

# PM LJUD FRÅN VINDKRAFTVERK

2020-04-08



**wsp**

Medverkande  
WSP Sverige AB

Text ursprunglig: Elin Börjesson, Åsa Lindbom, Arvid Lökken, Ola  
Trulsson  
Reviderad 2020: Björn Persson  
Figurer & illustrationer: © WSP, om inget annat anges

## INEHÅLL

1. INLEDNING .....	4
2. VAD ÄR LJUD?.....	4
3. LJUD FRÅN VINDKRAFTVERK.....	6
Lågfrekvent- och infraljud .....	6
Ultraljud.....	7
4. RIKTLINJER OCH REKOMMENDATIONER .....	8
Områden med lågt bakgrundsljud .....	9
5. KONSEKVENSER .....	10
Kumulativa effekter.....	10
6. BERÄKNING AV LJUDSPRIDNING .....	11
Val av verksmodell vid beräkning av ljudspridning.....	11
Beräkningsmetoder .....	12
Naturvårdsverkets modell från 2001 .....	12
Nord2000.....	13
7. MÖJLIGA SKYDDSÅTGÄRDER .....	14
8. REFERENSER .....	15

## 1. INLEDNING

I denna PM görs en generell beskrivning av hur ljud uppkommer, vilken typ av ljud som genereras från vindkraftverk, vilka krav verksamhetsutövaren har att förhålla sig till, konsekvenser, hur en beräkning av ljudspridning från vindkraftverk genomförs samt vilka skyddsåtgärder som kan vidtas.

## 2. VAD ÄR LJUD?

Ljud är tryckförändringar i t.ex. luft som uppfattas av vår hörsel. Ljudets styrka, ljudnivån, uttrycks i flera olika fysikaliska storheter såsom ljudtryck och ljudintensitet. Ljudtrycket mäts i ljudtrycksnivå ( $L_p$ ) och ljudintensiteten mäts i ljudeffektnivå ( $L_w$ ), se faktaruta 1. Ljudnivå mäts enligt en logaritmisk skala i enheten decibel (dB). I denna PM kommer vi härnäst att relatera till ljudnivån från vindkraft i form av ljudtrycksnivå (ljudnivå).

Det mänskliga örat kan uppfatta ljudnivåer mellan 0 och 130 dB. En ökning av ljudnivån med mindre än 1 dB är generellt sett lägre än vad det mänskliga örat kan uppfatta. En ökning av ljudnivån med ca 10 dB uppfattas av människan som en fördubbling av ljudnivån

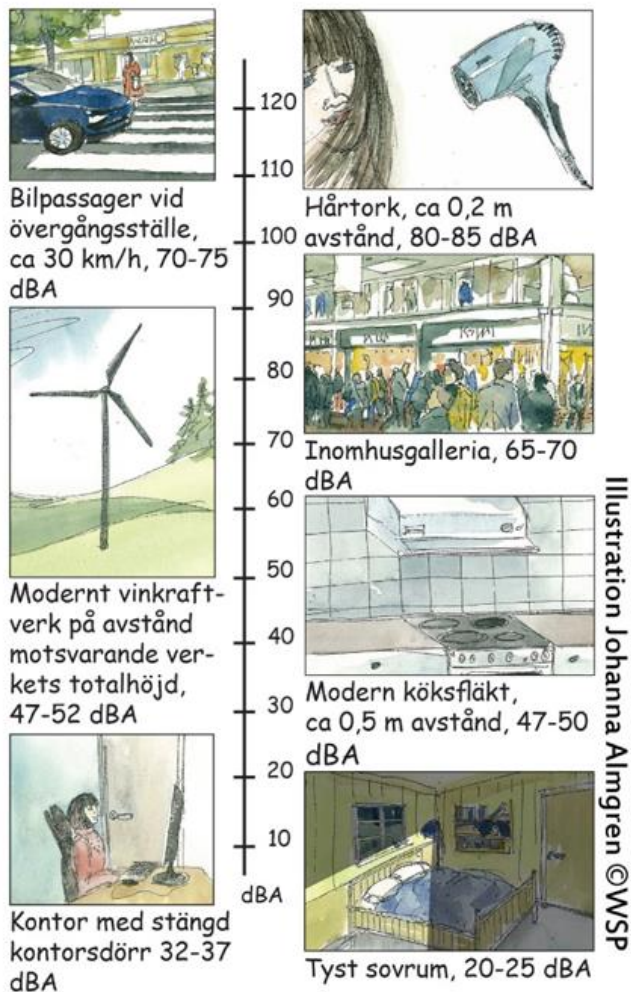
### Faktaruta 1 Ljudnivå

Ljud kan uttryckas på olika sätt, i en vindpark pratar man ofta om en ljudeffektnivå från verken och en ljudtrycksnivå vid bostäder. Ljudeffektnivå, eller källljud, är en egenskap hos ljudkällan, detta skall inte blandas ihop med ljudtrycksnivån som är ett mått på vad man faktiskt kan höra.

Till skillnad från ljudtrycket är ljudeffekten helt opåverkad av avstånd och omgivning.

- Fördubblas ljudeffekten ökar ljudeffektnivån ( $L_w$ ) med 3 dB
- Fördubblas ljudtrycket ökar ljudtrycksnivån ( $L_p$ ) med 6 dB
- Den upplevda ljudnivån är svårare att mäta, men för människor upplevs ofta en ökning av ljudtrycksnivån med 10 dB som en fördubbling av ljudnivån.

När man talar om vindkraftverkets källljud är det alltså ljudeffektnivån som avses, se faktaruta 3 om källljud.



Figur 1. Vanligt förekommande ljud och ljudnivåer.

Människans upplevelse av ljudet varierar inte enbart med ljudets styrka utan styrs även av ljudets frekvenssammansättning. Människans hörbara frekvensspann löper mellan ca 20 och 20 000 Hz. Det mänskliga örat kan dock bara höra ljud inom frekvensspannet 125–8 000 Hz bra. Detta innebär att vi kan uppfatta betydligt lägre ljudstyrkor från ljud inom frekvensspannet 125–8 000 Hz, än ljud inom övriga frekvensintervall. Vid mätning och beräkning av ljudstyrkan görs av denna anledning en

kompensation för ljudets frekvenssammansättning, så kallad frekvensvägning. Normalt används en frekvensvägning som medför att låga och mycket höga frekvenser dämpas, medan frekvenser mitt i människans hörselomfång förstärks eller lämnas opåverkade. När sådan frekvensvägning används anges ljudnivån i decibel-A (dB(A)).

I figur 1 illustreras några vanligt förekommande ljud. Notera att ljudnivåer under 30 dB(A) kan beskrivas som mycket låga ljudnivåer förknippade med omgivningar som människan i regel upplever som tysta. Ett ljud som upplevs som oönskat och störande benämns buller.

### 3. LJUD FRÅN VINDKRAFTVERK

Vindkraftverk ger upphov till två typer av ljud. Dels ett s.k. aerodynamiskt ljud som uppstår vid rotorbladens passage genom luften, se figur 2, dels ett mekaniskt ljud som alstras från t.ex. generator, kylfläktar eller växellåda (om turbinmodellen har en växellåda). Det aerodynamiska ljudet bestäms av bladspetsens hastighet, bladformen och luftens turbulens. Med detta följer att olika vindkraftverk orsakar ljud med olika ljudnivåer vid en och samma vindhastighet. Varje vindkraftsleverantör mäter och dokumenterar det ljud som respektive turbinmodell emitterar i direkt anslutning till vindkraftverket (på ett avstånd som motsvarar verkets totalhöjd). Detta benämns som verkets källljud, se faktaruta 1 och 3.

Aerodynamiskt ljud påminner om det naturliga vindbrus som uppstår i t.ex. vegetationen när det blåser. Det aerodynamiska ljudet kan beskrivas som ett bredbandigt brus, vanligen inom ca 250–2 000 Hz. När man befinner sig nära vindkraftverket upplevs detta ljud vanligen som ett väsande eller svischande. På större avstånd ändras karaktären och ljudet blir dovre. Ljudnivån avtar ju längre ifrån ljudkällan man befinner sig eftersom att ljusenergin fördelas över ett större område och dämpas av omgivande atmosfär och materia. Ljudets hörbarhet beror även på meteorologiska förhållanden (som vindhastighet och lufttemperatur) samt i vilken terräng vindkraftverken är placerade (topografi och ytråhet). Ljudnivån kan därför vara av olika storlek vid två olika mottagare även om avståndet till källan är detsamma.

Från tidigt 1990-tal och framåt har ljudnivåerna från vindkraftverkens maskinhus successivt minskat och idag är det mekaniska ljudet ett mindre problem då det i princip helt har bortisolerats. Det har även gjorts stora framsteg i att minska det aerodynamiska ljudet från vindkraftverk, vilket vindkrafttillverkarna fortsätter att arbeta med även idag.

När flera olika ljudkällor förekommer kan en s.k. maskeringseffekt uppstå, vilket innebär att vissa ljud överröstas av andra så att de inte upplevs lika märkbara. Ljudet från vindkraftverk kan t.ex. maskeras av ljud från trafik, industrier m.m., men även av naturliga bakgrundsljud såsom vindsus och lövprassel. Dessa naturliga ljud ökar i ljudstyrka när vindhastigheten ökar och därmed ökar maskeringseffekten.

#### Lågfrekvent- och infraljud

Negativa hälsoeffekter till följd av lågfrekvent ljud och infraljud från vindkraft har under de senaste åren diskuterats. **Lågfrekvent ljud** är, enligt Boverkets definition, ljud med en frekvens mellan 20 och 200 Hz. Ljud med lägre frekvens än 20 Hz kallas **infraljud** och uppfattas inte av det mänskliga örat.

Av denna anledning har Karolinska institutet, Institutionen för miljömedicin (IMM), på uppdrag av Naturvårdsverket genomfört en genomgång och sammanställning av kunskapsläget vad gäller exponering och hälsoeffekter av infra- och lågfrekvent ljud från vindkraftanläggningar.<sup>1</sup>

Följande slutsatser dras av kunskapssammanställningen:

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



Figur 2 Ljudalstring från ett vindkraftverk, visualiserad genom mätning med akustisk kamera. Utdrag från Lindkvist 2010.

- Det lågfrekventa ljudet är ofta hörbart vid gällande riktvärde på 40 dB(A) för bostäder (se vidare avsnitt 4). Ljudet från vindkraftverk har dock inte större innehåll av lågfrekvent ljud än andra vanliga bullerkällor vid deras riktvärden, till exempel ljud från vägtrafik.
- Större vindkraftverk genererar förhållandevis mer lågfrekvent ljud än mindre vindkraftverk, även med hänsyn taget till total ljudnivå (en ökning med ca 1 dB per fördubbling av verkets effekt). Med allt större vindkraftverk kommer därför andelen lågfrekvensljud i vindkraftsbullret att öka något. Förutsatt att riktvärdet utomhus vid bostadens fasad, 40 dB(A), 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.
- Det påstås ibland att infra- och lågfrekvent buller från vindkraft kan medföra risk för allvarliga hälsoeffekter i form av "vibroakustisk sjukdom", "vindkraftssyndrom" eller skadlig infraljudspåverkan på innerörat. En genomgång av det vetenskapliga underlaget visar att dessa påståenden saknar belägg.

IMM's slutsats är alltså att ljudisoleringen hos vanliga familjebostadshus är fullt tillräcklig för att Folkhälsomyndighetens riktlinjer inte ska överskridas då ljudnivån från vindkraftverk utomhus uppgår till 40 dB(A). Detta gäller vindkraftanläggningar med upp till 50 verk.<sup>2</sup>

Beräkning av ljudspridning med särskild hänsyn till det lågfrekventa ljudet kan göras genom att använda sig av frekvensavvägning C, vilket ger ett resultat i dB(C) (jämför dB(A)). För att få en bild av hur mycket lågfrekvent ljud som uppstår från en vindkraftanläggning rekommenderar Naturvårdsverket att man undersöker skillnaden mellan A-vägd och C-vägd ljudnivå. Om resultatet visar att skillnaden är lägre än 15 dB förekommer sannolikt inga problem med lågfrekvent ljud.<sup>3</sup> Om skillnaden är större än 15 dB bör man noggrannare undersöka ljudförhållandena. Vid en sådan noggrannare undersökning är det lämpligt att jämföra med Folkhälsomyndighetens riktvärden för ljudnivåer inomhus vid låga frekvenser.

I Folkhälsomyndighetens föreskrifter (FoHMFS 2014:13) finns riktvärden för bedömning av om olägenheter för människors hälsa kan uppstå på grund av lågfrekvent ljud inomhus.<sup>4</sup> Riktvärdena omfattar ljudtrycksnivåer i olika tersband från 31,5 Hz till 200 Hz. Det går inte utesluta att ljudnivåer i lägre frekvenser än Folkhälsomyndighetens riktvärden, t.ex. tersbandet 25 Hz, kan orsaka störning. Men höga ljudnivåer vid tersbandet 25 Hz utgör normalt sett inget större problem i bostäder. Om ljudnivåer i 25 Hz understiger 64 dB är risken för störning mycket liten, för 64 dB vid 25 Hz ligger på gränsen eller till och med under vad en person med normal hörsel kan höra (5).

Inga riktvärden finns för lågfrekvent ljud utomhus.

## Ultraljud

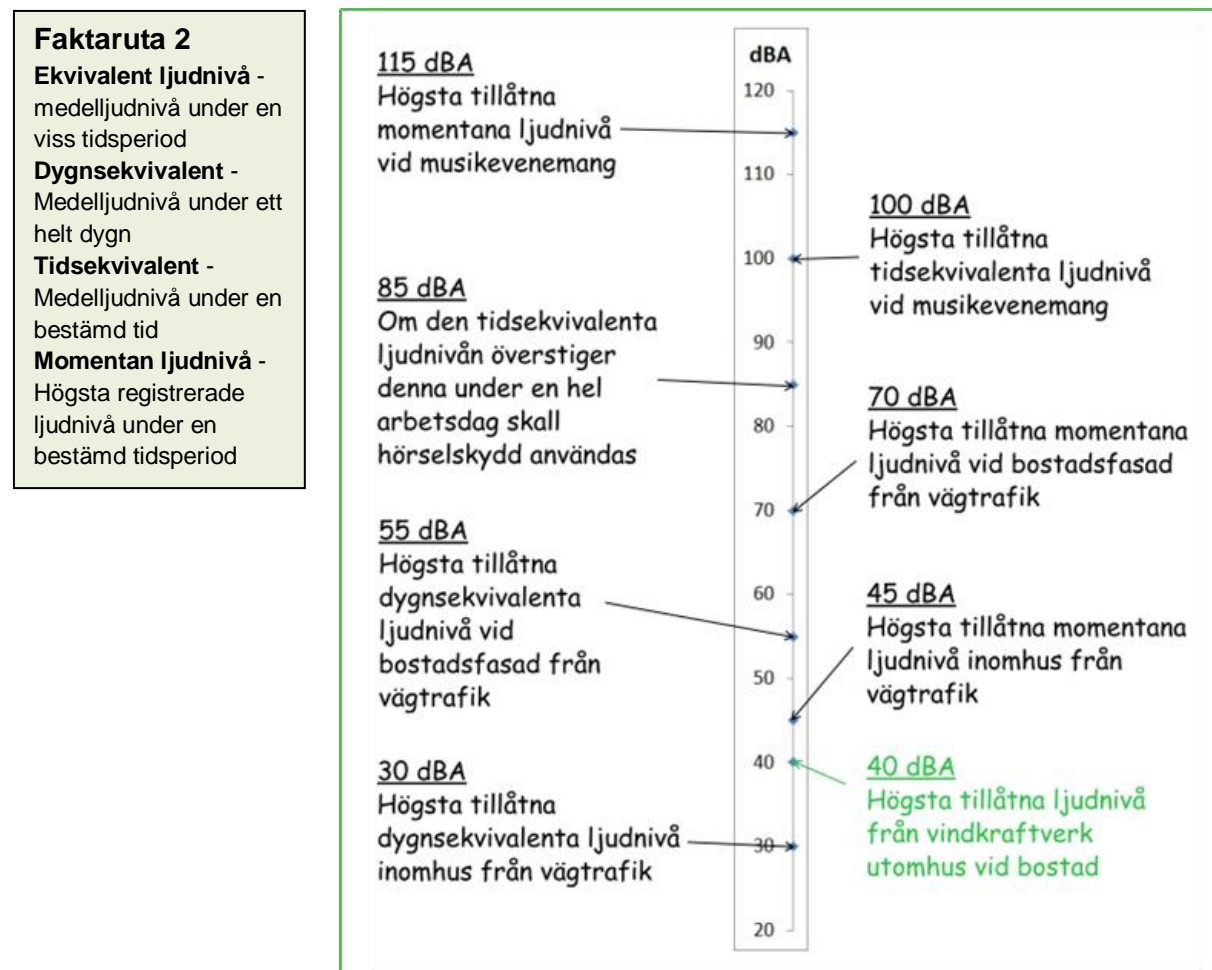
Ultraljud är ljud över det mänskliga hörbara frekvensområdet. Analogt definieras ultraljud som ljud där frekvensen är över 20 000 Hz. Ultraljud har mycket korta våglängder och dämpas därför kraftigt av stora avstånd genom friktion i luften. Genom att säkerställa att en ljudnivå om 40 dB(A) uppnås vid närliggande bostäder placeras vindkraftverken på ett så pass långt avstånd från bostäder att risken för störningar från ultraljud är mycket liten.

## 4. RIKTLINJER OCH REKOMMENDATIONER

Några särskilt fastställda riktlinjer eller riktvärden för ljud från vindkraftverk finns inte. Enligt praxis tillämpas det av Naturvårdsverket rekommenderade riktvärdet för externt industribuller nattetid.<sup>6</sup> Enligt praxis får således ljud från vindkraftverk inte överstiga 40 dB(A) i ekvivalent ljudnivå utomhus vid bostäder. Vid fastställande av villkor avseende ljud från vindkraftverk fastställs normalt sett ett begränsningsvärde om 40 dB(A). Vid vidare hänvisning till att ljud från vindkraft inte får överstiga 40 dB(A) används begreppet "ljudkrav".

Ljudkravet för vindkraft kan jämföras med exempelvis vägtrafiken där rikt värdet för ekvivalent ljudnivå utomhus vid bostäder är 55 dB(A) respektive maximalt 70 dB(A) vid uteplatser. Detta kan även jämföras med ljudnivån från andra källor i vår vardagliga omgivning, se figur 1. I figur 3 redovisas några svenska riktlinjer och rekommendationer för olika typer av verksamheter.

Ljudkravet för vindkraft kan även jämföras med riktvärdena för industribuller. Riktvärdet för buller från ny industri är max 50 dB(A) (momentana ljud 55 dB(A)). Vid arbetslokaler gäller 60 dB(A). För befintlig industri gäller högre nivåer, se figur 4. Även för industriverksamheten gäller att riktvärdet är en tidsekvivalent, vilket alltså innebär att ljudnivån inte får överskrida ett medelvärde under en viss tidsperiod. Under tidsperioden får alltså högre nivåer förekomma så länge medelvärdet inte överskrids.



Figur 3. Svenska riktlinjer och rekommendationer för olika typer av verksamheter



Områdesanvändning <sup>1)</sup>	Ekvivalent ljudnivå i dBA			Högsta ljudnivå i dBA-läge "FAST"
	Dag kl. 07-18	Kväll kl. 18-22 samt söndag och helgdag kl. 07-18	Natt kl. 22-07	Momentana ljud nattetid kl. 22-07
Arbetslokaler för ej bullrande verksamhet	60	55	50	-
Bostäder och rekreationsytor i bostäders grannskap samt utbildningslokaler och vårdbyggnader.	50	45	40 <sup>2)</sup>	55
Områden för fritidsbebyggelse och rörligt friluftsliv där naturupplevelsen är en viktig faktor. <sup>3)</sup>	40	35	35	50

1) Vid de fall där kringliggande områden ej utgörs av angivna områdestyper bör bullervillkoren anges på annat sätt, t ex ljudnivå vid stadsplanegräns eller på ett visst avstånd från anläggningen.

2) Värdet för natt behöver ej tillämpas för utbildningslokaler.

3) Avser områden som planlagts för fritidsbebyggelse och rörligt friluftsliv.

Figur 4 Utdrag ur Naturvårdsverkets riktlinjer för externt industribuller. Utomhusrikt-värden för externt industribuller angivna som ekvivalent ljudnivå i dBA. Tabellen gäller frifältsvärden vid nyetablering av industri.

## Områden med lågt bakgrundsljud

I områden med lågt bakgrundsljud eller där låga ljudnivåer bör eftersträvas, bör ljudnivån från vindkraftverk enligt Naturvårdsverket inte överskrida 35 dB(A).

Kommunerna har möjlighet att identifiera områden med lågt bakgrundsljud genom att i sina översiktsplaner peka ut s.k. tysta områden. Ett tyst område kan beskrivas som ett område med frihet från buller. Det kan vara områden som används för rekreation och där naturupplevelsen är betydelsefull och där ljudkvaliteten anses ha ett stort värde. Idag kommer bullret i våra miljöer oftast från trafiken, från fläktar som väsnas eller dunket från grannens stereo. Trafiken, i synnerhet vägtrafiken, är den största störningskällan, men även bergtäckter, skjutbanor, överflygande flygplan och liknande sprider buller långt ut i naturen. Nya bullrande verksamheter placeras ofta långt från befintliga bostäder för att minska påverkan på människor.

Vid planering av vindkraftanläggningar krävs kunskap om var de tysta områdena finns och vilka värden ett specifikt område har, t.ex. vad gäller natur- och friluftslivsupplevelser och nyttjandegraden av området, för att kunna göra en riktig avvägning mellan olika intressen. Det finns ingen bestämd ljudnivågräns för vad som anses som tystnad. Detta är upp till varje enskild kommun att avgöra när tysta områden pekas ut.

Vid punkter i terrängen som är mer vindskyddade än vindkraftverken kan ljudet från turbinerna också upplevas som tydligare och mer framträdande, p.g.a. att bakgrundsljudet blir lägre då vindens maskerande egenskaper inte blir lika framträdande. Naturvårdsverket föreskriver att särskild hänsyn för vindskyddade lägen skall tas "i områden där vindhastigheten är i storleksordningen 50 procent lägre än vid aggregatet", i båda fallen avses här vindhastigheten på 10 meters höjd.<sup>7</sup> För att kunna avgöra om ett område ska bedömas som "vindskyddat" eller "icke vindskyddat" behövs underlag om de lokala förhållandena för både vindkraftverkens placeringar och det undersökta området.<sup>8</sup>

## 5. KONSEKVENSER

Vad som betraktas som buller och hur mycket vi människor störs av olika bullerkällor är subjektivt och varierar, från individ till individ, från dag till dag, från plats till plats. Vad som är buller i omgivningen beror därför i hög grad på vad som, av individen, anses vara oönskade ljudkällor. En avlägsen bondgårds hötork kan t. ex. vara mycket störande vid en skogsvandring medan samma hötork oftast inte upplevs som störande för personer engagerade i lantbruket. Samma resonemang gäller för ljudet från vindkraft. Detta innebär att det kan vara svårt att bedöma hur störande ljudet från en vindpark blir och hur mycket människorna i omgivningen kring vindparken kommer att störas av vindkraftsljudet.

Uppfattningen om buller är också kopplad till attityden till bullerkällan och i vilken miljö som bullret uppträder. Den faktiska störningen till följd av ljud från vindkraftverk förutom ljudnivån kan alltså bero på den allmänna inställningen till vindkraft samt huruvida vindkraftverken syns vid mottagaren eller inte. Överlag kan dock konstateras att en ökad ljudnivå ökar antalet personer som känner sig störda.<sup>9</sup> Om ljud uppfattas som buller av en individ kan det vid kontinuerlig exponering uppfattas som obehagligt och i värsta fall orsaka stress och ohälsa.

För att kunna bedöma konsekvenserna av de effekter som ljudbidraget från vindkraft ger i ett specifikt landskap måste den nytillkomna ljudkällan vägas mot den ljudbild som råder i omgivningarna innan anläggningen etableras. Som nämns ovan beror ljudets spridning på en rad olika parametrar. Vilken ljudnivå som uppstår vid närbelägna bostäder beror bl.a. på avståndet mellan vindkraftverket och platsen, områdets topografi och andra i området förekommande ljud. Detta innebär att bullerstörning från vindkraftverk vid bostäder ofta går att förhindra genom god planering. Beräkningar av ljudspridning till följd av den aktuella vindparken presenteras i miljökonsekvensbeskrivningen (MKB).

I den kunskapssammanställning som gjorts av Karolinska institutet dras, förutom slutsatserna som beskrivs ovan för lågfrekvent- och infraljud, följande slutsatser<sup>10</sup>:

- Vindkraftsbuller orsakar bullerstörningar bland boende. Vid nivåer kring 35–40 dB(A), det vill säga precis under riktvärdet 40 dB(A), uppger 10–20 % av de boende att de är ganska eller mycket störda av vindkraftsbuller. Störningen beror i huvudsak på det pulserande svischande ljud som uppstår när rotorbladen passerar genom luften. Detta ljud är inte lågfrekvent, utan har sin huvudsakliga energi i frekvensområdet 500–1000 Hz.
- Förutom besvärsupplevelser av buller har inga påtagliga ohälsoeffekter av vindkraftsbuller kunnat påvisas. Samband mellan vindkraftsbuller och självrapporterad sömnstörning har redovisats i vissa studier, medan andra studier inte funnit något sådant samband.

### Kumulativa effekter

Ju fler verk som byggs inom en vindpark, desto större avstånd krävs vanligtvis till närliggande bostäder för att ljudkravet om 40 dB(A) ska innehållas. Detta beror på att ljudet ackumuleras med ökat antal vindkraftverk och sprids längre i omgivningen.

Om flera vindparker planeras i närheten av varandra kan de därför tillsammans ge en ökad omgivningspåverkan jämfört med om endast en enskild vindpark byggs, s.k. kumulativa effekter. Om vindparker ligger längre ifrån varandra än ca 1–2 km uppstår normalt inga kumulativa effekter av ljudspridning, detta beror dock på det totala antalet vindkraftverk som planeras.

Om flera vindparker planeras i närheten av varandra och om kumulativa effekter bedöms kunna uppstå, kräver tillståndsmyndigheten normalt att verksamhetsutövaren redovisar beräkningar som även tar närliggande anläggningar i beaktande. Ljudkravet om 40 dB(A) måste innehållas vid närliggande bostäder vid en beräkning av ljudnivån för samtliga vindparker. Om ljudnivån skulle överstiga 40 dB(A) måste verksamhetsutövaren anpassa sin vindkraftsanläggning så att ljudnivån inte överskrids (vilket t.ex. kan innebära anpassning av driftläge, anpassning av verkens placeringar eller minskning av antalet vindkraftverk).

## 6. BERÄKNING AV LJUDSPRIDNING

För att en vindpark ska få tillstånd enligt miljöbalken kräver alltså tillståndsmyndigheten oftast att verksamhetsutövaren kan redovisa att en ljudnivå om 40 dB(A) inte kommer att överskridas vid närliggande bostäder. En sådan redovisning görs med hjälp av en ljudberäkning. Vanligen kräver tillståndsprovande myndighet att ljudberäkningarna ska vara gjorda för ett s.k. "värsta falls-scenario", vilket innebär att ljudberäkningarna ska göras för det fall då ljudspridningen kan komma att bli som störst.

### Faktaruta 3 - Källjud

När ljudemissionen från vindkraftverk beräknas används uppgifter om verkmodellens s.k. källjud. Källjudet ska vara beskrivet som en frekvensuppdelad ljudnivå i dB(A). I verkets källjud ingår både det *aerodynamiska* ljudet (som uppstår vid rotorbladens passage genom luften) och det *mekaniska* ljudet (transformatorns ljud).

Som tidigare nämnts har det mekaniska ljudet i dagens moderna maskiner nästan helt isolerats bort. Det aerodynamiska ljudet bestäms av bladspetsens hastighet, bladformen och luftens turbulens. Av denna anledning har varje turbinmodell ett specifikt källjud. Vid en och samma vindhastighet uppstår alltså olika ljudnivå beroende på vindkraftverkets modell och tillverkare.

Varje vindkraftstillverkare mäter och dokumenterar det ljud som respektive turbinmodell emitterar. Ljudet ska mätas på det avstånd från verket som motsvarar dess totalhöjd. Detta benämns som verkets källjud och mäts i ljudeffektnivå, se faktaruta 1.

Även om vindkraftverkens angivna ljudeffektnivå (källjud) ofta överskrider 100 dB(A) betyder inte detta att denna siffra är en faktisk *ljudtrycksnivå* i närheten av turbinen, se faktaruta 1. Vid marknivå direkt under vindkraftverket ligger ljudnivån ofta runt 55 dB(A), vilket innebär att man kan konversera i normal samtalsstämning direkt under ett vindkraftverk i drift.

Ljudnivån från en vindkraftsanläggning vid en specifik mät punkt (t.ex. en bostad) påverkas i sin tur av flera olika parametrar, bl.a.

- Spektrumform för ljudeffekten för de olika vindkraftverken
- Total sammanvägd ljudeffektnivå för de olika vindkraftverken

Då olika frekvensband dämpas olika mycket kan man inte förutsätta att två olika verkstyper med samma tornhöjd och samma totala ljudeffektnivå även ger samma totala ljudtrycksnivå vid bostäder. För att man skall kunna göra detta antagande skulle spektrumformen behöva vara exakt lika för de olika verken, vilket inte är fallet.

### Val av verksmodell vid beräkning av ljudspridning

Ljudspridningen från olika typer av vindkraftverk och leverantörer är dock inte den samma vid en och samma vindhastighet. Detta beror på att vindkraftverkens *källjud* (ljudeffektnivå) är knutet till verkets specifika egenskaper, se faktaruta 3.

P.g.a. att verkstypernas källjud varierar blir också resultatet av ljudberäkningarna olika beroende på vilket vindkraftverk som antas i beräkningen. För att ljudberäkningarna ska vara så tillförlitliga som möjligt används generellt den verkstyp som är mest relevant för platsen vid tidpunkt för projektering. Som tidigare nämnts bör beräkningarna redovisa ett "värsta fall-scenario". Detta innebär att verksamhetsutövaren måste redovisa beräkningar med det maximala antalet verk som kan komma att byggas i vindparken samt med en vindkraftmodell som motsvarar de maximala dimensioner som anges i ansökan.

Ljudberäkningarna görs därför vanligtvis med en turbintyp som har ett högt källjud och som motsvarar den typ av vindkraftverk som kan komma att bli aktuell på platsen i fråga. Vindkraftleverantörerna utvecklar dock sina produkter ständigt och det är inte ovanligt att den verkstyp som till slut blir aktuell för byggnation inte är fullt utvecklad vid ansökningstillfället. De senaste åren har teknikutvecklingen gått så pass mycket framåt att flera av de vindturbiner som funnits på marknaden vid ansökningstillfället inte finns kvar när byggnationen ska påbörjas. Istället har vindturbiner med större installerad effekt utvecklats, samtidigt som leverantörerna har minskat ljudspridningen från verken genom optimerade bladprofiler och bortisolering av maskinljud m.m. Denna teknikutveckling pågår och det finns anledning att anta att bättre och tystare verk med större installerad effekt kommer att finnas tillgängliga även vid byggnationen av den aktuella vindparken.

I skogsmiljö i Sverige projekteras och byggs idag vanligen vindkraftverksmodeller med en installerad effekt mellan ca 2 MW och 4 MW. Hur stor den installerade effekten hos ett verk kan vara beror inte på rotorbladens storlek utan på generatorns storlek, även om ett visst samband finns. Som beskrivs i faktaruta 3 och i avsnitt 3 beror alltså inte vindkraftverkets källjud på vilken installerad effekt vindkraftverket har, utan på ett flertal olika faktorer som kopplas samman. Av denna anledning finns inget samband mellan verkets källjud och verkets installerade effekt, och således läggs endast relevans vid verkets källjud i beräkningarna.

Inför byggnation av vindparker upphandlar projektören de vindkraftverk som ska byggas. I upphandlingsskedet ställs krav på vindkraftverksleverantören, bl.a. garantier vad gäller ljudemission. Sådana krav kan t.ex. vara att verken har variabelt varvtal, för att kunna reglera verkets ljudemission (se vidare avsnitt 7). På så sätt säkerställs att en ljudnivå om 40 dB(A) vid närliggande bostäder innehålls oavsett vilken turbinmodell som byggs.

Om tillståndet för vindparken inte innehåller specificerade verksplaceringar och ett bestämt antal verk finns större möjlighet för projektören att upphandla ett verk som är bättre anpassat till det specifika vindklimatet på platsen samtidigt som verksplaceringarna kan optimeras för att ljudkraven ska innehållas. På så sätt ökar även vindparkens miljönytta eftersom att energiproduktionen från verken ökar samtidigt som verksplaceringar och övriga anläggningsåtgärder undviks på platser där t.ex. höga natur-, kultur- och fågelvärlden m.m. finns.

## Beräkningsmetoder

### NATURVÅRDSVERKETS MODELL FRÅN 2001

Naturvårdsverket beskriver i sin rapport "Ljud från vindkraftverk – rapport 6241" från 2001 en beräkningsmodell för ljudutbredning. Rapporten har reviderats 2010.<sup>11</sup>

Beräkningsmodellen använder de källjud som fastställts av respektive vindkraftverksleverantör för varje turbinmodell, se faktaruta 3, samt en generell definition av markytans beskaffenhet för att definiera ljudstyrkans avtagande med avståndet. Vidare utgår beräkningen från en ljudutbredning enligt ett värsta scenario där man antar att samtliga bostäder i beräkningen ligger i vindriktningen från vindkraftverken, dvs medvindfall. Med andra ord antas att en maximal utbredning uppkommer i samtliga riktningar vid ett och samma tillfälle. Vidare utgår beräkningen från de förutsättningar som råder när det blåser 8 m/s på 10 meters höjd ovan mark. Detta är då ljudet från vindkraftverk upplevs som tydligast, i relation till förekomsten av maskeringseffekter från naturliga bakgrundsljud.

Beräkningsmodellen är avsedd för planeringsändamål och avser fallet plan mark. Inga maskeringseffekter antas uppkomma från artificiella ljud såsom trafik och industrier i beräkningarna.

Resultatet anger ljudnivån i valda beräkningspunkter, vanligtvis bostäder, samt en karta över ljudutbredningen.

Beräkningsmodellen har visat sig ge en generell men bra bild över ljudutbredningen i ett slättlandskap varför den lämpar sig väl för sådana områden. Det finns dock begränsade möjligheter att noggrant prediktera ljudutbredningen då ingen hänsyn tas till topografi, markytans variation av beskaffenhet och flera meteorologiska parametrar. Det är heller inte känt hur väl denna beräkningsmetod stämmer i kuperad terräng. Kuperad terräng kan skapa avskärmning av ljudet så att det inte hörs lika bra, men även ge vindskyddade lägen som kan göra att ljudet från vindkraftverken hörs tydligare (se beskrivning av "Vindskyddade lägen" i avsnitt 5.1). Vidare beaktas inte dämpning orsakad av ljudutbredning över skogsmark med porös yta. För att ta hänsyn till dessa fenomen nämner Naturvårdsverket beräkningsmodellen Nord2000.<sup>11</sup>

## NORD2000

Beräkningsmodellen Nord2000 är gemensamt framtagen av de nordiska länderna med finansiering av bland annat Naturvårdsverket. Beräkningsmodellen tar hänsyn till inverkan från vind, temperatur, markegenskaper, höjdskillnader i terrängen i form av skärmning och förstärkningar. Olika vindhastighets- och temperaturgradienter kan väljas. Av denna anledning är modellen väl anpassad för att beräkna ljudutbredning i kuperad och skogsbeklädd terräng. Modellen tar större hänsyn till de faktorer som påverkar den faktiska ljudutbredningen och anses bättre spegla ljudutbredningen från vindkraft än vad Naturvårdsverkets beräkningsmodell från 2001 gör, enligt ovan.<sup>12</sup>

Beräkningen utgår från motsvarande förhållande som Naturvårdsverkets modell från 2001, dvs en antagen vindstyrka på 8 m/s på 10 meters höjd över marken.

I revideringen av Naturvårdsverkets rapport "Ljud från vindkraftverk – rapport 6241, koncept 20 april 2010" benämns Nord2000 som en mer detaljerad modell där fler akustiska fenomen tas hänsyn till, vilka inte Naturvårdsverkets modell från 2001 gör. Nord2000 är således bättre lämpat vid beräkning av ljudutbredningen i områden med kuperad terräng och varierande markbeskaffenhet såsom skogsområden.

## 7. MÖJLIGA SKYDDSÅTGÄRDER

Oftast ställer tillståndsgivande myndighet kravet att verksamhetsutövaren ska kunna påvisa att en ekvivalent ljudnivå om maximalt 40 dB(A) kommer att innehållas vid samtliga närliggande bostäder. Detta gäller oavsett om verksamhetsutövaren ansöker om tillstånd för verken på bestämda koordinater eller för ospecificerade placeringar inom ett utpekad område. Under drifttiden ansvarar verksamhetsutövaren för att tillåten ljudnivå inte överskrids. Detta säkerställs genom att verksamhetsutövaren inom ramen för miljötillståndet måste upprätta ett kontrollprogram för anläggningen, varinom kontrollmätning av ljud ingår och eventuellt görs nya beräkningar utifrån resultatet.

Om tillståndsmyndighetens ljudkrav vid närliggande bostäder skulle överskridas finns möjlighet att vidta åtgärder i efterhand. Dagens moderna vindkraftverk har ofta ett variabelt varvtal, d.v.s. är utrustade med ett styrsystem som möjliggör en reducering av ett vindkraftverks ljudemission. Detta görs genom att rotorbladens rotationshastighet sänks. Detta kallas vanligen att ändra driftläge eller mode. Den sänkta rotationshastigheten minskar ljudemissionen eftersom att ljudet uppkommer när rotorbladen skär genom luften. När rotationshastigheten ställs ned minskas således vindkraftverkets så kallade källjud, se beskrivning i faktaruta 3.

Varje vindkraftverksmodell har ett antal fördefinierade driftlägen (modes), vilka var för sig har olika standardkälljud. Ett vindkraftverk kan därför inte ställas in till vilket källjud som helst utan detta är fördefinierat av respektive turbinleverantör. Beroende på hur många vindkraftverk som planeras på platsen, vilka förhållanden som råder och hur verken är placerade i förhållande till varandra osv, kan olika driftlägen väljas för respektive vindkraftverk. Eftersom att ljudet färdas med vinden kan vindkraftverken programmeras så att driftläget anpassas till de vindförhållanden som råder för stunden. Om tillåten ljudnivå överskrids vid närliggande bostad kan verket ställas in så att ett lägre driftläge väljs då det blåser mot bostaden från vindkraftverket vid dessa kritiska vindhastigheter.

När rotationshastigheten (driftläget) ställs ner i syfte att minska ljudnivån sker detta dock på bekostnad av vindkraftverkets energiproduktion, eftersom att rotationshastigheten inte tillåts anpassa sig efter rådande vindhastighet. Verket kan då inte nyttja den maximala vindenergin vid de kritiska lägen då för höga ljudnivåer uppstår invid bostäder. Produktionen maximeras dock genom att driftläget endast ändras vid tidpunkter då de kritiska vindförhållandena råder. Vanligen blir resultatet av en sådan optimering att produktionsförlusterna är någon eller några procent och att en ljudnivå om 40 dB(A) kan innehållas vid alla närliggande bostäder oavsett vilken turbintyp och leverantör som slutligen upphandlas och byggs.

## 8. REFERENSER

1. Naturvårdsverket, 2011
  2. Lindkvist, 2010
  3. Lindkvist och Almgren, 2010
  4. Folkhälsomyndigheten, 2014
  5. Waye KP, Smith M, Ögren M, 2017
  6. Naturvårdsverket, 2015
  7. Naturvårdsverkets webbplats, 2020-02-25
  8. Energimyndigheten, 2011
  9. Pedersen, Eja; 2007
  10. Naturvårdsverket, 2011
  11. Naturvårdsverket, 2010
  12. Lyngby, 2002 och B. Plovsing, J. Kragh, rev. 2006
- 
- B. Plovsing, J. Kragh, rev. 2006 , "Nord2000. Comprehensive Outdoor Sound Propagation Model" Energimyndigheten, 2011, "Låg ljudnivå i vindskyddade lägen - Metod för kvantifiering av platser med vindskyddat läge", Projekt 32446-1,
  - Folkhälsomyndigheten 2014, FoHMFS 2014:13, Allmänna råd om buller inomhus
  - Lindkvist, 2010, "Lågfrekvent buller från vindkraftverk – Mätning och modellering i bostadsrum med avseende på ljudutbredning och ljudisolering", Kungliga Tekniska Högskolan, ÅF-Ingemansson
  - Lindkvist,P., & Almgren,M., 2010, "Ljudisolering i bostadshus mot ljud från vindkraft", Bygg & Teknik, 3/2010, s. 60-62
  - Lyngby, 2002, "Environmental Noise Prediction Methods", Nord2000 Summary Report, General Nordic Sound Propagation Model and Applications in Source-Related Prediction Methods, DELTA Acoustics & Vibration Report AV 1719/01
  - Naturvårdsverket 2010, "Ljud från vindkraftverk – reviderad utgåva av rapp 6241, koncept 20 april 2010", NV dnr 382-6897-07 Rv.
  - Naturvårdsverket, 2015, Vägledning om industri- och annat verksamhetsbuller, Rapport 6538
  - Naturvårdsverket, 2011, "Kunskapssammanställning om infra- och lågfrekvent ljud från vindkraftsanläggningar: Exponering och hälsoeffekter". [http://www.naturvardsverket.se/upload/07\\_verksamheter\\_med\\_miljopaverkan/Buller/vindkraftverk/Infra-lagfrekvent-ljud/ Kunskapssammanstalln-infra-lagfrekv-ljud-vindkraft.pdf](http://www.naturvardsverket.se/upload/07_verksamheter_med_miljopaverkan/Buller/vindkraftverk/Infra-lagfrekvent-ljud/Kunskapssammanstalln-infra-lagfrekv-ljud-vindkraft.pdf)
  - Naturvårdsverkets webbplats, 2020-02-25, [https://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledningar/ Buller/Buller-fran-vindkraft/buller-vindkraft-riktvarden/](https://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledningar/Buller/Buller-fran-vindkraft/buller-vindkraft-riktvarden/)
  - Pedersen, Eja; 2007, "Human response to wind turbine noise – perception, annoyance and moderating factors"
  - Waye KP, Smith M, Ögren M. Hälsopåverkan av lågfrekvent buller inomhus. Göteborg: Göteborgs universitet, Medicinska institutionen, 2017. Rapport nr 3:2017. Hämtad från: [https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/53428/1/gupea\\_2077\\_53428\\_1.pdf](https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/53428/1/gupea_2077_53428_1.pdf).

**WSP Environment** Box 13033  
402 51 Göteborg  
Tel: 010-722 50 00 Fax: 010-722 74 20 [www.wsp.com](http://www.wsp.com)

