

Vägledning om buller från vindkraftverk



Förord

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 rapporten beskriver vindkraftsbuller och ger vägledning om riktvärden, vilka beräkningsmodeller och mätmetoder som finns, och ger stöd vid lov, anmälan, prövning och tillsyn av vindkraftverk och vindkraftsparker.

Vad är nytt?

Den här vägledningen publicerades i december 2020 och ersätter tidigare vägledning rörande vindkraftsbuller på Naturvårdsverkets hemsida.

Naturvårdsverket har kvar samma riktvärde som tidigare för vindkraftsbuller vid bostäder, 40 dBA ekvivalentnivå (L_{eq}). En genomgång av forskningsläget kring störning från vindkraftsbuller har genomförts och baserat på detta anser Naturvårdsverket att 40 dBA är ett väl avvägt riktvärde. Förtydliganden har gjorts kring var riktvärdet ska tillämpas och under vilka driftsförhållanden som det ska gälla. Förtydliganden om lågfrekvent buller har också gjorts. Mindre justering av mätmetoder har gjorts, rörande vid vilka vindförhållanden som immissionsmätningar ska vidtas. I övrigt avvaktas resultatet från några forskningsprojekt innan större revideringar av mätmetoder övervägs. Vägledningen förtydligar vilka beräkningsmetoder som finns och när de kan användas. Vägledningen innehåller också mer omfattande bakgrundbeskrivning om buller från vindkraftverk.

Om 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 detta. Det ger dessutom en ojämlig bedömning. Skärpningen för vindskyddade lägen infördes då man bedömde att en mycket låg bakgrundsnivå kunde leda till en högre grad av störning. Naturvårdsverket anser dock att en låg bakgrundsnivå inte är ett skäl för ett strängare riktvärde för vindkraftsbuller.

Omslagsfoton: Foto med pojke – Naturvårdsverket. Övriga - Pixabay

Innehåll

INNEHÅLL	3
VÄGLEDNINGENS AVGRÄNSNING	4
ALLMÄNT OM BULLER FRÅN VINDKRAFTVERK	5
Vindkraftverkens ljudalstring	5
Påverkan av meteorologi.....	5
Tydligt hörbara toner	6
Amplitudmodulation	6
Lågfrekvent buller och infraljud	7
Kunskapsläget om störning av vindkraftsbuller.....	8
A-vägning och vindkraftsbuller	10
RIKTVÄRDEN FÖR BULLER FRÅN VINDKRAFTVERK	11
Buller utomhus	11
Buller inomhus	12
ÅTGÄRDER FÖR ATT MINSKA BULLER	13
Bullerreducerad drift	13
Åtgärder på vindkraftverken	13
Avisningssystem	13
Åtgärder mot buller inomhus	14
KUMULATIVA EFFEKTER	15
BULLERFRÅGOR VID ANMÄLAN OCH PRÖVNING AV VINDKRAFTVERK	16
Redovisning av buller i prövning.....	16
Förankring och dialog	17
BULLERFRÅGOR INOM TILLSYNYN AV VINDKRAFTVERK	18
Emissionsmätningar enligt kontrollprogram.....	18
Kontroll av vindkraftsbuller vid bostäder	19
Kontroll av vindkraftsbuller inomhus	20
BERÄKNINGSMODELLER OCH MÄTMETODER	21
Beräkningsmodeller	21
Mätmetoder	22
Osäkerhet vid mätning och beräkning	25
FORSKNING	26
LAGRUM	27
REFERENSER	28

Vägledningens avgränsning

Naturvårdsverket ansvarar för vägledning om hur miljöbalken ska tillämpas rörande buller utomhus. Naturvårdsverkets riktvärden avser enbart buller utomhus. Vägledning med riktvärden inomhus ges ut av Folkhälsomyndigheten. Vägledningen avser enbart påverkan på människors hälsa orsakat av vindkraftsbuller, inte påverkan på land- eller vattenlevande djur.

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 som producerar mer el. Stora moderna vindkraftverk alstrar inte alltid högre ljudnivåer än de äldre modellerna. De är dock ofta i drift 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 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.

Vindkraftverkens ljudalstring

Vindkraftverk alstrar ett karaktäristiskt svischande ljud orsakat av bladens rotation genom luften. Hur mycket ljud som kommer från bladen beror på rotationshastigheten, bladspetsarnas 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.

Utöver det aerodynamiska ljudet alstras även buller från generatorm, 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. 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 bullerkälla 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. Beroende på variationer i vindstyrka, vindriktning och andra meteorologiska faktorer är det inte ovanligt att ljudnivån från vindkraftverk varierar med över 20 dB på ca 1 km avstånd från vindkraftverket.

När ljudet sprids i luften kommer luftens molekyler att absorbera en del av ljudenergin. Absorptionen är störst i de högre frekvenserna. Det innebär att ljudet blir mer och mer lågfrekvent till sin karaktär ju längre bort man kommer från bullerkällan. Detta kan jämföras med hur ett åsknedslag låter på nära eller långt avstånd. På nära avstånd är smällen vass och knallig, men på långt avstånd har de höga frekvenserna dämpats och kvar finns ett dovt mullrande.

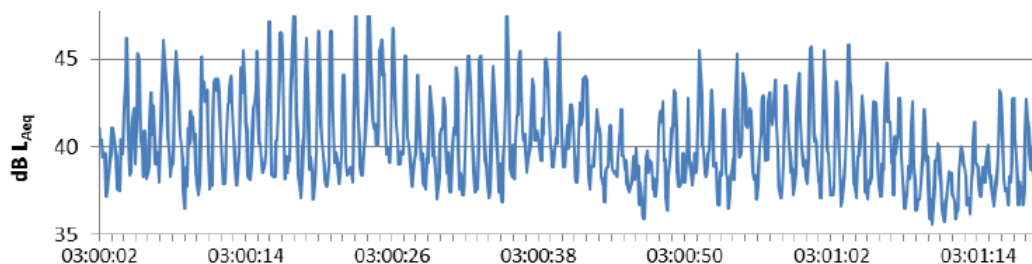
Tydligt hörbara toner

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.

Amplitudmodulation

Vindkraftsbuller är till sin natur svischande med en frekvens av i storleksordningen en Hertz. 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 från bladspetsarna påtaglig. I normalfallet avtar den variationen med avståndet.

Hur påtaglig amplitudmodulationen är beror på verkets utformning, driftförhållanden och meteorologiska förhållanden. Ibland uppstår förhållanden med “onormal” amplitudmodulation som då kan höras som ett dunkande ljud på långt avstånd från verket.

Man tror att onormal amplitudmodulation kan uppkomma då vindkraftverkens blad skär genom flera olika lager av luft och vinkeln på bladet inte blir optimal i vissa luftlager. Då skapas turbulens runt bladet och även mer buller. Detta ger också försämrade energiproduktion och bör därför undvikas av flera skäl. 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 och hur ofta amplitudmodulation behöver förekomma för att risken för olägenhet för människors hälsa ska öka. Forskning och utveckling av mätmetoder pågår, såväl i Sverige som internationellt.

Lågfrekvent buller och infraljud

Lågfrekvent buller är ljud i frekvensområdet 20 – 200 Hz. Ibland förväxlas amplitudmodulation med lågfrekvent buller eftersom båda kan uppfattas som ett dunkande ljud, men amplitudmodulationen är en ökning av ljudnivån i flera frekvenser.

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, detta gäller även vindkraftsbuller.

Det finns en risk att man underskattar risken för störning om buller som är påtagligt lågfrekvent anges i dBA. Därför anges Folkhälsomyndighetens riktvärden för lågfrekvent buller inomhus i dB, dvs utan A-vägningen som filtrerar bort mycket av det lågfrekventa bullret. För vindkraftsbuller utomhus är dock dBA-nivån lämplig att använda.

Svenska studier har visat att så länge buller från vindkraftverk inte överskrider riktvärdet 40 dBA utomhus är risken liten för att riktvärdena för lågfrekvent buller inomhus överskrids.ⁱ Detta förutsatt att huset är byggt med en normal, svensk byggstandard men utan särskilt ljudisolerande fönster.

För mer information om buller inomhus hänvisas till Folkhälsomyndighetens vägledning.

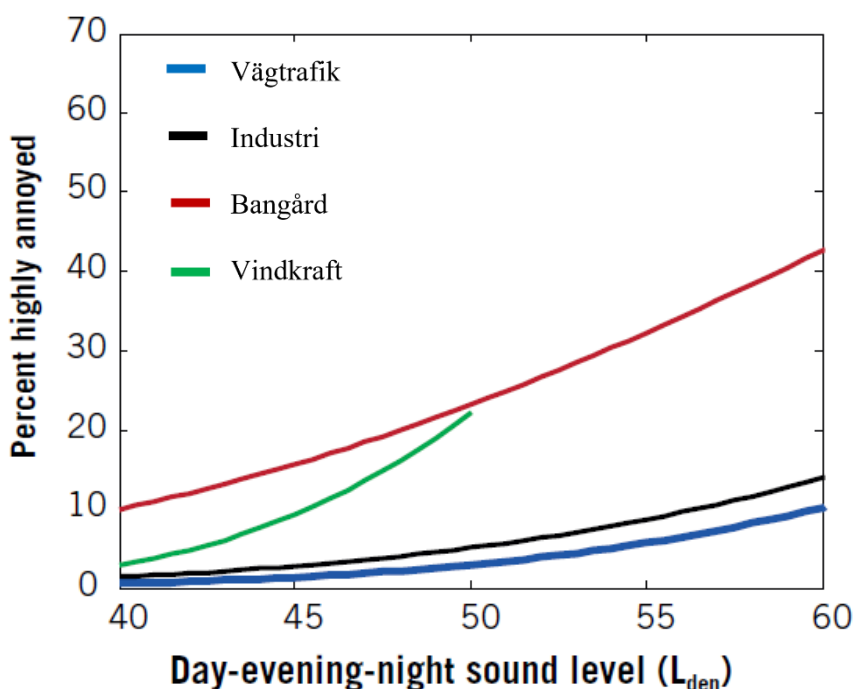
<https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/tillsynsvagledning-halsoskydd/buller/vagledning-och-riktvarden/>

Ljud under ca 20 Hz kallas för infraljud. Infraljud är vanligtvis inte hörbart men kan ändå påverka människor negativt om ljudnivån är tillräcklig hög. Vindkraftverkens rotation ger upphov till infraljud som ofta ligger kring 1 Hz. I det frekvensområdet krävs en nivå på ca 120 dB för att man ska se en påverkan på människor.ⁱⁱ På de avstånd som krävs mellan vindkraftverk och bostäder i Sverige är nivån av infraljud från vindkraftverk betydligt lägre och det finns enligt Naturvårdsverkets bedömning ingen evidens för negativa hälsoeffekter orsakat av infraljud från vindkraftverk.ⁱⁱⁱ

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 är svårt att förutse. Studier både i Sverige och utomlands visar att spridningen i störningsupplevelse är stor. Flertalet icke-akustiska faktorer kan ha betydelse för upplevelsen av störning, exempelvis visuella effekter och hur väl projektet varit förankrat i lokalområdet.^{iv}

Risken för störning tenderar att öka på kvällar och nätter.^v Detta kan ha flera orsaker. Dels minskar bakgrundsbullret från andra mänskliga aktiviteter. Även naturljuden brukar minska på natten då vinden mojar. Samtidigt kan det fortfarande blåsa kraftiga vindar på högre höjd. 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.^{vi}

I Sverige har sedan 90-talet 40 dBA ekvivalentnivå (L_{eq}) utomhus vid bostäder använts som riktvärde för vindkraftsbuller med en skärpning på 5 dB i vissa situationer. 40 dBA L_{eq} utomhus vid bostäder har också fastställts som begränsningsvärde i praxis. Vid 40 dBA bedöms drygt 10 % av en större population uppleva sig mycket störda av vindkraftsbuller.

År 2018 presenterade WHO hälsobaserade riktvärden för ett antal bullerkällor, däribland vindkraft.^{vii} Riktvärdena grundar sig på en sammanställning av ett flertal olika störningstudier, 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 man adderar 5 respektive 10 dB till ljudnivån kvällstid och nattetid. Räknar man om 45 dBA L_{den} till ekvivalentnivå över dygnet blir det 39 dBA L_{eq} 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 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 m.m. 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, men inte några samband mellan vindkraftsbuller och andra negativa hälsoeffekter.^{viii}

I Danmark redovisades 2019 en mycket omfattande studie av vindkraftsbuller och eventuella samband med flera olika tänkbara negativa hälsoeffekter. Vad gäller hjärt- och kärlsjukdom, diabetes och fosterskador kunde den danska studien inte hitta några samband mellan utfall och vindkraftsbuller.^{ix, x, xi, xii, xiii} Den danska studien undersökte även användning av sömnmedicin och antidepressiva mediciner och fann där ett svagt samband mellan medicinering och långvarig exponering av relativt höga nivåer vindkraftsbuller (≤ 42 dBA utomhus).^{xiv}

En svensk studie publicerad 2020 har utrett samband mellan vindkraftsbuller och påverkan på sömn. Studien visade att vindkraftsbuller inomhus motsvarande 32 dBA L_{eq} kan leda till en försämrad sömnkvalitet. Studien anger även att ljudets karaktär och förekomst av amplitudmodulation kan bidra till en ökad påverkan.^{xv}

I sammanhanget bör nämnas att 32 dBA L_{eq} är högre än Folkhälsomyndighetens riktvärde för buller inomhus som är 30 dBA L_{eq} samt att Folkhälsomyndigheten har riktvärden för lågfrekvent buller som ger ett ytterligare skydd. Det går dock inte att utesluta utifrån det nuvarande forskningsläget att en begränsad påverkan på sömn kan uppstå även vid nivåer av vindkraftsbuller inomhus som understiger 30 dBA L_{eq} .

Det är alltså viktigt att förstå att de ljudnivåer vid de riktvärden som Naturvårdsverket anger i den här vägledningen innebär att det finns en risk för att ljudet upplevs som störande i vissa situationer.

Vindkraftsbuller är idag ett relativt litet problem i Sverige i förhållande till hur många som berörs i jämförelse med bullerkällor som exempelvis vägtrafik. Riktvärdet för vindkraftsbuller är också satt på en nivå som ger upphov till en lägre risk för negativa hälsoeffekter än de riktvärden som finns för trafikbuller. En storskalig vindkraftsutbyggnad kommer oundvikligen leda till att fler människor berörs. Samtidigt kan god planering och ökade kunskaper bidra till minskad störningspåverkan på respektive plats. Naturvårdsverket stöttar och följer forskningen om vindkraftsbuller och hälsoeffekter, och uppdaterar vid behov vägledningar.

A-vägning och vindkraftsbuller

Riktvärdet utomhus för vindkraftsbuller anges i dBA. A:et i slutet på dBA anger att ljudet är vägt med den så kallade A-vägningskurvan. A-vägningen är en anpassning till människans hörsel och innebär att ljud i de låga och de riktigt höga frekvenserna sänks och ljud i det område där vi hör bäst och kommunicerar mest är oförändrade eller höjs något.

A-vägda ljudnivåer används för de flesta bullerkällor i samhället och har visat sig vara ett mått som överlag stämmer väl överens med hur starkt människor uppfattar ljud med olika frekvensinnehåll. För ljud som innehåller mycket energi i de låga frekvenserna kan dock A-vägda ljudnivåer underskatta hur starkt ett ljud upplevs och i förlängningen hur störande det är. Ljud inomhus från vindkraftverk kan upplevas som tämligen lågfrekvent. Folkhälsomyndighetens riktvärden för ljud inomhus finns både som A-vägd ekvivalent och maximal nivå och som ovägd ekvivalenta nivåer i tersbanden mellan 31,5 och 200 Hz. Genom att följa Folkhälsomyndighetens riktvärden minimeras risken att underskatta den negativa effekten av det lågfrekventa innehållet i vindkraftsbuller.

Vindkraftsbuller utomhus kan dock beskrivas som ett bredbandigt ljud utan att vara påtagligt lågfrekvent vilket innebär att det är lämpligt att redovisa och reglera ljudnivåerna i dBA.

Riktvärden för buller från vindkraftverk

Riktvärden för buller är framtagna som stöd för bedömning om en bullerstörning är att betrakta som en olägenhet för människors hälsa enligt miljöbalken. Olägenhet anges i miljöbalkens nionde kapitel som en störning som enligt medicinsk eller hygienisk bedömning kan påverka människors hälsa eller välbefinnande negativt och som inte är ringa eller helt tillfällig. För att en störning ska kunna betraktas som en olägenhet för människors hälsa ska den alltså vara av någon betydelse och inte av helt tillfällig natur.

Olägenhetsbedömningen ska utgå från vad människor i allmänhet anser vara en olägenhet och inte baseras enbart på en persons reaktion i det enskilda fallet. Även bedömningen om en störning ska anses vara ringa är beroende av hur människor i allmänhet uppfattar störningen. Hänsyn måste dock tas till personer som är något känsligare än normalt.^{xvi}

Buller utomhus

Naturvårdsverket har tagit fram riktvärden avseende buller från vindkraftverk som inte bör överskridas vid bostäder samt friluft- och rekreationsområden, se tabell 1.

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 inom friluftsområden	35 dBA

- Samtliga värden avser frifältsvärden, dvs en ljudnivå som inte påverkas av reflexer i egen fasad.
- Riktvärdet bör gälla för totalnivån från alla närliggande vindkraftverk.
- Ekvivalentnivån bör utvärderas över en sammanlagd tid om minst 30 minuter.

Riktvärdet vid bostäder bör gälla vid fasad och på uteplatser och andra ytor för utevistelse i bostadens närhet. För en normalstor villatomt (ca 1000 – 1500 kvm) är det rimligt att riktvärdet gäller på hela tomten. För mycket stora fastigheter kan det däremot vara acceptabelt att riktvärdet överskrids på delar som ligger mer än 30 m från bostadshus. Se även Mark- och miljööverdomstolens avgörande den 23 januari 2017 i mål M 3724-16.

Med friluftsområden avses i det här sammanhanget område i översiktsplan för det rörliga friluftslivet eller andra områden som nyttjas mer frekvent för friluftsliv, där naturupplevelsen är en viktig faktor och där en låg ljudnivå utgör en särskild kvalitet.

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

Särskilt störningsframkallande ljud

Vissa typer av ljud kan vara av en sådan karaktär att de orsakar en högre grad av störning än andra. Ett sådant exempel är om ljudet innehåller tydligt hörbara toner. Ljud med återkommande smällar och dunkanden kan också orsaka en högre grad av störning än ett ljud med en jämnare ljudstyrka. För att kompensera för denna ökade störningsrisk bör lägre ljudnivåer tillåtas i de fall där särskilt störningsframkallande ljud förekommer mer än vid enstaka tillfällen. För vindkraftsbuller är tydligt hörbara toner och kraftig amplitudmodulation att beakta som särskilt störningsframkallande.

Om buller från vindkraftverk vid bostäder innehåller tydligt hörbara tonkomponenter vid mer än enstaka tillfällen bör därför riktvärdet skärpas med 5 dB.

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 någon särskild gräns för när en skärpning av riktvärdet för vindkraftsbuller bör göras med orsak av amplitudmodulation. Kraftig amplitudmodulation vid bostäder är dock att beakta som särskilt störningsframkallande och verksamhetsutövaren bör vidta åtgärder för att undvika att detta förekommer mer än undantagsvis, särskilt om de ekvivalenta nivåerna vid bostäder är i intervallet 35 – 40 dBA. När kunskapsläget förbättras kan Naturvårdsverket komma att komplettera vägledningen i fråga om ofta återkommande amplitudmodulation.

Buller inomhus

För buller inomhus hänvisas till Folkhälsomyndighetens allmänna råd med riktvärden för ekvivalenta och maximala ljudnivåer i dBA och ekvivalent lågfrekvent buller.

Enligt praxis så bör den totala ljudnivån inomhus från samtliga närliggande vindkraftverk beaktas, se bland annat Mark- och miljööverdomstolens domar 2016-03-02 i mål nr M 1064-15 och M 1067-15.

Åtgärder för att minska buller

Bullerreducerad drift

Moderna vindkraftverk har möjligheten att ställa ned rotorbladens hastighet för att minska bulleralstringen. Dämpningen kan uppgå till upp mot ca 5 dB. Detta medför dock även en minskad elproduktion. Leverantörerna av vindkraftverk ska specificera ljudeffekt för normal drift och för olika driftlägen eller ”modes” som det ofta benämns.

Om det efter att vindkraftverk tagits i drift visar sig att riktvärden eller bullervillkor överskrids bör man utreda om omställning till bullerreducerad drift sänker nivåerna så att värdet klaras.

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 bör det anges om beräkningen förutsätter att ett eller flera verk har någon särskild driftinställning. Även vid mätningar av buller bör 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 driftläge. Om förutsättningarna kräver att vindkraftverken körs med bullerreducerad drift kan tillsynsmyndigheten begära att få en sammanställning av loggarna för att säkerställa att detta efterföljs.

Åtgärder på vindkraftverken

För att säkerställa att vindkraftverken inte alstrar mer buller än nödvändigt bör regelbundet underhåll göras. Om verket börjar alstra högre ljudnivåer eller buller av en annan karaktär kan det ofta åtgärdas med underhållsinsatser på de mekaniska delarna.

För att minska ljudalstringen hos ett befintligt vindkraftverk finns möjligheten att förse bladen med taggar eller ”hajtänder” som det ibland kallas. Att förse kanten på rotorbladet med taggar gör att det orsakas mindre turbulens då bladet skär genom luften vilket kan minska det aerodynamiska ljudet med upp till 5 dB. Det kan även öka energiproduktionen något. Vissa vindkraftverk levereras med taggiga blad redan från början.

Avisningssystem

Om is bildas på rotorbladen kan vindkraftverkets ljudalstring öka. En mätstudie genomförd i norra Sverige har visat att ljudalstringen vid ett enstaka tillfälle kan öka med så mycket som 6 dB. Utslaget på fler mätperioder visade det sig att ekvivalentnivån vid nedisning ökade med 1 – 2 dB.^{xvii} Ljudet blev dessutom mer lågfrekvent till sin karaktär. Det är därför av stor vikt att nedisning undviks så långt det är möjligt.

Vindkraftverk som placeras i områden med hög risk för nedisning bör förses med avisningssystem. Då nedisning även har en negativ påverkan på elproduktionen finns det flera incitament för att vidta åtgärder mot nedisning.

Åtgärder mot buller inomhus

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

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 inomhus (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).

Kumulativa effekter

Om det finns flera vindkraftsparker i ett område ökar den totala ljudalstringen. 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. Vid bedömning av kumulativa effekter bör därför hänsyn tas till befintliga vindkraftsparker och parker med lagakraftvunna tillstånd. Det kan även vara lämpligt att ta hänsyn till andra parker med en pågående tillståndsprocess (se exempelvis MÖD 2016:32).

Hänsyn till den kumulativa nivån från flera parker tas lämpligast genom att man vid de berörda bostäderna sätter villkor för respektive park som är lägre än riktvärdet, så att den totala nivån inte överskrider riktvärdet. Inom vilket område som kumulativa effekter ska beaktas beror på hur stort bidrag till den totala nivån som respektive park ger upphov till. Är skillnaden i bullerbidrag mellan två parker 10 dB eller mer vid berörda bostäder behöver 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 och i stället utgå från den vindriktning som ger högst totalnivå.

Bullerfrågor vid anmälan och prövning av vindkraftverk

Huruvida en vindkraftsanläggning är anmälningspliktig eller tillståndspliktig beror på verkens höjd och antal. Detta är reglerat i 21 kap 13–15 §§ miljöprövningsförordningen (2013:251). Portalen Vindlov beskriver processerna för lov, anmälan och prövning av vindkraftverk. Där finns även en sammanställning av vägledande domar. Vindlov är ett myndighetsövergripande samarbete som drivs av Energimyndigheten.

<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/Vagledningar/Miljoprovning/Soka-tillstand-och-anmalan/>

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

Redovisning av buller i prövning

Beräkning av buller från vindkraftverk måste i stort sett alltid göras vid prövning av vindkraftverk, vare sig det handlar om enstaka verk eller en större park. Beräkningen bör göras med någon av de metoder som Naturvårdsverket rekommenderar, se avsnitt om Beräkningsmodeller nedan. Beräknade ljudnivåer ska redovisas för samtliga bostäder som berörs av buller från vindkraftverken och för andra bullerkänsliga platser, exempelvis friluftsområden. 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. Värdena bör istället avrundas till närmaste heltal så att exempelvis 38,49 dBA avrundas nedåt till 38 dBA och 38,50 dBA avrundas uppåt till 39 dBA.

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 vid den aktuella platsen. Enligt Mark och miljööverdomstolens praxis (se bland annat Mark- och miljööverdomstolens dom 2019-05-09 i mål nr M 4293-18) är en förutsättning för att boxmodellen ska kunna tillämpas att alla konsekvenser av olika möjliga placeringar går att bedöma med stöd av ansökan och miljökonsekvensbeskrivningen. Verksamhetsutövaren kan alltså behöva visa att man kan klara riktvärdena vid bostäder och andra bullerkänsliga platser vid olika tänkbara exempellayouter.

Förankring och dialog

Det är viktigt att närboende och andra berörda aktörer 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.^{xviii}

Bullerstörning är en komplex fråga som inte enbart beror på ljudnivån. Förankring och dialog och korrekt information är viktiga faktorer för att inte öka störningsupplevelsen hos närboende. Risker för störningar på grund av buller och andra miljökonsekvenser 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 vindkraftverk i vissa fall 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. Hur ofta mätningar görs bör anpassas till hur långt det är till närmsta bostäder och hur god marginal som finns till gällande riktvärden och bullervillkor. Uppenbart obefogade mätningar bör undvikas. Utöver mätningar enligt kontrollprogrammet kan mätningar behöva göras om det kommer in klagomål till verksamhetsutövaren eller tillsynsmyndigheten.

För den återkommande kontrollen av att vindkraftverk uppfyller sina bullervillkor används oftast emissionsmätningar och beräkningar, dvs att man mäter in ljudalstringen hos vindkraftverken och använder detta som indata för att beräkna ljudnivån. För en större vindkraftspark är det inte nödvändigt att mäta in samtliga verk, se avsnitt Emissionsmätningar enligt kontrollprogram nedan.

I vissa fall kan det vara befogat att i stället mäta ljudnivån vid bostäder, så kallad immissionsmätning. Detta bör göras vid misstanke om att beräkningarna är missvisande eller befästa med stor osäkerhet. Skäl för detta kan vara att inlämnade rapporter verkar bristfälliga, om stora avsteg gjorts mot förutsättningarna i mätmetoderna eller vid upprepade klagomål. Det finns ingen enkel tumregel för att avgöra när det är lämpligt att genomföra immissionsmätningar. En bedömning måste göras utifrån förutsättningarna i det enskilda fallet. En inspektion på platsen och en indikativ mätning kan vara ett stöd i bedömningen.

Klagomål kan inkomma både till verksamhetsutövaren och till tillsynsmyndigheten. För att tillsynsmyndigheten ska få en komplett bild av situationen bör verksamhetsutövaren kunna redogöra för inkomna klagomål och hur de hanterats, antingen i miljörapporten eller vid tillsynsbesök. En sammanfattning av genomförda ljudmätningar och beräkningar ska redovisas i miljörapporten enligt gällande föreskrifter (se NFS 2016:8).

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 driftinställningar. Vid klagomål kan också driftsloggarna vara behjälpliga för att utreda om verken haft rätt inställning vid tillfället då störningen upplevdes.

Emissionsmätningar enligt kontrollprogram

Då vindkraftverk har en viss inkörningstid bör en första kontrollmätning av verkens ljudemission genomföras inom ca 6 – 12 månader efter det att anläggningen tagits i drift. Därefter är det lämpligt att ljudmätningar görs regelbundet med ca 3 – 5 års mellanrum och när åtgärder vidtas som kan leda till en signifikant ökad ljudalstring.

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 om de körs med olika driftinställningar. Naturvårdsverket ger följande rekommendationer:

Vindkraftsparkens storlek	Minsta antal verk som bör mätas in
1 – 10 verk	1 verk
> 10 – 50 verk	2 verk
> 50 verk	3 verk

Om det inom en vindkraftspark finns verk av olika fabrikat bör man mäta in minst ett exemplar av respektive typ, vilket kan göra att fler verk mäts in än vad som anges ovan.

Finns det misstanke om att något vindkraftverk bullrar mer än övriga bör det också mätas in utöver det antal som anges ovan.

Mätningar bör så långt det är praktiskt möjligt göras på de verk som påverkar boende mest.

Om det för vindkraftsparken används nedsatta driftförhållanden för att klara bullervillkor bör ljudemissionen vid samtliga moder mätas upp på åtminstone ett av vindkraftverken.

Inför mätning av vindkraftsparker bör en plan för mätningarna tas fram och lämnas in till tillsynsmyndigheten där det tydligt framgår motiven för hur man valt ut de vindkraftverk som man planerar att mäta in.

Emissionsmätningar utgör indata till beräkningar som görs för att kontrollera att parken uppfyller gällande bullervillkor. Beräkningarna bör utgå från att den högsta uppmätta ljudemissionen hos ett verk av en viss typ används för samtliga verk av samma typ som inte mätts in.

För mer detaljer om emissionsmätningar, se avsnittet Emissionsmätning nedan.

Kontroll av vindkraftsbuller vid bostäder

Mätning vid bostäder, dvs immissionsmätningar, när ljudnivåerna är så pass låga som 40 dBA L_{eq} blir mycket känsliga för bakgrundsljud och ställer stora krav på att man mäter vid rätt meteorologiska förhållanden. De kan därför vara svåra att genomföra på vissa platser. I idealfallet görs mätningen vid den eller de bostäder som är mest exponerade för vindkraftsbullret. Mätningen bör då göras på en skiva som fästs vid bostadens fasad. Är det svårt att genomföra mätningen vid de berörda bostäderna kan mätningen göras på en annan plats och på en skiva som läggs på marken. Om det inte går att mäta vid bostad bör den som utför mätningen tydligt redovisa att man valt en annan plats och skälen för detta.

Immissionsmätningar blir lätt tidskrävande och kostsamma och det kan ibland vara svårt att få entydiga resultat.

För mer detaljer om immissionsmätningar se avsnittet Immissionsmätning nedan.

Kontroll av vindkraftsbuller inomhus

Om det finns skäl att misstänka att vindkraftverken orsakar buller inomhus som överskrider Folkhälsomyndighetens riktvärden för normalt eller lågfrekvent buller bör detta utredas.

I ett första steg bör ljudnivåerna utomhus beräknas eller mätas i både dBA-nivå och i tersband mellan 31,5 och 200 Hz. Därefter drar man av ljuddämpningen hos den aktuella byggnaden. Rummets storlek och möblering kan påverka ljudnivån inomhus, särskilt i låga frekvenser. Med ljuddämpning menas därför här den sammantagna effekten av ljudisoleringen i fasad inklusive fönster, dörrar och eventuella ventilationsdon samt rumseffekterna.

Det finns inga standardvärden för förväntad ljuddämpning utan en mätning av den berörda byggnadens ljuddämpning bör göras. Alternativt kan det göras en bedömning av ljuddämpningen utifrån den aktuella byggnadens konstruktion av person med kompetens inom byggnadsakustik. Den andra metoden ger givetvis ett mer osäkert resultat och bör inte användas om det visar sig att marginalen till riktvärdena är liten.

Det är också möjligt att mäta ljudnivåerna inomhus. Folkhälsomyndigheten vägleder om mätmetoder för buller inomhus. Mätning inomhus kan påverkas av bullerkällor inomhus (kylskåp, ventilation etc.) och kan i vissa fall vara svåra att genomföra.

Beräkningsmodeller och mätmetoder

Beräkningsmodeller

Det finns flera tillgängliga beräkningsmodeller för vindkraftsbuller. Naturvårdsverket rekommenderar att man i de flesta fall använder sig av modellen Nord 2000. Nord 2000 är en avancerad beräkningsmodell och kräver särskild programvara. Det finns även svenska modeller, framtagna av Naturvårdsverket. De svenska beräkningsmodellerna är relativt enkla och det går att göra beräkningar från en punkt till en annan för hand eller i ett excelark. Om någon annan metod än dessa två används, måste detta motiveras.

Som indata till beräkningarna krävs ljuddata från antingen vindkraftverkets leverantör eller ljudeffekt som uppmätts på plats med emissionsmätningar. För befintliga parker 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.

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.^{xix}

Modellen innehåller många parametrar för bland annat marktyper och meteorologi vilket ger möjlighet till beräkningar med hög noggrannhet även i komplexa miljöer. Det innebär också att det krävs hög kompetens hos användaren för att resultatet ska bli korrekt. Modellen kan inte räknas för hand utan kräver särskild programvara.

Nord 2000 har möjlighet att räkna med olika vindriktningar. Naturvårdsverket anser att beräkningar i normalfallet alltid ska göras för meteorologiska förhållanden som motsvarar 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 att sådana beräkningar därför bör hanteras med stor försiktighet.^{xx}

De svenska beräkningsmodellerna

De svenska beräkningsmodellerna är framtagna av Naturvårdsverket och innehåller tre olika beräkningsfall.

1. På land på avstånd upp till 1000 m
2. På land på avstånd över 1000 m
3. Till havs på långa avstånd

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, räknar enbart i dBA-nivå medan de övriga två fallen räknar i oktavband.

Fördelen med de svenska beräkningsmodellerna är att de är lättanvända och transparenta. De bör dock inte användas i förhållanden med kuperad terräng eller skog. Det går heller inte utan handpåläggning att göra en bedömning av lågfrekvent buller med de svenska modellerna då de inte räknar nivåer i tersband. För landbaserad vindkraft blir modellen därför i huvudsak tillämplig på mindre parker eller enstaka verk i flacka landskap.

Modellerna för landbaserad vindkraft antar att marken är platt och akustiskt sett mjuk, det vill säga att marken mellan vindkraftverk och mottagare till största delen utgörs av åkrar, ängar eller andra svagt reflekterande marktyper.

Den havsbaserade modellen utgår från ett mycket konservativt antagande om kraftig pålandsvind med ett vindhastighetsmaximum på 200 – 500 m höjd över havet.

Länk till en mer detaljerad beskrivning av modellerna och till excelark för beräkningar återfinns på Naturvårdsverkets vägledningssida om buller från vindkraftverk.

Andra beräkningsmodeller

Vid lov, anmälan, prövning och tillsyn bör någon av de modeller som Naturvårdsverket rekommenderar användas.

Forskning och utveckling 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 representativa platser.

Rekommendation för val av beräkningsmodell

Naturvårdsverket rekommenderar alltså att man beräknar vindkraftsbuller med modellen Nord 2000.

För enstaka verk i flacka landskap kan Naturvårdsverkets modell för landbaserad vindkraft användas.

För en bedömning av förväntade ljudnivåer från havsbaserad vindkraft kan Naturvårdsverkets modell för havsbaserad vindkraft användas. Den ger dock i normalfallet en överskattning av de faktiska ljudnivåerna.

Mätmetoder

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

Vid jämförelser med riktvärde eller bullervillkor måste mätningen uppfylla de krav på meteorologiska förhållanden och driftsförhållanden som anges i standarden, bland annat ska det blåsa medvind mellan vindkraftverk och mottagare. Det kan dock uppstå för platsen ovanliga väderförhållanden då ljudnivån blir högre än vad standardförhållanden

ger upphov till, exempelvis vid kraftig inversion. Högre ljudnivåer som uppstår vid enstaka tillfällen bör inte ses som överskridanden av villkor.

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 bullerkällor och det kan vara svårt att hitta tillfällen för mätningar som uppfyller alla krav på meteorologiska förhållanden. Emissionsmätningar är mindre känsliga för störningar eftersom de genomförs nära verket där ljudnivån är högre. Emissionsmätningar måste kombineras med beräkningar för att kunna användas som kontroll av ljudnivå vid bostäder.

Immissionsmätning

Immissionsmätningar bör följa anvisningar i metoden Elforsk 1998:24 ”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

Det pågår forskningsprojekt såväl i Sverige som internationellt om att utveckla nya mätmetoder. I avvaktan på resultaten från dessa väljer Naturvårdsverket att fortsätta rekommendera Elforsk:s mätmetod, trots att den är relativt gammal.

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.

Vid mätning vid bostäder måste man säkerställa att mätningen inte påverkas av reflexer från byggnaderna. Mätmetoden anger två möjliga mätpositioner, på en mindre vertikal skiva som sätts vid den berörda byggnadens fasad eller på en större horisontell skiva som läggs på marken på ett visst avstånd från byggnader för att undvika reflexer. I första hand rekommenderar Naturvårdsverket att mätning görs vid fasad men det kan finnas lokala förutsättningar som gör att mätning med skiva på mark är mer lämpligt, exempelvis för att undvika störningar från andra bullerkällor.

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. De meteorologiska förhållandena som anges i standarden avseende vind- och

temperaturprofil bör dock alltid följas vilket innebär exempelvis att kvällar med mycket kraftig inversion ska undvikas.

Den totala mätperioden bör vara minst 30 minuter utan störningar. Det behöver dock inte vara en sammanhängande 30-minuters period.

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.

Mätning vid hörbara toner

För att utvärdera toner kan först en subjektiv bedömning göras genom att lyssna på plats, vid den berörda bostaden. Om toner då hörs eller om osäkerhet om detta råder ska en objektiv utvärdering göras. Mätningen bör då genomföras vid bostad enligt Elforsk 1998:24 men tonaliteten utvärderas lämpligtvis enligt den metod som beskrivs i mätmetoden IEC 61400-11 ”Wind turbines - Part 11: Acoustic noise measurement techniques”.

Emissionsmätning

Vid mätning av ljudemissionen från ett vindkraftverk rekommenderas standarden IEC 61400-11 ”Wind turbines - Part 11: Acoustic noise measurement techniques. IEC.

IEC, som är ett internationellt organ som arbetar med standardisering inom elteknik, utvecklar och uppdaterar regelbundet metoden och man bör därför säkerställa att man använder den senaste versionen samt ange i mät rapporten vilken version som använts.

Metoden innehåller även råd för mätning och utvärdering av lågfrekvent buller, tydligt hörbara toner, amplitudmodulation och andra ljudkaraktärer. Noteras bör att metodens bedömning av lågfrekvent buller inte är anpassad till svenska riktvärden då IEC drar gränsen för lågfrekvent buller vid 100 Hz. Lågfrekvensområdet som definierat av Folkhälsomyndighetens vägledning och allmänna råd sträcker sig upp till 200 Hz.

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.

Osäkerhet vid mätning och beräkning

Såväl mätningar som beräkningar är befästa med en viss osäkerhet i resultatet. Den som utför mätningen eller beräkningen bör därför även redogöra för vilken osäkerhet metoden har vid de förhållanden som råder i det aktuella fallet. Beräkningar har i regel god noggrannhet under förutsättning att man har en hög noggrannhet i indata. För både emissions- och immissionsmätningar kan man genom att göra upprepade mätningar minska osäkerheten i resultatet.

I en jämförelse mellan beräkningar med Nord 2000 och immissionsmätningar har det konstaterats att osäkerheten ligger på ± 1 dB för plan mark och på ± 4 dB i komplex terräng på avstånd mellan 1000 – 1500 m.^{xxi}

Enligt praxis ska osäkerheten inte läggas på resultatet som en marginal vid jämförelse med begränsningsvärden i bullervillkor. Inte heller ska bullervillkor genomgående skärpas för att ta hänsyn till osäkerheten. Se exempelvis Mark- och miljööverdomstolen, dom 2017-02-20 i mål nr M 298-16 rörande osäkerhet i mätningar och Mark- och miljööverdomstolens domar den 27 april 2012 i målen M 7022-11 och M 8512-11 rörande marginal i beräkningar.

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>

Lagrum

Nedan listas lagrum som är relevanta i samband med bullerfrågor vid tillsyn och prövning av vindkraftverk. Även andra lagrum än de som anges här kan vara relevanta.

Olägenhet

2 kap. 3 §, 9 kap. 3 § miljöbalken.

Kunskapskravet

2 kap. 2 § miljöbalken.

Bevisbörd

2 kap. 1 § miljöbalken.

Egenkontroll och utredning

26 kap. 19, 21 och 22 §§ miljöbalken.

Miljörapport

26 kap. 20 § miljöbalken.

Åtgärder

2 kap. 3 §, 26 kap. 9 § miljöbalken.

Rimlighetsavvägning

2 kap. 7 § miljöbalken.

Referenser

-
- ⁱ Nilsson et al, Kunskapsmanställning om infra- och lågfrekvent ljud från vindkraftsanläggningar: exponering och hälsoeffekter. Naturvårdsverket, 2011
- ⁱⁱ Persson Wayne et al, Hälsoeffekter av lågfrekvent buller inomhus, Rapport 3:2017, Sahlgrenska Akademin, Arbets- och miljömedicin
- ⁱⁱⁱ van Kap & van den Berg, Health effects related to wind turbine sound, including low-frequency sound and infrasound, *Acoust Aust.* 46:31-57, 2018
- ^{iv} Pohl et al, Understanding stress effects of wind turbine noise – the integrated approach, *Energy Policy* 112, 2018
- ^v Bohlin & Almgren, Studie av kontrollprogram av buller vid vindkraftverk, NV Rapport 6739, 2017
- ^{vi} Eriksson et al, Environmental noise and health, NV Rapport 6553, 2013
- ^{vii} Environmental noise guidelines for the European region, World Health Organization (2018)
- ^{viii} Michaud et al, Exposure to wind turbine noise: Perceptual responses and reported health effects, *The Journal of the Acoustical Society of America* 139, 1443 (2016)
- ^{ix} Poulsen et al, Long-term exposure to wind turbine noise and redemption of antihypertensive medication: A nationwide cohort study. *Environment International* 121 (2018)
- ^x Poulsen et al, Long-term exposure to wind turbine noise and risk for myocardial infarction and stroke: A nationwide cohort study, *Environmental health perspectives* 127 (2019)
- ^{xi} Poulsen et al, Short-term nighttime wind turbine noise and cardiovascular events: A nationwide case-crossover study from Denmark, *Environment International* 114 (2018)
- ^{xii} Poulsen et al, Long-term exposure to wind turbine noise at night and risk for diabetes: A nationwide cohort study, *Environmental Research* 165 (2018)
- ^{xiii} Poulsen et al, Pregnancy exposure to wind turbine noise and adverse birth outcomes: a nationwide cohort study, *Environmental Research* 167 (2018)
- ^{xiv} Poulsen et al, Impact of long-term exposure to wind turbine noise on redemption of sleep medication and antidepressants: A nationwide cohort study, *Environmental Health Perspectives* 127 (2019)
- ^{xv} Smith et al, A laboratory study on the effects of wind turbine noise on sleep: results of the polysomnographic WiTNES study, *SLEEPJ*, 2020
- ^{xvi} Se Prop. 1997/98:45 del 2, sid 109.
- ^{xvii} P. Arbinge, Ljudpåverkan vid nedisning av vindkraftverk – Långtidsmätningar av ljud för verifiering, ÅF Rapport P 37282-1-A, 2017
- ^{xviii} Henningson et al, Vindkraftens påverkan på människors intressen - en syntesrapport, Vindval,
- ^{xix} 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
- ^{xx} J. Thorén, Simulering av vindkraftljud med beräkningsmodellen Nord2000, Inst för geovetenskap, Uppsala Universitet, examensarbete, aug 2009
- ^{xxi} Søndergaard et al, Noise and energy optimization of wind farms – Validation of the Nord2000 propagation model for use on wind turbine noise. Delta 2009