

# Beräkning av luftburen ljudutbredning - Najaderna vindkraftpark



## Innehåll

|      |    |                                          |
|------|----|------------------------------------------|
| Sida | 2  | Metod                                    |
| Sida | 3  | Layout                                   |
| Sida | 5  | Resultat                                 |
| Sida | 6  | Ljudkarta                                |
| Sida | 7  | Lågfrekvent ljud                         |
| Sida | 9  | Beräknad ljudnivå inomhus och riktvärden |
| Sida | 10 | Beräkningsparametrar                     |
| Sida | 12 | Slutsatser och kommentarer               |

Uppdrag: Beräkning av ljudnivåer vid bostäder  
samt lågfrekvent ljud inomhus

Projekt: Najaderna vindkraftpark  
Beräkningsdatum: 2023-10-31  
Kund: Najaderna Offshore AB

---

Handläggare Karin Abrahamsson  
karin.abrahamsson@efterklang.org

Kvalitetsgranskare Niklas Carlsson  
niklas.j.carlsson@efterklang.org

**Metod:**

Beräkningarna har utförts med beräkningsprogram SoundPLAN ver. 8.2 med beräkningsmodell Nord2000.

Som indata till beräkningarna har koordinater för planerad layout (67 st vindkraftverk) erhållits från Najaderna Offshore AB, ett dotterbolag till Eolus Vind AB. Vindkraftverken antas ha en rotordiameter på 290 m, en navhöjd på 185 m och en totalhöjd av 365 m. Najaderna Offshore AB planerar för att verken skall kunna ha en effekt på 20 MW. Så stora verk finns inte på marknaden idag och därför finns inte heller någon tillgänglig ljuddata att utgå från.

För att få fram ljuddata att utgå från i beräkningen har vi tittat på andra befintliga modeller av vindkraftverk som är mindre till storlek och effekt än de som planeras för Najaderna. För dessa befintliga verk har vi tittat på hur mycket ljudeffektnivån ökar då storlek på rotor och effekt ökar. Utgående från antagandet om ett linjärt samband mellan ökningen av ljudeffekt och ökningen av rotorstorlek och effekt erhåller vi en ljudeffekt på 121 dBA. Eftersom teknikutvecklingen ständigt går framåt och leverantörerna utvecklar nya metoder för att minska ljudalstringen från verken innebär antagandet med ett linjärt samband sannolikt en överskattning av ljudeffektnivån. Den framtagna ljudeffekten beror delvis på vilka befintliga verk som studeras och därför har vi också lagt till en marginal på 1 dB. Den ljudeffektnivå som använts i beräkningarna är därmed 122 dBA.

Utöver ljudeffektnivå har ett frekvensspektrum tagits fram. Eftersom större vindkraftverk normalt innehåller en något större del lågfrekvent ljud har frekvensspektrum för nu befintliga modeller justerats genom att ljudeffekten vid låga frekvenser ökats och ljudeffekten vid höga frekvenser minskats. På så sätt har ett spektrum med mer lågfrekvent innehåll erhållits. Detta justerade spektrum har sedan skalats upp till att motsvara den framtagna ljudeffektnivån på 122 dBA.

Ovanstående tillvägagångssätt bedömer vi vara det i dagsläget bästa sättet att uppskatta ljudeffekt och frekvensspektrum för kommande större vindkraftverk. Använt frekvensspektrum redovisas under avsnitt "Beräkningsparametrar" tillsammans med övriga detaljer kring beräkningarna.

Beräkningarna är utförda för en exempellayout där vindkraftverken är något koncentrerade till sydvästra delen av projektområdet. Detta är att betrakta som ett värsta fall sett till bullernivåer vid bostäder.

Resultaten redovisas som beräknade ljudnivåer i utvalda beräkningspunkter och som bullerkarta och jämförs med Naturvårdsverkets riktvärde på 40 dBA. Utöver detta har också lågfrekvent ljud undersökts och jämförts med Folkhälsomyndighetens riktvärden för

Datum: 2023-10-31  
 Projektnummer: D0122774  
 Projektnamn: Najaderna  
 Kund: Najaderna Offshore AB

# Layout

| Benämning | Beskrivning          | UTM    |         | Navhöjd [m] | L <sub>WA</sub> [dBA] | Referens  |
|-----------|----------------------|--------|---------|-------------|-----------------------|-----------|
|           |                      | Öst    | Norr    |             |                       |           |
| 1         | Fiktiv turbin, 20 MW | 671800 | 6742724 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 2         | Fiktiv turbin, 20 MW | 671703 | 6744728 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 3         | Fiktiv turbin, 20 MW | 671606 | 6746732 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 4         | Fiktiv turbin, 20 MW | 673517 | 6738856 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 5         | Fiktiv turbin, 20 MW | 673420 | 6740860 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 6         | Fiktiv turbin, 20 MW | 673322 | 6742864 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 7         | Fiktiv turbin, 20 MW | 673225 | 6744868 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 8         | Fiktiv turbin, 20 MW | 673127 | 6746871 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 9         | Fiktiv turbin, 20 MW | 673030 | 6748875 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 10        | Fiktiv turbin, 20 MW | 672932 | 6750879 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 11        | Fiktiv turbin, 20 MW | 675140 | 6736992 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 12        | Fiktiv turbin, 20 MW | 675042 | 6738996 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 13        | Fiktiv turbin, 20 MW | 674943 | 6741000 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 14        | Fiktiv turbin, 20 MW | 674845 | 6743004 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 15        | Fiktiv turbin, 20 MW | 674746 | 6745007 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 16        | Fiktiv turbin, 20 MW | 674648 | 6747011 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 17        | Fiktiv turbin, 20 MW | 674550 | 6749015 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 18        | Fiktiv turbin, 20 MW | 674451 | 6751019 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 19        | Fiktiv turbin, 20 MW | 676764 | 6735128 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 20        | Fiktiv turbin, 20 MW | 676665 | 6737132 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 21        | Fiktiv turbin, 20 MW | 676566 | 6739136 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 22        | Fiktiv turbin, 20 MW | 676467 | 6741140 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 23        | Fiktiv turbin, 20 MW | 676367 | 6743143 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 24        | Fiktiv turbin, 20 MW | 676268 | 6745147 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 25        | Fiktiv turbin, 20 MW | 676169 | 6747151 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 26        | Fiktiv turbin, 20 MW | 676070 | 6749155 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 27        | Fiktiv turbin, 20 MW | 675970 | 6751158 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 28        | Fiktiv turbin, 20 MW | 678390 | 6733265 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 29        | Fiktiv turbin, 20 MW | 678290 | 6735268 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 30        | Fiktiv turbin, 20 MW | 678190 | 6737272 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 31        | Fiktiv turbin, 20 MW | 678090 | 6739276 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 32        | Fiktiv turbin, 20 MW | 677990 | 6741279 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 33        | Fiktiv turbin, 20 MW | 677890 | 6743283 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 34        | Fiktiv turbin, 20 MW | 677790 | 6745287 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |

Datum: 2023-10-31  
 Projektnummer: D0122774  
 Projektnamn: Najaderna  
 Kund: Najaderna Offshore AB

# Layout

| Benämning | Beskrivning          | UTM    |         | Navhöjd [m] | L <sub>WA</sub> [dBA] | Referens  |
|-----------|----------------------|--------|---------|-------------|-----------------------|-----------|
|           |                      | Öst    | Norr    |             |                       |           |
| 35        | Fiktiv turbin, 20 MW | 677690 | 6747291 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 36        | Fiktiv turbin, 20 MW | 677590 | 6749294 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 37        | Fiktiv turbin, 20 MW | 677489 | 6751298 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 38        | Fiktiv turbin, 20 MW | 679917 | 6733404 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 39        | Fiktiv turbin, 20 MW | 679816 | 6735408 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 40        | Fiktiv turbin, 20 MW | 679716 | 6737412 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 41        | Fiktiv turbin, 20 MW | 679615 | 6739416 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 42        | Fiktiv turbin, 20 MW | 679514 | 6741419 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 43        | Fiktiv turbin, 20 MW | 679413 | 6743423 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 44        | Fiktiv turbin, 20 MW | 679312 | 6745427 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 45        | Fiktiv turbin, 20 MW | 679211 | 6747430 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 46        | Fiktiv turbin, 20 MW | 679110 | 6749434 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 47        | Fiktiv turbin, 20 MW | 679009 | 6751438 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 48        | Fiktiv turbin, 20 MW | 681343 | 6735548 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 49        | Fiktiv turbin, 20 MW | 681241 | 6737552 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 50        | Fiktiv turbin, 20 MW | 681139 | 6739555 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 51        | Fiktiv turbin, 20 MW | 681037 | 6741559 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 52        | Fiktiv turbin, 20 MW | 680935 | 6743563 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 53        | Fiktiv turbin, 20 MW | 680834 | 6745567 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 54        | Fiktiv turbin, 20 MW | 680732 | 6747570 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 55        | Fiktiv turbin, 20 MW | 680630 | 6749574 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 56        | Fiktiv turbin, 20 MW | 682869 | 6735688 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 57        | Fiktiv turbin, 20 MW | 682766 | 6737692 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 58        | Fiktiv turbin, 20 MW | 682663 | 6739695 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 59        | Fiktiv turbin, 20 MW | 682561 | 6741699 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 60        | Fiktiv turbin, 20 MW | 682458 | 6743703 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 61        | Fiktiv turbin, 20 MW | 682355 | 6745706 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 62        | Fiktiv turbin, 20 MW | 682253 | 6747710 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 63        | Fiktiv turbin, 20 MW | 684291 | 6737831 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 64        | Fiktiv turbin, 20 MW | 684188 | 6739835 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 65        | Fiktiv turbin, 20 MW | 684084 | 6741839 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 66        | Fiktiv turbin, 20 MW | 683877 | 6745846 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |
| 67        | Fiktiv turbin, 20 MW | 685712 | 6739975 | 185         | 122.0                 | sid 2 [1] |

Datum: 2023-10-31  
Projektnummer: D0122774  
Projektnamn: Najaderna  
Kund: Najaderna Offshore AB

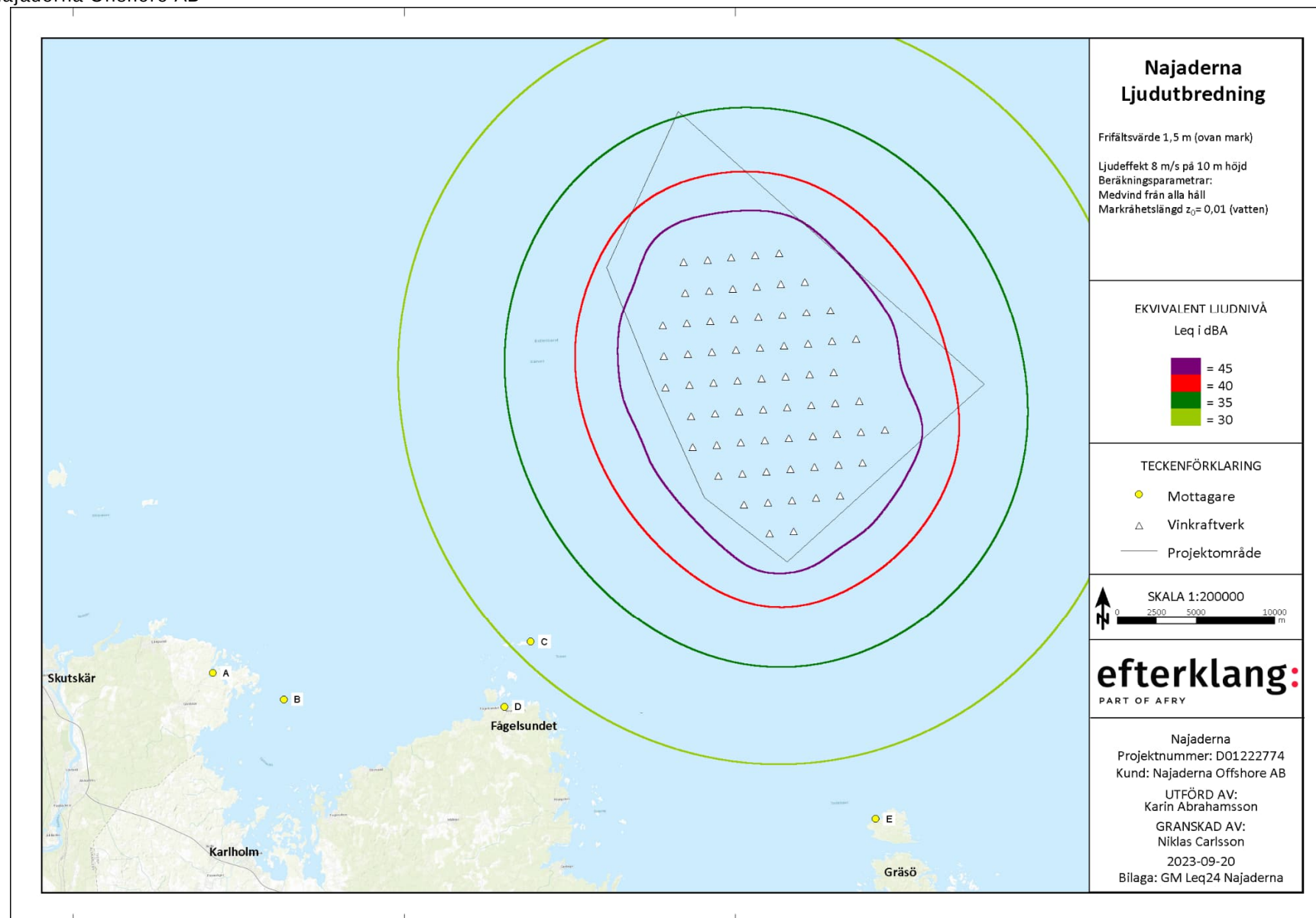
# Resultat

| Benämning | Fastighet                | UTM    |         | Beräknad ljudnivå<br>Medvind alla håll<br>LAeq [dBA] |
|-----------|--------------------------|--------|---------|------------------------------------------------------|
|           |                          | Öst    | Norr    |                                                      |
| A         | Älvkarleby Gårdskär 7:1  | 643096 | 6724249 | 22                                                   |
| B         | Älvkarleby Gårdskär 31:4 | 647601 | 6722537 | 24                                                   |
| C         | Tierp Björn 1:1          | 663259 | 6726282 | 31                                                   |
| D         | Tierp Hållen 8:101       | 661585 | 6722064 | 28                                                   |
| E         | Östhammar Fyrtäpp 1:1    | 685145 | 6714787 | 27                                                   |

Allmän kommentar:  
Beräkningen är gjord med antagande om att  
den ljudkänsliga mottagaren är på höjden 1,5 m  
över havsnivån.

Koordinater för beräkningspunkter har hämtats  
från kartjänster såsom  
[www.minkarta.lantmateriet.se](http://www.minkarta.lantmateriet.se)

# Ljudkarta



# Lågfrekvent ljud

Det antas att bostad finns vid alla beräkningspunkter. För dessa har ljudnivån inomhus vid låga frekvenser beräknats utifrån beräknad ljudnivå utomhus vid fasad och antagen fasaddämpning (se tabeller nedan). Antagen fasaddämpning här hämtad ifrån "Sound insulation of dwellings at low frequencies", publicerad i Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control (vol 29, no 1, pp 15-23). D. Hoffmeyer and J. Jakobsen, 2010

Beräknad ljudnivå inomhus vid låga frekvenser jämförs sedan med Folkhälsomyndighetens riktvärden enligt FoHMFS 2014:13.

|                                                                        | 31.5 Hz | 40 Hz | 50 Hz | 63 Hz | 80 Hz | 100 Hz | 125 Hz | 160 Hz | 200 Hz |
|------------------------------------------------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Antagen fasaddämpning [dB], enligt dansk modell (Hoffmeyer o Jakobsen) | 6.7     | 7.6   | 10.3  | 14.2  | 17.5  | 18.4   | 17.5   | 18.6   | 22.4   |
| Folkhälsomyndighetens riktvärden inomhus enligt FoHMFS 2014:13 [dB]    | 56      | 49    | 43    | 42    | 40    | 38     | 36     | 34     | 32     |

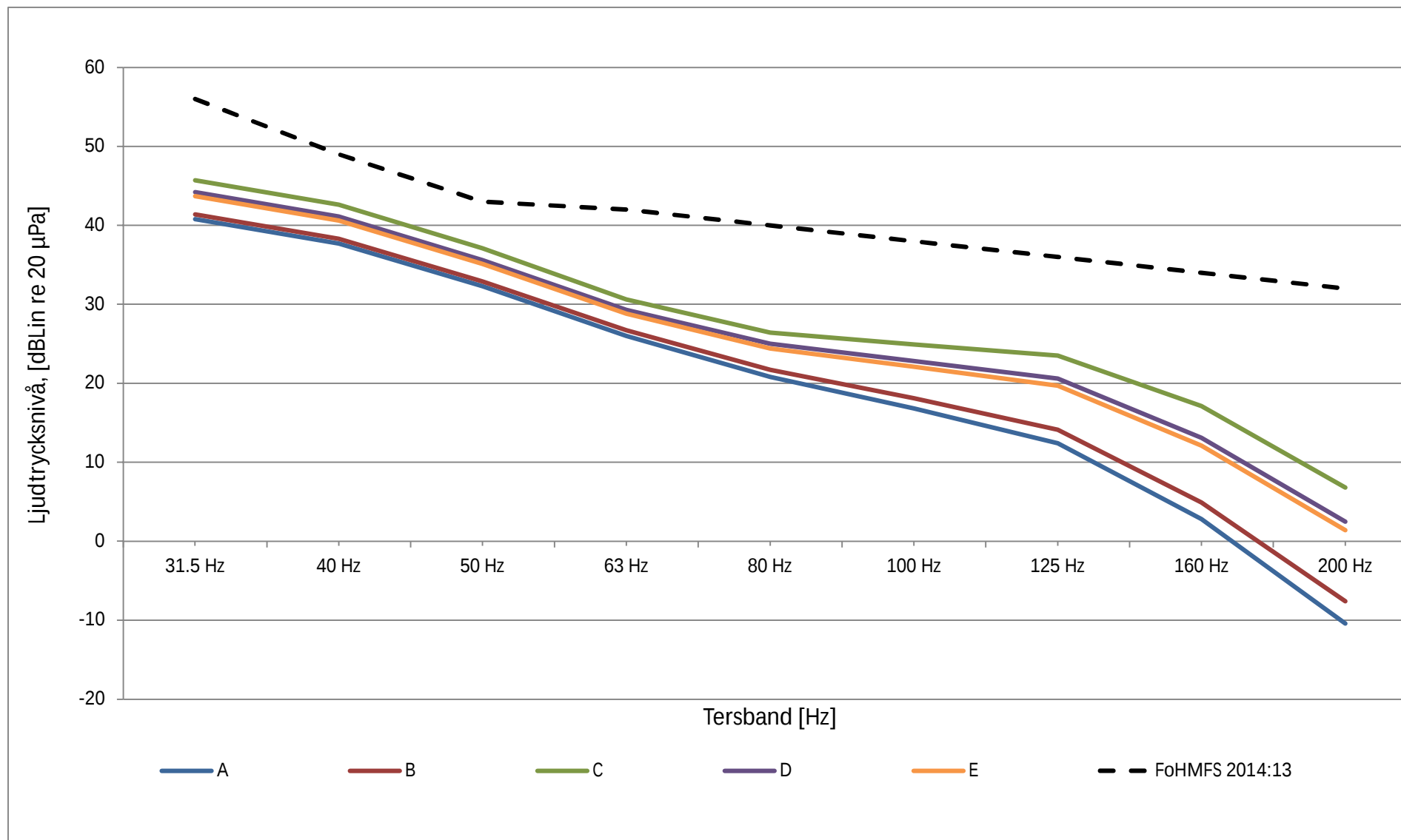
# Lågfrekvent ljud

| Beräknade ljudnivåer utomhus vid fasad [dB] |         |       |       |       |       |        |        |        |        |
|---------------------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Ljudkänslig punkt                           | 31.5 Hz | 40 Hz | 50 Hz | 63 Hz | 80 Hz | 100 Hz | 125 Hz | 160 Hz | 200 Hz |
| A                                           | 47.5    | 45.3  | 42.6  | 40.2  | 38.3  | 35.2   | 29.9   | 21.4   | 12.0   |
| B                                           | 48.1    | 45.9  | 43.2  | 40.9  | 39.2  | 36.5   | 31.6   | 23.5   | 14.8   |
| C                                           | 52.4    | 50.2  | 47.4  | 44.8  | 43.9  | 43.3   | 41.0   | 35.7   | 29.2   |
| D                                           | 50.9    | 48.7  | 45.9  | 43.5  | 42.5  | 41.2   | 38.1   | 31.7   | 24.9   |
| E                                           | 50.4    | 48.2  | 45.4  | 43.0  | 41.9  | 40.5   | 37.2   | 30.7   | 23.8   |

| Beräknade ljudnivåer inomhus [dB] (Ljudnivå utomhus - fasaddämpning) |         |       |       |       |       |        |        |        |        |
|----------------------------------------------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Ljudkänslig punkt                                                    | 31.5 Hz | 40 Hz | 50 Hz | 63 Hz | 80 Hz | 100 Hz | 125 Hz | 160 Hz | 200 Hz |
| A                                                                    | 40.8    | 37.7  | 32.3  | 26.0  | 20.8  | 16.8   | 12.4   | 2.8    | -10.4  |
| B                                                                    | 41.4    | 38.3  | 32.9  | 26.7  | 21.7  | 18.1   | 14.1   | 4.9    | -7.6   |
| C                                                                    | 45.7    | 42.6  | 37.1  | 30.6  | 26.4  | 24.9   | 23.5   | 17.1   | 6.8    |
| D                                                                    | 44.2    | 41.1  | 35.6  | 29.3  | 25.0  | 22.8   | 20.6   | 13.1   | 2.5    |
| E                                                                    | 43.7    | 40.6  | 35.1  | 28.8  | 24.4  | 22.1   | 19.7   | 12.1   | 1.4    |

| Jämförelse av beräknad ljudnivå inomhus med Folkhälsomyndighetens riktvärden [dB] <sup>1)</sup> |         |       |       |       |       |        |        |        |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Ljudkänslig punkt                                                                               | 31.5 Hz | 40 Hz | 50 Hz | 63 Hz | 80 Hz | 100 Hz | 125 Hz | 160 Hz | 200 Hz |
| A                                                                                               | -15.2   | -11.3 | -10.7 | -16.0 | -19.2 | -21.2  | -23.6  | -31.2  | -42.4  |
| B                                                                                               | -14.6   | -10.7 | -10.1 | -15.3 | -18.3 | -19.9  | -21.9  | -29.1  | -39.6  |
| C                                                                                               | -10.3   | -6.4  | -5.9  | -11.4 | -13.6 | -13.1  | -12.5  | -16.9  | -25.2  |
| D                                                                                               | -11.8   | -7.9  | -7.4  | -12.7 | -15.0 | -15.2  | -15.4  | -20.9  | -29.5  |
| E                                                                                               | -12.3   | -8.4  | -7.9  | -13.2 | -15.6 | -15.9  | -16.3  | -21.9  | -30.6  |

<sup>1)</sup> Ett negativt värde indikerar att Folkhälsomyndighetens riktvärde innehålls.



# Beräkningsparametrar

|                                         |                                       |
|-----------------------------------------|---------------------------------------|
| Beräkningsparametrar i mjukvara         |                                       |
| Beräkningsprogram:                      | SoundPLAN 8.2                         |
| Beräkningsstandard:                     | Nord2000                              |
| Beräkningshöjd:                         | 1,5 m                                 |
| Lufttryck:                              | 1013,25 mbar                          |
| Relativ luftfuktighet :                 | 70 %                                  |
| Temperatur:                             | 15 °C                                 |
| Temperaturgradient:                     | +0,05 °C/m                            |
| Råhetslängd enligt NV Rapport 6241:     | 0,01                                  |
| Vindhastighet:                          | 8 m/s 10 m över mark                  |
| Standardavvikelse vindhastighet:        | 1,2 m/s                               |
| Vindriktning:                           | Medvind åt alla håll                  |
| Turbulenta vindhastighetsfluktuationer: | 0,12 m <sup>4/3</sup> /s <sup>2</sup> |
| Turbulenta temperaturfluktuationer :    | 0,008 K/s <sup>2</sup>                |
| Effektiv flödesresistans mark:          | Klass D                               |
| Effektiv flödesresistans vattenytor:    | Klass H                               |

Lufttryck, relativ luftfuktighet samt temperatur är standardiserade meteorologiska värden enligt ISA-standard, International Standard Atmosphere.

Noterbart är också att beräkningarna är utförda för positiv temperaturgradient vilket motsvarar svag inversion. Värdet +0,05 °C/m är det högsta värdet som är godkänt enligt mätmetoden för ljudimmission av vindkraft enligt den av Naturvårdsverket rekommenderade mätmetoden Elforsk 98:24. Ljudnivån vid positiv temperaturgradient blir i regel högre än vid negativ temperaturgradient.

# Beräkningsparametrar

## Referenser

[1] Antagen ljudeffektnivå på 122 dBA och frekvensspektrum enligt tabell nedan.  
På sidan 2 förklaras tillvägagångssättet för framtagande av ljudeffektnivå och frekvensspektrum.

*Beräkningarna gäller för ljudeffektnivåer och frekvensspektrum enligt nedan.*

| Använt frekvensspektrum |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| Tersband [Hz]           | L <sub>WA</sub> [dBA] |
| 31.5                    | 87.9                  |
| 40                      | 92.0                  |
| 50                      | 95.5                  |
| 63                      | 98.7                  |
| 80                      | 101.7                 |
| 100                     | 104.1                 |
| 125                     | 106.3                 |
| 160                     | 108.3                 |
| 200                     | 109.8                 |
| 250                     | 110.9                 |
| 315                     | 111.8                 |
| 400                     | 112.3                 |
| 500                     | 112.5                 |
| 630                     | 112.3                 |
| 800                     | 111.8                 |
| 1000                    | 110.9                 |
| 1250                    | 109.8                 |
| 1600                    | 108.2                 |
| 2000                    | 106.3                 |
| 2500                    | 104.2                 |
| 3150                    | 101.7                 |
| 4000                    | 98.7                  |
| 5000                    | 95.5                  |
| 6300                    | 92.0                  |
| 8000                    | 87.9                  |
| 10000                   | 83.8                  |
| Totalt                  | 122.0                 |

## Kommentarer och slutsatser

Beräkningarna visar att Naturvårdsverkets riktvärde på 40 dBA förväntas innehållas med god marginal vid de beräknade bostäderna. Detsamma gäller Folkhälsomyndighetens riktvärden för lågfrekvent ljud inomhus.

Att marginalen till riktvärdena är god innebär att det finns utrymme för vindkraftverk som bullrar mer än vad som antagits i beräkningarna. Observera att beräkningarna är utförda för en exempellayout där vindkraftverken är något koncentrerade till sydvästra delen av projektområdet. Detta är att betrakta som ett värsta fall sett till bullernivåer vid bostäder. För en layout där samma antal verk är fördelade över hela projektområdet skulle generellt lägre ljudnivåer till bostäder beräknas.

De beräknade ljudnivåerna uppgår som högst till 31 dBA.