

Buller från vindkraftverk

Vindkraft är en förnybar energikälla som kan bidra till en nödvändig omställning till ett klimatneutralt samhälle. Samtidigt måste hänsyn tas till de störningar som kan uppstå lokalt kring vindkraftsetableringar. Vad gäller risken för störningar bland människor är buller kanske den mest påtagliga. Den här sidan ger vägledning och beskriver vindkraftsbuller, vilka beräkningsmodeller och mätmetoder som finns, och ger stöd vid lov, anmälan, prövning och tillsyn av vindkraftverk och vindkraftsparker.

Vägledningen avser enbart påverkan på människors hälsa, inte på land- eller vattenlevande djur.

Innehåll

Allmänt om buller från vindkraftverk	2
Vindkraftverkens ljudalstring	2
Påverkan av meteorologi	3
Tydligt hörbara toner	3
Amplitudmodulation	3
Lågfrekvent buller	4
Vindskyddat läge	5
Kumulativa effekter	6
Bullerreducerad drift	6
Riktvärden för vindkraftsbuller	7
Kunskapsläget om störning av vindkraftsbuller	7
Riktvärden	8
Bulleravtal	9
Beräkningsmodeller	9
Den svenska beräkningsmodellen	10
Nord 2000	10
Andra beräkningsmodeller	11
Mätmetoder	11
Emissionsmätning	12
Anmälan och prövning av vindkraftverk	13
Redovisning av buller i prövning	13
Förankring och dialog	13
Bullerfrågor inom tillsynen av vindkraftverk	14
Forskning	15

Allmänt om buller från vindkraftverk

Många mänskliga aktiviteter i samhället orsakar buller av olika slag. Vindkraftverk är inget undantag. Den tekniska utvecklingen av vindkraftverk under 2000-talet har resulterat i betydligt större verk vilket generellt också innebär att de bullrar mer och över en större del av dygnet. Tillverkarna av vindkraftverk har arbetat för att minska buller från verken genom att optimera bladens utformning och de mekaniska delarna. Äldre verk gav ofta upphov till tydliga dunkande ljud och slammer och det var även mer vanligt med hörbara toner från generator och växellåda. I moderna vindkraftsparker finns möjligheter att köra verken med ljudreducerad drift för att klara bullervillkor vid bostäder. I förhållande till den el som kan produceras kan verken sägas ha blivit mer bullereffektiva med tiden. Lokalt kring vindkraftverken finns dock fortfarande en risk för bullerstörningar och det är av stor vikt att dessa risker minimeras.

I Sverige har sedan 90-talet 40 dBA ekvivalentnivå utomhus vid bostäder använts som riktvärde och villkor för vindkraftsbuller, med en skärpning på 5 dB i vissa situationer. I jämförelse med andra riktvärden, för exempelvis väg- och spårtrafik, är 40 dBA ett lågt värde. Det har visat sig i störningsstudier utförda både i Sverige och internationellt att ca 10 procent av en större grupp människorna upplever sig störda av vindkraftsbuller vid dessa nivåer. Det svenska riktvärdet 40 dBA ligger också i nivå med det hälsobaserade riktvärde för buller från vindkraftverk som tagits fram av världshälsoorganisationen WHO.¹

Det är alltså viktigt att förstå att de ljudnivåer vid de riktvärden som Naturvårdsverket anger i den här vägledningen kan innebära att det finns en risk för att ljudet upplevs som störande i vissa situationer. Naturvårdsverket anser dock att riktvärdena är väl avvägda i förhållande till den miljönytta som vindkraften medför. Det finns heller inga forskningsstudier som visar att vindkraftsbuller under det svenska riktvärdet 40 dBA ger upphov till negativa hälsoeffekter, utöver att ljudet kan upplevas som störande.^{2, 3, 4}

Vindkraftverkens ljudalstring

Vindkraftverk alstrar ett karaktäristiskt svischande ljud orsakat av bladens rotation genom luften. Hur mycket ljud som kommer från bladen beror på bladspetsarnas hastighet, deras form, och de meteorologiska förhållandena med vindskillnader och turbulens i atmosfären. Detta ljud, som också kallas aerodynamiskt ljud, kan ibland påminna om naturligt vindbrus. I vissa sammanhang kan därför vindkraftsbuller maskeras av naturligt ljud från vinden som blåser i träd och buskar.

När vindkraftverken blir större ökar det aerodynamiska ljudet och kan även bli mer lågfrekvent. Lågfrekvent buller beskrivs mer i detalj nedan.

Utöver det aerodynamiska ljudet alstras även buller från generatoren, växellådan och övriga mekaniska delar. Detta mekaniska ljud upplevs ofta som mer störande än det aerodynamiska ljudet vid samma ljudnivå och kan även innehålla hörbara toner. Ljudet sprids från maskinhuset och tornet. För havsbaserade verk

kan buller även spridas under vatten från tornen, dock i begränsad omfattning. Moderna vindkraftverk alstrar normalt mindre mekaniskt ljud än vad tidiga vindkraftverk gjorde.

Påverkan av meteorologi

Det finns en nära koppling mellan vindkraftsljud och meteorologi. Ljudutbredning utomhus påverkas av meteorologi oavsett vilken källa som alstrar ljudet men för vindkraft påverkas också själva ljudalstringen av meteorologin. Blåser det lite, alstras lite ljud från vindkraftverken. Ökar vinden så ökar också ljudalstringen tills vindkraftverket når sin maxproduktion. Vindkraftverkens höjd medför att ljudet sprids långt vilket också ökar betydelsen av meteorologin. Detta gör att ljudnivån från vindkraftverk kan variera kraftigare än många andra vanliga bullerkällor.

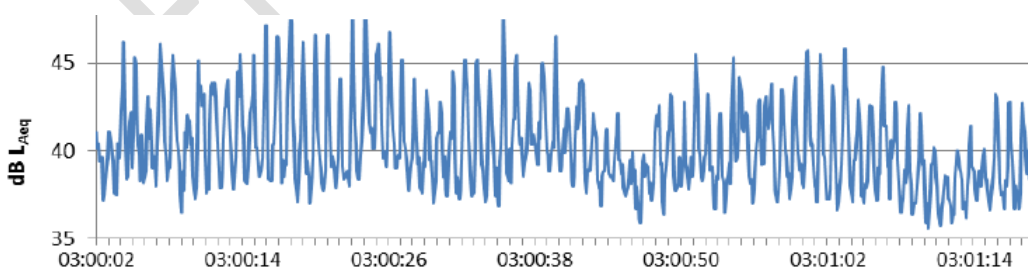
Tydligt hörbara toner

Vissa karaktärer i ett ljud kan göra att det upplevs som mer störande. En sådan karaktär är tydligt hörbara toner. Vindkraftverk kan alstra buller som innehåller tydligt hörbara toner men det är inte vanligt förekommande.

Hörbarheten av toner i ett visst ljud påverkas allteftersom ljudet sprider sig i atmosfären. Tonerna kan dämpas med avståndet men även bli mer påtagliga. Därför bör förekomst av toner utvärderas vid bostäderna och inte vid vindkraftverken. Förekommer hörbara toner bör ljudalstringen från vindkraftverket korrigeras vilket i praktiken innebär att riktvärdet skärps. Dessutom bör åtgärder vidtas.

Amplitudmodulation

Vindkraftsbuller är till sin natur svischande med en frekvens av i storleksordningen en sekund. Ljud som varierar i styrka på detta sätt kallas amplitudmodulerat ljud. Ett exempel på hur ljudnivån kan variera vid mätning av vindkraftsbuller finns i figuren nedan.



Figur 1. Exempel på mätning av amplitudmodulerat vindkraftsljud. Från IEA Task 39, Fact Sheet – Amplitude modulation in wind turbine noise.

En av de tydligaste ljudkällorna på ett vindkraftverk är bladspetsarna. I närheten av ett vindkraftverk är amplitudmodulationen ofta påtaglig då avståndet till en bladspets varierar mellan kort och långt på grund av bladens rotation. Detta ger upphov till en varierande ljudstyrka. I normalfallet avtar den variationen med

avståndet då alla bladspetsar hamnar på mer eller mindre samma avstånd till mottagaren.

Hur påtaglig amplitudmodulationen är beror på verkets utformning, driftförhållanden och meteorologiska förhållanden. Ibland uppstår förhållanden med "onormal" amplitudmodulation som då kan höras på långa avstånd från verken. Onormal amplitudmodulation uppfattas ofta som ett dunkande ljud snarare än det svischande ljud man hör i vindkraftverkens närhet.

Man tror att onormal amplitudmodulation uppkommer då vindkraftverkens blad skär genom flera olika lager av luft och vinkeln på bladet ibland inte blir optimal i vissa luftlager. Då skapas turbulens runt bladet och även mer buller. Detta ger också försämrade energiproduktion, och bör därför undvikas. Onormal amplitudmodulation verkar vara vanligare på sena kvällar och nätter, och den varierar beroende på vindförhållandena kring rotorn.

Amplitudmodulerat ljud kan upplevas som mer störande än vanligt ljud. Det saknas dock kunskap om hur tydliga variationer som krävs för att störningen ska öka. Dessutom saknas mätmetoder för att utvärdera och kvantifiera amplitudmodulation. Forskning och utveckling av mätmetoder pågår, såväl i Sverige som internationellt.

Då standardiserade metoder för mätning och modeller för bedömning av ökad störningsrisk av amplitudmodulerat ljud saknas, har Naturvårdsverket valt att för närvarande avstå från att införa generella skärpningar av riktvärdet för vindkraftsbuller vid förekomst av onormal amplitudmodulation. Om amplitudmodulation är ofta förekommande kan tillsynsmyndigheten kräva att verksamhetsutövaren utreder och åtgärdar problemet i rimlig omfattning. Ett exempel på en sådan åtgärd är att verksamhetsutövaren identifierar vid vilka vindförhållanden som amplitudmodulationen uppstår och vidta åtgärder genom att ändra driftsinställningarna på vindkraftverket vid dessa förhållanden.

Lågfrekvent buller

Lågfrekvent buller är buller i frekvensområdet 20 – 200 Hz. Ibland förväxlas amplitudmodulation med lågfrekvent buller eftersom båda kan uppfattas som ett dunkande ljud, men i amplitudmodulationen ökar ljudnivån i alla frekvenser. Lågfrekvent buller ska heller inte förväxlas med infraljud som är icke-hörbart ljud under 20 Hz. Infraljud kan visserligen påverka människor negativt vid höga nivåer. Exempelvis kan personer som jobbar på vissa bullrande industrier och i flygplan exponeras för infraljud som orsakar obehag och i förlängningen andra negativa hälsoeffekter. På de avstånd som krävs mellan vindkraftverk och bostäder i Sverige är nivån av infraljud från vindkraftverk betydligt lägre och det finns ingen evidens för negativa hälsoeffekter orsakat av infraljud från vindkraftverk.⁵

Påtagligt lågfrekvent buller upplevs ofta som mer störande än annat buller. Vanliga bostadsfasader och fönster har ofta dålig ljudisolering i låga frekvenser och det lågfrekventa ljudet kan dessutom förstärkas inomhus. Därför är det inte

ovanligt att upplevelsen av lågfrekvent buller är starkare inomhus än utomhus. Riktvärden för lågfrekvent buller finns i Folkhälsomyndighetens allmänna råd (FoHMFS 2014:13) om buller inomhus, där riktvärden för lågfrekvent buller i tersband mellan 31,5 – 200 Hz anges. Folkhälsomyndigheten har även i sin vägledning angett ett värde för bedömning av olägenhet vid 25 Hz, men det är mycket ovanligt med så lågfrekvent buller i normal boendemiljö, även i närheten av vindkraftverk.⁶

Svenska studier har visat att så länge verksamhetsutövaren klarar riktvärdet 40 dBA utomhus är risken liten för att riktvärdena för lågfrekvent buller inomhus överskrids.⁷ Detta förutsatt att huset är byggt enligt svensk byggstandard men utan särskilt ljudisolerande fönster. Men i och med att den tekniska utvecklingen går mot allt större verk som kan komma att alstra mer lågfrekvent buller, anser Naturvårdsverket att det ändå kan finnas skäl att utreda och ange villkor för lågfrekvent buller inomhus vid lov, anmälan och prövning av vindkraftverk.

När man anger ett värde för ljudstyrka för normalt buller, som exempelvis trafikbuller eller ljud från grannar, används filtret A-vägning som efterliknar hur örat uppfattar sådant ljud. Ljudnivån har då enheten dBA. Vid lågfrekvent buller används i stället ofta C-vägning och ljudnivån har enheten dBC. Skillnaden mellan den A-vägda ljudnivån och den C-vägda ljudnivån kan användas som en indikation på om bullret är påtagligt lågfrekvent. Då kan dBA-nivån underskatta risken för störning. Vid en skillnad på ca 15 dB eller mer bör mer detaljerade utredningar av lågfrekvent buller alltid utföras.

Målsättningen inför en vindkraftsetablering bör vara att Folkhälsomyndighetens riktvärden för lågfrekvent buller inomhus alltid ska klaras. Om det i efterhand visar sig att riktvärdena överskrids i någon bostad bör man åtgärda bullret från vindkraftverket. Om det inte är möjligt eller rimligt att göra sådana åtgärder kan man i sista hand utföra ljudisolerande åtgärder på den berörda bostaden.

I vissa tillstånd finns villkor för lågfrekvent buller kopplat till villkor för bullerskyddsåtgärder. Det är viktigt att sådana villkor utformas så att de går att följa upp i tillsyn. Enstaka, korta överskridanden av riktvärden för lågfrekvent buller kan vara acceptabelt. Åtgärder bör dock vidtas om det överskrids frekvent eller orsakar uppenbar störning eller olägenhet för människors hälsa. Mark- och miljööverdomstolen har bedömt att ett åtgärdsinriktat villkor utifrån de riktvärden som anges i Folkhälsomyndighetens allmänna råd är den lämpligaste regleringen för att säkerställa att bostäder inte utsätts för oacceptabla nivåer (se MÖD 2016:4, MÖD 2016:31 och Mark- och miljööverdomstolens avgöranden den 14 december 2016 i mål nr M 4596-15 och M 1344-16).

Vindskyddat läge

Tidigare har Naturvårdsverket angett att riktvärdet 40 dBA ska kunna skärpas med 5 dB vid bostäder som ligger i ett vindskyddat läge i förhållande till vindkraftverken. I praktiken har det visat sig svårt att bedöma och kontrollera förekomsten av vindskyddade lägen varför vi inte längre står fast vid skärpningen generellt. Det kan dock finnas anledning att ha ett lägre värde i

vissa fall. I friluftsb- och rekreationsområden där tystnaden är en viktig faktor är riktvärdet 35 dBA (se avsnitt Riktvärden nedan).

Kumulativa effekter

Vid flera vindkraftverk och flera vindkraftsparker ökar den totala bulleralstringen. Generellt gäller att ljudalstringen ökar med 3 dB om antalet bullerkällor av samma typ dubblas. Planeras nya vindkraftverk i närheten av befintliga verk behöver hänsyn tas till den rådande bullersituationen så att den totala nivån från vindkraftverken inte blir oacceptabelt hög. Detta gäller även när olika verksamhetsutövare planerar parker inom samma område.

Hänsyn till den kumulativa nivån från flera parker tas lämpligast genom att villkor sätts under riktvärdet för respektive park, så att den totala nivån inte överskrider riktvärdet. Inom vilket område som kumulativa effekter ska beaktas, beror på antalet vindkraftverk och den totala bulleralstringen. Är skillnaden i bullerbidrag mellan de aktuella vindkraftverken och de befintliga (eller av andra verksamhetsutövare planerade) 15 dB eller mer vid samtliga bostäder behövs ingen bedömning av kumulativa effekter göras.

Normalt ska bullerberäkningar göras med förutsättningen att det blåser medvind i samtliga riktningar. Vid beräkning av kumulativa nivåer då vindkraftverken ligger på var sin sida om en bostad kan det vara rimligt att ta hänsyn till vindriktning för att inte överskatta den totala ljudnivån.

Bullerreducerad drift

Moderna vindkraftverk har möjligheten att ställa ned rotorbladens hastighet för att minska bulleralstringen. Detta medför också en minskad elproduktion. Leverantörerna av vindkraftverk ska specificera källbuller för normal drift och för olika driftlägen eller ”modes” som det ofta benämns. Driftläget behöver inte vara statiskt utan kan ändras exempelvis beroende på vindriktning. Ett verk kan behöva ha nedsatt drift när det blåser från verket mot en bostad för att inte överskrida riktvärdet vid bostaden. Blåser det däremot åt andra hållet, från bostäderna mot verket, sprids inte ljudet från verket lika långt och ljudnivån blir lägre. Då kan det finnas möjligheter att ställa om verket till normalläget.

Vid beräkning av vindkraftsbuller ska anges om beräkningen förutsätter att ett eller flera verk har någon särskild driftinställning. Även vid mätningar av buller ska det anges vilket driftläge de aktuella verken har.

Vilket driftläge som används i ett vindkraftverk loggas i verkets styrsystem. Det är därför möjligt att i efterhand hämta uppgifter om vilket driftläge som verket körts på. Om förutsättningarna kräver att vindkraftverken körs med bullerreducerande drift kan tillsynsmyndigheten begära att få en sammanställning av loggarna för att säkerställa att detta efterföljs. I vissa fall kan det även vara lämpligt att reglera driftlägen i villkor.

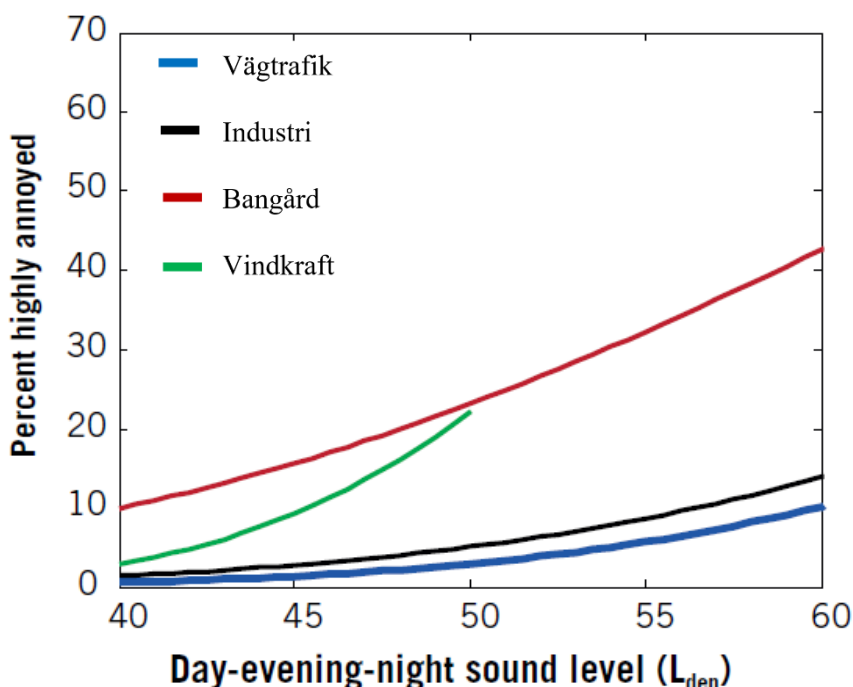
Riktvärden för vindkraftsbuller

Riktvärden för vindkraftsbuller har utformats i domstolspraxis utifrån vägledningarna från bl.a. Naturvårdsverket. När vindkraften började byggas ut i Sverige hänvisades ofta till dåvarande allmänna råd för industribuller, där riktvärdet för ekvivalentnivån nattetid, 40 dBA, blev det dimensionerande värdet. Därefter har miljömedicinska studier visat att 40 dBA i många avseende är ett lämpligt värde för att hålla risken för störningar på en acceptabel nivå.^{1,2}

Kunskapsläget om störning av vindkraftsbuller

Vindkraftsbuller har visat sig vara mer störande än många andra bullerkällor vid samma ljudnivå. Det beror bland annat på ljudets karaktär, och att det kommer och går på ett sätt som inte går att förutse. Studier både i Sverige och utomlands visar att spridningen för störningsupplevelse är stor. Flertalet icke-akustiska faktorer kan ha betydelse för upplevelsen av störning, exempelvis visuella effekter och hur väl projektet varit förankrat.^{2,8}

Risken för störning tenderar att öka på kvällar och nätter.^{3,9} Detta kan ha flera orsaker. Dels minskar bakgrundsbullret från andra mänskliga aktiviteter. Även naturljuden brukar minska på natten då vinden mojar. Samtidigt kan det blåsa kraftiga vindar på högre höjd som kan medföra en ökad bulleralstring från vindkraftverken. Alla dessa tre effekter i kombination kan bidra till en ökad störningsgrad.



Figur 2. Andel av befolkningen som upplever sig mycket störda av olika bullerkällor vid olika bullernivåer.¹⁰

År 2018 presenterade WHO hälsobaserade riktvärden för ett antal bullerkällor, däribland vindkraft.¹ Riktvärdena grundar sig på en sammanställning av ett

flertal olika störningsstudier, framtagna under perioden år 2000–2015, som vägts samman för att hitta en enhetlig bedömning. Det riktvärde WHO kom fram till för vindkraftsbuller var 45 dBA L_{den} , vilket motsvarar den nivå där ca 10 % av en större population kan förväntas uppleva bullret från vindkraftverken som mycket störande. L_{den} är en viktad ekvivalentnivå där bullernivån kvällstid och nattetid viktas upp med 5 respektive 10 dB. Omräknat motsvaras 45 dBA L_{den} av 39 dBA L_{eq} ekvivalentnivå över dygnet, vilket är 1 dB lägre än det svenska riktvärdet 40 dBA. En decibel är en mycket liten skillnad i uppfattad ljudnivå. Det krävs att man lyssnar mycket koncentrerat för att höra en sådan skillnad.

De forskningsstudier som WHO granskat och använt som underlag för hälsobaserade riktvärden kunde inte visa på några samband mellan vindkraftsbuller och negativa hälsoeffekter utöver störning, såsom högt blodtryck, kognitiva effekter etc. En nyare studie från Kanada med ca 1000 deltagare som exponeras för vindkraftsbuller mellan 25 – 46 dBA L_{eq} visar på störning i motsvarande omfattning som WHO:s sammanställning och inte heller där fanns tydliga samband med andra negativa hälsoeffekter.³ Även i Danmark har omfattande studier av hälsoeffekter från vindkraftverk genomförts med liknande resultat.⁴

Vindkraftsbuller är idag ett relativt litet problem i Sverige i förhållande till hur många som berörs och i jämförelse med bullerkällor som exempelvis vägtrafik. En storskalig vindkraftsutbyggnad kommer oundvikligen leda till att fler människor berörs. Samtidigt kan god planering och ökade kunskaper bidra till minskad störningspåverkan. Naturvårdsverket stöttar och följer forskningen om vindkraftsbuller och hälsoeffekter, och uppdaterar vid behov vägledningarna.

Riktvärden

Naturvårdsverket har tagit fram riktvärden avseende buller från vindkraftverk som inte bör överskridas vid bostäder samt friluftsb- och rekreativsområden.

Tabell 1. Riktvärden för buller från vindkraftverk – ljudnivå som inte bör överskridas

Områdesanvändning	Riktvärde L_{eq}
Utomhus vid bostäder (permanent- och fritidsboende).	40 dBA
Utomhus i områden där tystnad är en väsentlig del av upplevelsen, exempelvis i friluftsområden	35 dBA

- Samtliga värden avser frifältsvärden.
- Riktvärdet bör gälla för totalnivån från alla närliggande vindkraftverk.

- Ekvivalentnivån bör utvärderas över minst 30 minuter.
- Om bullret innehåller särskilt störningsframkallande ljud, så som tydligt hörbara tonkomponenter, bör riktvärdet vid bostäder skärpas med som mest 5 dB.
- Värdet vid bostäder gäller vid fasad och vid uteplatser och andra ytor för utevistelse i bostadens närhet.

Riktvärdet för områden där tystnad är en väsentlig del av upplevelsen har satts till lägre eller lika med 35 dBA. Naturvårdsverkets bedömning är att 35 dBA är en lämplig nivå för de flesta friluftslivs- och rekreationsområden dit människor söker sig för att få uppleva naturliga ljudmiljöer utan större påverkan av mänsklig aktivitet. Det kan dock finnas områden där det finns behov att bullret regleras till ännu lägre nivåer eller att områden fredas helt från påverkan av vindkraftsexploatering. Det kan exempelvis gälla naturreservat och delar av kusten och fjällkedjan. En bedömning bör ske från fall till fall med stöd från nationella och regionala översiktsplaner och vindkraftsplaner.

Några riktvärden för vindkraftsbuller vid andra fastigheter än bostäder har inte tagits fram då det saknas forskning om påverkan där. Riktvärdena för bostäder kan dock även fungera som vägledning vid eventuell reglering av bullernivåer vid lokaler för exv. undervisning- och vårdverksamhet eller tillfälligt boende.

Vid jämförelser med riktvärdet eller kontroller ska vindkraftsbullret mätas eller beräknas med standardiserade metoder. Detta motsvarar väderförhållanden med medvind mellan vindkraftverk och mottagare. Det kan dock uppstå väderförhållanden då ljudnivån blir högre än vad mätning eller beräkning vid dessa förhållanden ger upphov till, exempelvis vid kraftig inversion. Överskridanden av värdena 40 dBA eller 35 dBA vid sådana förhållanden bör i normalfallet ej ses som ett överskridande av riktvärdet.

Bulleravtal

Riktvärdena bör gälla samtliga bostäder i vindkraftverkens närhet. Bestämmelserna i miljöbalken är tvingande och syftar bl.a. till att människor ska vara tillförsäkrade ett grundläggande skydd mot störningar i miljön som kan medföra olägenhet för människors hälsa. Det går inte att genom avtal skriva bort det grundläggande miljörättsliga skyddet mot olägenhet för människors hälsa.¹¹

Beräkningsmodeller

Det finns flera tillgängliga beräkningsmodeller för vindkraftsbuller. Naturvårdsverket rekommenderar antingen den svenska beräkningsmodellen för vindkraft eller Nord2000. Den svenska beräkningsmodellen är relativt enkel och det går att göra beräkningar från en punkt till en annan för hand eller i ett excelark. Nord2000 är en mycket mer avancerad beräkningsmodell och kräver särskilda programvara. Om en annan metod än dessa två används, måste detta motiveras.

Som indata till beräkningarna krävs ljuddata från antingen vindkraftverkets leverantör, korriberat för att överensstämma med vindförhållandena på platsen,

eller en ljudeffekt som uppmätts på plats med en emissionsmätning. För befintliga verk rekommenderas att beräkningarna använder mätningar på platsen som indata eftersom den verkliga bulleralstringen kan skilja sig något från leverantörernas uppgifter. Dessutom krävs uppgifter om terräng, vegetation, markförhållanden och bebyggelse.

Den svenska beräkningsmodellen

Den svenska beräkningsmodellen är framtagen av Naturvårdsverket och innehåller tre olika beräkningsfall.

1. På land, med avstånd upp till 1000 m
2. På land, med avstånd över 1000 m
3. Till havs

Det som skiljer de olika beräkningsfallen åt är hur detaljerad beräkning av luftabsorptionen som görs och att det för havsbaserad vindkraft tas hänsyn till att ljud kan spridas mycket långt över vatten. Det enklaste fallet, på land med korta avstånd, räknas enbart som dBA-nivå medan de övriga två fallen räknar i oktavband.

Fördelen med den svenska beräkningsmodellen är att den är lättanvänd och transparent. Den bör dock inte användas i förhållanden med kuperad terräng eller skog. Det går heller inte att göra en bedömning av lågfrekvent buller med den svenska modellen då den inte kan räkna ut nivåer i tersband. För landbaserad vindkraft blir modellen i huvudsak tillämplig på mindre parker eller enstaka verk,

Modellerna för landbaserad vindkraft antar båda att marken är platt och akustiskt sett mjuk, det vill säga att marken mellan vindkraftverk och mottagare till största delen av utgörs av åkrar, ängar eller andra ej reflekterande marktyper. Vidare antas att det är meteorologiska förhållanden som motsvarar som mest svag medvind i alla riktningar.

Den havsbaserade modellen utgår från ett mer konservativt antagande om kraftig pålandsvind med ett vindhastighetsmaximum på 200 – 500 m höjd över havet. Dessa förhållanden är relativt vanliga i Östersjön, framför allt om våren. Även sjöbris på sommaren ger upphov till liknande ljudutbrednings-förhållanden.

En mer detaljerad beskrivning av modellen och länk till excelark för beräkningar återfinns här:

[LÄNK TILL DOKUMENT – BERÄKNING AV VINDKRAFTLJUD](#)
(ej med i remissversionen)

Nord 2000

Nord 2000 är en generell utredningsmodell för buller och källdata för väg- och spårtrafik, anpassat till nordiska förhållanden. Modellen är alltså inte framtagen för vindkraft men är tillräckligt generell för att även fungera för vindkraftverk och andra höga bullerkällor.¹²

Modellen innehåller många parametrar för bland annat marktyper och meteorologi vilket ger möjlighet till beräkningar med hög noggrannhet även i komplexa miljöer men det innebär också att det krävs hög kompetens hos användaren för att resultatet ska bli korrekt.

Nord 2000 har möjlighet att räkna med olika vindriktningar. Naturvårdsverket anser att beräkningar i normalfallet alltid ska göras för meteorologiska förhållanden som motsvarar svag medvind i samtliga riktningar. I undantagsfall kan ljudnivån i sid- eller motvind beräknas, för att exempelvis beräkna kumulativa nivåer från vindkraftverk på olika sidor om en bostad. Det är viktigt att vara medveten om att beräkningar med Nord2000 i sidvinds- och motvindsförhållanden kan ha en hög osäkerhet och sådana beräkningar bör därför hanteras med stor försiktighet.¹³

Andra beräkningsmodeller

Vid lov, anmälan, prövning och tillsyn bör i första hand Naturvårdsverkets modeller eller Nord 2000 användas.

Forskning pågår avseende mer avancerade beräkningsmodeller som kan optimera driften av vindkraftverken till för stunden rådande väderförhållanden. För att en ny beräkningsmodell ska kunna användas behöver den först testas och valideras med mätningar på den aktuella platsen.

Mätmetoder

Mätningar kan utföras antingen vid bostäder eller andra ljudkänsliga punkter (immissionsmätning) eller nära vindkraftverket (emissionsmätning). Immissionsmätningar har fördelen att ljudnivån kan kontrolleras direkt vid den ljudkänsliga punkten, men mätningen är känslig för störningar från andra ljudkällor och det kan vara svårt att mäta vid rätt meteorologiska förhållanden. Emissionsmätningar är mindre känsliga för störningar eftersom de genomförs där ljudnivån från vindkraftverket är högre. För att kontrollera ljudnivån vid bostäder måste resultaten från emissionsmätningarna användas i kombination med olika beräkningar.

Naturvårdsverket har valt att inte ta fram egna mätmetoder för vindkraftsbuller utan hänvisar till standardiserade metoder.

Immissionsmätning

Immissionsmätningar bör följa anvisningar i metoden ”Mätning av bullerimmission från vindkraftverk” som finns att ladda ned från Energiforsks hemsida.

http://www.energiforsk.se/media/26386/matning-av-bulleremmission-1998_24.pdf

Metoden beskriver hur mätningar genomförs vid bostäder eller andra ljudkänsliga punkter. Metoden är framtagen 1998 och vindkraftverken har utvecklats mycket sedan dess. Till största delen är metoden fortfarande

tillämplig. Det anges dock att mätningar ska göras vid ett referensförhållande då det blåser 8 m/s på 10 m höjd i riktning från vindkraftverk till mottagare. Dagens vindkraftverk alstrar ofta högre ljudnivåer vid vindhastigheter under förhållandena som råder vid referensfallet. Naturvårdsverket rekommenderar därför att mätningar genomförs vid den vindhastighet vid navhöjd då det aktuella vindkraftverket enligt specifikation alstrar högst ljudnivåer. Utöver detta gäller att medvindsförhållanden enligt mätstandarden ska gälla. Mätningar vid högre vindhastighet än 8 m/s på 10 m höjd bör undvikas då mätningen ofta störs av bakgrundsbrus vid kraftiga vindar.

Mätningar kan med fördel genomföras sena kvällar och nätter, dels för att det är den tid på dygnet många människor upplever bullret som mest störande, dels för att bakgrundsbruset från vind, trafik och annat ofta är lägre då än på dagen. Mätförhållandena i standarden avseende vind- och temperaturprofil bör dock alltid följas vilket innebär exempelvis att kvällar med kraftig inversion ska undvikas.

Den totala mätperioden bör vara minst 30 minuter utan störningar. Ett alternativ till bemannade mätningar där störningar kan registreras manuellt är att göra en oövervakad långtidsmätning där ljudnivån registreras över flera dygn. Det kan ge förbättrad möjlighet att fånga perioder med rätt meteorologiska förhållanden. Nackdelen med oövervakade mätningar är att det ofta är svårt och tidskrävande att i efterhand sortera bort ovidkommande ljud från mätresultaten.

För att utvärdera toner kan först en subjektiv bedömning göras genom att lyssna på plats. Om toner då hörs eller om osäkerhet om detta råder ska en objektiv utvärdering göras enligt standarden ISO 1996-2, "Acoustics -- Description, measurement and assessment of environmental noise -- Part 2: Determination of sound pressure levels", bilaga C. Standarden beskriver hur man kan räkna fram en korrektionsfaktor som läggs på den uppmätta ljudnivån. Ett tillägg på 5 dB motsvarar således en sänkning av riktvärdet med 5 dBA, t ex från 40 dBA till 35 dBA. Om det beräknade tillägget blir mindre än 5 dB motsvarar det sänkning av riktvärdet med motsvarande värde. Tillägg större än 5 dB bör inte tillämpas.

Emissionsmätning

Vid mätning av ljudemissionen från hos ett vindkraftverk rekommenderas standarden SS-EN 61400-11 "Vindkraftverk - Del 11: Mätning av buller", framtagen av IEC, det internationella standardiseringsorganet inom elteknik.

Standarden innehåller även råd för mätning och utvärdering av lågfrekvent buller, tydligt hörbara toner, amplitudmodulation och andra ljudkaraktärer. IEC arbetar med att utveckla metoder även för mätning av ljudnivå och bedömning av ljudkaraktär vid mottagare. Detta arbete förväntas vara klart i slutet av år 2020.

Resultatet från emissionsmätningar används av verksamhetsutövaren för att kontrollera att bullret inte överstiger tillverkarens specifikation. Resultatet kan

också användas som indata i en beräkning för att kontrollera att bullervillkor och riktvärden klaras.

Anmälan och prövning av vindkraftverk

Huruvida vindkraftsanläggningen är anmälningspliktig eller tillståndspliktig beror på verkens höjd och antal. Detta är reglerat i 21 kap 13–15 §§ miljöprövningsförordningen (2013:251). Portalen vindlov.se, som drivs av Energimyndigheten och är ett myndighetsövergripande samarbete, beskriver hur processen vid prövning av vindkraftverk. Där finns även en sammanställning av vägledande domar.

<http://www.vindlov.se/>

För generell information om vad som krävs vid prövning och anmälan av miljöfarlig verksamhet hänvisas till Naturvårdsverkets vägledningar:

<http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Industri/Soka-tillstand-och-anmalan/>

<http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Miljobedomningar/Specifik-miljobedomning/>

Redovisning av buller i prövning

Beräkning av buller från vindkraftverk måste i stort sett alltid göras vid prövning av en vindkraftspark. Beräkningen bör göras med någon av de metoder som Naturvårdsverket rekommenderar, se avsnitt Beräkningsmodeller ovan. Beräknade ljudnivåer ska redovisas för samtliga bostäder och andra bullerkänsliga platser, exempelvis friluftsområden, som berörs av buller från vindkraftverken. Redovisning av ljudnivåer bör göras med siffervärden eller med isolinjer på karta. Beräknade ljudnivåer ska aldrig redovisas med decimaler då beräkningarna inte har en sådan noggrannhet.

Ibland har verksamhetsutövaren inte bestämt exakt placering av vindkraftverken inom ett område vid tiden för ansökan. Om man kan få tillstånd för en flexibel layout (även kallat boxmodellen) beror på hur väl miljökonsekvenserna kan bedömas vilket i sin tur beror på förutsättningarna på den aktuella platsen. Vad gäller buller så bör verksamhetsutövaren redogöra för det värsta-fall som kan tänkas uppstå för bostäder och andra bullerkänsliga platser för att tydligt visa att man kan klara gällande riktvärden oavsett hur layouten slutligen fastställs.

Förankring och dialog

Det är viktigt att närboende och andra berörda medborgare i god tid blir informerade om planer på att bygga vindkraftverk. Forskning visar att tidig, öppen och rättvisande information och dialog om projektet är av stor betydelse för acceptansen. Medborgarna bör engageras i en tidig dialog där det finns faktiska förutsättningar att påverka projektet.¹⁴

Bullerstörning är en komplex fråga som inte enbart beror på den faktiska ljudnivån. Förankring och dialog och korrekt information är viktiga faktorer för att inte öka störningsupplevelsen hos närboende. Risken för störningar på grund av buller eller andra faktorer bör beskrivas sakligt och får inte förminskas. Människors oro för buller, visuell påverkan och förändringar måste tas på allvar. Verksamhetsutövare bör vara tydliga med att ljudnivåer kring och något under riktvärdet 40 dBA kommer att vara hörbart i alla fall delar av tiden och att vissa personer kan uppleva de nivåerna som störande. En annan viktig information är att många vindkraftverk bullrar något mer än specificerat under den allra första tiden innan de ställts in korrekt vid den aktuella platsen

När vindkraftverken är byggda är det fortsatt viktigt att dialogen fortsätter och att verksamhetsutövaren finns tillgänglig för närboendes synpunkter.

Bullerfrågor inom tillsynen av vindkraftverk

För tillståndspliktiga vindkraftsparker ska verksamhetsutövaren ta fram ett kontrollprogram, vilket bör göras i samråd med tillsynsmyndigheten. Ofta finns ett särskilt villkor i tillståndet för detta. I kontrollprogrammet bör det tydligt framgå hur och när ljudmätningar ska göras.

Då vindkraftverk har en viss inkörningstid bör en första kontrollmätning av verkens ljudemission genomföras inom 6–12 månader efter att anläggningen tagits i drift. Därefter är det lämpligt att ljudmätningar gör regelbundet med som mest några års mellanrum och när ljudalstringen förändrats (exempelvis om generatorer byts ut eller ställs om till ett annat mode). Genomförda ljudmätningar ska redovisas i miljörapporten.

Emissionsmätningar behöver inte göras på samtliga verk i en större park. Hur många verk som totalt ska kontrolleras bör avgöras utifrån förutsättningarna i det enskilda fallet, antalet verk som finns i parken, om det finns olika typer av verk och driftinställningar. Naturvårdsverket ger följande rekommendationer:

- För vindkraftverk av samma fabrikat, samma tillverkningsserie, samma programvara för styrning och samma driftinställning bör mätningar göras på minst 5 % av verken eller på minst 1 verk.
- Skiljer sig verken åt enligt ovan bör mätning göras på minst 5 % av verken eller på minst 1 verk av varje typ.
- Mätningar bör göras på de verk som påverkar boende mest.
- Finns misstanke att något verk bullrar mer än de andra bör det verket också mätas in.

Om mätningarna ska användas som indata till beräkningar kan det finnas goda skäl att göra fler mätningar än vad som anges ovan. Beräkningen ska göras med uppmätt värde för de vindkraftverk som har mätts. För övriga verk används ett

medelvärde plus spridningsmått enligt standarden IEC TS 61400-14. Genom att mäta på fler verk kan spridningsmättet minska.

Immissionsmätningar kan användas i tillsynen för att kontrollera nivån vid närboende utan att beräkningar måste genomföras. Immissionsmätningar är dock mer känsliga för bakgrundsljud och kan därför vara svåra att genomföra på vissa platser. En bedömning bör göras rörande vilken metod som är bäst att använda i det enskilda fallet.

Om tillsynsmyndigheten eller verksamhetsutövaren får klagomål rörande buller kan det också finnas skäl att göra ljudmätningar. Inkomna klagomål och åtgärder vidtagna i samband med klagomål ska också redovisas i miljörapporten.

Både vid emissionsmätningar och immissionsmätningar kan det finnas skäl för tillsynsmyndigheten att i samband med mätningen be att få se driftsloggar för vindkraftverken. Då kan man säkerställa att mätningen genomförts med rätt driftsinställningar. Vid klagomål kan också driftsloggarna vara behjälpliga för att utreda om verken haft rätt inställning vid tillfället då störningen upplevdes.

Forskning

Naturvårdsverket och Energimyndighetens gemensamma forskningsprogram Vindval syftar till att öka kunskapen om vindkraftens påverkan på människor, natur och miljö. Programmets fjärde etapp pågår fram till år 2021. På Vindvals hemsida kan man läsa mer om programmets avslutade och pågående projekt.

<http://www.naturvardsverket.se/vindval>

-
- ¹ WHO, Environmental noise guidelines for the European region, 2018
- ² Pedersen et al, Människors upplevelser av ljud från vindkraftverk, NV Rapport 5956, 2009
- ³ Michaud et al, Exposure to wind turbine noise: Perceptual responses and reported Health Effects, J. Acoust. Soc. Am. 139(3), 2016
- ⁴ Sundhetsstyrelsen, Notat vedr. den danske vindmølleundersøgelse, 2019-02-21
- ⁵ van Kap & van den Berg, Health effects related to wind turbine sound, including low-frequency sound and infrasound, Acoust Aust. 46:31-57, 2018
- ⁶ Folkhälsomyndigheten, Vägledning om buller inomhus och höga ljudnivåer, 2019-05-13
<https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/tillsynsvagledning-halsoskydd/buller/>
- ⁷ Nilsson et al, Kunskapssammanställning om infra- och lågfrekvent ljud från vindkraftsanläggningar: exponering och hälsoeffekter. Naturvårdsverket, 2011-11-28
- ⁸ Pohl et al, Understanding stress effects of wind turbine noise – the integrated approach, Energy Policy 112, 2018
- ⁹ Bohlin & Almgren, Studie av kontrollprogram av buller vid vindkraftverk, NV Rapport 6739, 2017
- ¹⁰ Eriksson et al, Environmental noise and health, NV Rapport 6553, 2013
- ¹¹ Se vidare om rättsläget i SOU 2013:57, Samordnade bullerregler för att underlätta bostadsbyggandet kap 8.2,s. 199 ff.
- ¹² Noise and energy optimization of wind farms – validation of the Nord2000 propagation model for use on wind turbine noise, DELTA report AV 1238/09, 2009-09-30
- ¹³ J. Thorén, Simulering av vindkraftljud med beräkningsmodellen Nord2000, Inst för geovetenskap, Uppsala Universitet, examensarbete, aug 2009
- ¹⁴ Henningsson et al, Vindkraftens påverkan på människors intressen - en syntesrapport, Vindval, NV rapport 6497, maj 2012