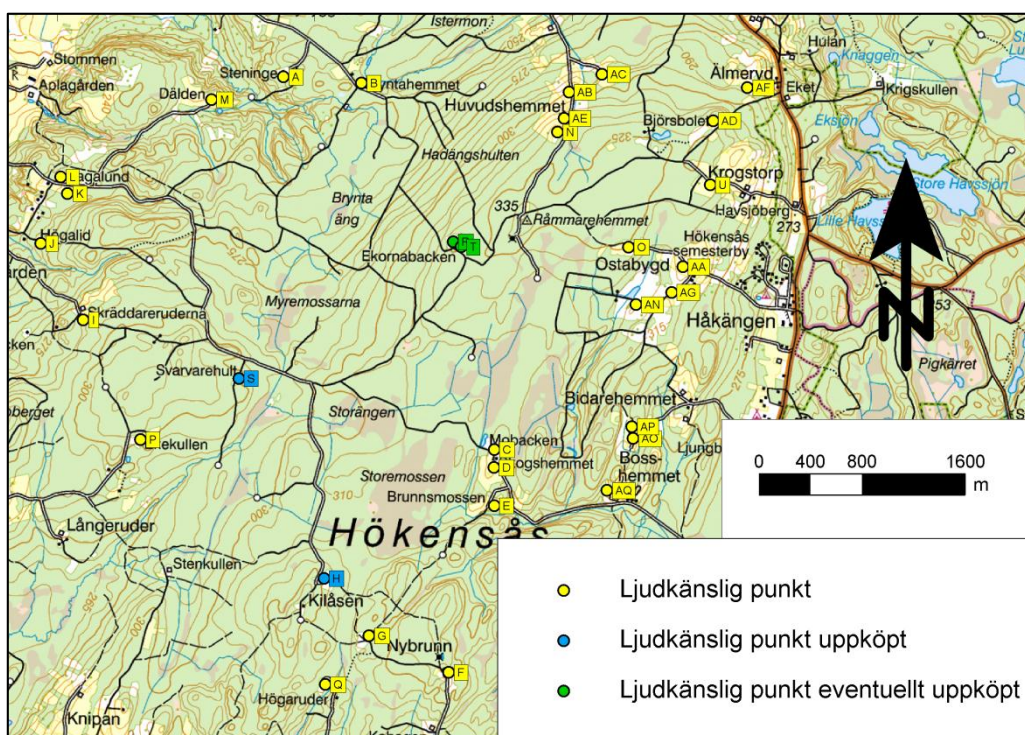
5 Resultat

5.1 Ljutfördelning enligt SLS-metoden

Ljutfördelning enligt SLS-metoden anges i tabell 5.1-5.2 och (1) för Fall 1 respektive Fall 2. De ljudkänsliga punkterna redovisas även grafiskt i figur 5.1. Om respektive projektör innehåller den angivna ljutfördelningen enligt SLS-metoden för respektive beräkningsfall innehålls även riktvärdet 40 dBA kumulativt vid samtliga ljudkänsliga punkter.

För att ta fram ljutfördelningen har respektive vindkraftpark optimerats för att enskilt innehålla 40 dBA vid bostad för respektive beräkningsfall. Detta motsvarar även maximal ljudnivå vid ljudkänsliga punkter om endast en av vindkraftparkerna byggs, d.v.s. beräkning enligt punkt 2 under uppdragsbeskrivningen. Beräknade ljudnivåer för respektive beräkningsfall redovisas i avsnitt 5.2.2 samt (1) och reglerinställningarna redovisas i avsnitt 6 samt (1). Detta motsvarar de högsta reglerinställningarna som den aktuella verktygen kan ha för respektive vindkraftpark och parklayout för att enskilt innehålla riktvärdet 40 dBA.

Observera att ljudkänslig punkt H och S har köpts upp av Vattenfall och ej ska beaktas gällande ljud, de ingår dock i redovisningen. I Fall 2 antas ett hypotetiskt fall där ljudkänslig punkt R och T har köpts upp av Vattenfall och ej ska beaktas gällande ljud. Se kartan för placering av uppköpta samt eventuellt uppköpta ljudkänsliga punkter. I den fortsatta resultatredovisningen visas dessa ljudkänsliga punkter med grå text. Noterbart är att det extra ljudutrymmet för detta hypotetiska fall har fördelats jämnt mellan de båda projektörerna.



Figur 5.1. Placering av ljudkänsliga punkter



Tabell 5.1. Ljutfördelning enligt SLS-metod för Fall 1, gråa värden ska ej beaktas.

Ljudkänslig punkt	X	Y	Vattenfall Alt 16 Leq [dBA]	Lars Källner 3 verk Leq [dBA]	Totalt kumulativt Leq [dBA]
A	1394030	6444667	40,0	30,0	40
AA	1397124	6443197	34,0	38,7	40
AB	1396242	6444549	34,3	38,7	40
AC	1396499	6444687	35,5	38,1	40
AD	1397359	6444329	35,0	38,4	40
AE	1396204	6444347	32,7	39,1	40
AF	1397625	6444585	36,2	37,6	40
AG	1397038	6443000	33,0	39,0	40
AN	1396763	6442904	32,5	39,2	40
AO	1396740	6441868	34,3	38,6	40
AP	1396730	6441961	34,4	38,6	40
AQ	1396537	6441466	36,6	37,4	40
B	1394635	6444619	38,8	33,9	40
C	1395663	6441783	36,7	37,3	40
D	1395661	6441643	37,3	36,6	40
E	1395663	6441349	38,6	34,3	40
F	1395311	6440058	40,0	30,0	40
G	1394693	6440341	40,0	30,0	40
H (Uppköpt)	1394344	6440785	-	-	-
I	1392480	6442787	40,0	30,0	40
J	1392150	6443378	40,0	30,0	40
K	1392357	6443765	40,0	30,0	40
L	1392306	6443893	40,0	30,0	40
M	1393472	6444491	40,0	30,0	40
N	1396154	6444239	32,4	39,2	40
O	1396704	6443349	31,0	39,4	40
P	1392924	6441859	40,0	30,0	40
Q	1394354	6439964	40,0	30,0	40
R	1395345	6443391	37,3	36,6	40
S (Uppköpt)	1393685	6442332	-	-	-
T	1395407	6443351	36,8	37,2	40
U	1397336	6443831	34,2	38,7	40



Tabell 5.2. Ljudfördelning enligt SLS-metod för Fall 2, gråa värden ska ej beaktas. Punkt R och T är eventuellt uppköpta fastigheter.

Ljudkänslig punkt	X	Y	Vattenfall Alt 15 Leq [dBA]	Lars Källner 4 verk Leq [dBA]	Totalt kumulativt Leq [dBA]
A	1394030	6444667	39,5	30,6	40
AA	1397124	6443197	36,5	37,4	40
AB	1396242	6444549	36,6	37,4	40
AC	1396499	6444687	37,0	37,0	40
AD	1397359	6444329	37,0	37,0	40
AE	1396204	6444347	35,8	37,9	40
AF	1397625	6444585	37,1	36,9	40
AG	1397038	6443000	36,0	37,8	40
AN	1396763	6442904	35,9	37,8	40
AO	1396740	6441868	36,0	37,8	40
AP	1396730	6441961	36,0	37,8	40
AQ	1396537	6441466	37,3	36,7	40
B	1394635	6444619	39,0	33,2	40
C	1395663	6441783	36,6	37,3	40
D	1395661	6441643	37,4	36,5	40
E	1395663	6441349	38,6	34,4	40
F	1395311	6440058	40,0	30,0	40
G	1394693	6440341	40,0	30,0	40
H (Uppköpt)	1394344	6440785	-	-	-
I	1392480	6442787	40,0	30,0	40
J	1392150	6443378	40,0	30,0	40
K	1392357	6443765	40,0	30,0	40
L	1392306	6443893	40,0	30,0	40
M	1393472	6444491	40,0	30,0	40
N	1396154	6444239	35,4	38,2	40
O	1396704	6443349	34,9	38,4	40
P	1392924	6441859	40,0	30,0	40
Q	1394354	6439964	40,0	30,0	40
R (Ev. Uppköpt)	1395345	6443391	-	-	-
S (Uppköpt)	1393685	6442332	-	-	-
T (Ev. Uppköpt)	1395407	6443351	-	-	-
U	1397336	6443831	36,7	37,3	40

5.2 Resultat ljudimmission

Beräkningsresultatet presenteras dels som ljudkartor och dels som ljudnivån i ljudkänsliga punkter för punkt 2 och 3 enligt uppdragsbeskrivningen. I 5.2.1 redovisas punkt 2 som motsvarar ljudimmissionsberäkning där varje vindkraftpark ljudreglerats för att enskilt klara 40 dBA, vilket motsvarar ingångsvärden för beräkning av SLS-fördelningen enligt 5.1. I 5.2.2 redovisas punkt 3 som motsvarar ljudimmissionsberäkning där varje vindkraftpark ljudreglerats för att innehålla ljudkraven i SLS-fördelningen.

**5.2.1 Resultat punkt 2 – Ljudreglering för att innehålla 40 dBA enskilt – Ingångsvärden för beräkning av SLS-fördelning.**

Resultatet från beräkningar i de ljudkänsliga punkterna ges i tabell 5.5 för Fall 1 och tabell 5.6 för Fall 2, samt i sammanfattning i (1), motsvarande ljudreglering mot 40 dBA för varje vindkraftspark enskilt. Detta är ingångsvärdena till beräkning av SLS-fördelningen. I kolumnen för respektive projektör redovisas respektive vindkraftparks ljudbidrag i ljudkänsliga punkter. I kolumnen "Totalt kumulativt" redovisas den kumulativa ljudnivån för båda vindkraftparkerna. Detta motsvarar kumulativ ljudnivå i ljudkänsliga punkter innan ljudfördelning enligt SLS-metoden. Reglerinställningar som använts i beräkningarna redovisas i avsnitt 6 samt (1). Ljudkartor redovisas i (1).

Tabell 5.5. Beräkningsresultat för Fall 1 och ljudreglering mot 40 dBA enskilt, gråa värden ska ej beaktas.

Ljudkänslig punkt	X	Y	Markhöjd [möh]	Vindkraftpark Velinga Leq [dBA]	Vindkraftpark Lars Källner Leq [dBA]	Totalt kumulativt Leq [dBA]
A	1394030	6444667	238	37,2	27,3	38
AA	1397124	6443197	320	30,9	35,6	37
AB	1396242	6444549	300	31,0	35,4	37
AC	1396499	6444687	292	29,4	31,9	34
AD	1397359	6444329	321	28,2	31,6	33
AE	1396204	6444347	315	30,8	37,2	38
AF	1397625	6444585	292	27,0	28,4	31
AG	1397038	6443000	315	29,9	36,0	37
AN	1396763	6442904	311	32,6	39,3	40
AO	1396740	6441868	296	31,9	36,3	38
AP	1396730	6441961	297	31,9	36,1	38
AQ	1396537	6441466	294	32,9	33,7	36
B	1394635	6444619	245	34,9	30,0	36
C	1395663	6441783	311	38,3	38,9	42
D	1395661	6441643	311	38,1	37,3	41
E	1395663	6441349	302	37,5	33,2	39
F	1395311	6440058	332	35,3	25,2	36
G	1394693	6440341	325	39,9	26,4	40
H (Uppköpt)	1394344	6440785	324	47,9	27,3	48
I	1392480	6442787	286	39,9	22,2	40
J	1392150	6443378	245	36,2	22,6	36
K	1392357	6443765	238	36,5	23,1	37
L	1392306	6443893	235	35,9	22,8	36
M	1393472	6444491	235	39,9	26,9	40
N	1396154	6444239	321	32,2	39,0	40
O	1396704	6443349	324	31,2	39,6	40
P	1392924	6441859	303	39,5	25,1	40
Q	1394354	6439964	311	37,1	23,7	37
R	1395345	6443391	325	39,5	38,8	42
S (Uppköpt)	1393685	6442332	300	45,5	28,4	46
T	1395407	6443351	326	39,3	39,7	43
U	1397336	6443831	321	28,9	33,4	35



Tabell 5.6. Beräkningsresultat för Fall 2 och ljudreglering mot 40 dBA enskilt, gråa värden ska ej beaktas.

Ljudkänslig punkt	X	Y	Markhöjd [möh]	Vindkraftpark Velinga Leq [dBA]	Vindkraftpark Lars Källner Leq [dBA]	Totalt kumulativt Leq [dBA]
A	1394030	6444667	238	36,8	27,9	37
AA	1397124	6443197	320	33,7	34,6	37
AB	1396242	6444549	300	34,9	35,7	38
AC	1396499	6444687	292	32,0	32,0	35
AD	1397359	6444329	321	31,5	31,5	35
AE	1396204	6444347	315	35,7	37,8	40
AF	1397625	6444585	292	28,6	28,4	31
AG	1397038	6443000	315	33,1	34,8	37
AN	1396763	6442904	311	35,7	37,6	40
AO	1396740	6441868	296	33,1	34,9	37
AP	1396730	6441961	297	33,3	35,1	37
AQ	1396537	6441466	294	33,9	33,3	37
B	1394635	6444619	245	36,6	30,9	38
C	1395663	6441783	311	39,2	40,0	43
D	1395661	6441643	311	38,9	38,0	41
E	1395663	6441349	302	38,1	33,8	39
F	1395311	6440058	332	35,5	25,7	36
G	1394693	6440341	325	39,7	27,0	40
H (Uppköpt)	1394344	6440785	324	44,3	27,6	44
I	1392480	6442787	286	39,9	24,1	40
J	1392150	6443378	245	35,8	22,1	36
K	1392357	6443765	238	36,7	22,1	37
L	1392306	6443893	235	35,7	22,7	36
M	1393472	6444491	235	37,5	27,3	38
N	1396154	6444239	321	37,0	39,8	42
O	1396704	6443349	324	34,8	38,3	40
P	1392924	6441859	303	39,4	25,6	40
Q	1394354	6439964	311	36,1	25,4	36
R (Ev. Uppköpt)	1395345	6443391	325	52,8	40,3	53
S (Uppköpt)	1393685	6442332	300	45,4	28,8	45
T (Ev. Uppköpt)	1395407	6443351	326	53,5	41,2	54
U	1397336	6443831	321	32,4	33,0	36

För båda beräkningsfallen innehålls Naturvårdsverkets rekommenderade riktvärde, ekvivalent ljudnivå 40 dBA utomhus, i samtliga ljudkänsliga punkter för vindkraftparkerna enskilt. Noterbart är att den kumulativa ljudnivån inte innehålls vilket visar vikten av att en ljudfördelning enligt SLS-metoden har gjorts.

**5.2.2 Resultat punkt 3 – Ljudreglering för att innehålla ljudkrav i SLS-fördelningen.**

Resultat från beräkningar i de ljudkänsliga punkterna ges i tabell 5.3 för Fall 1 och tabell 5.4 för Fall 2 samt i sammanfattning i (1). Beräkningarna motsvarar ljudreglering för respektive vindkraftpark och beräkningsfall för att klara SLS-fördelningen. I kolumnen för respektive projektör redovisas respektive vindkraftparks ljudbidrag i ljudkänsliga punkter. I kolumnen "Totalt kumulativt" redovisas den kumulativa ljudnivån för båda vindkraftparkerna, vilken ska jämföras mot riktvärdet 40 dBA. Reglerinställningar som använts i beräkningarna redovisas i avsnitt 6 samt (2).

Tabell 5.3. Beräkningsresultat för Fall 1 och ljudreglering mot SLS-fördelning. Gråa värden ska ej beaktas.

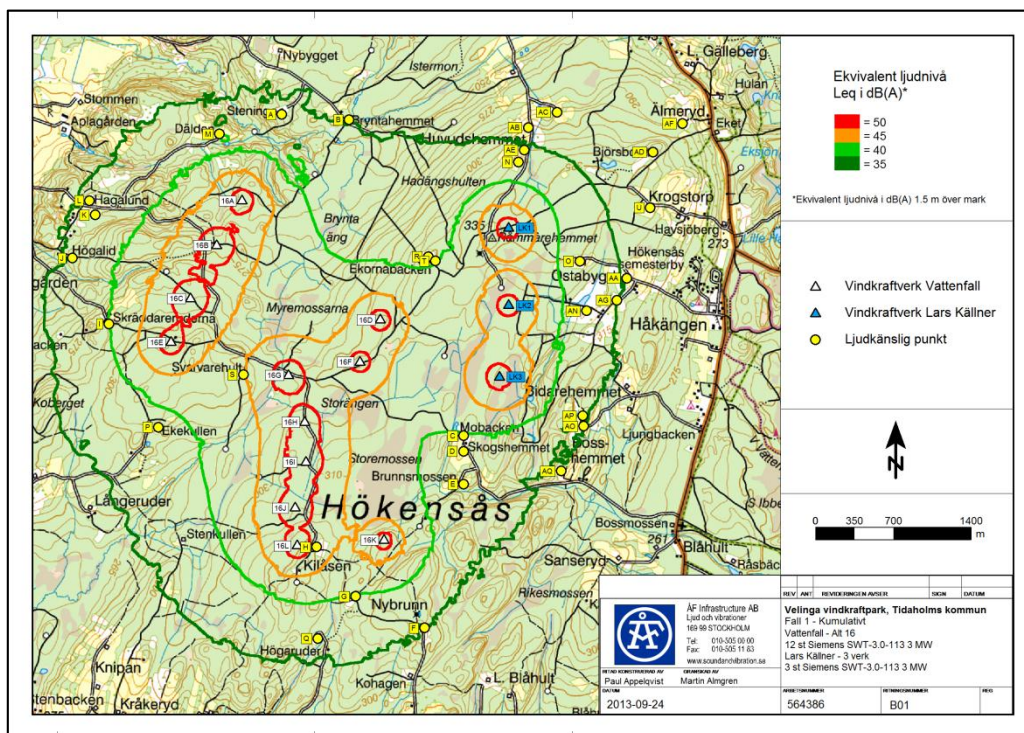
Ljudkänslig punkt	X	Y	Markhöjd [möh]	Vattenfall Alt 16 Leq [dBA]	Lars Källner 3 verk Leq [dBA]	Totalt kumulativt Leq [dBA]
A	1394030	6444667	238	36,8	24,7	37
AA	1397124	6443197	320	29,1	33,0	35
AB	1396242	6444549	300	30,0	32,7	35
AC	1396499	6444687	292	28,4	29,3	32
AD	1397359	6444329	321	26,8	29,1	31
AE	1396204	6444347	315	29,5	34,3	36
AF	1397625	6444585	292	26,0	25,9	29
AG	1397038	6443000	315	28,5	33,5	35
AN	1396763	6442904	311	30,7	36,8	38
AO	1396740	6441868	296	30,5	34,1	36
AP	1396730	6441961	297	30,2	34,0	36
AQ	1396537	6441466	294	31,4	31,5	34
B	1394635	6444619	245	33,9	27,6	35
C	1395663	6441783	311	36,7	36,9	40
D	1395661	6441643	311	36,6	35,3	39
E	1395663	6441349	302	36,3	31,2	37
F	1395311	6440058	332	34,5	23,1	35
G	1394693	6440341	325	39,3	24,1	39
H (Uppköpt)	1394344	6440785	324	47,6	24,8	48
I	1392480	6442787	286	39,8	20,2	40
J	1392150	6443378	245	35,9	20,4	36
K	1392357	6443765	238	36,3	21,1	36
L	1392306	6443893	235	35,6	20,6	36
M	1393472	6444491	235	39,6	24,3	40
N	1396154	6444239	321	30,5	36,2	37
O	1396704	6443349	324	29,7	37,1	38
P	1392924	6441859	303	38,7	22,7	39
Q	1394354	6439964	311	36,5	21,4	37
R	1395345	6443391	325	37,0	36,1	40
S (Uppköpt)	1393685	6442332	300	44,5	26,0	45
T	1395407	6443351	326	36,8	37,1	40
U	1397336	6443831	321	27,2	30,9	32



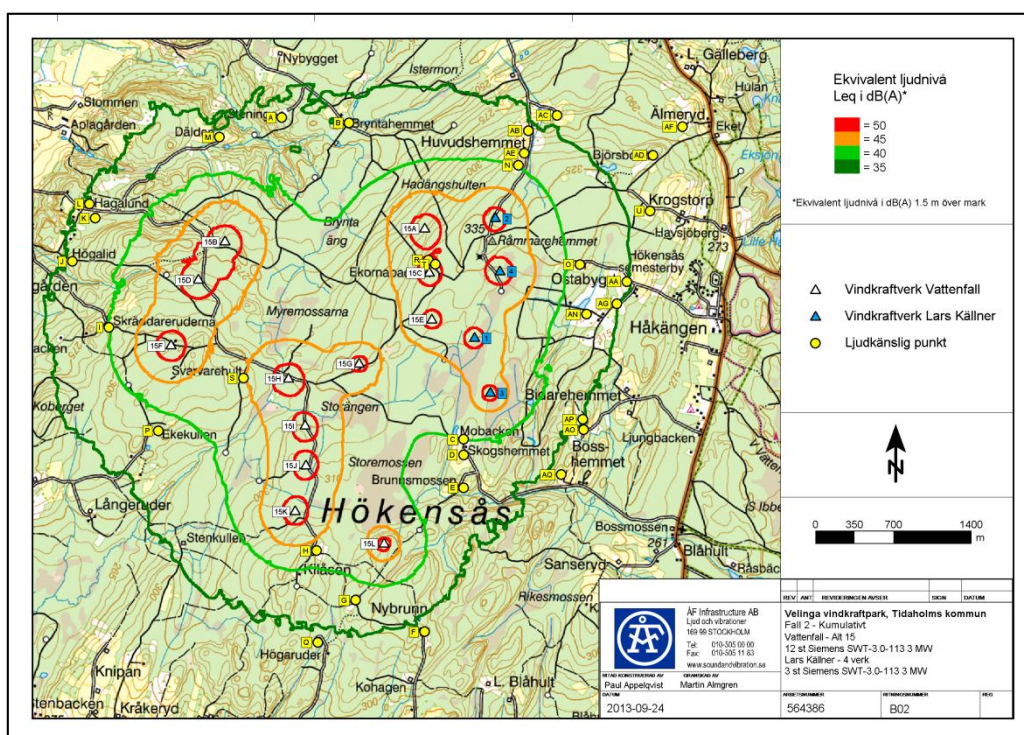
Tabell 5.4. Beräkningsresultat för Fall 2 och ljudreglering mot SLS-fördelning, grå värden ska ej beaktas. Punkt R och T är eventuellt uppköpta fastigheter.

Ljudkänslig punkt	X	Y	Markhöjd [möh]	Vattenfall Alt 15 Leq [dBA]	Lars Källner 4 verk Leq [dBA]	Totalt kumulativt Leq [dBA]
A	1394030	6444667	238	36,0	26,3	36
AA	1397124	6443197	320	31,4	32,9	36
AB	1396242	6444549	300	33,1	34,0	37
AC	1396499	6444687	292	30,4	30,5	34
AD	1397359	6444329	321	29,3	29,9	33
AE	1396204	6444347	315	33,8	36,0	38
AF	1397625	6444585	292	27,0	26,6	30
AG	1397038	6443000	315	30,7	33,1	35
AN	1396763	6442904	311	33,1	35,9	38
AO	1396740	6441868	296	30,5	32,7	35
AP	1396730	6441961	297	30,8	32,9	35
AQ	1396537	6441466	294	30,9	31,1	34
B	1394635	6444619	245	35,1	29,2	36
C	1395663	6441783	311	36,6	37,3	40
D	1395661	6441643	311	36,4	35,4	39
E	1395663	6441349	302	35,5	31,4	37
F	1395311	6440058	332	33,1	23,7	34
G	1394693	6440341	325	37,2	24,8	37
H (Uppköpt)	1394344	6440785	324	42,1	25,3	42
I	1392480	6442787	286	40,0	22,2	40
J	1392150	6443378	245	35,5	20,7	36
K	1392357	6443765	238	36,4	20,3	36
L	1392306	6443893	235	35,4	20,9	36
M	1393472	6444491	235	36,9	25,4	37
N	1396154	6444239	321	35,1	38,1	40
O	1396704	6443349	324	32,5	36,8	38
P	1392924	6441859	303	38,6	23,5	39
Q	1394354	6439964	311	33,9	23,2	34
R (Ev. Uppköpt)	1395345	6443391	325	50,4	38,7	51
S (Uppköpt)	1393685	6442332	300	44,2	26,7	44
T (Ev. Uppköpt)	1395407	6443351	326	50,9	39,6	51
U	1397336	6443831	321	29,9	31,3	34

Ljudkartor för de båda beräkningsfallen kumulativt, som ISO-linjer för beräknad ljudnivå i 5-dB steg, redovisas i figur 5.2 för Fall 1 och i figur 5.3 för Fall 2. Ljudkartorna redovisas även i full skala i (2). Om resultatet mellan punktberäkningarna och ljudkartorna skiljer är det i första hand resultatet från punktberäkningarna som är gällande då detta utgör den exakta ljudnivån i varje ljudkänslig punkt.



Figur 5.2. Ljudkarta kumulativt Fall 1



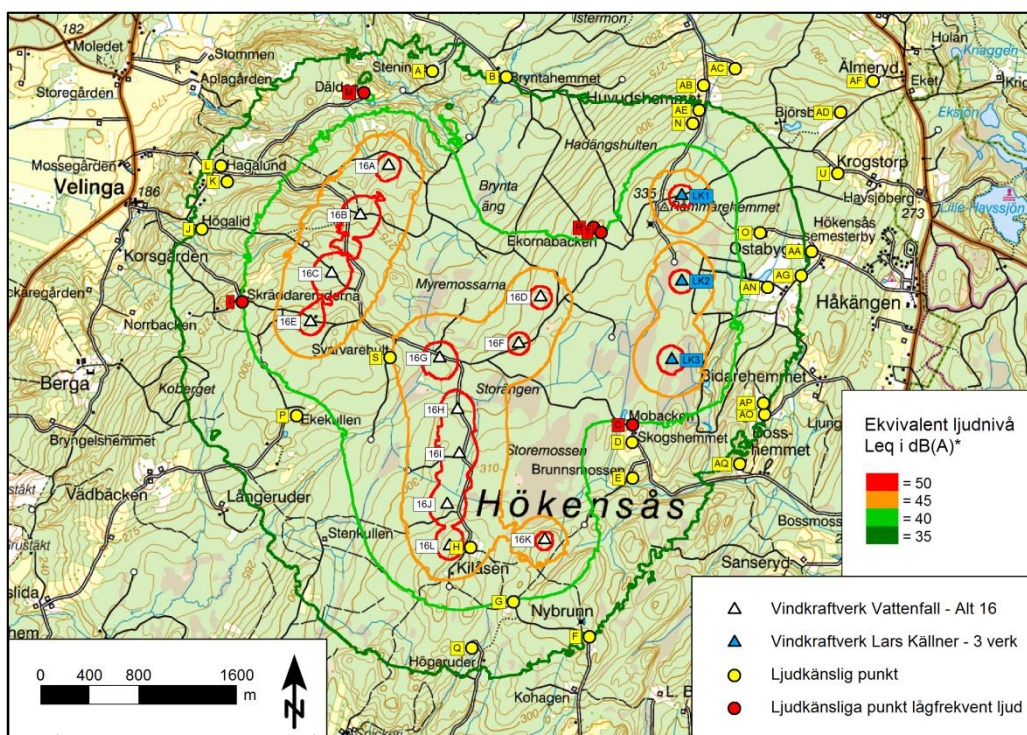
Figur 5.3. Ljudkarta kumulativt Fall 2

För båda beräkningsfallen innehålls Naturvårdsverkets rekommenderade riktvärde, ekvivalent ljudnivå 40 dBA utomhus, i samtliga ljudkänsliga punkter, både enskilt och kumulativt.

5.3 Resultat beräkning lågfrekvent ljud

5.3.1 Resultat – Fall 1

För skillnaden mellan A-vägda och C-vägda ljudnivåer görs en kontroll av de fem beräkningspunkter som har högst ekvivalent A-vägd ljudnivå i den kumulativa beräkningen, se tabell 5.3 i kolumnen längst till vänster. Enligt den studie Naturvårdsverket låtit sammanställa är det framförallt för ljudnivåer vid riktvärdet 40 dBA som vidare undersökning bör göras. Beräkningspunkterna redovisas i figur 5.4. Resultatet av jämförelsen redovisas i tabell 5.7 och (3).



Figur 5.4. Utvalda beräkningspunkter Fall 1

Tabell 5.7. Skillnad mellan A-vägda och C-vägda ljudnivåer.

Beräkningspunkt	Ekvivalent ljudnivå i dBA	Ekvivalent ljudnivå i dBC	Skillnad i dB dBC - dBA
T	40	56	16
I	40	54	14
C	40	55	15
M	40	54	14
R	40	55	15

Av tabell 5.7 framgår att skillnaden mellan A-vägd och C-vägd ekvivalent ljudnivå utomhus är mindre än 20 dB för alla utvalda beräkningspunkter, skillnaden mellan A-vägd och C-vägd ljudnivå redovisas även för samtliga ljudkänsliga punkter i (2). Trots att skillnaden är mindre än 20 dB utförs en detaljerad frekvensanalys för de fem utvalda beräkningspunkterna. Ljudnivån i tersband inomhus beräknas, se tabell 5.8, genom antagandet av en fasaddämpning enligt tabell 3.3.

Tabell 5.8. Beräknad ljudnivå i tersband inomhus i dB. Ovägt.

Beräkningspunkt	31,5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz
T	-	-	41	36	32	28	27	23	10
I	-	-	38	34	31	26	26	24	12
C	-	-	40	36	32	27	27	23	10
M	-	-	38	36	30	26	22	18	14
R	-	-	40	36	32	27	27	23	11

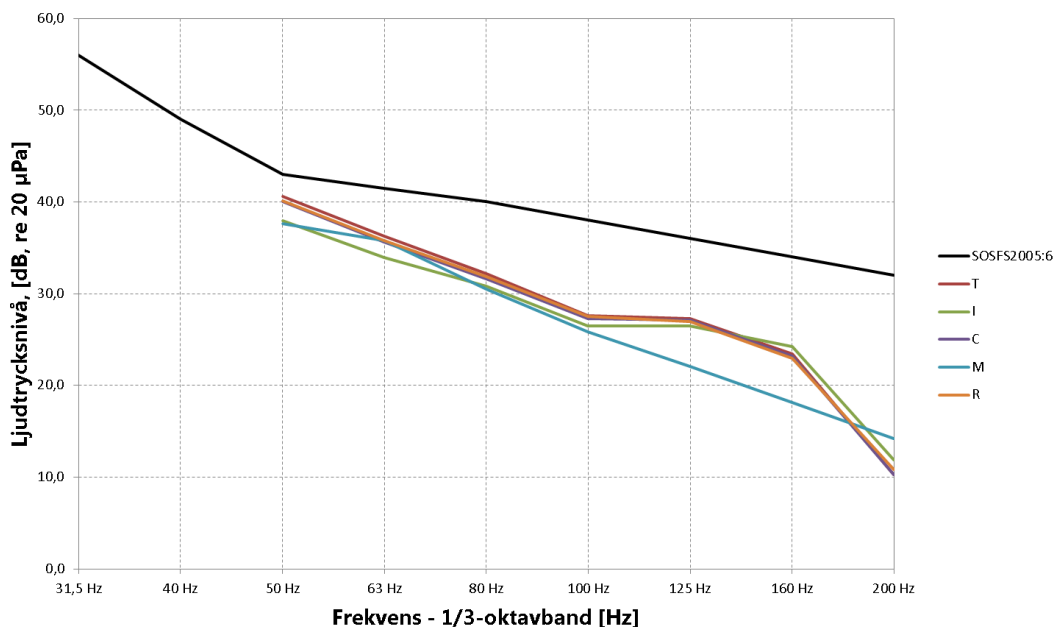
Resultatet av den detaljerade frekvensanalysen ges i tabell 5.9, där skillnaden mellan Socialstyrelsens riktvärden och beräknad ljudnivå anges. Ett negativt värde innebär att riktvärdena innehålls vilket markeras med **grönt** i tabellen.

Beräkningspunkter som ej klarar riktvärdena markeras med **rött**. Det finns inga sådana punkter. I figur 5.5 visas även ett diagram med beräknad ljudnivå inomhus och Socialstyrelsens riktvärde.

Tabell 5.9. Skillnad mellan riktvärdena i SOSFS 2005:6 (10) och beräknade ovägd ekvivalenta ljudnivåer dB.

Beräkningspunkt	31,5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz
T	-	-	-2	-5	-8	-10	-9	-11	-22
I	-	-	-5	-8	-9	-12	-10	-10	-20
C	-	-	-3	-6	-8	-11	-9	-11	-22
M	-	-	-5	-6	-10	-12	-14	-16	-18
R	-	-	-2	-5	-8	-10	-9	-11	-22

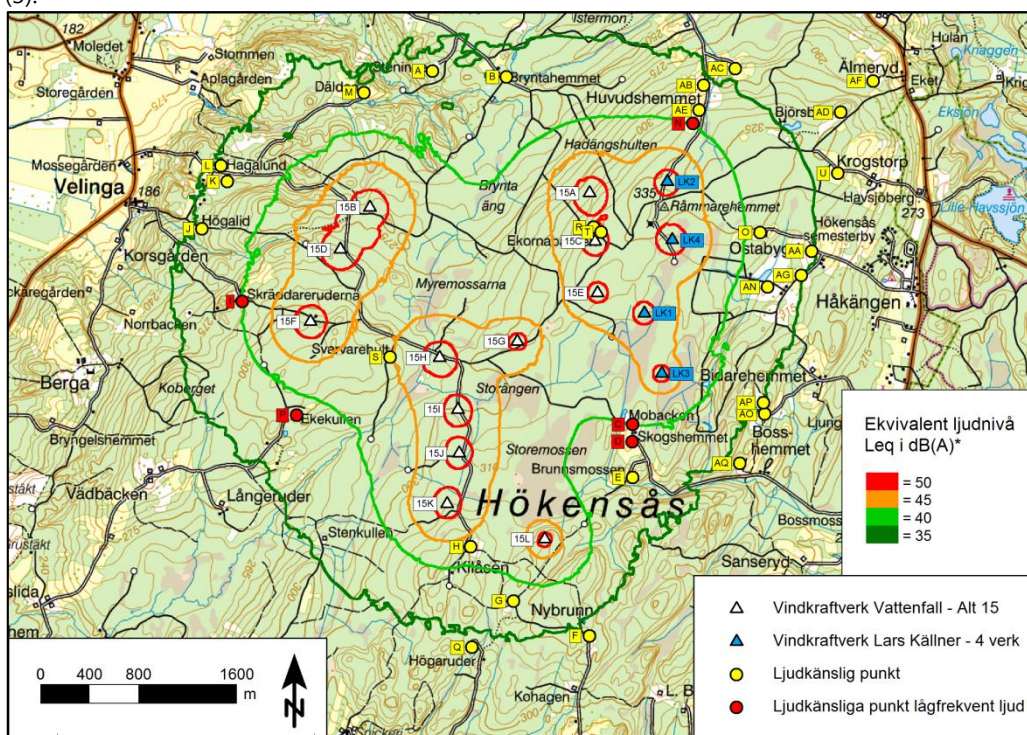
Lågfrekvent ljudnivå inomhus i ljudkänsliga punkter



Figur 5.5. Jämförelse mellan beräknad ovägd ekvivalent ljudnivå i beräkningspunkterna och riktvärdena i SOSFS 2005:6 (10).

5.3.2 Resultat – Fall 2

För skillnaden mellan A-vägd och C-vägd ljudnivåer görs en kontroll av de fem beräkningspunkter som har högst ekvivalent A-vägd ljudnivå i den kumulativa beräkningen, se tabell 5.4 i kolumnen längst till vänster. Enligt den studie Naturvårdsverket låtit sammanställa är det framförallt för ljudnivåer vid riktvärdet 40 dBA som vidare undersökning bör göras. Beräkningspunkterna redovisas i figur 5.6. Resultatet av jämförelsen redovisas i tabell 5.10 och (3).



Figur 5.6. Utvalda beräkningspunkter Fall 2

Tabell 5.10. Skillnad mellan A-vägd och C-vägd ljudnivåer.

Beräkningspunkt	Ekvivalent ljudnivå i dBA	Ekvivalent ljudnivå i dBC	Skillnad i dB dBC - dBA
I	40	54	14
C	40	56	16
N	40	55	15
D	39	55	16
P	39	54	15

Av tabell 5.10 framgår att skillnaden mellan A-vägd och C-vägd ekvivalent ljudnivå utomhus är mindre än 20 dB för alla utvalda beräkningspunkter, skillnaden mellan A-vägd och C-vägd ljudnivå redovisas även för samtliga ljudkänsliga punkter i (2). Trots att skillnaden är mindre än 20 dB utförs en detaljerad frekvensanalys för de fem utvalda beräkningspunkterna. Ljudnivån i tersband inomhus beräknas, se tabell 5.11, genom antagandet av en fasaddämpning enligt tabell 3.3.



Tabell 5.11. Beräknad ljudnivå i tersband inomhus i dB. Ovägt.

Beräkningspunkt	31,5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz
I	-	-	48	47	48	44	45	43	35
C	-	-	51	51	50	46	45	42	33
N	-	-	50	50	49	45	44	41	33
D	-	-	50	50	49	46	44	41	32
P	-	-	48	48	47	44	43	41	34

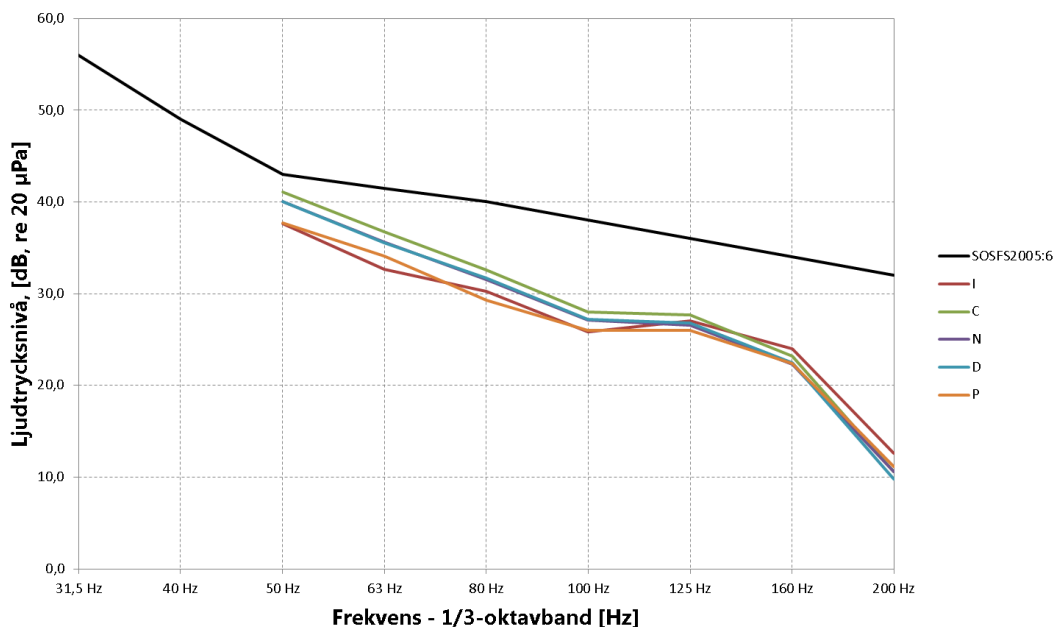
Resultatet av den detaljerade frekvensanalysen ges i tabell 5.12, där skillnaden mellan Socialstyrelsens riktvärden och beräknad ljudnivå anges. Ett negativt värde innebär att riktvärdena innehålls vilket markeras med grönt i tabellen.

Beräkningspunkter som ej klarar riktvärdena markeras med rött. Det finns inga sådana punkter. I figur 5.7 visas även ett diagram med beräknad ljudnivå inomhus och Socialstyrelsens riktvärde.

Tabell 5.12. Skillnad mellan riktvärdena i SOSFS 2005:6 (10) och beräknade ovägda ekvivalenta ljudnivåer dB.

Beräkningspunkt	31,5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz
I	-	-	-5	-9	-10	-12	-9	-10	-19
C	-	-	-2	-5	-7	-10	-8	-11	-21
N	-	-	-3	-6	-8	-11	-9	-12	-21
D	-	-	-3	-6	-8	-11	-9	-12	-22
P	-	-	-5	-7	-11	-12	-10	-12	-21

Lågfrekvent ljudnivå inomhus i ljudkänsliga punkter



Figur 5.7. Jämförelse mellan beräknad ovägt ekvivalent ljudnivå i beräkningspunkterna och riktvärdena i SOSFS 2005:6 (10).



5.3.3 Kommentarer

Detaljerad beräkning redovisas endast för de fem beräkningspunkter med högst A-vägd ekvivalent ljudnivå, vilket ofta är de punkter med högst ljudnivå vid låga frekvenser. Genom översiktlig kontroll av frekvensinnehållet i alla ljudkänsliga punkter konstateras dock att inga punkter överskrider riktvärdena i SOSFS 2005:6 (10).

Notera också att det finns en viss beräkningsmarginal genom att beräkning skett för fallet att det blåser medvind från alla verk mot respektive bostad och att fasadisolering med låg ljuddämpning antagits. Ingen beräkning görs dock för frekvenser under 50 Hz då data under oktavband 63 Hz saknas. Frekvensdata har även estimerats genom linjär fördelning till tersband från ovägda oktavband vilket är en uppskattning för alla frekvenser och således en osäkerhet. Tillverkare av vindkraftverk garanterar normalt aldrig frekvensdata just på grund av den större osäkerheten i enskilda frekvenser jämfört med en absolut ljudnivå, där ljudnivån i alla frekvenser summerats.

Utifrån utförda beräkningar innehålls Socialstyrelsens riktvärden för lågfrekvent ljud enligt SOSFS 2005:6 i samtliga ljudkänsliga beräkningspunkter för båda beräkningsfallen, Fall 1 och Fall 2. Notera att beräkningarna motsvarar kumulativt ljud från båda vindkraftparkerna efter ljudreglering mot SLS-fördelning.

6 Marginal

I de utförda beräkningarna har ett antal vindkraftverk ljudreglerats, gäller båda vindkraftparkerna, för att innehålla riktvärdet 40 dBA. Alla vindkraftverk har dock reglerats så att det finns minst 2 decibel för ytterligare ljudreglering för Fall 1 och 1 decibel för Fall 2, utifall riktvärdet överskrids vid kontroll efter byggnation.

I tabell 6.1-6.2 redovisas reglerinställningar för Fall 1 och Fall 2, både före och efter ljudreglering, för att klara SLS-fördelningen. Därutöver redovisas tillgänglig marginal mot den lägsta reglerinställningen för verktypen. Verktypen har ljudreglering i steg om 1 decibel mellan 106-100 dBA, totalt i sex steg. Det ska poängteras att verktypen som använts i beräkningarna är ett exempel, en annan verktyg kan bli aktuell vid senare upphandling om tillstånd erhålls.



Tabell 6.1. Reglerinställningar för Fall 1, före och efter ljudreglering mot SLS-fördelning.

Vindkraftverk	Ljudeffekt i dBA Före ljudreglering	Marginal i dBA	Ljudeffekt i dBA Efter ljudreglering	Marginal i dBA
16A	103	3	103	3
16B	106	6	106	6
16C	106	6	106	6
16D	106	6	102	2
16E	103	3	103	3
16F	106	6	102	2
16G	106	6	105	5
16H	106	6	104	4
16I	106	6	105	5
16J	106	6	105	5
16K	102	2	102	2
16L	103	3	103	3
LK1	106	6	103	3
LK2	106	6	103	3
LK3	106	6	104	4

Tabell 6.2. Reglerinställningar för Fall 2, före och efter ljudreglering mot SLS-fördelning.

Vindkraftverk	Ljudeffekt i dBA Före ljudreglering	Marginal i dBA	Ljudeffekt i dBA Efter ljudreglering	Marginal i dBA
15A	106	6	105	5
15B	106	6	106	6
15C	106	6	103	3
15D	106	6	106	6
15E	106	6	101	1
15F	104	4	105	5
15G	106	6	101	1
15H	106	6	105	5
15I	106	6	103	3
15J	106	6	103	3
15K	106	6	104	4
15L	104	4	101	1
LK1	105	5	102	2
LK2	105	5	103	3
LK3	104	4	101	1
LK4	105	5	104	4



7 Skyddsåtgärder

I utförda beräkningar ingår följande marginaler som kan ses som skyddsåtgärder:

- Vindkraftverk med ett högt källjud, oreglerad, har använts i beräkningarna. Verktypen är ett av de största vindkraftverken på marknaden idag, både gällande märkeffekt och rotordiameter.
- Av tillverkaren garanterade ljudeffektnivåer har använts som indata för samtliga vindkraftverk. Garanterade ljudeffektnivåer innehåller ofta en marginal motsvarande en dB eller mer beroende på hur tillverkaren tar fram det deklarerade värdet.
- Medvind i alla riktningar har antagits i beräkningarna. Detta kommer i verkligheten troligtvis innebära en lägre ljudpåverkan för flertalet ljudkänsliga punkter.
- Alla vindkraftverk som använts i beräkningarna för vindkraftpark Velinga och vindkraftpark Lars Källner har möjlighet till ytterligare nedreglering med minst 2 decibel av totala A-vägda ljudeffektnivån för Fall 1 och 1 decibel för Fall 2.
- Om någon av vindkraftparkerna ej får tillstånd kan den andra vindkraftparken ljudregleras upp enligt tabell 6.1-6.2, kolumnen Före ljudreglering.

8 Citerade arbeten

1. **Appelqvist, Paul.** 564386 Bilaga A01-A02 Beräkning av SLS-fördelning 130924. Stockholm : ÅF, 2013.
2. —. 564386 Bilaga B01-B06 Ljudimmissionsberäkning – Ljudreglering mot SLS-fördelning 130924. Stockholm : ÅF, 2013.
3. —. 564386 Bilaga C01-C02 Lågfrekvensberäkning 130924. Stockholm : ÅF, 2013.
4. **Länstyrelsen i Västra Götalands län.** Föreläggande om kompletteringar till ansökan om tillstånd enligt miljöbalken för vindkraftpark i Velinga, Tidaholms kommun. 2013-01-29. 551-17495-2012.
5. —. Föreläggande om kompletteringar till ansökan om tillstånd enligt miljöbalken för vindkraftpark i Velinga, Tidaholms kommun. 2013-04-15. 551-17495-2012.
6. **Naturvårdsverket.** Mätning och beräkning av ljud från vindkraft. 2013-06-10. <http://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/vagledning/buller/buller-vindkraft/matning-berakning-vindkraftljud-20130610.pdf>.
7. **Svea Hovrätt - Mark- och miljööverdomstolen.** Mål nr M 8236-12.
8. **Söndergaard, Bo och Plovsing, Birger.** 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. Lyngby : Delta 1236/09 8 October 2009, 2009.
9. **Naturvårdsverket.** [Online] <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning-amnesvis/Buller/Buller-fran-vindkraft/>. Sidan uppdaterad 20 februari 2013 av Ingrid Johansson Horner. Sidan avläst 19 september 2013.
10. **2005:6, SOSFS.** Allmänna råd - Buller inomhus.
11. **Nilsson M E, Bluhm G, Eriksson G & Bolin K.** Kunskapssammanställning om infra- och lågfrekvent ljud från vindkraftsanläggningar: Exponering och hälsoeffekter, Slutrapport till Naturvårdsverket. 2011-11-28.
12. **Jacobsen, Hoffmeyer.** Sound insulation of dwellings at low frequencies, *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, vol 29, no 1, pp 15-23. 2010.
13. **Møller, H, Pedersen, S, Persson Wayne, K & Pedersen Ch S,.** Comments to the article "Sound insulation of dwellings at low frequencies", *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, vol 30, no 3. 2011.
14. **Ljungren, Sten.** Mätning av bullerimmission från vindkraftverk, *Elforsk rapport 98:24*.