

Ljudberäkning av ljud från vindkraft

Vindpark Triton

Version	Kommentar	Datum	Upprättad av
01	Första version	2021-10-01	Sara Jarmander
02	Uppdatering med Nord2000	2021-11-02	Sara Jarmander
03	Slutgiltig version	2022-02-18	Sara Jarmander

Sammanfattning

Den havsbaserade vindparken Triton är belägen i södra Östersjön utanför den skånska kusten, cirka 30 km söder om Ystad. En exempellayout motsvarande "worst-case" har tagits fram och använts som underlag för ljudberäkningen. Den består av 129 turbiner och baseras på en framtida turbin i storleksordningen 25 MW och rotordiameter 340 m.

Beräkning av A-vägd ekvivalent ljudnivå utomhus har utförts av OX2 i modellen Nord2000 i enlighet med praxis. Det innebär att beräkningarna har utförts för medelvinden 8 m/s på 10 m höjd. Därtill har en preliminär utredning av lågfrekvent ljud inomhus mellan 31,5 och 200 Hz genomförts.

För beräkningarna har en fiktiv 25 MW-turbin använts som referens med en navhöjd på 200 m. Eftersom denna typ av vindkraftverk i dagsläget inte finns på marknaden har OX2 uppskattat ljudeffektnivåer och motsvarande frekvensspektrum för den fiktiva turbinen utifrån tillgängliga data från befintliga turbiner.

Av resultatet framgår att riktvärdena för A-vägd ekvivalent ljudnivå, 40 dBA respektive 35 dBA, ligger utanför kusten. Det vill säga, inga närliggande bostäder och friluftsområden längs kusten berörs av ljudnivåer över riktvärdena. Det långa avståndet till kusten och det faktum att nivån för 30 dBA ligger långt utanför kusten indikerar att lågfrekvent ljud inte kommer vara någon risk för närboende.

1 Ljud

Vindkraftverk i drift avger två typer av ljud; mekaniskt och aerodynamiskt. Det mekaniska ljudet alstras från bland annat generator, fläktsystem och i förekommande fall växellåda. I moderna vindkraftverk har man lyckats eliminera det mekaniska ljudet i stor utsträckning genom isolering av maskinhuset och elastisk montering av växellådan.

Det aerodynamiska ljudet utgör den dominerande delen av ljudet från ett vindkraftverk och uppstår av rotorbladens passage genom luften. Vid nära avstånd uppfattas detta vanligtvis som ett väsande eller svischande ljud, medan det på större avstånd ändrar karaktär och ljudet blir dovare. Det aerodynamiska ljudet bestäms bland annat av bladspetsens hastighet, bladformen samt luftens turbulens. Av denna anledning har varje turbinmodell en specifik ljudeffektnivå (källljud). Ljudspridningen från olika vindkraftverk och leverantörer är således inte samma vid samma vindhastighet.

Ljudnivån avtar med avståndet från vindkraftverken. Ljudets hörbarhet och utbredningsförmåga beror på meteorologiska förhållanden, främst vindhastighet, fuktighet och lufttemperatur. Dessutom påverkas ljudutbredningen av markens egenskaper i form av markdämpning. Vatten är akustiskt sett hårt, vilket medför att ljudvågorna har en god reflexionsförmåga och dämpningen blir mindre över hav jämfört med över land.

För större vindkraftverk rekommenderas att man även beaktar förekomsten av lågfrekvent ljud vilket är ljud i frekvensområdet 20 – 200 Hz.

1.1 Riktvärden för ljud från vindkraftverk

Enligt Naturvårdsverket är riktvärdena avseende A-vägd ekvivalent ljudnivå 40 dBA utomhus för bostäder och 35 dBA för områden med låga bakgrundsljud eller där låga ljudnivåer bör eftersträvas, exempelvis utomhus inom friluftsområden.

För riktvärden och bedömning av lågfrekvent ljud hänvisar Naturvårdsverket till *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om buller inomhus, FoHMF 2014:13*. Riktvärdena presenteras i Tabell 1.

Tabell 1: Riktvärden för lågfrekvent ljud enligt FoHMF 2014:13.

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

2 Beräkning av ljud från vindkraftverk

Enligt Naturvårdsverkets tidigare vägledning ska vindstyrkan 8 m/s på 10 meters höjd användas som referensvärde för beräkning av ljudutbredning från vindkraftverk. Detta har uppdaterats i samband med Naturvårdsverkets senaste vägledning från 2020, *Vägledning om buller från vindkraftverk (2020-12-01)*.

Enligt uppdateringen gäller att kontroll av ljud från vindkraftverk ska ske vid den vindhastighet då vindkraftverket alstrar högst ljudnivåer. Ibland kan det vara vid annan vindhastighet än referensförhållandena 8 m/s på 10 m höjd.

2.1 Estimering av frekvensdata för framtida vindkraftverk

Den tekniska utvecklingen av vindkraftverk har under de senaste 20 åren resulterat i större vindkraftverk med högre effekt. De stora moderna vindkraftverken alstrar inte alltid högre ljudnivåer än de äldre modellerna eftersom tillverkarna har arbetat med att minska ljudet genom att optimera bladens utformning, samt utformningen av de mekaniska komponenterna.

För beräkning av ljudutbredning för vindpark Triton har en fiktiv 25 MW-turbin använts som referens. En sådan turbin finns inte tillgänglig på marknaden idag vilket innebär att faktiska ljuddata saknas.

Generellt sett finns det lite information om estimerade ljudeffektnivåer för framtida större vindkraftverk. OX2 har studerat hur sambandet mellan turbinstorlek och ljudeffektnivå (L_{WA} -värden) har sett ut historiskt för olika turbintillverkare. OX2 har därefter antagit att samma trend kan appliceras för att estimerar ljudeffektnivån för den framtida 25 MW-turbinen som använts i denna beräkning. Detta resulterade i en ljudeffektnivå om 124 dBA, vilket är i linje med indikationer från turbintillverkare.

OX2 har även skalat upp frekvensspektrumet (oktavbandsdata mellan 16 och 8000 Hz samt 1/3-oktavband mellan 12,5 och 10 000 Hz) för en befintlig referensturbin till motsvarande 25 MW-turbin. De resulterande värdena för oktavbandsdata efter skalning redovisas i Tabell 2. Motsvarande frekvensspektrum i 1/3-oktavband hittas i Bilaga 1.

Tabell 2: Estimerad A-viktad oktavbandsdata för den fiktiva 25MW-turbinen. I tabellen visas värden vid en vindhastighet på 11 m/s vid navhöjd, vilket för 200 m navhöjd motsvarar 8 m/s på 10 m höjd.

Frekvens [Hz]	A-viktade oktavband [dBA] 25 MW
16	76,2
32	92,2
63	103,0
125	109,4
250	114,8
500	117,8
1000	119,7
2000	117,1
4000	108,4
8000	90,2
Total Ljudeffektnivå [dBA]	124,0

3 Beräkning av ljudutbredning

Det finns flera tillgängliga beräkningsmodeller för att beräkna vindkraftbuller. Nord2000 och de svenska beräkningsmodellerna framtagna av Naturvårdsverket är de mest använda modellerna. De svenska beräkningsmodellerna för såväl havsbaserad och landbaserad vindkraft är relativt enkla. Naturvårdsverket rekommenderar därför att man i de flesta fall bör använda Nord2000 eftersom denna är en mer avancerad beräkningsmodell som tar hänsyn till olika parametrar, bland annat vind, temperatur och markegenskaper. Avseende markegenskaper kan Nord2000 ta hänsyn till vattenytors akustiska egenskaper. Detta görs genom antagandet om hård yta för vatten, vilket innebär att ljudet sprids längre.

I enighet med Naturvårdsverkets vägledning har OX2 valt att utföra beräkningen för A-vägd ekvivalent ljudnivå med modellen Nord2000. Denna beräkningsmodell behöver oktavbandsdata som input. Data enligt Tabell 2 har använts för den fiktiva 25 MW-turbinen.

Naturvårdsverket hänvisar inte till någon specifik metod avseende lågfrekvent ljud inomhus för jämförelse mot Folkhälsomyndighetens riktvärden. OX2 har använt metoden Nord2000 även för lågfrekvent ljud och baserat beräkningarna på ljudnivåer utomhus i 1/3-oktavband. Därefter har ljudnivåer inomhus i 1/3-oktavband beräknats utifrån en fasaddämpning, för att sedan jämföras med riktvärdena enligt FoHMF 2014:13 i Tabell 1.

3.1 Parametrar för beräkning

Eftersom det råder stora säsongsvariationer i väder och vind i Sverige valdes värden på väderparametrarna i Nord2000 enligt praxis vid bullermätningar, vilket är temperaturen 15 °C samt relativa luftfuktigheten 70 %. Detta motsvarar standardiserade meteorologiska värden enligt ISA-standard (International Standard Atmosphere).

Enligt Naturvårdsverkets rekommendation har beräkningarna utförts för medelvind 8 m/s på höjden 10 m. Vidare har beräkningarna utförts med antagandet att det alltid blåser medvind åt alla håll. Detta kan betraktas som ett "worst-case".

En positiv vertikal temperaturgradient, 0,05°C/m, har används för beräkningarna vilket motsvarar en svag inversion, det vill säga att temperaturen stiger med höjden. Detta är det högsta tillåtna värdet på temperaturgradienten enligt Naturvårdsverkets rekommenderade mätmetod, Elforsk 98:24, för ljudemission. En positiv temperaturgradient ger i regel minskad dämpning. Detta eftersom inversion medför att varmluften fungerar som ett lock och dämpar luftens vertikala rörelse, vilket innebär att ljudutbredningen ändras från en halvsfärisk utbredning till en mer cylinderformad utbredning.

Markens "hårdhet" eller impedans anges som flödesresistans i Nord2000 och behöver specificeras för olika terrängtyper. Det finns 8 klasser, A-H, där A motsvarar mjuka terrängtyper och H hårda terrängtyper. För denna beräkning har klass D "Crop field spring, autumn, grass (normal)" används för normal mark och klass H "Water, ice, concrete, asphalt" för vattenytor. Samtliga beräkningsparametrar presenteras i Tabell 3.

Tabell 3: Beräkningsparametrar i Nord2000.

Beräkningsparametrar Nord2000	
Beräkningsprogram	WindPRO 3.5
Beräkningsmodell	Nord2000
Beräkningsradie	30 000 m
Beräkningshöjd	1,5 m
Relativ luftfuktighet	70 %
Temperatur	15 °C
Temperaturgradient	0,05 °C/m
Råhetslängd enligt NV Rapport 6241	0,01
Höjd (referensförhållanden)	10 m
Vindhastighet (referensförhållanden)	8 m/s
Vindriktning	Alltid medvind
Standardavvikelse vindhastighet	0,5 m/s
Turbulenta vindhastighetsfluktuationer	$0,12 \text{ m}^{4/3}/\text{s}^2$
Turbulenta temperaturfluktuationer	$0,008 \text{ K}/\text{s}^2$
Effektiv flödesresistans mark (land)	Klass D
Effektiv flödesresistans vatten	Klass H

Lågfrekvent ljud utomhus utanför bostäder har beräknats med Nord2000. Därefter applicerades en fasaddämpning för att erhålla motsvarande lågfrekventa ljudnivåer inomhus. Fasaddämpningen enligt Hoffmeyer och Jakobsen (Hoffmeyer och Jakobsen, 2010 and Danish Statutory order 1284, 2011) har använts, se Tabell 4. Denna fasaddämpning är uppmätt på hus i Danmark. I allmänhet har bostadshus i Sverige fasader med bättre isolering som dämpar ljudet bättre.

Tabell 4: Antagen fasaddämpning enligt Hoffmeyer och Jakobsen.

Frekvens (Hz)	Ljudtrycksnivå (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

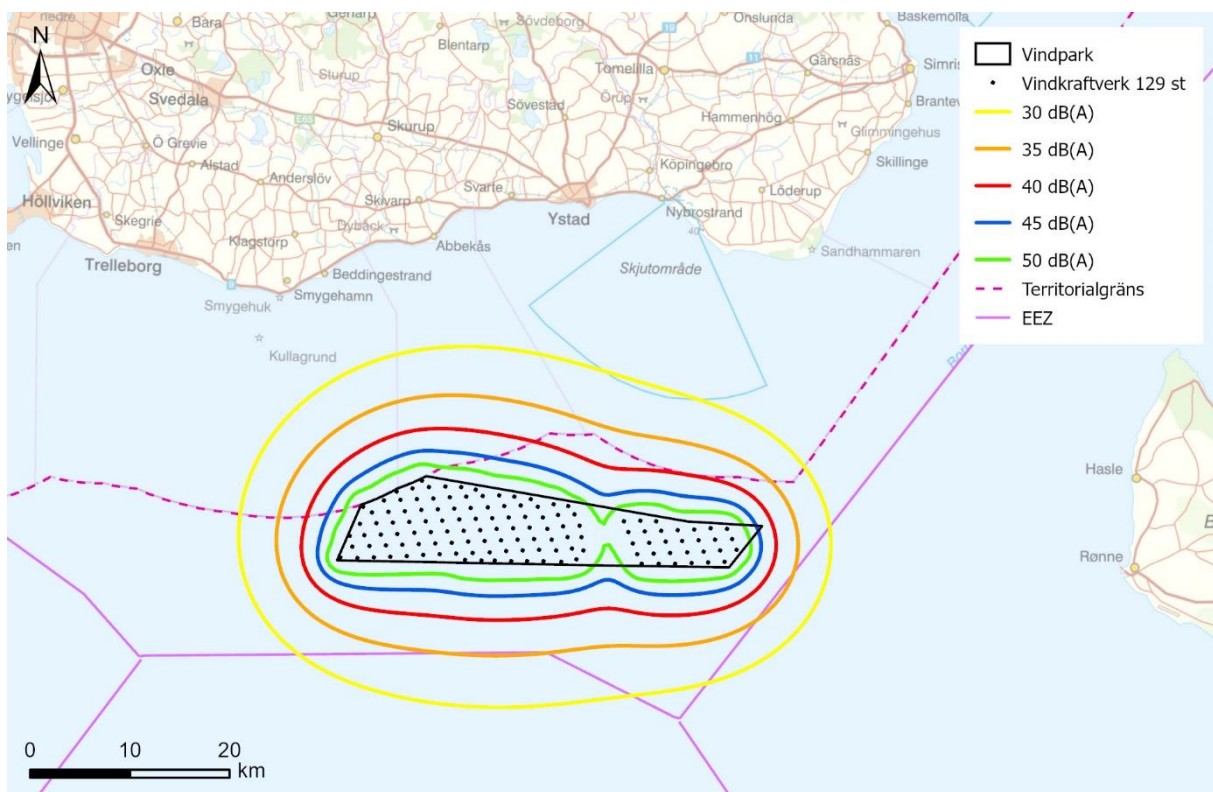
4 Resultat

Nedan presenteras resultatet för ljudutbredningen från vindpark Triton för exempellayouten med den fiktiva 25 MW- turbinen och dess oktavbandsdata enligt Tabell 2.

Resultatet redovisas i ljudkartor med A-vägd ekvivalent ljudnivå med ISO-linjer. Resultatet är redovisat för 1,5 m höjd över marken, se För lågfrekvent ljud inomhus mellan 31,5 och 200 Hz har jämförelsen gjorts mot riktvärdena i *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om buller inomhus, FoHMFS 2014:13*.

4.1 Resultat - Ekvivalent ljudnivå

Resultatet av ljudberäkningen visas i Figur 1. Det framgår att riktvärdena för A-vägd ekvivalent ljudnivå, 40 dBA (bostäder utomhus) respektive 35 dBA (fritidsområden), ligger flera kilometer utanför kusten för det beskrivna worst-case scenario. Det vill säga, samtliga närliggande bostäder och områden där låga ljudnivåer bör eftersträvas berörs inte av ljudnivåer över riktvärdena.



Figur 1: Resultat ljudutbredningar i WindPRO för exempellayout för Triton. (Källa: Lantmäteriet)

4.2 Resultat - Lågfrekvent ljud

Ett antal punkter längs kusten har valts ut för beräkning av lågfrekvent ljudnivå inomhus. Dessa punkter motsvarar inte befintliga bostäder, utan symboliserar ett "worst-case" då de är belägna precis vid kusten. Vidare har beräkningen baserats på konservativa antaganden för temperaturgradient, fasadisolering och vindriktning. Resultatet av beräkningen pekar på att lågfrekvent ljud inte kommer att överskrida Folkhälsomyndighetens riktlinjer för närboende. Även det långa avståndet till kusten, cirka 30 km, medför att ljudet dämpas. Detta kallas avståndsdämpning och beror på att luften har en viss täthet med reflekterande och absorberande egenskaper. Det finns därmed ingenting som pekar på att lågfrekvent ljud kommer överskrida riktlinjerna.

Dessutom har svenska studier¹ visat på att så länge buller från vindkraftverk inte överskrider riktvärdet 40 dBA utomhus är risken liten att riktvärdena för lågfrekvent buller inomhus överskrids, förutsatt att husen är byggda enligt Svensk byggstandard utan särskilt ljudisolerande fönster. För Triton ligger nivån för 30 dBA långt utanför kusten, vilket också indikerar att lågfrekvent ljud inte kommer vara någon risk för närboende.

¹ Nilsson et al, Kunskapssammanställning om infra- och lågfrekvent ljud från vindkraftsanläggningar: exponering och hälsoeffekter. Naturvårdsverket, 2011

Bilaga 1 – Estimerad A-viktad 1/3-oktavbandsdata

Estimerad A-viktad 1/3 oktavbandsdata för den fiktiva 25MW-turbinen. I tabellen visas värden när det blåser 11 m/s vid navhöjd, vilket för 200 m navhöjd motsvarar 8 m/s på 10 m höjd.

Frekvens[Hz]	A-viktade 1/3 oktavband [dBA] 25 MW
12,5	61,3
16	68,9
20	75,2
25	80,8
31,5	85,9
40	90,6
50	94,5
63	97,9
80	100,5
100	102,5
125	104,5
160	106,3
200	108,0
250	109,9
315	111,4
400	112,0
500	113,0
630	113,8
800	114,3
1000	114,9
1250	115,4
1600	113,9
2000	112,3
2500	109,9
3150	106,7
4000	102,3
5000	97,3
6300	89,9
8000	78,5
10000	63,5
Total Ljudeffektnivå	124,0